



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DESARROLLO DE NORMAS ELÉCTRICAS QUE
GARANTICEN LA SEGURIDAD DE LOS PACIENTES”**

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

SÓCRATES ADRIÁN VERDEZOTO URBANO

JOSÉ ALFREDO LÓPEZ VILLACÍS

Guayaquil – Ecuador

2012

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos salud y fortaleza, a nuestros padres que siempre han estado brindándonos su apoyo en cada instancia de la vida universitaria, al Ing. Miguel Yapur por la guía prestada en el desarrollo de este proyecto y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para la realización de este trabajo, nuestro más grande agradecimiento.

DEDICATORIA

A mis padres por haberme brindado el apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria, a mis tíos que han estado siempre pendientes de mi desempeño estudiantil y a las personas que de una u otra manera han influido durante este proceso.

Sócrates Verdezoto

A mis familiares, amigos y profesores que siempre confiaron en mí y que sin su ayuda jamás hubiese alcanzado este triunfo.

José López

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Miguel Yapur', is written over a horizontal dashed line.

Ing. Miguel Yapur
PROFESOR DEL SEMINARIO
DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Salazar', is written over a horizontal dashed line.

Ing. Carlos Salazar
PROFESOR DELEGADO POR
LA UNIDAD ACADÉMICA

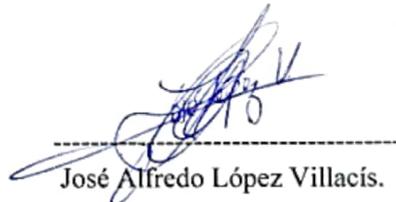
DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Sócrates Adrián Verdezoto Urbano.



José Alfredo López Villacís.

RESUMEN

La evolución de la industria eléctrica ha traído consigo grandes satisfacciones al ser humano, que como tal, ha sabido aprovechar esta forma de energía en múltiples utilidades. Estos grandes avances son fruto del esfuerzo y vida de muchas personas, desde científicos, ingenieros, técnicos y hasta el usuario común y corriente que ha aprendido su mejor uso. La seguridad de una instalación eléctrica desde los criterios de diseño hasta su puesta en utilización es materia fundamental para evitar accidentes.

Hoy en día el uso de la electricidad en la medicina ha mejorado la calidad de la asistencia médica, ya que ha permitido el desarrollo de equipamiento médico y tecnología de punta, que han ayudado en el diagnóstico y posterior tratamiento del paciente.

Es menester puntualizar que, estadísticamente, más de la mitad de los incendios se producen por fallas en las instalaciones y equipos eléctricos, con las consiguientes secuelas para las personas y los bienes. Debe haber una linealidad entre el diseño, materiales a emplear, ejecución, uso y mantenimiento de las instalaciones eléctricas; en el caso de las instalaciones eléctricas de los hospitales, la falta de esta linealidad genera riesgo para los usuarios. Si bien lo expresado es común en instalaciones eléctricas de viviendas, locales comerciales, fábricas, hoteles,

supermercados, cines, oficinas, colegios, etc., es particularmente peligroso en hospitales, clínicas, policlínicos, centros de diálisis y de diagnóstico, así como otros lugares de este tipo.

Actualmente, nuestro país presenta muchos problemas con respecto al tema; la seguridad de las instalaciones eléctricas en algunos hospitales, públicos o privados, no es la adecuada; así también, la capacitación del personal médico y técnico que labora en los centros de salud no es del todo completa. El personal médico presenta falencias en el correcto uso del equipamiento y, el personal técnico, no siempre está capacitado para diagnosticar y prevenir estos problemas.

El presente trabajo surge de la necesidad de tratar de concientizar a la sociedad con responsabilidad y competencia sobre el sistema eléctrico en ambientes hospitalarios, su importancia y su necesidad. Así mismo, se procura aportar con una posible solución que sea de aplicación inmediata para beneficio de la sociedad.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ABREVIATURAS.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV

CAPÍTULO 1

Enfoque del problema y antecedentes

1.1. Enfoque del problema	1
1.2. Breve reseña histórica acerca de la seguridad del paciente	5
1.3. Normativa existente usada como referencia	7

CAPÍTULO 2

Instalaciones eléctricas en los hospitales

2.1 Generalidades	9
2.2 Definiciones	11
2.3 Instalaciones eléctricas hospitalarias	14
2.4 Suministro de energía eléctrica de un hospital	16
2.4.1 Fuentes de energía	17
2.5 Sistemas eléctricos de emergencia	17
2.5.1 Ramales de emergencia	18
2.6 Conexión y desconexión	20
2.7 Cableado eléctrico en áreas peligrosas	21
2.8 Puestas a tierra	22
2.8.1 Elementos del sistema de puesta a tierra	22
2.8.2 Puesta a tierra de protección y conexión de equi-potencialidad	24
2.8.3 Detección de la interrupción de la toma a tierra y de las barras de equi-potencialidad	25

2.9 Medidas de protección	27
2.9.1 El transformador de aislamiento (IT)	27
2.9.2 Tomas de corriente de un sistema IT	28
2.9.3 Protección contra sobre-intensidades	28
2.10 Suministros complementarios	29
2.11 Área de pacientes	30
2.12 Clasificación de los locales de uso médico	31
2.13 Áreas de uso médico donde pudiera ser necesario la instalación de un sistema IT	33
2.14 Campo de aplicación de un sistema IT	38
2.15 Dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento por resistencia	41
2.16 Quirófanos	44
2.16.1 Equipo médico básico para el quirófano	44

CAPÍTULO 3

Riesgos y protecciones de seguridad eléctrica

3.1 Problemática de la seguridad eléctrica	59
3.1.1 Accidentes eléctricos en los hospitales	62
3.2 Sistemas de emergencia	66
3.2.1 Selección de los sistemas de emergencia	66
3.2.2 Circuitos de emergencia	66
3.2.3 Sistemas de protección	67
3.2.4 Protecciones especiales	68
3.2.4.1 Departamento quirúrgico	68
3.2.4.2 Electricidad estática y su control	69
3.2.4.3 Choques eléctricos	71
3.2.4.4 La intensidad de corriente y el cuerpo humano	73
3.3 Riesgos eléctricos	74
3.3.1 Efectos de la corriente	74
3.3.2 Requisitos de protección contra rayos	79
3.3.3 Corrientes de fuga	80

3.3.4 Riesgos de la corriente de fuga	81
3.3.4.1 Macroshock	81
3.3.4.2 Microshock	85

CAPÍTULO 4

Normas eléctricas de garanticen la seguridad del paciente

4.1 Generalidades	88
4.2 Normas generales	89
4.3 Sistemas de protección	90
4.4 Suministro eléctrico	92
4.5 Sistemas eléctricos de emergencia	93
4.6 Distribución de los ramales de emergencia	94
4.7 Protección contra sobre corrientes	96
4.8 Puestas a tierra	97
4.9 Instalación del sistema IT y sus tomas de corriente.....	97
4.10 Protección contra sobre intensidades	100

4.11 Suministros complementarios	101
4.12 Dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento por resistencia (Detector de aislamiento)	102
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES.....	106
ANEXO.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Esquema de instalación eléctrica en salas de uso médico.....	22
Figura 2.2	Forma de instalación del electrodo de puesta a tierra	23
Figura 2.3	Panel de detección de interrupción de la toma a tierra	26
Figura 2.4	Esquema de sistema IT con UPS de 2 horas para lámpara de quirófano, equipos de asistencia vital y el resto del quirófano	29
Figura 2.5	Esquema de conexión de los equipos electrónicos de uso médico, con la red eléctrica	33
Figura 2.6	Sala de tratamiento de diálisis	35
Figura 2.7	Instalación IT	36
Figura 2.8	Transformador de aislamiento	38
Figura 2.9	Panel de monitoreo de dispositivos de vigilancia del nivel de aislamiento	42
Figura 2.10	Unidad de electrocirugía	45

Figura 2.11	Monitor de signos vitales	50
Figura 2.12	Sensor de pulso y SPO2	53
Figura 2.13	Sensor de EKG con tres derivaciones	54
Figura 2.14	Sensor de presión no invasivo	55
Figura 2.15	Lámpara de operaciones	57
Figura 2.16	Máquina de anestesia	59
Figura 3.1	Efecto sobre la piel que produce la corriente alterna	77
Figura 3.2	Camino que puede seguir una corriente de falla a través del cuerpo humano	80
Figura 3.3	Buena puesta a tierra	82
Figura 3.4	Mala puesta a tierra.....	83
Figura 3.5	Corrientes de fuga – Capacitancias parásitas	84
Figura 3.6	Posibles causas de microshock	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Valores normales de temperatura	3
Tabla 2.2	Valores normales de pulso	56
Tabla 2.3	Valores normales de frecuencia cardiaca	56
Tabla 2.4	Valores normales de presión sanguínea	56
Tabla 3.1	Rango de tolerancia del cuerpo humano a la corriente eléctrica	74

ABREVIATURAS

SIGLAS	SIGNIFICADO
TRP	Tierras radiales de protección
TRE	Tierras radiales de equi-potencialidad
CP	Cable de protección
CE	Comunidad europea
RBT	Reglamento de baja tensión
IT	Transformador de aislamiento
UPS	Sistema de alimentación ininterrumpida
DC	Corriente directa
R	Resistencia eléctrica

SIMBOLOGÍA

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
Ω	Ohmio
$K\Omega$	Kilo-Ohmio
$M\Omega$	Mega-Ohmio
$m\Omega$	Mili-ohmios
V	Voltios
mVAC	Mili-voltios de corriente alterna
mV	Mili-Voltios
Av	Ganancia de Voltaje
Hz	Hertz
S	Segundos
Ms	Mili-segundos
mmHg	Milímetros de Mercurio
Cc	Centímetros Cúbicos
A	Amperios
mA	Mili-amperios
W	Vatios
mW	Mili-vatios
M	Metros
cm^2	Centímetros cuadrados
mm^2	Mili-metros cuadrados

INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo de este trabajo se realiza un análisis del enfoque y los antecedentes del problema relacionado a la seguridad eléctrica en hospitales, explicando el punto de partida para esta investigación, y una breve reseña histórica acerca del mismo.

En el segundo capítulo se muestra un análisis básico sobre las instalaciones eléctricas necesarias en un centro hospitalario, explicando en detalle los requisitos mínimos que deberían cumplirse para garantizar la seguridad del paciente ante los riesgos eléctricos.

En el tercer capítulo se detallan los riesgos existentes, las protecciones y las medidas de seguridad eléctrica que se deben considerar para evitar cualquier accidente a causa de los equipos electrónico-médicos.

En el cuarto y último capítulo se establecen las normativas y regulaciones sobre las instalaciones y los equipos, con el fin de asegurar el bienestar de los pacientes y, evitar al máximo los accidentes eléctricos, que es la parte principal de la investigación.

CAPÍTULO 1

ENFOQUE DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES

1.1 Enfoque del Problema

Uno de los principales problemas que aparecieron en los inicios de la atención médica fue la seguridad del paciente. Los primeros centros de salud que existieron, se enfocaron en buscar el método más efectivo para solucionar el problema de salud que tenían en sus manos, sin darle tanta importancia a la seguridad que se debía tomar con el paciente, para minimizar los efectos de la atención médica, como son el dolor, el miedo, o los riesgos debidos al uso de instrumentos que pudieran ocasionar algún daño al paciente. Así mismo, las prácticas médicas no siempre gozaban de los mayores cuidados en cuanto a la higiene, lo que también ocasionó daños colaterales en el tratamiento

médico y, junto con los demás efectos descritos anteriormente pudieron ser la causa de la aparición de otras complicaciones en la salud del paciente, empeorando su condición y causando en muchos casos su muerte.

Es interesante también considerar que la falta de tecnología y de investigación sobre salud, cuerpo humano y procedimientos médicos, pudieron ser en gran parte el origen de estos inconvenientes que, en muchas ocasiones, fueron atribuidos a otras causas, como problemas de salud que aparecieron en el paciente.

Con la evolución de la tecnología y la investigación, empezó a aparecer información sobre reglamentación, procedimientos y normas sobre la salud, así como las prácticas médicas y el cuidado de los pacientes, que marcaron el camino que ha ido avanzando hasta la actualidad, donde los procedimientos y los cuidados han evolucionado a su punto máximo y continúan haciéndolo.

A pesar de esta evolución, en sociedades del tercer mundo, muchos de los procedimientos y cuidados están estancados en el ayer y siguen siendo causales de enfermedad, discapacidad y fallecimiento de pacientes, aún cuando la enfermedad o problema de salud no sea grave. Una de estas sociedades es la nuestra.

A pesar del avance tecnológico y científico de la medicina en nuestro país, de la gran cantidad de personal médico capacitado y de la inversión y apoyo del gobierno nacional, todavía se detectan problemas de malas prácticas en el ámbito hospitalario y de las falencias en las instalaciones que atentan contra la salud del paciente.

Uno de los mayores riesgos es el de la falta de prevención en los accidentes relacionados con la electricidad, ya que actualmente gran parte de los procedimientos médicos se realizan con equipamiento eléctrico y, a pesar de esto, las instalaciones eléctricas de los hospitales o el mismo equipamiento médico presenta problemas.

Buscando una forma de solucionar esta problemática, en este trabajo se ha pensado plantear una solución mediante el establecimiento de normas o reglas, que permitan prevenir y evitar estos inconvenientes y, mediante este trabajo, aportar al desarrollo de nuestra sociedad.

Se procede a definir entonces los objetivos de esta investigación:

- Establecer normas que garanticen la seguridad eléctrica de las personas, ya sea previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Estas prescripciones parten de la premisa de que se cumplan los requisitos civiles, mecánicos y de fabricación de equipos.

- Protección de la vida y los equipos que se usan en las áreas médicas.
- Proporcionar la suficiente seguridad del servicio de electricidad, en la generación, transmisión, distribución y utilización para garantizar la salud del paciente.
- Fijar las condiciones para evitar accidentes por contactos eléctricos directos e indirectos.
- Establecer las condiciones para evitar daños debidos a sobrecorrientes y sobre-tensiones.
- Minimizar las deficiencias en las instalaciones eléctricas.
- Establecer claramente los requisitos y responsabilidades que deben cumplir los diseñadores, constructores, operadores, propietarios y usuarios de instalaciones eléctricas, además de los fabricantes, distribuidores o importadores de materiales o equipos.
- Unificar las características esenciales de seguridad de productos eléctricos de más utilización, para asegurar mayor confiabilidad en su funcionamiento.
- Prevenir los actos que pueden inducir a error a los usuarios, tales como la utilización o difusión de indicaciones incorrectas o falsas, o la omisión de datos verdaderos que no cumplen las exigencias del presente Reglamento.

1.2 Breve Reseña histórica acerca de la seguridad del paciente

La preocupación de todos los implicados en el mundo sanitario por ofrecer una asistencia segura nace con la misma práctica sanitaria. Esta preocupación se mantuvo en un segundo plano hasta bien entrado el siglo XX, ya que la calidad de la atención sanitaria se focalizaba sobre todo en conseguir resultados, sin darle demasiada importancia a los riesgos.

Durante los años veinte y treinta, el número de incendios y explosiones en las salas de operaciones creció a una velocidad alarmante. Las causas cayeron en dos categorías:

- La electricidad producida por el hombre,
- La electricidad estática (75% de los incidentes registrados).

En 1949, los expertos empezaron a estudiar estas condiciones para establecer una norma de seguridad. Las primeras normas fueron adaptadas en 1947. La NFPA (Nacional Fire Protection Association) del Canadá reunió un comité para revisar las normas. En 1949, este comité publicó una nueva norma la NFPA No 56, que es la base de las normas actuales que rigen en EEUU y Canadá.

El Nacional Electric Code (NEC) de 1959 estableció la necesidad de crear sistemas de distribución aislados, no aterrizados en áreas donde se usaban combustibles gaseosos. El mismo año, el NEC incorporó las

normas NFPA. En 1982, la NFPA No 56A se incluyó en una nueva norma, la NFPA No 99 – Instalaciones para Cuidados de la Salud.

Uno de los efectos más comunes sobre los pacientes, causados por problemas eléctricos, son las quemaduras; en función de la intensidad de corriente que las genere, dependerá su gravedad. Se estima que del 3 al 4 % de las admisiones en centros para quemados en los Estados Unidos son lesionados a causa del contacto con la corriente eléctrica y cerca de mil personas mueren cada año por este motivo.

En un estudio epidemiológico realizado en Francia, se señala una incidencia de las quemaduras eléctricas de 6,9 a un 7 % del total de pacientes atendidos en centros especializados en el tratamiento del quemado, mientras que en España esta cifra oscila entre 3 y 8 %.

