



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA**

*“DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD  
ELÉCTRICA SEGÚN NORMAS INTERNACIONALES  
PARA UN QUIRÓFANO.”*

**Trabajo de Graduación previo a la obtención del Título de Ingeniero Electrónico**

**Autores:**

**Adrián Benavides Romero  
José Honores León**

**Director:**

**Ing. Germán Zúñiga C.**

**Cuenca - Ecuador  
2006**

**Dedicatoria:**

A nuestros padres por todo el apoyo que nos brindaron en el transcurso de nuestra formación académica.

José Honores – Adrián Benavides.

En especial a Marissa, razón de mi permanente superación.

Adrián Benavides.

**Agradecimiento:**

Agradecemos al Ing. Germán Zúñiga, Ing. Bolívar Méndez, Ing. Santiago Mora, al Dr. Diego Castresana y a todas las personas que de alguna u otro manera ayudaron a la elaboración de este trabajo.

### **Resumen.**

En el presente trabajo se da una breve explicación de los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano y para evitarlos se explica la manera apropiada para el diseño o ajuste de las instalaciones eléctricas de una sala de operaciones (Quirófano), por ser esta el lugar de mayor consideración a tener presente en una edificación médica. Explicando los diferentes esquemas de conexión a tierra y el porque se utiliza el esquema IT, también se ilustra la forma en que se debe abastecer de energía eléctrica de emergencia, para proveer un suministro eléctrico continuo y sin perturbaciones.

**Abstract.**

The present work gives a brief explanation of the effects of an electrical shock on the human body. To avoid this danger, the design of an electrical security system for an operating room is developed, since this is one of the most important places in the design and functioning of a hospital. The electrical connection systems are described, emphasizing earth connection and IT schemes. Besides, an emergency electricity source is described, to guarantee a continuous electrical flow in the operating room.

**INDICE:**

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
1 CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 Efectos de la corriente en el cuerpo humano.....	1
1.1.1 El riesgo de electrocución: .....	1
1.1.1.1 Microshock.....	2
1.1.1.2 Macroshock.....	3
1.1.2 Lesión traumática por contracción muscular.....	5
1.1.3 Asfixia o paro respiratorio.....	6
1.1.4 Fibrilación ventricular.....	6
1.1.5 Paro cardiaco.....	7
1.2 Contacto directo.....	7
1.3 Contacto indirecto.....	7
1.4 Definiciones técnicas sobre locales médicos.....	8
1.4.1 Hospitales y Sanatorios.....	8
1.4.2 Clínicas y Policlínicas.....	8
1.4.3 Grupos de aplicación de salas para uso médico.....	9
1.4.4 Salas del grupo de aplicación 0.....	9
1.4.5 Salas del grupo de aplicación 1.....	9
1.4.6 Salas del grupo de aplicación 2.....	10
1.4.7 Salas de operaciones.....	10
1.4.8 Alimentación general de energía eléctrica de emergencia... 11	
1.4.9 Alimentación Adicional de Energía de Emergencia.....	12
1.4.10 Tiempo de conmutación.....	12
1.4.11 Tablero de distribución principal del edificio.....	12
1.4.12 Esquemas de conexión a Tierra.....	12
1.4.13 Redes IT.....	13
1.4.14 Luminaria Scialítica.....	13
2 CAPITULO II: DISTRIBUCIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA, PROTECCIÓN E ILUMINACIÓN.....	14
2.1 Alimentación y distribución de Energía Eléctrica.....	14
2.1.1 Tablero de distribución principal de la alimentación de Energía Eléctrica de Emergencia.....	14
2.1.2 Tableros de distribución.....	14
2.1.3 Alimentación de energía eléctrica en Quirófanos.....	15
2.1.4 Circuitos en la red IT de salas de Quirófano.....	16
2.1.5 Uso de computadoras.....	16
2.1.6 Circuitos de iluminación.....	17