El creciente uso de equipos de diagnóstico y tratamiento electrónico, ha ocasionado el uso de sistemas no aterrizados aislados en las nuevas áreas de los hospitales. Los sistemas aislados son ahora usados comúnmente para la protección de choques eléctricos en muchas áreas, dentro de las que se encuentran:

- Unidades de cuidados intensivos (UCI)
- Unidades de cuidados de coronarias (UCC)
- Departamentos de emergencias
- Salas de procedimientos especiales
- Laboratorios cardiovasculares

- Unidades de diálisis

1.3 Normativa existente usada como referencia

Para esta investigación se ha tomado como referencia códigos y normas vigentes existentes a nivel mundial, aplicadas en diversos países y creadas también para el uso interno de un país determinado, así por ejemplo:

- ✓ JCAHO – EEUU
- ✓ RBT – Reglamento de Baja Tensión - España
- ✓ ITC – Instrucciones Técnicas Complementarias - España
- ✓ CEI – Comisión Electrotécnica Internacional
- ✓ CNE – Código Nacional Eléctrico de la República de Perú
- ✓ AEA – Asociación Eléctrica Argentina – República de Argentina
- ✓ NFPA – National Fire Protection Association Standards for ANSI -
EEUU
- ✓ UNE – Unión Española de Normalización - España
- ✓ RETIE – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –
Republica de Colombia

De todas estas normativas y códigos existentes, esta investigación ha procurado extraer las ideas más importantes y adaptarlas a la realidad nacional, para su aplicación.

CAPÍTULO 2

INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LOS HOSPITALES

2.1 Generalidades

Las instalaciones eléctricas hospitalarias son tan especiales que, siempre se debe garantizar la calidad de la potencia y la continuidad del servicio. Los equipos de algunas áreas deben cumplir requisitos muy particulares, por lo que siempre deben estar certificados para ese uso especial.

Para garantizar la continuidad del fluido eléctrico en las instalaciones hospitalarias, se deben instalar circuitos de suplencia y tener un sistema de generación de respaldo. En cualquier desastre natural o provocado,

siempre debe procurarse que los centros hospitalarios cuenten con energía eléctrica.

El desarrollo tecnológico, ha dado lugar a la aparición de una gran cantidad de equipos electrónico-médicos que se aplican al paciente para terapia, monitorización o diagnóstico. Esto permite mejores tratamientos, pero también implica para el paciente, un aumento del riesgo de accidente por descarga eléctrica, lo cual es especialmente peligroso cuando se trata de procesos de tipo invasivo, ya que las corrientes eléctricas, aunque sean de pequeña magnitud, pueden tener consecuencias fatales para el paciente.

Si a esto, unimos la evidente necesidad de asegurar al máximo la continuidad del suministro eléctrico y teniendo en cuenta, de manera especial, que en estas situaciones el paciente no tiene conciencia, dependiendo de unas máquinas que le controlan o mantienen, resulta que las instalaciones y los equipos eléctricos de un hospital deben cumplir estrictas exigencias técnicas.

Por lo tanto, el problema que se plantea es el de garantizar la seguridad eléctrica en aquellas áreas de uso médico que lo precisen y con el objeto de:

- Limitar las corrientes de fuga, desde el punto de vista de la conectividad entre el paciente y el instrumento.

- Evitar interrupciones de suministro eléctrico innecesarias; es decir, garantizar la continuidad del suministro eléctrico, desde el punto de vista de la dependencia del paciente frente al instrumento y de su estado de conciencia.

2.2 Definiciones

Puesto de anestesia: es toda área en un local de servicios de salud, donde en forma rutinaria se induce y aplica anestesia general, en el curso de exámenes y tratamiento de pacientes.

Parte aplicada: significa la parte o partes de un equipo eléctrico o electrónico, incluidos los conductores, que se ponen intencionalmente, en contacto con el paciente a ser tratado o examinado.

Área de cuidado básico: área de atención de pacientes, donde no es frecuente ni usual el contacto entre el cuerpo del paciente y el equipo eléctrico, empleado en medicina.

Contacto con el cuerpo: significa un contacto intencional con la superficie de la piel o internamente, pero no con el corazón.

Contacto cardíaco: significa un contacto intencional, directo con el corazón, por medio de procedimientos invasivos.

Contacto casual: significa un contacto por acción voluntaria, con un dispositivo que no tiene partes aplicadas y no es empleado con el propósito de conectarlo al paciente.

Área de cuidados intensivos: área en una sala de anestesia, o en la cual es frecuente o normal el contacto cardíaco, entre el paciente y el equipo eléctrico empleado en medicina.

Sistema de energía de emergencia: significa un sistema de energía, alimentado desde una fuente de emergencia, conectado para alimentar, a su vez, a un sistema eléctrico esencial.

Suministro de emergencia: significa un sistema de uno o más generadores eléctricos, instalados localmente, con el propósito de que estén disponibles en caso de falla de cualquier otro suministro y capaz de alimentar todas las cargas esenciales.

Sistema eléctrico esencial: significa un sistema eléctrico, capaz de restaurar y sostener el suministro de energía eléctrica a cargas específicas, en el evento de pérdida del suministro normal de energía.

Índice de peligro: para un conjunto dado de condiciones en un sistema de energía aislado, significa la corriente, en mA, consistente en fugas resistivas o capacitivas y corrientes de falla, que podrían circular a través de una baja impedancia, si ésta fuese conectada entre un conductor aislado y tierra.

Hospital: es la institución, que recibe y atiende pacientes, sobre la base de una necesidad médica, y que brinda atención médica continua y servicios terapéuticos y de diagnóstico.

Tipo de práctica clínica: diagnóstica, de monitorización y terapéutica.

Conectividad: tipo de conexión del equipo electrónico médico con el paciente (no invasivo, mínimamente invasivo, o invasivo).

Siente/Responde: grado de percepción y de respuesta (analgesia, anestesia sin relajación muscular o anestesia con relajación muscular) del paciente ante un estímulo eléctrico.

Área de cuidados intermedios: área de atención, donde es frecuente o normal el contacto entre los pacientes y el equipo eléctrico empleado en medicina.

Sistema aislado de tierra: significa un sistema eléctrico de distribución, en el cual ningún conductor está conectado directamente a tierra.

Monitor de aislamiento de tierra de línea: dispositivo que mide y muestra en pantalla, el índice total de peligro de un sistema eléctrico aislado, y advierte cuando el índice alcanza un límite pre-ajustado.

Suministro normal: el suministro eléctrico principal a un edificio, o a un complejo de edificios, y puede consistir, en una o más acometidas capaces de alimentar todas las cargas del edificio, o complejo de edificios.

Paciente: significa una persona bajo investigación o tratamiento médico.

2.3 Instalaciones Eléctricas hospitalarias

La configuración y distribución del suministro eléctrico en hospitales, ha sufrido importantes cambios en los últimos años, debido en gran parte a las nuevas tecnologías de equipos electrónico-médicos, unidos a la mayor implantación de sistemas de soporte, como la climatización, las comunicaciones y la aplicación de nuevas normativas.

El resultado, es que el suministro eléctrico en estos centros se ha convertido en una pieza fundamental para el desarrollo de la mayoría de sus actividades; por consiguiente, la implantación de una correcta infraestructura de la instalación de electricidad, condiciona las actividades que se puedan realizar en estos centros.

Existen diferentes factores que influyen en la definición de la infraestructura eléctrica, como pueden ser la disponibilidad de suministros o las necesidades y experiencia, transmitida por el cliente; pero se dan otros factores técnicos, que condicionan el desarrollo del proyecto de esta infraestructura:

- Todo centro hospitalario está sujeto, por ser un edificio de pública concurrencia, a la implantación de un suministro eléctrico normal y otro complementario.
- Debido al uso de estos edificios, las cargas eléctricas que se pueden considerar preferentes (servicios críticos que necesitan continuidad de suministro) y, por tanto, alimentados desde el suministro complementario, son normalmente superiores al 50 % del total, lo que influye en la elección del esquema de líneas eléctricas de distribución.
- Otro factor determinante en la definición de la infraestructura, es el propio tamaño del centro hospitalario, ya que la ubicación de los consumos eléctricos en un edificio o en varios, determinará las posibles soluciones de distribución de la energía eléctrica, tanto en media como en baja tensión.
- Además de los suministros normal y complementario, existen necesidades de uso y reglamentación, que hacen necesario un tercer sistema que garantice el suministro en un tiempo inferior a 0,5 seg. Es el caso de los sistemas de alimentación ininterrumpida (U.P.S.).

2.4 Suministro de energía eléctrica de un hospital

En la actualidad, los sistemas eléctricos en los hospitales se están convirtiendo cada vez más exigentes, más complejos y más críticos, esto es debido, en parte, a las grandes cargas requeridas y al incremento del empleo de equipos médicos especializados, para diagnósticos, tratamientos y cuidados de los pacientes.

El diseño de sistemas eléctricos para un hospital, no solo debe considerar la distribución normal de la energía, sino también los problemas que surgen en este tipo de instalaciones. El diseño eléctrico de un hospital requiere de una planificación muy cuidadosa, debiéndose considerar no solo las necesidades del presente sino que se deberá considerar una posible y siempre necesaria expansión futura, a corto y largo plazo. Las estadísticas, indican un enorme crecimiento en los sistemas eléctricos destinados al cuidado de la salud de un gran número de pacientes.

Dentro de la planificación de las instalaciones para hospitales, tienen gran importancia los puntos de vista y opiniones del cuerpo médico y, ellos deberán ser consultados durante los estudios preliminares, para la adecuada planificación de la instalación de los diferentes circuitos de comunicación y señalización, principalmente entre departamentos.

2.4.1 Fuentes de Energía

Los sistemas eléctricos esenciales, deben tener al menos dos fuentes independientes de alimentación: una fuente normal, que alimente generalmente todo el hospital y una fuente de emergencia, para uso cuando el servicio normal está interrumpido.

La fuente de alimentación de emergencia, estará formada por uno o varios grupos generadores, accionados por cualquier medio de arranque.

Las características eléctricas de los grupos generadores, deben ser adecuadas para el funcionamiento de todo el alumbrado y de los equipos que deben ser alimentados.

2.5 Sistemas Eléctricos de Emergencia

Los sistemas eléctricos de emergencia, serán obligatorios en los hospitales y clínicas de hospitalización. El sistema de emergencia, consiste de dos partes: el sistema de emergencia en sí y el sistema de equipos. Estos sistemas, deben ser capaces de alimentar un número limitado de los servicios de alumbrado y fuerza, que se consideran esenciales para la protección de la vida y el funcionamiento efectivo de las instalaciones, durante los tiempos de interrupción del servicio eléctrico normal.

2.5.1 Ramales de Emergencia

El sistema de emergencia, puede estar compuesto de tres partes: el ramal de protección de la vida, el ramal crítico y el ramal de defensa de la vida. Estos ramales, deben estar limitados a los circuitos de emergencia, para el desenvolvimiento de las funciones específicas.

Los alimentadores del sistema de emergencia, deben estar físicamente separados del cableado normal y estar protegidos de manera tal, que se reduzcan las posibilidades de interrupción simultánea.

El ramal de protección de la vida, el ramal de defensa de la vida y el ramal crítico de un sistema de emergencia, se tenderán en tubería metálica empotrada.

Ramal de Protección de la Vida: Este ramal, alimentara los aparatos de alumbrado, los tomacorrientes y otros equipos que están relacionados con la protección de la vida, como se indica a continuación:

- Alumbrado de los medios de escape, tales como el alumbrado requerido para corredores, escaleras y accesos a puertas de salida y de las vías necesarias para llegar a las salidas.
- Señales de salida y signos direccionales
- Sistemas de alarma, que incluye: alarmas de incendio ocasionadas en estaciones manuales, dispositivos de alarma

eléctrica de circulación de agua relacionada con el sistema de regaderas y dispositivos automáticos de detención de incendio, humo o productos de combustión.

- Alarmas requeridas por los sistemas usados para el bombeo de gases medicinales no inflamables.
- Sistemas de comunicaciones en hospitales, cuando estos se usan para transmitir instrucciones durante condiciones de emergencia, incluyendo la alimentación necesaria para el sistema local del teléfono.
- Lugar donde está ubicado el grupo generador, incluyendo el alumbrado de trabajo y los tomacorrientes seleccionados.

Ramal Crítico: Este ramal, alimentara solamente las áreas y las funciones que se indican a continuación, relacionadas con el tratamiento de los pacientes:

- Transformadores de aislamiento, que alimenten lugares de anestesia.
- El alumbrado de trabajo y los tomacorrientes seleccionados en: guarderías, lugares de preparación de medicinas, cuidados para recién nacidos, siquiatria, estaciones de enfermeras, salas quirúrgicas y obstétricas.

Ramal de Defensa de la Vida: Este ramal, servirá solamente a los sistemas de potencia, en áreas de pacientes eléctricamente susceptibles y serán ubicados en las áreas indicadas a continuación:

- Laboratorios de cateterismo, unidades de tratamientos de las coronarias, cuartos de partos, unidades para diálisis, cuartos de tratamiento de emergencia, laboratorio de fisiología humana, unidades de terapia intensiva, salas de operación, salas de recuperación post-operatoria.
- Los sistemas de potencia en los lugares indicados anteriormente pueden alimentarse por un sistema de continuidad absoluta.

2.6 Conexión y Desconexión

Protección contra sobre Corrientes

Se diseñaran los sistemas de emergencia, de manera que cuando ocurra una falla en el servicio normal de energía, los tableros de distribución del sistema de emergencia y los interruptores automáticos o manuales con retraso conectados al sistema de equipos, pasen a ser alimentados por la fuente de emergencia.

Los equipos automáticos de interrupción, deberán estar aprobados para servicio de emergencia y estarán diseñados e instalados con los enclavamientos necesarios para impedir la interconexión de la fuente

normal y de reemplazo, durante cualquier accionamiento de los equipos automáticos de interrupción.

El ramal de protección de la vida, el ramal de defensa crítico y el sistema de equipos, estarán protegidos por dispositivos de sobre corriente, de manera que la interrupción de servicio en otros sistemas, debido a una falla interna, no interrumpa la alimentación a otros ramales o sistemas.

2.7 Cableado eléctrico en áreas peligrosas

Los cordones flexibles que sean utilizados en áreas peligrosas, para la conexión de equipos portátiles, incluyendo las lámparas, serán de un tipo aprobado para trabajo extra pesado, de longitud amplia e incluirán un conductor adicional de puesta a tierra. Los equipos o lámparas portátiles tendrán un dispositivo para almacenar el cordón flexible.

Los tomacorrientes y los enchufes de locales de anestesia en áreas peligrosas, serán de un tipo aprobado para tales locales, que son considerados como peligrosos. Su instalación y protección, deberá ser de acuerdo a las normas de instalaciones eléctricas en locales peligrosos.

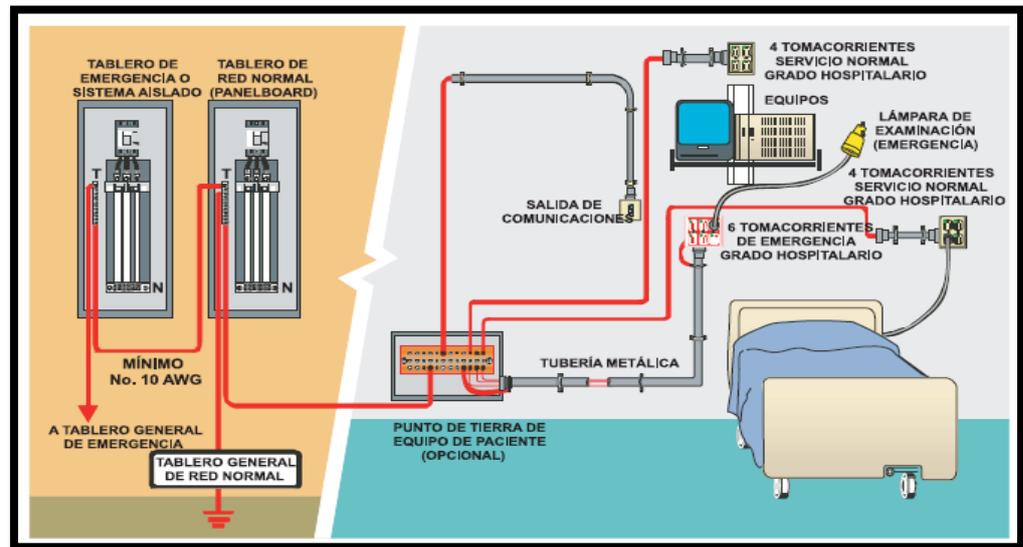


Figura 2.1.- Esquema de instalación eléctrica en salas de uso médico.

(Obtenido de: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE))

2.8 Puestas a tierra

Toda instalación eléctrica, debe disponer de un sistema de puesta a tierra, que lleve a tierra las corrientes de falla o las de descargas originadas por sobretensiones, por rayos o maniobras; su principal objetivo, es evitar las sobre tensiones, peligrosas, tanto para la salud de las personas, como para el funcionamiento de los equipos.

2.8.1 Elementos del sistema de puesta a tierra

El electrodo de puesta a tierra: lleva la corriente eléctrica a tierra, puede ser una varilla, tubo, fleje, cable o placa y debe ser de cobre,

acero inoxidable o acero recubierto con cobre, o acero galvanizado en caliente. El electrodo, debe estar certificado para cumplir esa función, por lo menos durante 15 años. Si es una varilla o tubo debe tener no menos de 2,4 m de longitud. Al instalarlo se deben atender las recomendaciones del fabricante y dejarlo completamente enterrado.

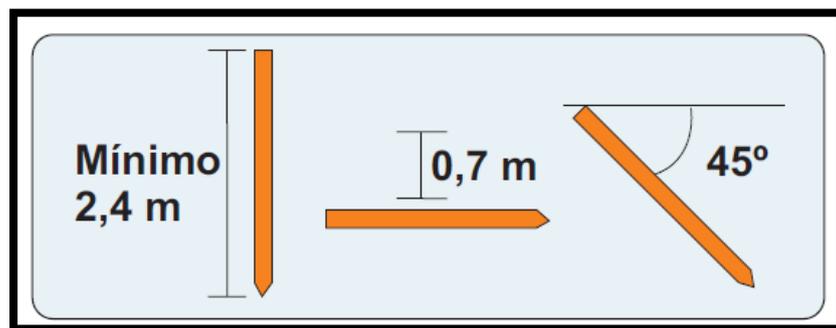


Figura 2.2.- Formas de instalación del electrodo de puesta a tierra.
(Obtenido de: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE))

Conductor del electrodo de puesta a tierra: debe ser calculado para soportar la corriente de falla a tierra durante el tiempo de despeje de la falla. No debe ser de aluminio.

Conductor de puesta a tierra de los equipos: debe ser continuo, sin interrupciones o medios de desconexión, si se empalma, deben utilizarse técnicas plenamente aceptadas para esto. Debe acompañar los conductores activos durante todo el recorrido, si es aislado debe ser

de color verde con rayas amarillas o marcas verdes en los puntos visibles.

2.8.2 Puesta a tierra de protección y conexión de equi-potencialidad

El sistema IT, tendrá una toma de tierra, de entrada al cuadro eléctrico o panel de aislamiento, con una sección 16 mm^2 , procedente de una regleta general de distribución y unida con la tierra de centro de transformación, mediante un cable de 35 mm^2 de sección.

Para una mejor distribución de las tierras radiales de protección (TRP) y de las tierras radiales de equi-potencialidad (TRE), se instalará, dentro de la sala de uso médico IT, un cuadro distribuidor.

A dicho cuadro, llegará la toma de tierra principal del sistema IT, de sección 16 mm^2 . El cuadro distribuidor contendrá dos barras de cobre, una para las TP denominado embarrado de puesta a tierra (PT) y otra para las TE denominado embarrado de equi-potencialidad (EE). Ambos embarrados, se unirán a través de un cable de tierra de sección 16 mm^2 .

Las TRP, son las tomas de tierra asociadas a las tomas de corriente de los circuitos que pasan y de los circuitos que no pasan por el transformador de aislamiento (por ejemplo, tomas de rayos X, etc.) Esta

TRP, será: individual, radial, de sección 4 mm^2 y su resistencia, entre la TRP y el PT, será $200 \text{ (m}\Omega\text{)}$.

Las TRE, son la toma de tierra asociadas a las superficies 200 cm^2 eléctricamente conductoras. Tales como, puertas, rejillas del sistema de climatización, guillotinas, tomas de gases medicinales, lámpara quirúrgica, mesa quirúrgica, suelo conductor (anti electroestático), etc.

Esta TRE, será: individual, radial, de sección 6 mm^2 , su resistencia, entre la TRE y el EE, será $100 \text{ m}\Omega$ y su diferencia de potencial eficaz, entre la TRE y el EE, será 10 mVAC .

2.8.3 Detección de la interrupción de la toma a tierra y de las barras de equi-pontencialidad:

En el caso de que se interrumpiera la toma de tierra o una de las conexiones entre las barras, el detector de aislamiento permanente dejaría de vigilar el aislamiento de la zona implicada, sin que percibamos el problema.



Figura 2.3.- Panel de detección de interrupción de la toma a tierra.

(Obtenido de:
www.premierinc.com/safety/topics/patientsafety/index3.jsp)

Para ello, el detector de aislamiento permanente, debe disponer de una salida de detección de la continuidad de la tierra y que se debe conectar al extremo de la última barra, con un cable 1,5 mm².

2.9 Medidas de protección

2.9.1 El transformador de aislamiento

El transformador más aconsejable para utilizar en cualquier instalación de usos médicos, es un transformador trifásico de primario en estrella y secundario en triángulo, porque evita cargar el neutro de la instalación y contribuye al mejor reparto de cargas. Al usar transformadores monofásicos, se carga el neutro y una sola fase, con lo que si hubiera no simultaneidad de uso entre las diversas salas médicas, se desequilibraría excesivamente la instalación general.

Uno de los problemas a evitar, es que un cortocircuito del secundario provoque el disparo de la protección del primario, para ello el transformador y las protecciones, deben de cumplir las siguientes condiciones:

- La tensión de cortocircuito del transformador, debe de ser no menor del 6% de la tensión nominal.
- La protección del primario, debe de ser ajustada a la potencia del transformador, como por ejemplo:
 - ✓ Para 7,5 KVA III 400 VCA protección de 15 A.
 - ✓ Para 7,5 KVA II 230 VCA protección de 40 A.
 - ✓ Para 5 KVA III 400 VCA protección de 10 A.

- ✓ Para 2 KVA II 230 VCA protección de 7,5 A.

Hay que realizar una correcta elección de las curvas de disparo de las protecciones del secundario y primario, para garantizar la selectividad requerida por la norma.

2.9.2 Tomas de corriente en un sistema IT

Los grupos que engloben varias tomas de corriente, pertenecerán a circuitos eléctricos distintos. Cada circuito eléctrico acogerá, como máximo, seis tomas de corriente de distintos grupos.

Cuando en el mismo local de uso médico, existan circuitos que se alimentan por otros sistemas (TN-S o TT), las tomas de corriente conectadas al sistema IT deben no ser compatibles con las clavijas de otros sistemas, o estar clara y permanentemente diferenciadas.

2.9.3 Protección contra sobre-intensidades

La distribución del sistema IT en diferentes circuitos secundarios se deberá realizar de forma que, ante sobre-intensidad en uno de ellos, actúe únicamente la protección de dicho circuito y no la del primario. A esto se denomina, selectividad de los circuitos.

La protección del primario, debe de ser adecuada a la potencia del transformador de aislamiento y en ningún caso lograr la selectividad aumentando la intensidad de protección del mismo.

2.10 Suministros complementarios

El RTB, obliga igualmente a disponer de un suministro especial complementario, para la lámpara de quirófano o sala de intervención y para los equipos de asistencia vital, durante un tiempo mínimo de 2 horas, debiendo entrar automáticamente en servicio en menos de 0,5 seg.

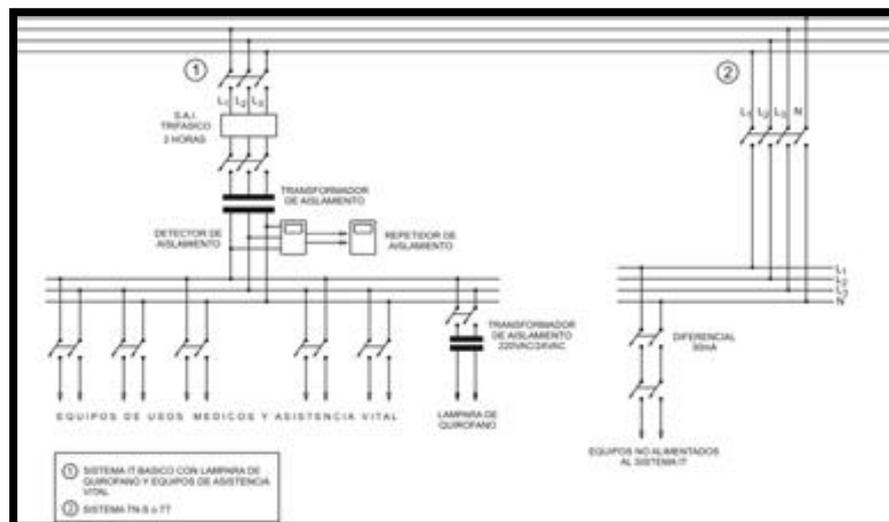


Figura 2.4.- Esquema de sistema IT con un UPS de 2 horas para lámpara de quirófano, equipos de asistencia vital y el resto del quirófano.

(Obtenido de:

www.premierinc.com/safety/topics/patientsafety/index3.jsp)

Igualmente, la lámpara de quirófano o sala de intervención siempre estará alimentada por un transformador de aislamiento.

Es importante destacar, que únicamente se pueden instalar equipos tipo UPS en el secundario de un sistema IT. Si se instala el UPS en el primario de este sistema IT, hay que garantizar que el consumo del

resto de equipos instalados en la sala de usos médicos no reduzcan las 2 horas de garantía del suministro de la lámpara y de los equipos de asistencia vital.

Para la lámpara de quirófano o sala de intervención, se podría instalar una fuente de alimentación compuesta de un transformador de aislamiento 220 VAC a 24 VAC y un sistema de baterías de 24 VDC.

2.11 Área de Pacientes

Los servicios de salud se dividen en tres grupos:

Servicios Primarios: Involucran la atención médica básica que no necesita hospitalización:

- Consulta Externa
- Enfermería
- Emergencia
- Consultorios Médicos

Servicios Secundarios: Implica los servicios primarios más hospitalización y cirugía.

Servicios Terciarios: Es la unión de los dos anteriores, más atención especializada en un área en particular (quemaduras, trasplantes, etc.).

2.12 Clasificación de los locales de uso médico

De manera similar, se clasifican los locales de uso médico en tres grupos:

Grupo 0: locales de uso médico, en los que es susceptible de ser utilizadas ninguna parte aplicada de los equipos electrónico-médicos unidos a la alimentación general.

Grupo 1: locales de uso médico, en los que son susceptibles de ser utilizadas partes aplicadas de los equipos electrónico-médicos unidos a la alimentación general: partes aplicadas exteriores; o partes aplicadas a los fluidos corporales pero no al corazón.

Grupo 2: locales de uso médico, en los que son susceptibles de ser utilizadas partes aplicadas de los equipos electrónico-médicos unidos a la alimentación general, aplicadas al o en el corazón por procedimientos intracardiácos.

La clasificación de los locales de uso médico está ligada al tipo de contacto entre una parte aplicada y el paciente. Esta clasificación debe ser realizada, de acuerdo con el cuerpo médico, por ejemplo:

- Quirófanos
- Ante quirófanos
- Sala de catéteres cardíacos

- Sala de cuidados intensivos

Pues bien, se establece que los locales de uso médico de este grupo, deben equiparse con un sistema IT. Pero hay que tener presente que el reglamento, aunque es menos concreto, es más amplio en el campo de aplicación de un sistema IT, por lo que esta clasificación es meramente orientativa.

El dispositivo de vigilancia del aislamiento, debe de cumplir con que la indicación (alarma) debe tener lugar, si está interrumpida la tierra o el cable de conexión.

Además, los circuitos de tomas de corriente del sistema IT en los locales de uso médico:

- En cada punto donde tenga lugar el tratamiento de un paciente, por ejemplo, la cabecera de una cama, se instalarán al menos dos tomas de corriente, alimentadas por circuitos diferentes.
- Cuando en el mismo local de uso médico los circuitos se alimentan por otros sistemas (TN-S o TT), los tomacorrientes conectados al sistema IT, deben no ser compatibles con las clavijas (enchufes) de otros sistemas o, estar clara y permanentemente marcadas.

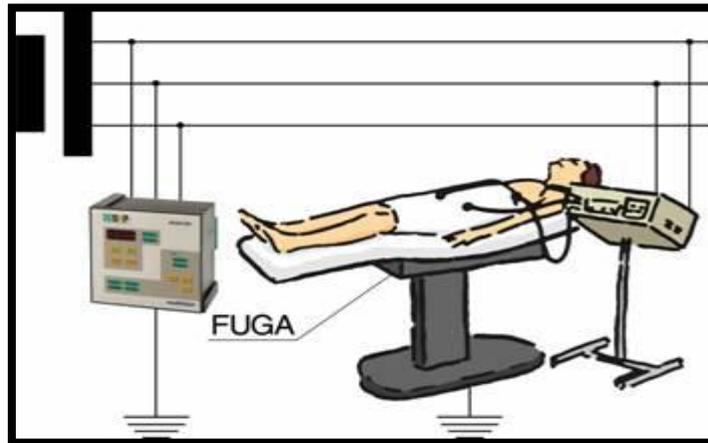


Figura 2.5.- Esquema de conexión de los equipos electrónicos de uso médico con la red eléctrica

(Obtenido de:

www.premierinc.com/safety/topics/patientsafety/index3.jsp)

2.13 Áreas de uso médico donde pudiera ser necesaria la instalación de un sistema IT

Sala de Reanimación: El paciente después de la intervención, en estado de semiinconsciencia o inconsciencia, está conectado a unas máquinas que supervisan su estado vital. No está en una sala de intervención, aunque se pudiera proceder a alguna cura, pero si se emplea un sistema TT o TN con diferenciales de alta sensibilidad, se presentaría una situación de alto riesgo para el paciente. Si actuara el citado diferencial, quedarían sin suministro eléctrico todos los equipos electrónicos que están controlando o manteniendo al paciente. El

mismo caso son las UCI, UVI, la sala de anestesia, la salas de Neonatos, etc.

Salas de tratamiento: Hay salas, en las que al paciente se le conectan una serie de equipos electrónico-médicos que son invasivos o se comunican con sus fluidos, como las salas de hemodiálisis. Es cierto que no se está realizando una intervención, pero la fuga eléctrica puede producirse e internamente afectar a órganos vitales. Además, el nuevo RBT, establece que los receptores invasivos eléctricamente deben conectarse a la red a través de un transformador de aislamiento.



Figura 2.6.- Sala de tratamiento de diálisis

(Obtenido de:

www.premierinc.com/safety/topics/patientsafety/index3.jsp)

Salas de endoscopias: Son salas en las que inicialmente está previsto que, mediante la introducción de elementos en el cuerpo del paciente,

se analicé el estado de éste. La realidad, es que en muchos casos se aprovechan estas salas para hacer extracciones de tejidos o intervenciones, por lo que aunque no tengan categoría de quirófano pasan a ser salas de intervención. Por ejemplo, salas de gastroscopia, broncoscopia, endoscopia, etc.

Salas de Urgencias: Son salas en las que teóricamente no se realizan intervenciones, pero sus usos pueden ser muy diversos: curas, diagnósticos, tratamientos y algunas intervenciones. En función de los procesos médicos que realmente se realicen y de los equipos electrónico-médicos empleados, pueden precisar un sistema IT.

Clínicas o Centros de estética: Está claro que las intervenciones de estética deben realizarse en salas tipo quirófano, pues aunque no se produzcan intervenciones ínter cardíacas, se pone equipos eléctricos en contacto con el cuerpo del paciente sin la protección de la piel. Pero además, hay otros tratamientos como las liposucciones, que son invasivos eléctricamente y muchas veces no se realizan en la sala de intervención.

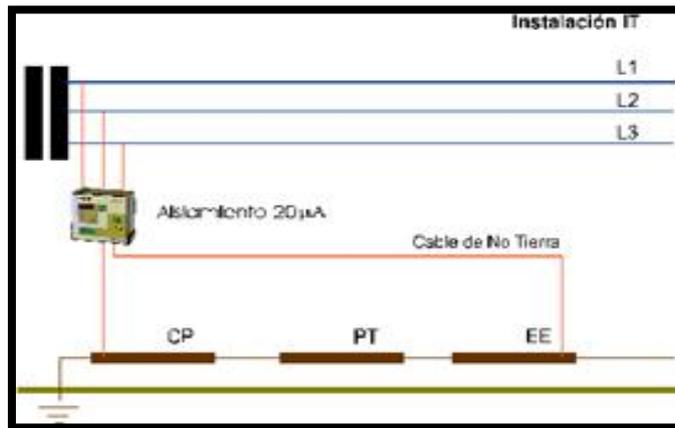


Figura 2.7.- Instalación IT

(Obtenido de: http://www.elektro.it/neutro/neutro_07.html)

Además, en muchas ocasiones, por cuestiones económicas, se instala un solo sistema IT para cada 2 o 3 camas de UCI o UVI. Esta solución puede presentar una serie de problemas o inconvenientes que hay que valorar, como el hecho de no poder distinguir en qué cama se ha producido el defecto y que al mantener o reparar esta instalación IT se dejan fuera de servicio 2 o 3 camas a la vez.