2.2	Protección contra las corrientes peligrosas para el cuerpo humano.	17
2.2.1	Protección contra el contacto directo	17
2.2.2	Protección contra el contacto indirecto	18
2.2.2.1	Aislación de protección	18
2.2.2.2	Muy Baja Tensión de Protección.	18
2.2.2.3	Luminarias scialfícas.	18
2.2.2.4	Protección por indicación en un sistema IT.	18
2.2.2.5	Protección por desconexión fuera del sistema IT.	19
2.3	Iluminación.	19
3	CAPITULO III: SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN UN QUIRÓFANO.	21
3.1	Sistemas de puesta a Tierra.	21
3.1.1	Definiciones.	21
3.1.1.1	Tierra (profunda)	21
3.1.1.2	Toma de tierra.	21
3.1.1.3	Potencial eléctrico.	21
3.1.1.4	Resistencia de la toma de tierra.	21
3.1.1.5	Red de tierra.	22
3.1.1.6	Masa eléctrica.	22
3.1.1.7	Masa funcional.	22
3.1.1.8	Masa de acompañamiento.	22
3.1.1.9	Redes de masas funcionales.	22
3.1.1.10	Conexión de Tierra.	22
3.1.1.11	Tierra de seguridad.	23
3.1.1.12	Ruido.	23
3.1.2	Esquemas de Conexión de tierra.	23
3.1.2.1	Esquema de conexión a tierra TN-S	25
3.1.2.2	Esquema de conexión a tierra TN-C	25
3.1.2.3	Esquema de conexión a tierra TT	26
3.1.2.4	Esquema de conexión a tierra IT	26
3.2	Lazos cerrados de Tierra.	29
3.3	Planos equipotenciales.	29
3.3.1	Conexiones equipotenciales suplementarias.	30
3.3.2	Barras colectoras equipotenciales.	30
3.3.3	Conexiones a la barra colectoras equipotencial	30
3.3.4	Conexiones equipotenciales suplementarias.	31
3.4	Cargas electrostáticas	32
3.4.1	Pisos	32
3.4.1.1	Pisos conductivos.	33
3.4.1.2	Pisos astáticos o disipativos.	33
3.4.1.3	Pisos conductivos y disipativos comerciales.	33
3.5	Transformadores de aislamiento.	34
3.6	Monitores de Corriente.	35

3.7	Equipos indispensables de Emergencia.....	37
3.7.1	Grupo electrógeno. ....	38
3.7.2	UPS.....	38
4	CAPITULO IV: APLICACIÓN DEL DISEÑO A UN QUIRÓFANO.....	40
4.1	Introducción.....	40
4.2	Características de los Equipos Instalados en un Quirófano.....	41
4.3	Constitución.....	41
4.4	Instalación de un sistema de Puesta a Tierra. ....	42
4.4.1	Resistividad del terreno.....	43
4.4.2	Cálculo de resistencia de la Puesta a Tierra.....	44
4.5	Carga Eléctrica Instalada. ....	46
4.5.1	Cálculo de la potencia de la red IT. ....	47
4.5.2	Cálculo de la potencia fuera de la red IT.....	48
4.6	Tablero de Transferencia Automática.....	49
4.7	Distribución Eléctrica del proyecto.....	51
	CONCLUSIONES GENERALES: .....	53
	ANEXO A.....	ix
	ANEXO B. ....	xi
	ANEXO C. ....	xiii
	ANEXO D.....	xviii
	Glosario:.....	xx
	Bibliografía: .....	xxi

Benavides Romero Adrián David.  
Honosres León José Vladimir.  
Director: Ing. Germán Zúñiga Cabrera.  
Julio de 2006

## DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA SEGÚN NORMAS INTERNACIONALES PARA UN QUIRÓFANO.

### **1 GENERALIDADES.**

En edificaciones médicas es muy necesario asegurar el bienestar de los pacientes en especial de aquellos que se encuentren sujetos a aplicaciones de equipamiento electromédico. Esta seguridad se puede conseguir planificando de óptima forma la seguridad de las instalaciones además de una buena operación y mantenimiento de los equipos electromédicos que estén conectados a ella. El uso de equipos electromédicos en pacientes que se encuentran en diagnóstico y/o tratamientos de vital importancia ha demandado la mejora de la fiabilidad y seguridad de las instalaciones en hospitales en forma continua.

#### **1.1 Efectos de la corriente en el cuerpo humano**

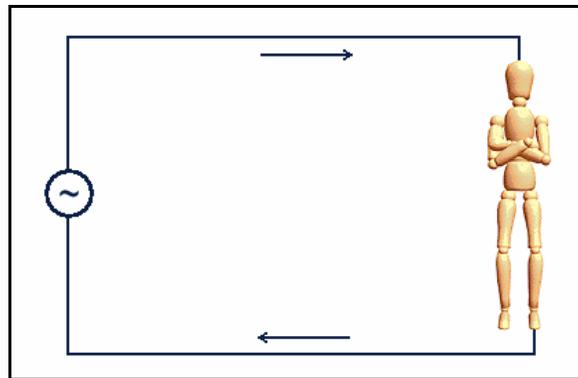
Debido a la presencia de equipos electromédicos en una sala de operaciones trae consigo la aparición de riesgos eléctricos a tenerse en cuenta para el diseño de este tipo de salas; los cuales se pueden presentar tanto para el paciente como para el operador; pero se puede disminuir en gran medida si existe una proyección segura de estos entornos. El origen de estos riesgos puede ser fugas de corrientes producidas por los equipos, energía estática y errores humanos en general.