No solo la instalación IT tiene que cumplir los requisitos, sino todos los equipos que se emplean dentro de una red IT. Estos equipos tienen que cumplir todas las normas necesarias para garantizar la ausencia de situaciones de peligro. Ahora bien, el tener una red IT no garantiza un aislamiento máximo, sino que éste depende de todos los elementos que están conectados a la instalación. Para garantizar este aislamiento, así como la seguridad eléctrica y la compatibilidad electromagnética, se han

creado normas en algunos países como los EEUU y la Comunidad Europea (CE).

Es importante también, efectuar algún comentario respecto a la Lámpara de Quirófano. Se pueden adoptar varias soluciones, pero presentan una serie de conflictos con la normativa actual. Se analizarán las tres más usuales:

- Transformador de 220 VAC a 24 VAC para alimentar la lámpara de quirófano. Según el nuevo RBT, la lámpara de quirófano debe ser alimentada a través de un transformador de aislamiento. Además, se ha de garantizar el suministro de energía un mínimo de 2 horas, para lo cual se incorpora un UPS, que si no cumple las normas de los equipos electrónico-médicos, debería instalarse antes del transformador de aislamiento. Sin embargo, si este UPS se instala en el primario del transformador principal, este elemento deberá soportar también el resto de elementos del quirófano, por lo que en función del consumo de éstos, no se podrá garantizar la alimentación de la lámpara durante las 2 horas requeridas.
- Fuente de alimentación a 24 VCA con baterías a 24 VDC. Mejor solución que la anterior al disponer de baterías exclusivas para garantizar las 2 horas. Pero esta fuente de alimentación, debe incorporar internamente un transformador de aislamiento.

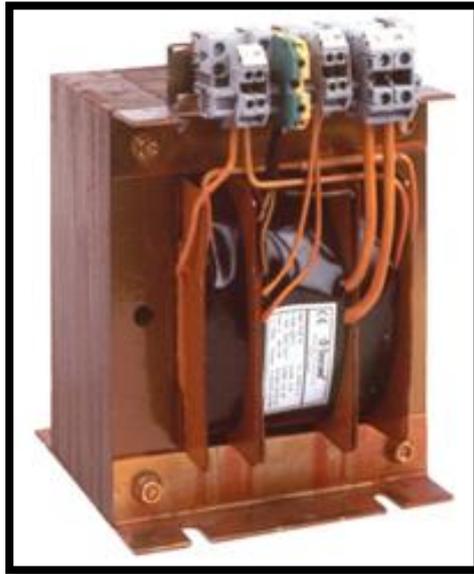


Figura 2.8.- Transformador de Aislamiento

(Obtenido de: <http://www.paginasamarillas.com.pe/b/best-power-electronic-s-338855/transformador-de-aislamiento-trifasico>)

2.14 Campo de aplicación de un sistema IT

En primer lugar, se define el campo de aplicación de un sistema IT en áreas de uso médico, pues es necesaria su presencia, como mínimo, en quirófanos y salas de intervención. Además, hay que tener presente que en la utilización de equipo electrónico-médico, con conexión in-vivo al paciente, obliga a conectarlos a través de un transformador de aislamiento.

Como definición general, se considerará necesario la utilización de un sistema IT con transformador de aislamiento en cualquier sala de usos médicos, en la que una interrupción del suministro o una corriente de

fuga pueda poner en peligro al paciente o al personal implicado, con la excepción de aquellos equipos electrónico-médicos que, dadas sus características, no son alimentados a través de un transformador de aislamiento, como por ejemplo, un sistema de rayos X.

El criterio para poder determinar la obligatoriedad de instalar un sistema IT en una determinada sala de usos médicos, va a ser establecida si se cumplen una de las siguientes premisas:

- Si en la sala correspondiente se anestesia al paciente, con o sin relajación muscular.
- Si en la sala correspondiente se practica terapia con equipos electrónico-médicos invasivos, salvo casos en los que la terapia se practique con bomba de infusión.

A continuación, se muestran ejemplos de salas de usos médicos que requieren de un sistema IT en función de los criterios establecidos. Para la determinación de la necesidad de instalación de este sistema en otras salas distintas se seguirá un razonamiento similar.

- Quirófano.- Procedimientos quirúrgicos.
- Ante quirófano.- Preparación paciente para la realización de procedimientos quirúrgicos.
- Paritorio.- Procedimiento del parto.

- Pre-Parto.- Procedimiento de monitorización de la madre y feto. Susceptible de utilizar agentes anestésicos y equipo invasivo.
- Reanimación Quirúrgica, Despertar post-anestesia.- Procedimientos de recuperación del paciente tras un proceso quirúrgico.
- U.C.I., U.V.I., U.C.I. pediátrica- Procedimientos, de cuidados y de vigilancia intensiva, de monitorización, de diagnóstico y de terapia, tanto adulta como pediátrica.
- Procedimientos Cardiológicos Especiales (Ecografía Transesofágica, Marcapasos, Electrofisiología, etc.).
- Hemodiálisis.- Proceso terapéutico extracorpóreo de depuración sanguínea extra renal.
- Radiodiagnóstico convencional (Convencional, Telemando, Mamó grafo, etc.).- Procesos de diagnóstico por imagen mediante radiaciones ionizantes sin otros procedimientos.
- Radiodiagnóstico no convencional (Angiógrafo, T.A.C., Resonancia Magnética, etc.).- Procesos de diagnóstico por imagen mediante radiaciones ionizantes o campos magnéticos. Es probable la práctica, paralelamente, de otros procedimientos; por ejemplo, terapéuticos.

- Radioterapia (Acelerador, etc.)- Procesos terapéuticos por radiaciones ionizantes. Es probable la práctica, paralelamente, de otros procedimientos; por ejemplo, terapéuticos.
- Endoscopias.- Procesos de diagnóstico por imagen de cavidades internas accediendo, habitualmente, por vía natural. También se practican procesos terapéuticos por electro cirugía, etc.
- Rehabilitación por Hidroterapia.- Procesos hidro-terapéuticos con agua, vapor, arcilla, arena, etc.
- Ecografía convencional.- Diagnóstico por imagen ultrasónica, mediante sondas no invasivas o mínimamente invasivas.
- Hospitalización.
- E.C.G. (Electrocardiografía), E.E.G. (Electroencefalografía), E.M.G. (Electro miografía).

2.15 Dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento por resistencia

El dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento por resistencia (Detector de Aislamiento), es el equipo que se utiliza más comúnmente para medir la resistencia óhmica entre los circuitos de un sistema IT y tierra, activándose la alarma cuando esta resistencia es menor que el valor ajustado.

Además, debemos disponer de un cuadro de alarma del dispositivo de vigilancia del aislamiento en el interior de la sala vigilada (Repetidor de Alarma), fácilmente visible y accesible.

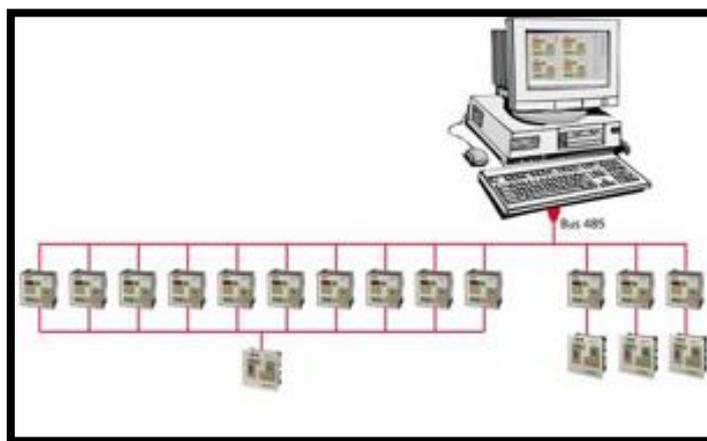


Figura 2.9.- Panel de Monitoreo de dispositivos de vigilancia del nivel de aislamiento

(Obtenido de: <http://www.grupoprevenir.es/normativas/d/itc38.html>)

A continuación, indicamos las características que debería cumplir el Detector de Aislamiento Permanente por resistencia:

- Resistencia interna en corriente alterna de al menos 2.000 k Ω .
- La corriente de primer fallo de toda la instalación, en caso de cortocircuito de un conductor externo a tierra, no debe exceder de 0,5 mA.
- Indicación de alarma si es interrumpida la tierra o el cable de conexión.

- Además esta alarma, visualmente, debe de estar claramente diferenciada de la alarma por falta de aislamiento.
- El valor de disparo de la alarma de falta de aislamiento debe ser ajustable entre 50 k Ω y 500 k Ω .

Hay otras prestaciones adicionales, que aunque no son imprescindibles para garantizar la máxima seguridad de un sistema IT, sí que mejoran o permiten un mayor control y seguridad, por lo que se recomienda su incorporación en el detector de aislamiento y en el repetidor de alarma:

- Debe ser un equipo que brinde las seguridades eléctricas necesarias, al ser un equipo electrónico que está conectado permanentemente a un sistema IT.
- Incorporar en el repetidor de alarma la visualización del nivel de aislamiento y el pulsador de ensayo del detector de aislamiento.
- Control de la comunicación, entre el detector de aislamiento y el repetidor de alarma de la sala vigilada, visualizando en el detector la falta de comunicación.
- Disponer de un sistema para medir la impedancia a tierra de las fases de la instalación (capacidades distribuidas).
- Registro con fecha y hora de todas las alarmas, indicando inicio, fin y cuando se ha detenido el claxon (enterado de la anomalía).

- Registro de las acciones de mantenimiento, como la realización de la prueba del detector mediante el pulsador de ensayo (con fecha y hora).

2.16 Quirófanos

Los quirófanos, también llamados salas de operaciones, son lugares en donde se realizan procedimientos quirúrgicos que necesitan anestesia, y los equipos básicos para realizar una intervención quirúrgica son:

- Máquina de anestesia
- Monitor de signos vitales
- Unidad de electrocirugía o electrocauterio
- Lámpara de operaciones

Existen varios factores que influyen en un procedimiento quirúrgico, tales como la capacidad del personal médico, las condiciones ambientales, el estado del equipo médico, que debiera estar en óptimas condiciones para garantizar la sobrevivencia del paciente.

2.16.1 Equipo médico básico para el quirófano

Unidad de electrocirugía



Figura 2.10.- Unidad de Electrocirugía

(Obtenido de: Manual de Seguridad Eléctrica y Metrológica para equipos médicos, usados en quirófanos de adultos de hospital general San Juan de Dios – Guatemala)

Utilizado en especial en áreas de salas de operaciones, capaz de producir series de ondas electromagnéticas de alta frecuencia, con el fin primordial de:

- Cortar tejido blando del cuerpo humano.
- Coagular o detener sangre a través del tejido, se puede llamar también cauterizar.

Funcionamiento:

Una corriente eléctrica, con una frecuencia de aproximadamente 500kHz es usada para cortar y coagular el tejido. Este proceso implica la aplicación de RF (Radiofrecuencia) la chispa entre una sonda y el tejido. La corriente eléctrica por el tejido se calienta y evapora el agua en la célula, así que la destruye. Es decir que el calor generado por la unidad de electrocirugía es proporcional a la resistencia y el diámetro del tejido. El voltaje sobre el electrodo está entre 1000 - 10,000 V p-p.

Una unidad de electrocirugía, consta de:

- Unidad principal: Generador de alta frecuencia
- Foto-electrodo: Escalpelo que permite el ingreso de la alta frecuencia al cuerpo humano
- Electrodo activo del paciente: aseguramiento de no pérdidas de alta frecuencia, así como su control.

Usos

Cortar: Al aplicar una alta frecuencia eléctrica, el líquido con que se encuentran formadas las células de los tejidos, se calienta tan rápidamente de manera endógena que por la presión de vapor producido en las células, se rompe la membrana de las mismas. Básicamente las células explotan.

Se puede aprovechar este efecto para cortar o separar tejido, produciéndose de esta manera una contracción de los vasos superficiales, tan rápidamente, que la sangre se detiene.

Coagulación: Ahora bien, si el tejido se calienta lentamente, el líquido de las células, tanto interior como exterior se evapora sin destruir las paredes, entonces el tejido se encoje, y sus elementos aptos a coagular se obliteran térmicamente y se consigue cortar la hemorragia, incluso tratándose de vasos más grandes.

Durante el proceso de coagulación, la corriente se encuentra fluyendo y parando repetidamente en un rango de 70 – 80 °C. Además, existen dos técnicas de alta frecuencia que se aplican a los equipos de electrocirugía:

- Técnica monopolar
- Técnica bipolar

Técnica monopolar: Esta técnica, consiste en que la punta del electrodo activo se presenta un efecto térmico muy fuerte por el aumento de la intensidad de la corriente. En el tejido alrededor del sector operativo se puede cortar y coagular. En el tejido más alejado, la intensidad de la corriente es menor, la corriente puede irse del cuerpo sin efecto térmico, como simple energía eléctrica a través del electrodo neutral de gran superficie

Ventajas:

- Se evitan hemorragias
- Se evita la propagación de gérmenes
- Se protege y trata más cuidadoso el tejido

Con respecto a la coagulación en la superficie del corte, depende de la forma del electrodo y del trazado del corte, la profundidad de coagulación depende de la intensidad de la corriente de alta frecuencia.

Técnica Bipolar: Técnica utilizada en Neurocirugía, y con esta únicamente se puede coagular. Se trabaja con un electrodo activo de dos polos (pinzas) estando ambos en contacto con el campo operativo. No se necesita un electrodo neutral, la energía eléctrica se conduce hacia la pinza, en las puntas se produce el efecto térmico y con él se puede coagular.

Parámetros médicos y eléctricos que mide el equipo de electrocirugía.

Los parámetros estándares son:

- Modo bipolar:
Cortar: 50 W
Coagulación: 8 W

- Modo monopolar:

Cortar: 150 W

Coagulación: 40 – 80 W

Estos parámetros, son los valores máximos que se deben aplicar a una persona, ya que de lo contrario pueden suceder grandes daños a los pacientes, tales como:

- Si en el modo monopolar se excede de los 150 W, se corre el riesgo de que en vez de cortar el tejido finamente, se corta de manera desproporcional causando corte muchos más gruesos.
- Si en el modo coagulación se excede de los 80 W, se corre el riesgo de una mayor coagulación a mayor escala del área, tapando de esta manera la irrigación circunvecina.
- Estos mismos fenómenos, aparecen en el modo Bipolar, por eso es que existen parámetros de medición estandarizados.

Monitor de signos vitales



Figura 2.11.- Monitor de Signos Vitales

(Obtenido de: Manual de Seguridad Eléctrica y Metrológica para equipos médicos, usados en quirófanos de adultos de hospital general San Juan de Dios – Guatemala)

Equipo médico clasificado en los de tipo activo de diagnóstico, utilizado en especial en áreas de salas de operaciones, para monitorear los signos vitales de los pacientes, y detectar anomalías en los mismos.

Los signos vitales, constituyen una herramienta valiosa, como indicadores que muestran el estado funcional del paciente.

Los monitores de signos vitales, funcionan con indicadores que reflejan el estado fisiológico de los órganos vitales (corazón, pulmones, entre otros), que expresan de manera inmediata los cambios funcionales que suceden dentro del organismo, los cuatro principales signos vitales son:

- Temperatura del cuerpo
- Pulso y saturación de oxígeno – frecuencia cardíaca
- Frecuencia respiratoria
- Presión sanguínea

Las anteriores son usadas específicamente en monitores de signos vitales de uso en salas de operaciones.

Temperatura “T”: Se define como el balance entre la producción de calor del cuerpo y su pérdida. La temperatura es un factor importante en la hemodinámica, ya que según su valor, se activarán mecanismos para promover la producción de calor (vasoconstricción, aumento del metabolismo) o para promover la pérdida de calor (vasodilatación, hiperventilación y sudoración). El monitoreo de la temperatura es un buen indicador de posibles complicaciones, como una infección.

La temperatura, puede ser medida a través de un monitor de signos vitales de acuerdo a un termistor colocado en la punta de la sonda sensor.

Pulso: Es la medida de la frecuencia cardiaca, y se logra medir debido a la onda pulsante de la sangre, originada en la contracción del ventrículo izquierdo del corazón y que resulta en la expansión y contracción regular del calibre de las arterias. La onda pulsátil representa el rendimiento del latido cardiaco, que es la cantidad de sangre que entra en las arterias con cada contracción ventricular y la adaptación de las arterias, o sea, su capacidad de contraerse y dilatarse.