##### **1.1.1 El riesgo de electrocución:**

Es la posible circulación de una corriente eléctrica a través del cuerpo humano. La corriente eléctrica entra por un punto del cuerpo humano, fluye por este y sale

por otro punto; es decir debe formar parte de un circuito eléctrico cerrado como en la Figura 1.1. El efecto fisiológico producido se denomina choque eléctrico y depende de la intensidad de corriente que atraviesa el cuerpo, además de la frecuencia y de la duración de la exposición; pudiéndose producir: alteraciones funcionales por la estimulación de células excitables, destrucción irreversible de los tejidos por efecto Joule y quemaduras químicas. Se habla de *macroshock* cuando el contacto se produce con la superficie del cuerpo, mientras que si se trata de un contacto con el interior (bajo la piel), se habla de *microshock*.

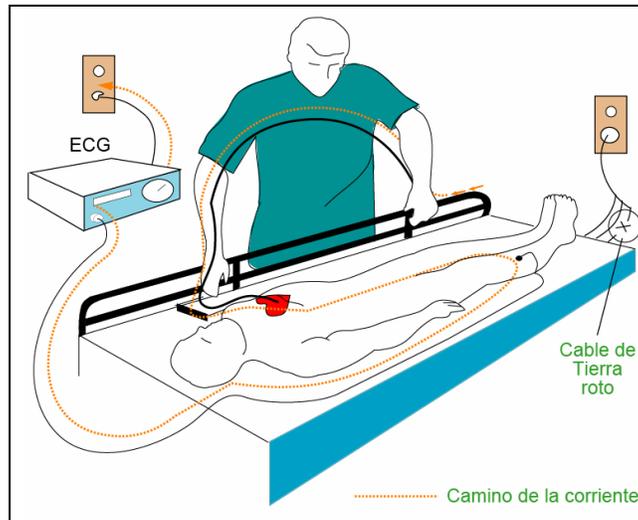
Figura 1.1: Choque Eléctrico.



#### 1.1.1.1 Microshock.

Desde el comienzo de las cateterizaciones intravasculares y su utilización como método de diagnóstico, nos enfrentamos con el gran riesgo de un camino directo o casi directo de conducción de la electricidad hacia el corazón debido al coeficiente de conducción de los catéteres (Figura 1.2.); aumentando de esta forma el riesgo fibrilatorio ante las más reducidas intensidades o tensiones. Valores que se podrían considerar como insignificantes como  $15 \mu\text{A}$  son suficientes para producir fibrilación si se aplican directamente sobre el miocardio.

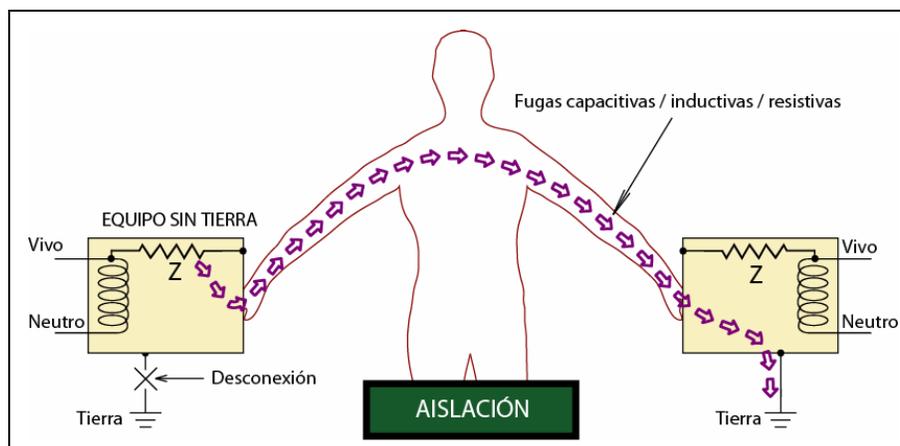
Figura 1.2: Microshock



### 1.1.1.2 Macroshock.

Es cualquier contacto de forma intencional o accidental de una persona puesta a tierra con partes energizadas eléctricamente, es decir el polo vivo de la línea de alimentación (Figura 1.3), fluyendo de esta forma una corriente a través del organismo; pudiendo producirle algún efecto nocivo o incluso la muerte. Por ejemplo, en una electrocución legal se aplican entre 3 y 10 A de corriente continua o de frecuencia 50 – 60Hz entre los miembros y el cráneo y se produce una muerte instantánea, además de una temperatura de mas de 100 °C dentro del encéfalo.

Figura 1.3: Macroshock.



Al valor mínimo necesario para que una persona detecte si existe o no un estímulo (en forma de cosquilleo), se lo llama umbral de percepción; que depende en gran parte de la frecuencia; siendo las mas peligrosas aquellas de 50 Hz y 60 Hz. Asimismo si aumenta la corriente hasta alcanzar cierto valor se puede producir contracciones musculares involuntarias en las que una persona no puede soltar un conductor agarrado mientras se mantenga el estímulo; a este valor se lo llama *let-go current*, para corrientes de 60 Hz el valor medio es de 16 mA y en caso de ser prolongada la exposición existe la posibilidad de asfixia.

Tabla 1.1: Efecto de las corrientes eléctricas débiles en los seres humanos

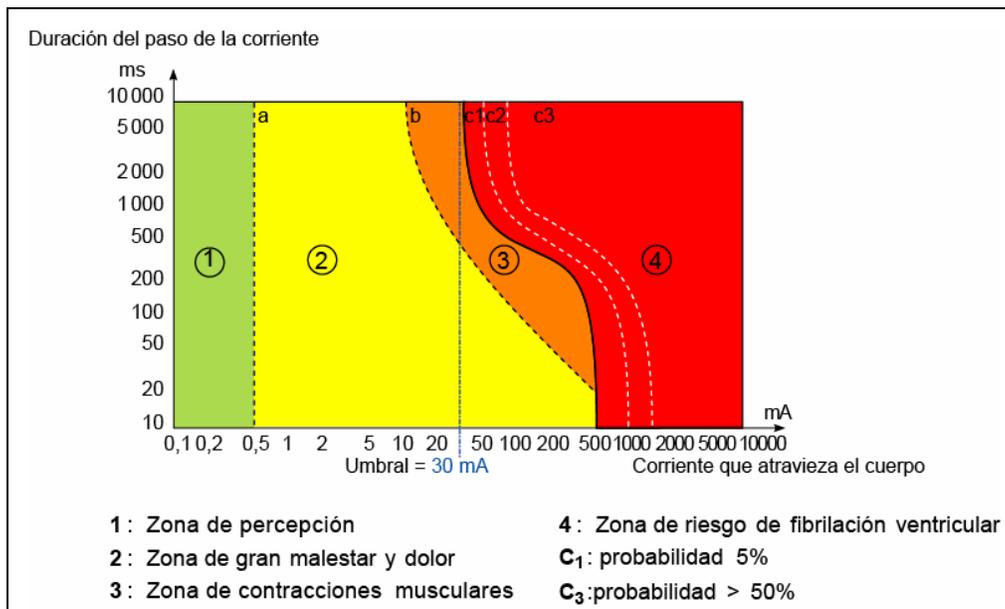
Efectos (para $t < 10$ seg)	Intensidad de Corriente Continua [mA]	Intensidad de Corriente 50 / 60 Hz [mA]	Intensidad de Corriente 10 kHz [mA]
Ligero cosquilleo, limite de percepción	3,5	0,5	8
Choque violento pero sin pérdida del control muscular	41	6	37
Nivel de agarrotamiento muscular (tetanización)	51	10	51
Fuerte dificultad respiratoria	60	15	61
Nivel de parálisis respiratoria		30	
Nivel de fibrilación cardiaca irreversible		75	
Paro cardiaco		1000	

Cuando es mayor el valor de la corriente y el camino de está incluye al corazón existe peligro de fibrilación ventricular como se indica en la Tabla 1.1. Entre los accidentes con circulación de corriente eléctrica a través del cuerpo se encuentran los siguientes:

- Lesión traumática por caídas.
- Lesión traumática por contracciones musculares.
- Lesiones permanentes por deterioro del tejido nervioso.
- Lesiones o muerte por efecto electrolítico debido al corte de c.c.
- Lesiones o muertes provocadas por quemaduras internas.
- Muerte por fibrilación ventricular.
- Muerte o lesiones permanentes provocadas por acción tóxica de quemaduras.