Asimismo, proporciona información sobre el funcionamiento de la válvula aórtica, el ritmo del corazón y la fuerza de los latidos.

Saturación de oxígeno (SPO2): Es la medición no invasiva, del oxígeno transportado por la hemoglobina en el interior de los vasos sanguíneos. Proporciona la información necesaria para determinar qué tan enfermo se encuentra un paciente, y si éste necesita se le suministre oxígeno.

El pulso y la saturación de oxígeno se determina usando principios de espectrometría mediante un sensor.



Figura 2.12.- Sensor de Pulso y SPO2

(Obtenido de: Manual de Seguridad Eléctrica y Metrológica para equipos médicos, usados en quirófanos de adultos de hospital general San Juan de Dios – Guatemala)

Frecuencia respiratoria: Se define, como el proceso por el cual se toma oxígeno del aire ambiental y se expulsa el anhídrido carbónico del organismo, el ciclo respiratorio comprende una fase inspiratoria (activa, de entrada de aire en los pulmones con la introducción de oxígeno) y una fase de espiración (pasiva, se expulsa el anhídrido carbónico hacia el exterior). Se contabiliza de forma manual y aislada, contando las contracciones torácicas producidas en un minuto, o de forma continua, por medio de un monitor que nos ofrecerá un dato numérico (Frecuencia Respiratoria) y una onda que nos indicará el tipo de respiración.



Figura 2.13.- Sensor de EKG, tres derivaciones
(Obtenido de: Manual de Seguridad Eléctrica y Metrológica para
equipos médicos, usados en quirófanos de adultos de hospital
general San Juan de Dios – Guatemala)

Presión sanguínea: Se define, como la presión que se ejerce por parte de la sangre sobre las paredes arteriales. La sangre, dentro de una arteria se moviliza en forma de ondas, por lo que existen dos tipos de presión:

Presión sistólica: Presión de la sangre debida a la contracción de los ventrículos, se llama presión máxima.

Presión diastólica: Presión que queda cuando los ventrículos se relajan, se llama presión mínima.



Figura 2.14.- Sensor de Presión No Invasivo

(Obtenido de: Manual de Seguridad Eléctrica y Metrológica para equipos médicos, usados en quirófanos de adultos de hospital general San Juan de Dios – Guatemala)

Parámetros médicos y eléctricos que miden los monitores de signos vitales.

Valores normales de temperatura:

Tabla 2.1

Valores normales de temperatura

Edad	Grados centígrados (°C)
Recién nacido	36,1 – 37,7
Lactante	37,2
Niños de 2 a 8 años	37,0
Adulto	36,0 – 37,0

Valores normales de pulso:

Tabla 2.2
Valores normales de pulso

EDAD	PULSACIONES POR MINUTO
Recién nacido	120 – 170
Lactante menor	120 – 160
Lactante mayor	110 – 130
Niños de 2 a 4 años	100 – 120
Niños de 6 a 8 años	100 – 115
Adulto	60 – 80

Valores normales frecuencia cardiaca:

Tabla 2.3
Valores normales de frecuencia cardiaca

EDAD	RESPIRACIONES POR MINUTO
Recién nacido	30 – 80
Lactante menor	20 – 40
Lactante mayor	20 – 30
Niños de 2 a 4 años	20 – 30
Niños de 6 a 8 años	20 – 25
Adulto	15 – 20

Valores normales presión sanguínea:

Tabla 2.4
Valores normales de presión sanguínea

Edad	Presión sistólica (mmHg)	Presión diastólica (mmHg)
Lactante	60 – 90	30 – 62
2 años	78 – 112	48 – 78
8 años	85 – 114	52 – 85
12 años	95 – 135	58 – 88
Adulto	100 – 140	60 – 90

Lámpara de operaciones



Figura 2.15.- Lámpara de operaciones

(Obtenido de: Manual de Seguridad Eléctrica y Metrológica para equipos médicos, usados en quirófanos de adultos de hospital general San Juan de Dios – Guatemala)

Equipo médico clasificado en los equipos médico activo, utilizado en especial en áreas de Salas de Operaciones, capaz de producir la iluminación adecuada y centrada usada siempre en intervenciones quirúrgicas.

Las lámparas de operaciones, iluminan el área de intervención quirúrgica, y logran una visualización fina de los objetos en el área, se pueden lograr distinguir objetos pequeños, con bajo contraste a profundidades variables en incisiones y cavidades realizadas en el cuerpo por parte del cirujano.

Cuando un cirujano realiza una intervención quirúrgica, emplea sus manos e instrumental quirúrgico, estos pueden obstaculizar el campo de la operación y pueden generar sombra y se distorsionan los colores de la piel, órganos internos, y es aquí donde interviene la lámpara de operaciones que reducen y minimizan estas distorsiones.

Otra función especial que desempeñan las lámparas, es que producen una luz fría, es decir que no emiten calor excesivo en las horas de duración de una intervención quirúrgica.

Parámetros médicos y eléctricos que miden las lámparas de operaciones.

- Intensidad lumínica:

Cirugía pequeña o mediana cirugía: 30.000 - 60.000 LUX.

Para cirugía mayor: 60.000 - 100.000 LUX.

- Temperatura

Temperatura de color: entre 4000 y 5000 K.

Máquina de anestesia

Equipo médico clasificado en los equipos médicos activos de terapia, de uso básico y prioritario en áreas de salas de operaciones. Es un

equipo médico utilizado para administrar gases anestésicos a través de la absorción pulmonar del paciente.

Su uso principal es administrar anestesia. Toda máquina de anestesia debe realizar las siguientes funciones:

- Proporcionar cantidades medidas de gas anestésico, oxígeno y óxido nitroso.
- Remover el CO₂ exhalado.
- Proporcionar una trayectoria de baja resistencia que permita una fácil inhalación de la mezcla de gases.



Figura 2.16.- Máquina de anestesia

(Obtenido de: Manual de Seguridad Eléctrica y Metrológica para equipos médicos, que se usan en quirófanos de adultos de hospital general San Juan de Dios – Guatemala)

CAPÍTULO 3

RIESGOS, PROTECCIONES Y SEGURIDAD ELÉCTRICA

3.1 Problemática de la seguridad eléctrica

La quinta causa de muertes accidentales en Estados Unidos es por electrocuciones. Más de 700 personas pierden la vida cada año como consecuencia de accidentes asociados con la electricidad y equipos eléctricos.

Cabe mencionar que los problemas eléctricos son la segunda causa de incendios en los hospitales, en mayor medida por violación de las normas del buen uso del equipo y debido a la alta sensibilidad de los equipos médicos.

Hoy en día la tecnología médica ha avanzado, pero de la mano debe ir avanzando la seguridad eléctrica. Una falla eléctrica no muy perceptible en una intervención quirúrgica pudiera ocasionar un problema al paciente, incluso la muerte. De ahí la importancia de la seguridad eléctrica en equipos médicos y en las instalaciones eléctricas del hospital.

Los principales motivos de accidentes en hospitales debido al equipo médico son:

- Equipos en mal estado
- Cableado defectuoso
- Corrientes de fuga

Vale mencionar que existen también accidentes de índole humana:

- Accidentes que se deben a error humano como un error de procedimiento.
- Error en la manipulación de los contactos.
- Protecciones de los equipos en mal estado.

Es muy común ver en algunas salas de cirugía cables en el suelo, extensiones eléctricas en las que la conexión a tierra no existe o está mal conectada, cables en mal estado (pérdida del material aislante), etc.

La seguridad eléctrica en equipos médicos se define como la reducción del riesgo de los efectos dañinos que puedan darse por la aplicación de una determinada técnica que involucre la utilización de equipo médico.

Los problemas relacionados con la seguridad eléctrica en los equipos médicos son: choque eléctrico, energía excesiva, interferencia con otro equipo, distorsión de la información, interrupción de energía.

3.1.1 Accidentes eléctricos en los hospitales

Se denomina accidente por electrización, o accidente eléctrico, a una lesión producida por el efecto de la corriente eléctrica en el ser humano o en un animal. Son varios los factores que determinan la envergadura del daño. Pueden presentarse lesiones nerviosas, alteraciones químicas, daños térmicos y otras consecuencias de accidentes secundarios (como por ejemplo fracturas óseas).

Muchas veces se presentan accidentes ocasionados por un error humano, como una falsa maniobra, un error en la manipulación de los contactos o por la mala posición o protección de los equipos. Es muy común ver en algunas salas de cirugía los cables de prolongación en el suelo, multi-tomas o regletas en que la conexión de polo a tierra no

existe o está mal conectada, conductores en que la pérdida del material aislante se suple con tela adhesiva, etc.

Por esto se considera que el 33% de los accidentes son causados por las técnicas quirúrgicas, la cuales no consideran la resistencia del cuerpo del paciente, exponiéndolo a la corriente eléctrica del equipo circundante, especialmente el mayor riesgo es para los pacientes a los que se les practica una cirugía dentro de la cavidad torácica.

El creciente uso de equipos como monitores cardiacos, inyectoros de tinte, catéteres cardiacos y otros instrumentos auxiliares de cirugía, aumenta la amenaza de electrocución cuando se usan dentro del sistema circulatorio.

Los principales causantes de los accidentes eléctricos en los hospitales son los equipos en mal estado, el alambrado defectuoso, siendo los más comunes los causados por la fuga de corriente en los equipos. Debido a su alta sensibilidad, pueden fallar si el sistema eléctrico de alimentación no está cumple con los requisitos de seguridad básicos.

En electrocirugía toda pieza del equipo que entre en contacto con el paciente es un riesgo posible para él, como los electrodos, agujas monitores, catéteres monitores, etc., siendo esta cantidad de equipos

también un riesgo para los médicos, las enfermeras y para el personal de mantenimiento y limpieza.

Todos estos riesgos por circulación de corrientes de falla o de fuga al circular por el cuerpo humano, pueden producir tensiones de contacto o electrocución por fibrilación ventricular, la cual consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual deja de enviar sangre a los distintos órganos. En lugar de producirse una sola pulsación a diferente tiempo en los ventrículos, es posible que varios impulsos se originen al mismo tiempo en diferentes lugares (taquicardia irregular polimórfica), todos ellos estimulando al corazón a latir, por consecuencia, se producen latidos mucho más rápidos y desordenados que pueden alcanzar los 300 latidos por minuto, causando que la tensión arterial experimente una oscilación e inmediatamente disminuya en segundos a valores mortales. La fibrilación ventricular es la principal causa de muerte por choque eléctrico, y el valor de la corriente que puede producirla depende de parámetros fisiológicos como la anatomía del cuerpo, el estado del corazón, la duración del camino y tipo de corriente, que a muy altas frecuencias disminuye el riesgo de fibrilación ventricular pero prevalece los efectos térmicos.

Las diferentes partes del cuerpo humano presentan para la corriente eléctrica una resistencia compuesta por elementos resistivos y

capacitivos, incrementándose progresivamente desde nervios, vasos sanguíneos, músculos, piel, grasa y finalmente el hueso. Durante el paso de la electricidad, la resistencia de nuestro cuerpo se comporta como una suma de tres impedancias en serie:

- Impedancia de la piel en la zona de entrada.
- Impedancia interna del cuerpo.
- Impedancia de la piel en la zona de salida.

El nivel de peligro real para un paciente cateterizado y quirúrgico va del orden de 10 mA con un nivel máximo de 180 mA. En efecto una corriente de fuga intracardiaca de 0,1 mA presenta la gran posibilidad de iniciar una fibrilación, pero si el catéter se encuentra en un gran vaso, se requiere de dos miliamperios para que se produzca igual efecto.

Las corrientes de fuga o de derivación se pueden originar por diferentes causas:

- Fallas de aislamiento en cables
- Acoplamientos electromagnéticos
- Fallas del sistema eléctrico

Y las propias de los equipos electrónicos así éstos trabajen perfectamente.

3.2 Sistemas de emergencia

3.2.1 Selección de los sistemas de emergencia

El sistema eléctrico de emergencia puede ser una doble acometida de la red primaria, en la que una de ellas estaría funcionando de manera continua, siendo esta la principal, y la otra restante entraría en funcionamiento en caso de falla de la principal. Para que este sistema sea eficaz es necesaria que las dos acometidas sean alimentadas de dos fuentes de alimentación de energía diferentes.

Otro sistema de emergencia puede ser el uso de baterías o acumuladores de energía. En este caso, la energía disponible se va a dedicar casi exclusivamente al alumbrado de emergencia.

El tercer sistema, que es el más utilizado cuando solo se va a disponer de una sola fuente de energía de emergencia, es un grupo generador a diesel o combustible.

3.2.2 Circuitos de Emergencia:

Aunque no existen reglas fijas ni regulaciones precisas sobre la extensión del servicio eléctrico de emergencia, es indudable que este debe abarcar únicamente los circuitos realmente vitales para el funcionamiento correcto del hospital y no la totalidad de los circuitos.

La selección de los circuitos de emergencia depende también de circunstancias locales, que pueden variar de un sitio a otro.

La Asociación Nacional contra Incendios de los Estado Unidos, así como publicaciones del servicio de salud pública, menciona recomendaciones específicas sobre el cableado y alumbrado de los hospitales. Es necesario seguirlos y adaptarlos en todos sus puntos para aplicación en nuestro medio.

3.2.3 Sistemas de Protecciones:

Todos los sistemas eléctricos de un hospital deberán contar con su respectivo sistema de protección. Por ejemplo, los transformadores del sistema de generación eléctrica deberán contar con sus respectivas protecciones contra sobrecargas. Estas pueden ser por medio de fusibles o disyuntores (interruptores automáticos) y, pueden estar en el primario o en el secundario.

La protección en el primario es la que más se usa y no debe exceder el 25% de la corriente primaria nominal.

Cuando la protección del transformador está en el primario, se consigue también protección contra cortocircuitos en el secundario. El disyuntor del primero deberá estar sumergido en aceite.

Los transformadores pueden ser protegidos contra sobrecargas y cortacircuitos tanto en el primario como en el secundario, por medio de fusibles únicamente. Para esta protección se deberá tomar en cuenta la impedancia del primario como del secundario, ya que de acuerdo a estas impedancias deberá ser la capacidad de los fusibles.

El neutro de los transformadores y las partes metálicas se pondrán a potencial de tierra, para protección en caso de fallas en el aislante o conexiones accidentales de las líneas primarias con las secundarias.

3.2.4 Protecciones Especiales

3.2.4.1 Departamento Quirúrgico

Las salas de operaciones y partos de los hospitales son considerados como locales especiales. Esto se debe al empleo de gases anestésicos explosivos. Estos locales, junto con los sitios en los cuales almacenan tales anestésicos, requieren especiales precauciones en sus diseños y en su utilización si se quiere evitar accidentes en los cuales están en juego vidas humanas, así como también cuantiosos daños materiales.

El principal problema a combatir es eliminar los agentes combustibles, o prevenir su inflamación mediante una correcta

adecuación del área de almacenaje y de una instalación eléctrica segura que no provoque estos inconvenientes.

Hay muchas formas en que las mezclas de los gases combustibles pueden inflamarse. Entre estas se pueden citar las siguientes: chispas provocadas por la electricidad estática, chispas provocadas en los motores eléctricos o producidos por defectos en el sistema de alumbrado eléctrico, chispas producidas por equipos eléctricos defectuosos, interruptores y tomacorrientes, altas temperaturas de materiales como calentadores eléctricos y reverberos, electrocauterios, etc.

Los equipos no diseñados para usarse en ambientes peligrosos, incluso los aprobados que se han vuelto defectuosos, deben ser reacondicionados o, rechazados y reemplazados por otros nuevos. El descuido o la ignorancia del propósito de las medidas de seguridad, es un problema del personal que trabaja en estos ambientes y debe ser remedido en cada caso.

3.2.4.2 Electricidad estática y su control

La forma en que los cuerpos adquieren cargas eléctricas en salas de operaciones es por contacto o por inducción. La generación de

cargas puede producirse por contacto y separación de diferentes materiales. Cuando un material está en contacto físico con otro material diferente, las fuerzas interatómicas hacen que los electrones se separen de sus átomos y se acumulen en la superficie del material que tenga constante dieléctrica más baja. Los respectivos contactos y separaciones pueden producir dos resultados:

- La carga generada continuara acumulándose hasta que la velocidad de dispersión de la carga iguale a la velocidad de generación; o
- El potencial de la carga llega a ser suficientemente grande como para romper el aislamiento de las capas de aire entre los cuerpos, escapando la mayor parte de la carga en forma de chispa, dependiente de la conductancia de los materiales.
- En las salas de operación altos potenciales pueden ser inducidos por otros objetos cercanos en la vecindad.
- El uso de materiales conductivos en los ambientes peligrosos, impide que los potenciales de carga se acumulen hasta niveles elevados, al permitir que las personas y los objetos estén en constante contacto eléctrico uno con otro.