En un choque eléctrico, la intensidad de la corriente eléctrica es lo que produce el daño a la víctima; mientras más dure la circulación de la intensidad de corriente a través del cuerpo, más graves serán las lesiones que cause y mientras mayor sea el voltaje, mayor será la corriente y por ende los efectos serán más graves; muy graves si la corriente pasa por los centros nerviosos, o demasiado cerca de ellos y de los órganos vitales.

Figura 1.4: Zonas tiempo/corriente de los efectos de la corriente alterna (de 15 Hz a 100 Hz) en las personas.



El choque eléctrico se puede producir cualquiera de los accidentes enunciados anteriormente, de los cuales describiremos los más importantes debido a la gravedad que éstos representan para el ser humano:

### 1.1.2 Lesión traumática por contracción muscular.

Si se obliga a un músculo a contraerse y relajarse repetidas veces en un período de tiempo corto, se obtiene un estado de contracción permanente llamado "tétano". Dependiendo de las condiciones en que se presente la tetanización, el individuo podrá controlar parcialmente sus movimientos, por ejemplo, controlará el lado derecho si es el lado izquierdo el afectado y en caso de que mantuviese

la calma podría controlar la situación y contrarrestar el contacto eléctrico. En otros casos, el afectado puede salir despedido con fuerza, si la contracción muscular es demasiado violenta.

### **1.1.3 Asfixia o paro respiratorio.**

La tetanización se presenta con más intensidad en las masas musculares de mayor volumen, como pueden ser los músculos del pecho o los de la espalda, pectorales y gran dorsal entre otros, que son responsables en gran medida de los movimientos respiratorios, en caso de presentarse tetanización en estos músculos, se produciría la paralización respiratoria y la asfixia como resultado de esta, si fuese prolongada. La parálisis respiratoria también puede presentarse por desórdenes de los centros nerviosos que controlan los movimientos respiratorios si son afectados por la corriente eléctrica.

Estos efectos normalmente cesan al dejar de circular la corriente, siempre que no se haya producido una lesión permanente en dichos centros nerviosos y se hayan realizado los primeros auxilios correspondientes.

### **1.1.4 Fibrilación ventricular.**

El corazón es un órgano importante de nuestro cuerpo; consiste en un músculo que provoca la circulación de la sangre a través del torrente sanguíneo debido a la contracción de sus fibras de forma cíclica; cuando es atravesado por una corriente eléctrica de determinada magnitud, el movimiento se hace totalmente desordenado y arrítmico (Figura 1.5.); las fibras musculares constituyentes se mueven erróneamente y de forma individual, lo que da origen a la paralización de la circulación sanguínea.

Figura 1.5: Fibrilación ventricular.



A diferencia del resto de efectos la fibrilación ventricular no desaparece al suprimir el estímulo. El umbral de fibrilación depende del peso de la persona; ya que es imposible de experimentar en forma directa con seres humanos, se han realizado estudios en animales y se extrapolaron los valores para el ser humano y se sabe que la fibrilación empieza en valores de corriente superiores a los 60 mA con frecuencias de 50 – 60 Hz.

### 1.1.5 Paro cardiaco.

Es la interrupción de la actividad del corazón, debido a la contracción de los músculos del tórax, en este caso cuando se aparte a la víctima del circuito el corazón volverá a latir de forma normal.

### 1.2 Contacto directo.

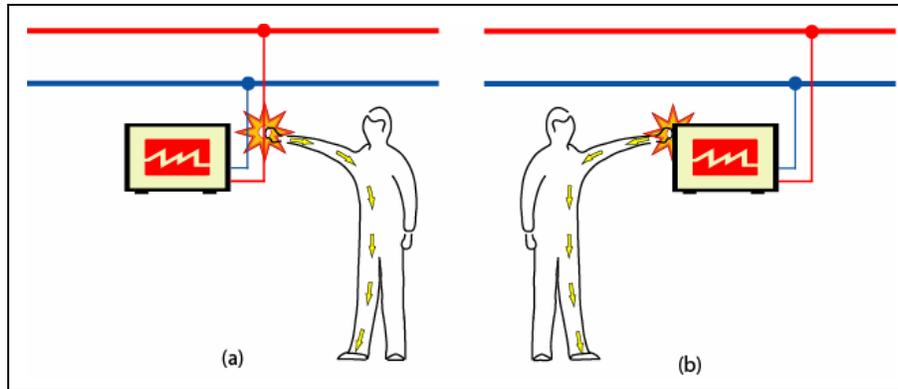
Se produce cuando una persona toca accidentalmente o no una parte activa de la instalación eléctrica (Figura 1.6a), como puede ser un conductor activo (fase o neutro) o elementos conductores desnudos o no aislados (cables aéreos, terminales de conexión o conductores con recubrimiento deteriorado).