Un piso más conductivo es el medio más conveniente de proporcionar contacto eléctrico entre las personas y los objetos.

Deben ser instalados en las salas de operaciones, en los corredores adyacentes y cuartos conectados directamente a ellos.

El propósito de los pisos conductivos en las áreas de aproximación a las salas de operaciones y en los corredores, es descargar electricidad de una persona y objeto, antes de su proximidad a un ambiente de anestesia con una carga lo suficientemente grande para producir chispa.

Otra opción es la utilización de un piso moderadamente conductivo, puesto que sirve como medida de protección contra la electricidad estática y, para protección de las personas contra las posibles sacudidas eléctricas.

3.2.4.3 Choques eléctricos:

Se ha visto que un piso conductivo con una resistencia de varios mega-ohmios, es suficientemente bueno para el control de la electricidad estática y, que un suelo de baja resistencia puede presentar un peligro de choque eléctrico. En pruebas de laboratorio se han determinado que para la corriente eléctrica alterna de 60 ciclos por segundo, la corriente media de percepción para un paciente hombre es de 1.067 mA y una mujer de 0.85 mA. También

se ha comprobado que las corrientes que pueden soportar sin peligro son de 9 y 6 mA, para hombres y mujeres respectivamente.

Para protección contra choques eléctricos en el caso de sistemas de 60 ciclos puestos a tierra, donde una persona en contacto con un piso conductor activo a través de una falla, el piso debe tener una resistencia lo suficientemente alta para limitar la corriente de un valor menor que la corriente de percepción, la resistencia del circuito para los sistemas de distribución del orden de 120 voltios, debe ser por lo menos 120 K Ω . Una resistencia de 20 K Ω serviría para limitar la corriente a un valor tolerable para una persona.

La NFPA de los Estados Unidos, ha recomendado los límites superior e inferior para la resistencia del piso:

- Límite superior: 1 M Ω
- Límite inferior: 25 K Ω

Los pisos en salas de operaciones, están sujetos a condiciones severas que hacen variar ampliamente su resistencia eléctrica. La humedad afecta especialmente la resistencia eléctrica disminuyéndola notablemente. Es por esto necesario disponer de la protección adicional mencionada.

Actualmente, se utiliza también pisos recubiertos con pintura conductiva, hecha a base de resinas epóxicas, que permite un mejor control de la electricidad.

3.2.4.4 La intensidad de corriente y el cuerpo humano

Los daños causados por una descarga eléctrica, dependen de la intensidad de corriente que circula por el cuerpo. Según la ley de Ohm ($I = (V_A - V_B)/R$), para una diferencia de potencial fija, la intensidad que circula es inversamente proporcional a la resistencia del camino. Se suele tomar la cantidad de 50 V como máxima tensión permisible de contacto, y es la diferencia de potencial que puede soportar el ser humano sin sufrir lesiones. Como la instalación de nuestras casas tiene una tensión de 110 V – 120 V, habrá que tomar precauciones y no tocar los aparatos conectados a la red (secadores, televisor, neveras, lámparas, etc.) con las manos húmedas, lo que facilitaría el paso de la corriente.

A continuación los rangos de tolerancia a la corriente eléctrica que presenta el cuerpo humano:

Tabla 3.1

Rango de tolerancia del cuerpo humano a la corriente eléctrica

Rango	Intensidad de corriente (mA)	Sensación	Consecuencias
Primero	2	Ligero cosquilleo.	Susto con movimientos incontrolados.
	10	Entumecimiento.	Paralización de la respiración.
	Hasta 25	Aumento de la presión sanguínea.	Pérdida del conocimiento.
Segundo	25 hasta 80	Fuertes calambres musculares, convulsiones.	Náuseas, rotura de huesos, falta de oxígeno.
Tercero	80 hasta 5.000	Fibrilación ventricular.	Paro cardíaco y muerte.
Cuarto	Más de 5.000	Quemaduras graves, paro cardíaco.	Muerte por quemaduras.

(Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos92/seguridad-electricidad/seguridad-electricidad.shtml>)

3.3 Riesgos eléctricos

3.3.1 Efectos de la corriente

Las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo pueden ocasionar desde lesiones físicas secundarias (golpes, caídas, etc.), hasta la muerte por fibrilación ventricular.

Una persona se electriza cuando la corriente eléctrica circula por su cuerpo, es decir, cuando la persona forma parte del circuito eléctrico, pudiendo, al menos, distinguir dos puntos de contacto: uno de entrada y otro de salida de la corriente. La electrocución se produce cuando dicha persona fallece debido al paso de la corriente por su cuerpo.

La fibrilación ventricular consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual, deja de enviar sangre a los distintos órganos y, aunque esté en movimiento, no sigue su ritmo normal de funcionamiento.

Por tetanización entendemos el movimiento incontrolado de los músculos como consecuencia del paso de la energía eléctrica. Dependiendo del recorrido de la corriente perderemos el control de las manos, brazos, músculos pectorales, etc.

La asfixia se produce cuando el paso de la corriente afecta al centro nervioso que regula la función respiratoria, ocasionando el paro respiratorio.

Otros factores fisiopatológicos tales como contracciones musculares, aumento de la presión sanguínea, dificultades de respiración, parada temporal del corazón, etc. pueden producirse sin fibrilación ventricular. Tales efectos no son mortales, son, normalmente, reversibles y, a menudo, producen marcas por el paso de la corriente. Las quemaduras profundas pueden llegar a ser mortales.

Para las quemaduras, se han establecido unas curvas que indican las alteraciones de la piel humana, en función de la densidad de corriente que circula por un área determinada (mA/mm^2) y el tiempo de exposición a esa corriente. Se distinguen las siguientes zonas:

- **Zona 0:** habitualmente no hay alteración de la piel, salvo que el tiempo de exposición sea de varios segundos, en cuyo caso, la piel en contacto con el electrodo puede tomar un color grisáceo con superficie rugosa.
- **Zona 1:** se produce un enrojecimiento de la piel con una hinchazón en los bordes donde estaba situado el electrodo.
- **Zona 2:** se provoca una coloración parda de la piel que estaba situada bajo el electrodo. Si la duración es de varias decenas de segundos se produce una clara hinchazón alrededor del electrodo.
- **Zona 3:** se puede provocar una carbonización de la piel.

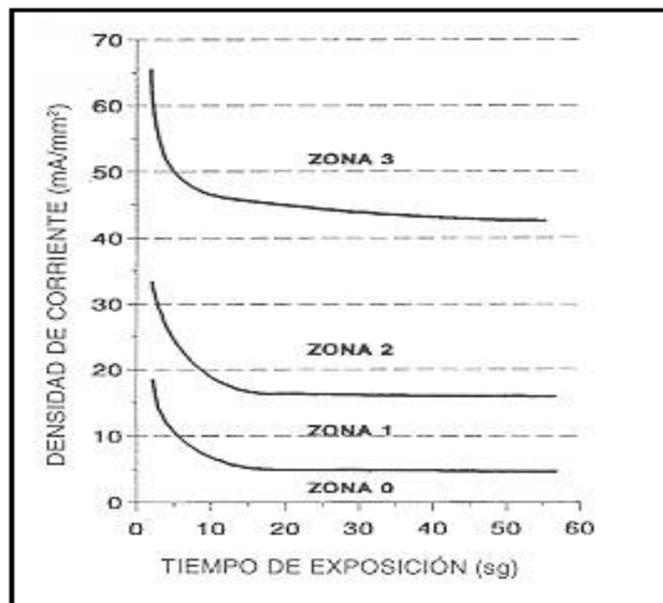


Figura 3.1.- Efecto sobre la piel que produce la corriente alterna

(Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos92/seguridad-electricidad/seguridad-electricidad.shtml>)

Es importante resaltar que con una intensidad elevada, se puede llegar a la fibrilación ventricular sin ninguna alteración de la piel.

El arco eléctrico se origina por malos contactos, apertura de circuitos con carga, violación de distancias de seguridad, ruptura de aislamientos, contaminación o cortocircuitos. Es considerado alta causa de incendios de origen eléctrico.

La ausencia de electricidad en algunos casos se constituye en un alto riesgo para la vida de las personas, especialmente en las instalaciones

hospitalarias. Se presenta por cortes del fluido eléctrico o por deficiencias de los aparatos donde se conectan los equipos médicos.

El contacto directo con partes energizadas se presenta por negligencia, impericia de las personas que trabajan con equipos o partes energizados, exposición inadecuada de elementos energizados, falta de encerramientos adecuados o, incumplimiento de reglas de seguridad en los trabajos eléctricos.

El contacto indirecto se presenta por fallas de aislamiento, deficiencias o ausencia de mantenimiento, o defectos del conductor a tierra. Un deterioro de aislamiento por una sobre tensión o sobre corriente, puede someter a tensión partes que frecuentemente están expuestas al contacto de las personas, tales como carcasas o cubiertas de máquinas y herramientas.

Las sobrecargas se presentan cuando la corriente supera los límites nominales del conductor, aparato o equipo, por aumentos de carga sin revisar la capacidad de la instalación, por conductores inapropiados, conexiones con malos contactos y por corrientes parásitas no consideradas en los diseños.

El cortocircuito se origina por fallas del aislamiento, impericia del personal que manipula las instalaciones, vientos fuertes, choques con estructuras que soportan conductores energizados, o daños de

soportes de partes energizadas. Son los causantes de la mayoría de los incendios de origen eléctrico.

3.3.2 Requisitos de protección contra rayos

Por estar dentro de la zona tropical, el país recibe el mayor número de rayos, lo que hace que se deben tomar medidas especiales, entre las que se destacan:

- Edificaciones donde se tenga alta concentración de personal (más de 10 personas) deben tener un sistema integral de protección contra rayos.
- La evaluación contra rayos debe realizarse con base en el nivel de riesgo al rayo que presente la zona.
- Los diseños deben ser realizados por personas calificadas, incorporando buenas prácticas de ingeniería de protección contra rayo.
- Todos los componentes de la instalación contra el rayo (terminales de captación, bajantes, conector y electrodo de puesta a tierra) deben ser adecuados. Si hay varias bajantes deben estar separadas a más de 10 m y procurando que estén en la parte externa de la edificación

3.3.3 Corrientes de fuga

Las corrientes de fuga tienen dos componentes, una capacitiva y otra óhmica; en las redes eléctricas existen acoplamientos capacitados en los filtros de red, entre devanados primarios, núcleo y carcasa de transformadores, como también entre conductores de red y tierra.

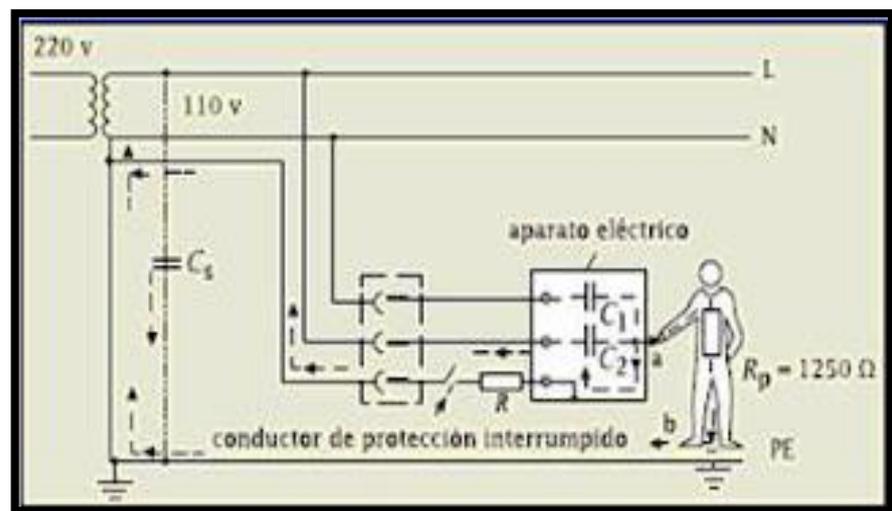


Figura 3.2.- Camino que puede seguir una corriente de falla a través del cuerpo humano

(Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos89/riesgos-electricos/riesgos-electricos.shtml>)

En la figura se ve el camino que puede seguir una corriente de falla, a través del cuerpo, donde R es la resistencia del mismo.

3.3.4 Riesgos de la corriente de fuga:

Es muy común observar que en los quirófanos de operaciones, existan cables de los equipos médicos en el suelo, extensiones eléctricas, o en muchas ocasiones no existe una conexión a tierra o no la emplean, y es ahí donde pueden producirse corrientes de fuga. Estas corrientes ocasionan lo que se denomina Macroshock y Microshock.

3.3.4.1 Macroshock

Para que una persona entre en contacto con un macroshock, una persona debe entrar en contacto simultáneamente con ambos conductores eléctricos, el activo y el neutro o los dos activos a potenciales diferentes. En el diseño de los equipos médicos, se debe prestar mayor atención en impedir que la persona que empleara el equipo médico, pueda de alguna manera entrar en contacto accidental con el cable activo, esto a través de la utilización de materiales aislantes adecuados y conservando las distancia mínimas de seguridad entre los conductores y el chasis el equipo, para evitar al efectos capacitivos, y de esta manera se garantiza también la salud del paciente quien estará siendo intervenido quirúrgicamente. Cabe recordar que por uso y tiempo de vida útil estos aislante de alguna manera puede tender al desgaste y deterior, provocando un contacto directo de manera accidental.

Si por ejemplo tenemos un sistema que por alguna razón tiene una falla a tierra debido al conductor activo, y el chasis del equipo se encuentra aterrizado adecuadamente a tierra, la corriente fluye a través del conductor a tierra, no se corre peligro de un macroshock.

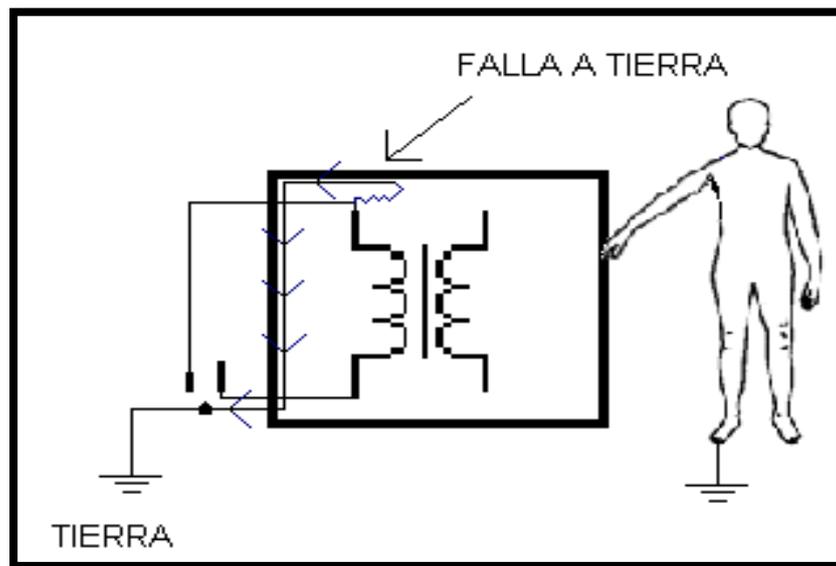


Figura 3.3.- Buena puesta a tierra

(Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos89/riesgos-electricos/riesgos-electricos.shtml>)

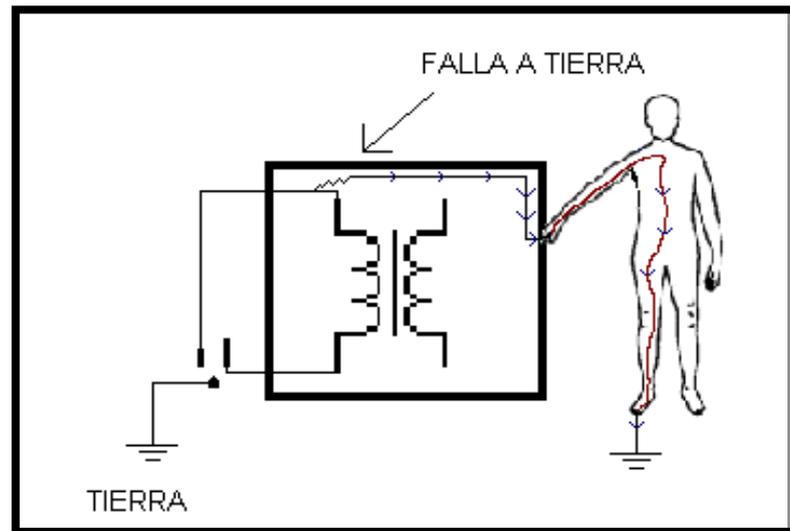


Figura 3.4.- Mala puesta a tierra

(Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos89/riesgos-electricos/riesgos-electricos.shtml>)

Ahora tenemos el caso que un sistema por alguna razón tiene una falla a tierra debido al conductor activo, y el chasis del equipo no se encuentra aterrizado adecuadamente a tierra, la corriente fluye a través de la piel del cuerpo humano, atravesándolo, corriendo el riesgo de tener un macroschoc, llevando el riesgo de una respiración difícil y llegando a una fibrilación ventricular, de acuerdo al amperaje de shock.

Los pacientes que se encuentran más recurrentes a tener macroschoc son los que se encuentran en salas de operaciones y los de cuidados intensivos, son más susceptibles a tenerlos porque de

esto depende la monitorización de sus signos vitales y, debido al traslado continuo que reciben como consecuencia de una intervención quirúrgica, los conductores reciben en trato excedente a lo normal.

En los chasis de los equipos médicos pueden aparecer capacitancias parásitas y con una mala aislación de los conductores, puede aparecer una corriente de fuga, como lo vemos en la imagen.

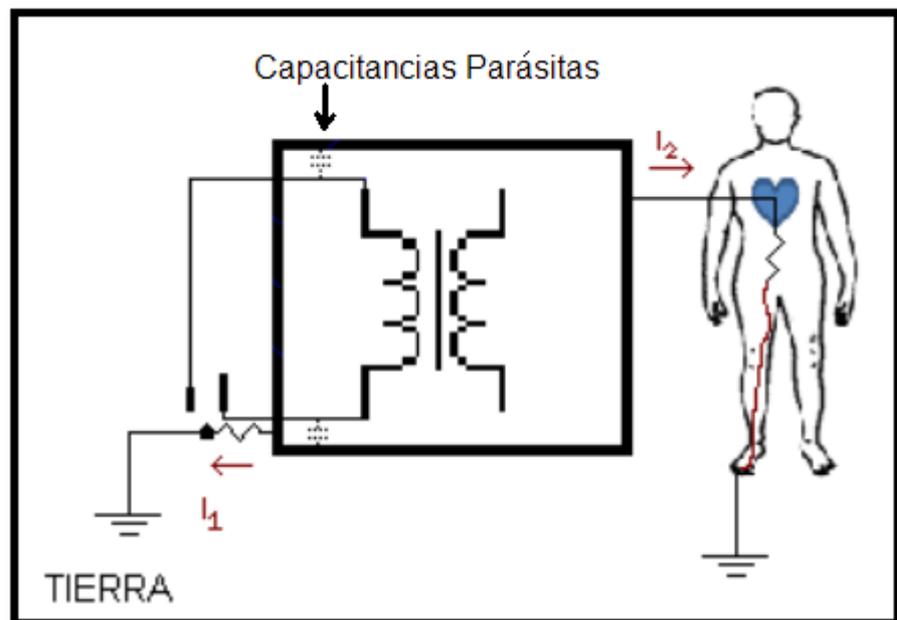


Figura 3.5.- Corrientes de fuga – Capacitancias parásitas

(Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos89/riesgos-electricos/riesgos-electricos.shtml>)

Al suceder lo anterior, tenemos dos tipos de corriente: la I_1 que representa la corriente del circuito que se descarga no

completamente en la tierra y, una corriente I_2 que puede ser mínima que se descarga a través de la impedancia del cuerpo, a esa corriente se denomina corriente de fuga. Esta corriente puede ser peligrosa porque puede entrar en contacto con el corazón y producir un paro cardíaco de acuerdo con la intensidad que fluya.

Entonces sabemos que un macroshock se produce específicamente como consecuencia de pérdidas de aislamientos. Al tener un aislamiento en óptimas condiciones no tendrían por qué haber efectos de shock eléctrico, pero no es así, aquí sucede otro fenómeno denominado microshock.

3.3.4.2 Microshock

Entre el conductor activo y la caja en el equipo médico puede aparecer un efecto capacitivo, que pueda crear corriente de magnitud suficientemente grande como para presente un microshock. Por ejemplo, si tenemos un voltaje de 110 V y la capacitancia que se forme es de 200 pF, se produce una corriente de 1 mA.

Equipos médicos tales como de diagnósticos o de terapia, presentan fugas capacitivas de corriente que sobrepasa el 1 mA. Aunque estos son seguros para trabajar, pueden crear un microshock.

En la imagen, se muestra un ejemplo de un microshock en el que un paciente tiene un catéter insertado por vía intravenosa. El catéter forma parte de un transductor conectado a un monitor para visualizar ciertos parámetros y a su vez éste a la red eléctrica. Esta disposición establece una conexión a masa del corazón a través del catéter.

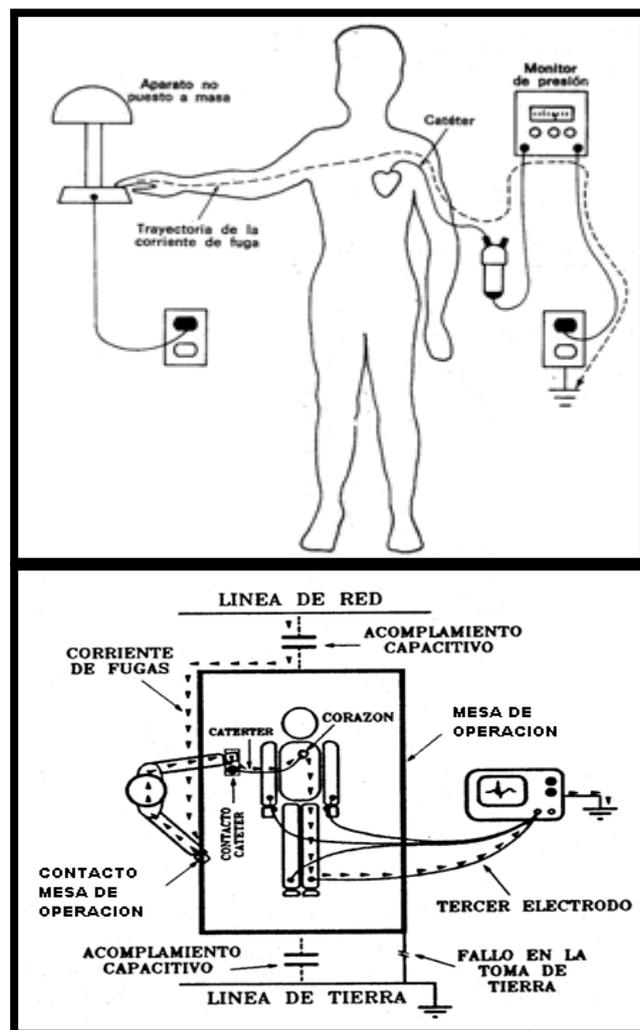


Figura 3.6.- Posibles causas de Microshock

(Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos89/riesgos-electricos/riesgos-electricos.shtml>)

Las principales causas de un microshock son las siguientes:

- Defecto o rotura del conductor de puesta a tierra
- Superficies metálicas cercanas al paciente y no conectadas a tierra.

Otro caso de riesgo sucede cuando el paciente toca un aparato o dispositivo, que tiene corriente de fuga. Estas corrientes, pueden cerrarse a tierra a través del catéter y del equipo de medida. El mismo caso se produce si es otra persona la que facilita esta conexión, donde un fallo en el conductor de tierra que conecta la superficie metálica de la cama hace contacto con la persona. Como consecuencia de este fallo, la mesa de operaciones adquiere un potencial distinto de cero, cuyo nivel depende del acoplamiento capacitivo entre la línea de red y la mesa de operaciones. Un médico que manipula un catéter intracardiaco, establece una derivación entre la mesa de operaciones y éste último, creando una vía de paso a través del médico y el paciente. Es posible que la corriente de fuga, sea muy inferior al nivel de percepción del enfermero y, sin embargo, puede ser suficientemente grande para provocar un microshock al paciente.

CAPÍTULO 4

NORMAS ELÉCTRICAS QUE GARANTICEN LA SEGURIDAD DEL PACIENTE

4.1 Generalidades

Una vez analizados todos los aspectos teóricos y técnicos que involucran la base de la presente investigación, se presenta en este capítulo, normas y reglamentaciones que garanticen la seguridad del paciente, con respecto al tema eléctrico y además, una buena práctica médica.

4.2 Normas generales

- 4.2.1. Todo el cableado eléctrico de un centro hospitalario debe estar debidamente certificado y en buen estado, certificación de cableado estructurado categoría 6A, avalado por las respectivas normas internacionales, garantizando su durabilidad
- 4.2.2. El hospital debe tener un departamento de mantenimiento en Ingeniería Clínica correctamente distribuido y administrado, con personal totalmente capacitado en el área técnica.
- 4.2.3. El departamento de mantenimiento en Ingeniería Clínica deberá estar a cargo del mantenimiento y revisión de todas las instalaciones del hospital y de los equipos médicos:
- 4.2.3.1. Instalaciones Eléctricas: iluminación, generación, sistemas de emergencia, cableado, etc.
 - 4.2.3.2. Equipamiento Médico: en todas las áreas de interés; como salas de operación, quirófanos y cuidados intensivos, deberá estar a cargo del mantenimiento, reparación y vigilancia de éstos.
 - 4.2.3.3. Sistemas de ventilación: enfriamiento, calefacción, etc.
 - 4.2.3.4. Sistemas mecánicos y otros: sistema de distribución de agua potable, gases especiales, desechos, etc.

- 4.2.4. Todo el personal que pertenezca al departamento de mantenimiento en Ingeniería Clínica deberá ser profesional, como mínimo con sus respectivos títulos de tercer grado que avalen su capacidad, además de ser partícipes de constantes capacitaciones en las áreas pertinentes.
- 4.2.5. El personal que trabaja en el hospital, especialmente el cuerpo de enfermería, asistentes y médicos, deberán estar capacitados para el correcto uso de los diferentes equipos e instrumental médico que tenga a disposición el hospital.
- 4.2.6. Todas las instalaciones eléctricas del hospital deberán estar avaladas por los organismos de control nacional competentes, además de las debidas certificaciones internacionales que sean necesarias.
- 4.2.7. Todas las áreas del hospital deberán estar claramente identificadas, resaltando los riesgos que se puedan presentar en éstas.

4.3 Sistemas de Protección

- 4.3.1. Todos los sistemas eléctricos de un hospital deberán contar con su respectivo sistema de protección. Por ejemplo, los transformadores del sistema de generación eléctrica deberán contar con sus respectivas protecciones contra sobrecargas. Éstas pueden ser por medio de

fusibles o disyuntores (interruptores automáticos), y pueden estar en el primario o en el secundario.

- 4.3.2. Cuando la protección del transformador está en el primario se consigue también protección contra cortocircuitos en el secundario. El disyuntor del primario deberá estar sumergido en aceite.
- 4.3.3. Los transformadores pueden estar protegidos contra sobrecargas y cortocircuitos, tanto en el primario como en el secundario, por medio de fusibles únicamente. Para esta protección se deberán tomar en cuenta, la impedancia, del primario como del secundario, ya que de acuerdo a estas impedancias, se deberá determinar la capacidad de los fusibles.
- 4.3.4. El neutro de los transformadores y las partes metálicas de los campos se pondrán a potencial de tierra para protección, en caso de fallas en el aislante o conexiones accidentales de las líneas primarias con las secundarias.
- 4.3.5. Los equipos médicos no diseñados para usarse en ambientes peligrosos, e incluso los equipos aprobados que se han vuelto defectuosos, deben ser reacondicionados o rechazados y reemplazados por otros nuevos.
- 4.3.6. Todo el equipamiento médico deberá ser revisado periódicamente, llevando un control exhaustivo de las revisiones y mantenimiento al

que ha sido sometido; es decir, deberá existir la respectiva hoja de vida del equipo actualizada, con la información desde que el equipo ha sido adquirido hasta cuando sea dado de baja.

- 4.3.7. En las salas de operación o quirófanos, se deberá utilizar pisos conductivos para evitar la presencia de accidentes eléctricos, debido a la estática que se podría generar, también, podrán ser utilizados pisos recubiertos con pintura especial, a base de resinas epóxicas, que garanticen la seguridad del paciente.
- 4.3.8. Para protección contra choques eléctricos, en el caso de sistemas de 60 Hz puestos a tierra, el piso debe tener una resistencia lo suficientemente alta (entre los 10 K Ω a 1 M Ω , según fabricantes).
- 4.3.9. Todos los componentes de la instalación contra el rayo (terminales de captación, bajantes, conector y electrodo de puesta a tierra) deben ser adecuados. Si hay varias bajantes deben estar separadas a más de 10 m, y procurando que estén en la parte externa de la edificación.

4.4 Suministro eléctrico

- 4.4.1 Todo centro hospitalario debe tener suministro eléctrico normal y complementario.
- 4.4.2. Se debe garantizar el fluido eléctrico en la instalación hospitalaria, por medio de circuitos de suplencia y sistemas de generación de respaldo.

- 4.4.3. Los sistemas eléctricos esenciales deben tener al menos dos fuentes independientes de alimentación: una fuente normal que alimente generalmente todo el hospital y, una fuente de emergencia para uso cuando el servicio normal está interrumpido.
- 4.4.4. Además de los suministros normal y complementario, es necesario un tercer sistema que garantice el suministro en un tiempo de respuesta inferior a 0,5 seg, es el caso de los sistemas de alimentación ininterrumpida (U.P.S.).

4.5 Sistemas eléctricos de emergencia

- 4.5.1. Son obligatorios en clínicas y hospitales los sistemas de emergencia, capaces de alimentar un número limitado de servicios de alumbrado y fuerza, que se consideren esenciales para la protección de la vida y para el funcionamiento efectivo de las instalaciones.
- 4.5.2. La fuente de alimentación de emergencia estará formada por uno o varios grupos generadores, accionados por cualquier medio de arranque.
- 4.5.3. Las características eléctricas de los grupos generadores deben ser adecuadas, para el funcionamiento de todo el alumbrado y de los equipos que deben ser alimentados.

- 4.5.4. La alimentación del sistema de emergencia debe estar físicamente separada del cableado normal, y estar protegida de manera tal que se reduzcan las posibilidades de interrupción simultánea.

4.6 Distribución de los ramales de emergencia

- 4.6.1. El ramal de protección de la vida, el ramal de defensa de la vida y el ramal crítico de un sistema de emergencia, se tenderán en tubería metálica empotrada.
- 4.6.2. El Ramal de protección de la vida se utiliza para el alumbrado y los equipos de alarma, que deben funcionar siempre durante las emergencias, debe estar alimentando las siguientes secciones:
- 4.6.2.1. Alumbrado de los medios de escape (alumbrado requerido para corredores, escaleras y accesos a puertas de salida y de las vías necesarias para llegar a las salidas).
 - 4.6.2.2. Señales de salida y signos direccionales.
 - 4.6.2.3. Sistemas de alarma (alarmas de incendio ocasionadas en estaciones manuales, dispositivos de alarma eléctrica de circulación de agua, relacionada con el sistema de regaderas y dispositivos automáticos de detención de incendio, de humos o de productos de combustión).

4.6.2.4. Sistemas de comunicaciones en hospitales (cuando éstos se usan para transmitir instrucciones durante condiciones de emergencia, incluyendo la alimentación necesaria para el sistema local del teléfono).

4.6.3. El Ramal crítico deberá alimentar a los equipos de alumbrado y los tomacorrientes en áreas de tratamiento de pacientes críticos. Este ramal alimentará solamente las áreas y las funciones que se indican a continuación:

4.6.3.1. Transformadores de aislamiento que alimenten lugares de anestesia.

4.6.3.2. El alumbrado de trabajo y los tomacorrientes seleccionados en:

- Guarderías
- Lugares de preparación de medicamentos
- Cuidados para recién nacidos
- Estaciones de enfermeras
- Salas quirúrgicas y obstétricas

4.6.4. El Ramal de defensa de la vida servirá únicamente para sistemas de potencia u otros equipos, en áreas de pacientes eléctricamente susceptibles, y alimentará las siguientes áreas:

- Laboratorios de cateterismo
- Unidades de tratamientos de las coronarias
- Salas de parto
- Unidades para diálisis
- Salas de emergencia
- Laboratorio de fisiología humana
- Unidades de terapia intensiva
- Salas de operación
- Salas de recuperación post-operatoria

4.7 Protección contra sobre Corrientes

4.7.1. Los sistemas de emergencia y de equipos deberán ser diseñados de manera que, cuando ocurra una falla en el servicio normal de energía, los tableros de distribución del sistema de emergencia y los interruptores automáticos conectados al sistema de equipos, pasen a ser alimentados por la fuente de emergencia.

4.7.2. Los equipos automáticos de interrupción deberán estar aprobados para servicio de emergencia y estarán diseñados e instalados con los enclavamientos necesarios para impedir la interconexión de la fuente

normal y de reemplazo, durante cualquier accionamiento de los equipos automáticos de interrupción.

4.8 Puestas a tierra

4.8.1. El electrodo usado para la puesta a tierra debe estar certificado para cumplir esa función por lo menos durante 15 años, si es una varilla o tubo debe tener no menos de 2,4 m de longitud y al instalarlo se debe dejar completamente enterrado.

4.8.2. El conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser calculado para soportar la corriente de falla a tierra durante el tiempo de despeje de la falla. (No debe ser de aluminio, debe ser cobre).

4.8.3. El Conductor de puesta a tierra de los equipos debe ser continuo, sin interrupciones o medios de desconexión; si se empalma, deben utilizarse técnicas plenamente aceptadas para esto; además, debe acompañar los conductores activos durante todo el recorrido. Si es aislado debe ser de color verde con rayas amarillas o marcas verdes en los puntos visibles.

4.9 Instalación de sistema IT (transformador de aislamiento) y sus tomacorrientes.

4.9.1. Los circuitos que contengan varias tomas de corriente, pertenecerán a circuitos eléctricos distintos. Cada circuito eléctrico acogerá, como máximo, seis tomas de corriente de distintos grupos.

4.9.2. Cuando en el mismo local de uso médico existan circuitos que se alimentan por otros sistemas (TN-S o TT), la toma de corriente conectada al sistema IT debe no ser compatibles con las clavijas de otros sistemas o estar clara y permanentemente diferenciadas.

4.9.3. Las áreas de uso médico donde es necesaria la instalación de un sistema IT se mencionan a continuación:

- Quirófanos
- Ante quirófanos
- Sala de cateterismo cardiaco
- Sala de reanimación
- Sala de anestesia
- Salas de neonatos
- Salas de tratamiento
- Salas de endoscopias
- Salas de gastroscopia, broncoscopia, endoscopia, etc.
- Salas de Urgencias (En función de los procesos médicos que realmente se realicen y de los equipos electrónico-médicos empleados)
- Clínicas o centros de estética

- Radioterapia
- Paritorio
- Pre-Parto
- Reanimación Quirúrgica
- U.V.I. (unidad de vigilancia intensiva)
- U.C.I. pediátrica
- Procedimientos Cardiológicos Especiales (Ecografía Transesofágica, Marcapasos, Electrofisiología, etc.).
- Hemodiálisis
- Radiodiagnóstico convencional (Convencional, Telemando, Mamógrafo, etc.)
- Radiodiagnóstico no convencional (Angiógrafo, T.A.C., Resonancia Magnética, etc.)
- Rehabilitación por Hidroterapia
- Ecografía convencional
- E.K.G. (Electrocardiograma)
- E.E.G. (Electroencefalografía)
- E.M.G. (Electromiografía)

4.10 Protección contra sobre-intensidades

- 4.10.1. Cada circuito del secundario de la instalación debe disponer de una protección contra sobrecargas y cortocircuitos; esta protección deberá realizarse mediante interruptores automáticos para las sobrecargas y con dispositivo instantáneo por cortocircuito.
- 4.10.2. La distribución del sistema IT en diferentes circuitos secundarios se deberá realizar de forma que, ante una sobre-intensidad en uno de ellos, actúe únicamente la protección de dicho circuito y no la del primario. A esto se denomina selectividad de los circuitos.
- 4.10.3. Para la distribución de las Tierras Radiales de Protección (TRP) y de las Tierras Radiales Equipotenciales (TRE), se instalará, dentro de la sala de uso médico IT, un cuadro distribuidor.
- 4.10.4. A dicho cuadro distribuidor llegará la toma de tierra principal del sistema IT de sección 16 mm^2 . El cuadro distribuidor contendrá dos barras de cobre: una para las TP denominada barra de Puesta a Tierra (PT) y otro para las TE, denominada barra de equipotencialidad. Ambas barras se unirán a través de un cable de tierra de sección 16 mm^2 . Todas las medidas óhmicas se deberán verificar evidentemente sin tensión y las de diferencia de potencial, con todo el equipamiento máximo instalado y en funcionamiento.

4.10.5. Es obligatorio disponer, de un suministro especial complementario para la lámpara de quirófano o sala de intervención, y para los equipos de asistencia vital, durante mínimo 2 horas, debiendo entrar automáticamente en servicio en menos de 0,5 s.

4.10.6. Los receptores invasivos eléctricamente deben conectarse a la red a través de un transformador de aislamiento.

4.11 Suministros complementarios

4.11.1. Únicamente se pueden instalar equipos tipo UPS en el secundario de un sistema IT.

4.11.2. Si se realiza la instalación de equipos tipo UPS en el primario del sistema IT, hay que garantizar que, el consumo del resto de equipos instalados en la sala de usos médicos, no reduzca las 2 horas de garantía del suministro de la lámpara y de los equipos de asistencia vital.

4.11.3. En los lugares de tratamiento de pacientes donde sea necesario instalar al menos dos tomas de corriente del sistema IT, (por ejemplo, en la cabecera de una cama), se instalarán los tomacorrientes, pero cada una será alimentada por circuitos diferentes.

- 4.11.4. Si en la misma área médica los circuitos se alimentan por otros sistemas (TN-S o TT), los tomacorrientes conectados al sistema IT no deben ser compatibles con los enchufes de otros sistemas.
- 4.11.5. Se debe instalar in sistema IT para cada cama de UCI; no asignar un sistema IT cada 2 o 3 camas.
- 4.11.6. Exigir el certificado de los equipos, para que se puedan emplear en una red IT.
- 4.11.7. La lámpara de quirófano debe ser alimentada a través de un transformador de aislamiento.
- 4.11.8. Se debe garantizar el suministro de energía un mínimo de 2 horas, para lo cual se incorpora un UPS en el área de quirófanos.

4.12 Dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento por resistencia (Detector de Aislamiento)

- 4.12.1. Se utiliza más comúnmente para medir la resistencia óhmica entre los circuitos de un sistema IT y tierra, activándose la alarma cuando esta resistencia es menor que el valor ajustado.
- 4.12.2. Se debe instalar un cuadro de alarma del dispositivo de vigilancia del aislamiento en el interior de la sala vigilada (Repetidor de Alarma), fácilmente visible y accesible.

- 4.12.3. Incorporar en el Repetidor de Alarma la visualización del nivel de aislamiento y el pulsador de ensayo del Detector de Aislamiento.
- 4.12.4. Controlar la comunicación entre el Detector de Aislamiento y el Repetidor de Alarma de la sala vigilada, visualizando en el Detector la falta de comunicación.
- 4.12.5. Disponer de un sistema para medir la impedancia a tierra de las fases de la instalación (capacidades distribuidas).
- 4.12.6. Registrar con fecha y hora todas las alarmas, indicando inicio, fin y cuando se ha detenido el claxon (enterado de la anomalía).
- 4.12.7. Registro de las acciones de mantenimiento, como la realización de la prueba del detector mediante el pulsador de ensayo (con fecha y hora y personal responsable).

CONCLUSIONES

- 1.** Se desarrollaron las normas de seguridad eléctrica necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos médicos, y por consiguiente, el bienestar del paciente, y que éste no sea objeto de una falla en los sistemas que pudiera causar daños físicos e incluso la muerte del mismo.
- 2.** Luego de haber citado varios documentos de otros países, relacionados con la seguridad eléctrica, se tiene como resultado que las recomendaciones de los fabricantes, así como los mantenimientos preventivos de los equipos, ya no deben ser tomados como una opción, sino que deben ser una obligación para los encargados de administrar dichos equipos dentro de los hospitales.

3. En nuestro país se ha hecho caso omiso a la seguridad eléctrica por parte de varias instituciones hospitalarias; la creación de normas conlleva a que no sólo se las tome como opción, o peor aún que no se las tome en consideración; éstas deben ser acogidas de forma obligatoria por todas y cada una de las instituciones de salud, ya sean públicas o privadas.

4. Todo el personal médico y técnico de un hospital, público o privado, debe estar totalmente capacitado, y en constante actualización, sobre los riesgos de la electricidad, el buen uso de los equipos médicos y, sobre la normativa vigente que regule el uso de la electricidad y del equipamiento médico.

5. Los organismos rectores de la salud en nuestro país deben acoger estas regulaciones y normativas acerca de la prevención de los peligros en los pacientes que pueden ser producidos por la electricidad, así como también sobre las instalaciones eléctricas hospitalarias y los departamentos de mantenimiento de los mismos.

RECOMENDACIONES

1. La investigación desarrollada en este trabajo, es parte de un conglomerado de normas y regulaciones que esperamos sean acogidas a su debido tiempo, y cumplan las expectativas de las autoridades competentes que se encargarán de revisarlas y aprobarlas. Para lograr esa meta, deberá existir un cuerpo legal que sustente, o respalde, esta normativa que entraría en vigencia.
2. Se recomienda que cada cierto tiempo la normativa, después su aprobación y vigencia, esté siempre en revisión cada cierto periodo de tiempo, a cargo de una comisión especializada en el tema, conformada por profesionales de las áreas médica, de ingeniería, del

área legal y, representantes de los organismos principales del estado involucrados directa o indirectamente en el tema.

3. Es de suma importancia, que nuestra sociedad esté siempre capacitada sobre esta normativa, ya que la principal herramienta para la prevención es el conocimiento. Se deberán establecer foros de discusión, en donde se considere el aporte que puedan generar organismos nacionales y extranjeros como universidades, profesores, profesionales y, en general, la sociedad entera.
4. El no cumplimiento de las normas vigentes en el país, en cualquier centro de salud, público o privado, o por parte del personal médico o técnico, deberá ser sancionado con el máximo rigor establecido por las leyes vigentes en el país.
5. Los medios de comunicación (escritos, radio y televisión), jugarán un papel importante en la difusión de esta normativa, por lo que se recomienda involucrarlos de manera activa, para establecer los lineamientos necesarios para la difusión del tema.

ANEXO A

Sección 140: Hospitales, Clínicas y Similares

140-002

El Índice de peligrosidad con un conductor aislado conectado a tierra no es necesariamente igual al Índice de peligrosidad con el otro conductor aislado conectado a tierra; de los dos se impone el más alto.

140-100

Es altamente deseable que la administración de los servicios de cuidados de salud designe el uso pretendido para todas las áreas de cuidado de pacientes, de modo que pueda ser fácilmente comprendido por el personal encargado de dichos servicios.

140-102, 140-106

Las áreas de cuidados básicos no deben ser consideradas como residenciales, a las que pueda aplicarse las Reglas 150-702 y 150-704. Los usuarios del Código deben notar que las necesidades de tomacorrientes en áreas de cuidado de pacientes son frecuentemente mayores que en la mayoría de otros lugares.

140-104(1), 140-112

El objeto de esta regla es limitar la diferencia de tensión en la vecindad del paciente, para así minimizar el riesgo de un choque eléctrico.

El enlace a tierra en las áreas de cuidado de pacientes cumple dos funciones:

- (a) Limitar la tensión en las partes metálicas expuestas que puede presentarse en el caso de una falla del aislamiento del sistema de alambrado, o de un dispositivo de utilización; y
- (b) Eliminar la diferencia de tensión, pequeña pero potencialmente peligrosa, que pueda existir entre puntos puestos a tierra, en la vecindad del paciente.

Con la finalidad de poder comprobar la integridad del conductor de enlace equipotencial, no debe permitirse que éste tenga contactos intermedios con elementos metálicos puestos a tierra, como sería el caso de tuberías metálicas pesadas y en algunos cables blindados.

140-104(2), 140-112

Es el propósito que los métodos de enlace equipotencial especificados en esta Subregla puedan ser mixtos, esto es, que algunos conductores de enlace terminen en una barra de puesta a tierra y otros en el panel. En algunas situaciones el tendido tipo "margarita" del conductor de enlace, de tomacorriente a tomacorriente, puede resultar más efectivo que la instalación de conductores separados desde cada tomacorriente hasta un punto común.

140-106(3), 140-114

El propósito de esta Subregla es proveer protección contra el peligro de choque eléctrico durante el uso de artefactos de limpieza por el personal de servicio de cuadra. La Nota de la Regla 110-102 también se aplica a la Regla 110-106.

140-110

En áreas de cuidados Intermedios e Intensivos se puede utilizar sistemas puestos a tierra o sistemas aislados.

140-112

Ver Notas de la Regla 140-104.

140-114

Ver Notas de la Regla 140-106.

140-206

Es imperativo realizar pruebas, a intervalos regulares, de la impedancia a tierra de los circuitos individualmente aislados, y que se establezcan procedimientos de mantenimiento para los sistemas y equipo conectado para limitar el índice de peligrosidad de 2 mA.

140-208

Se debe probar periódicamente la impedancia a tierra de los sistemas trifásicos aislados, junto con las cargas conectadas, a menos que se utilice un dispositivo sensor de aislamiento (por ejemplo, un monitor de aislamiento).

140-304

El propósito del requerimiento de que los interruptores de transferencia se sostengan mecánicamente en posición es asegurar que, una vez conectado el sistema esencial a la fuente de suministro de emergencia, no debe ser desconectado hasta el restablecimiento del suministro normal.

Sección 150: Instalación de Equipo Eléctrico

150-008

La intención de esta regla es proteger equipos eléctricos contenidos bajo cubiertas ventiladas del rocío directo de las cabezas rociadoras de equipos contra incendio. Se consideran cumplidos los objetivos de esta regla cuando el agua:

- (1) Siguiendo una línea visual desde la cabeza rociadora, no puede alcanzar partes vivas al interior de la cubierta a través de las aberturas de ventilación en los lados y la parte superior del equipo eléctrico; y
- (2) Se acumula en la parte superior del equipo, y no puede fluir en el interior a través de aberturas significantes. Pueden considerarse aberturas significantes las aberturas de ventilación, aberturas alrededor de ductos de barras y de conectores de tipo seco de cables armados. Los pernos y rebordes se considera que no presentan aberturas significantes.

Los requerimientos de esta regla pueden considerarse cumplidos al usar equipos a prueba de intemperie.

150-012

Los interruptores automáticos e interruptores llenos de líquidos dieléctricos deben tener sus aberturas de ventilación dirigidas hacia un área exterior, de acuerdo con las instrucciones y recomendaciones del fabricante.

Cuando en el Código se requiera un cuarto de servicio, debe ser separado del resto de la edificación mediante un tabique a prueba de incendios, con una capacidad de 1 hora de resistencia al fuego, a menos que el cuarto de servicio esté provisto de sistema de rociado automático contra incendios.

150-012(2), 150-014(3)

La cubierta normal del equipo no debe ser considerada como la barrera requerida por esta Subregla.

150-210

Además de la protección de sobrecorriente del circuito provisto por esta regla, debe proveerse de protección de sobrecorriente a los condensadores, para protegerlos contra la explosión que podría ocurrir al producirse una falla en uno de ellos.

Cuando se arman en obra condensadores para corrección del factor de potencia, conformándose bancos o grupos de bancos, debe seguirse las Instrucciones del fabricante para una adecuada utilización y conexión, y asegurar la provisión de la protección de sobrecorriente necesaria.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ministerio de Energía y Minas – República del Perú, Código Nacional de Electricidad – Utilización, <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/JARU/CD/004normasdge/CodigoTomoV.pdf>, fecha de consulta febrero 2012

[2] Universidad de San Carlos de Guatemala, Manual de Seguridad Eléctrica y Metrología para equipos médicos, usados en los quirófanos de adultos del hospital General San Juan de Dios, http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_8938.pdf, fecha de consulta abril 2012.

[3] Unidad de Planeación Minero Energético-República de Colombia, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, , <http://content.yudu.com/Library/A1cw5m/CartillaRETIE/resources/index.htm?referrerUrl=http%3A%2F%2Fwww.google.com.ec%2Furl%3Fsa%3Dt%26rct%3Dj%26q%3Dcartilla%2520retie%2520-colombia%26source%3Dweb%26cd%3D1%26cad%3Drja%26ved%3D0CB8QFjAA%26url%3Dhttp%253A%252F%252Fcontent.yudu.com%252FLibrary%252FA1cw5m%252FCartillaRETI%252F%26ei%3D-P1XUJSeF4Oe9QSf-4DwBw%26usg%3DAFQjCNEO7uSvv7IEGDW1WN8zY8i3amXx2g>, fecha de consulta febrero 2012.

[4] JCAHO, La seguridad eléctrica en áreas de uso médico, http://www.premierinc.com/safety/topics/patient_safety/index_3.jsp, fecha de consulta mayo 2012.

[5] Junta de Andalucía, Instalaciones eléctricas seguras en áreas de uso médico, <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29701428/salud/home.html>, fecha de consulta marzo 2012.

[6] Organización Mundial de la Salud, Seguridad del Paciente, <http://www.who.int/patientsafety/es/index.html>, fecha de consulta junio 2012.