### 1.3 Contacto indirecto.

Ocurre cuando una persona toca masas metálicas accesibles que habitualmente no están bajo tensión (Figura 1.6b), pero que accidentalmente han quedado

bajo tensión (como resultado de una falla de aislamiento), Estas fallas pueden derivarse de choques, vibraciones repetidas, infiltraciones de agua u otros líquidos conductores. etc. Como ejemplos de contactos indirectos podemos señalar el contacto con la armadura metálica de un artefacto defectuoso (motor, lavadora, etc.).

Figura 1.6: Contacto Directo y Contacto Indirecto.



## 1.4 Definiciones técnicas sobre locales médicos<sup>1</sup>.

### 1.4.1 Hospitales y Sanatorios.

Son establecimientos cuyas edificaciones poseen equipamiento médico y no médico, con el fin de diagnosticar, aliviar o curar enfermedades, padecimientos o daños corporales, por medio de la prestación médica asistencial, además puede prestar asistencia médica para el parto, y las personas a ser atendidas pueden ser asistidas y cuidadas. Tienen capacidad edilicia como para que pueda permanecer internado el paciente.

### 1.4.2 Clínicas y Policlínicas.

Sus instalaciones edilicias tienen equipamiento médico y no médico, para el diagnóstico y/o tratamiento de las enfermedades, padecimientos y daños

<sup>1</sup> Definiciones modificadas del “AEA - REGLAMENTACION PARA LA EJECUCION DE INSTALACIONES ELECTRICAS EN HOSPITALES Y SALAS EXTERNAS A LOS HOSPITALES” [EDICION 2005]

corporales, por medio de la prestación médica asistencial. A diferencia de los anteriores, en las Clínicas y Policlínicas los pacientes no permanecen internados.

#### **1.4.3 Grupos de aplicación de salas para uso médico.**

Son las salas de medicina humana y dental, que se utilizan de conformidad con las disposiciones, para examinar o tratar a las personas. Con relación a las medidas necesarias para la protección contra los riesgos eléctricos en caso de fallas, las salas para uso médico se clasifican en grupos de aplicación.

#### **1.4.4 Salas del grupo de aplicación 0.**

Son salas para uso médico, donde no se emplean aparatos electromédicos conectados a la red de energía eléctrica; en estas salas los pacientes no tienen contacto con equipos electromédicos durante el examen o el tratamiento, o se utilizan equipos electromédicos que incluso hasta fuera de las salas para uso médico están permitidos para su aplicación al paciente, según las indicaciones de los manuales que acompañan a los aparatos, o se operan equipos electromédicos que se alimentan exclusivamente de fuentes de energía eléctrica instaladas en los mismos equipos (baterías).

#### **1.4.5 Salas del grupo de aplicación 1.**

En éstas salas de uso médico se utilizan equipos electromédicos conectados a la red, con los cuales o con cuyas partes de aplicación, los pacientes entran en contacto durante el examen o el tratamiento. En este grupo de aplicación, los exámenes y tratamientos de los pacientes, pueden interrumpirse y repetirse. Se permite la desconexión automática del suministro de energía sin que por ello se ponga en peligro a los pacientes, al presentarse una primer falla eléctrica a tierra o a masa, o un corte de la red general.

#### **1.4.6 Salas del grupo de aplicación 2.**

Son salas para uso médico en donde se utilizan equipos electromédicos conectados a la red, que sirven para intervenciones quirúrgicas o para mediciones corpóreas de interés vital. Estos equipos deben poder seguir operando ante una primer falla eléctrica a masa o a tierra, y/o ante un corte en el suministro de la red de distribución pública, ya que los exámenes o los tratamientos no pueden interrumpirse y repetirse, sin que impliquen un daño para los pacientes.

#### **1.4.7 Salas de operaciones.**

Son las salas en donde se llevan a cabo las intervenciones quirúrgicas. Dependiendo del tipo y la gravedad de la intervención, se llevan a cabo aquí las analgesias (eliminación de la sensibilidad al dolor) o las anestесias (narcosis parciales o totales) y se utilizan aparatos de control y reanimación, aparatos de rayos X y otros equipos médicos.

Tabla 1.2: Ejemplos de asignación de los distintos tipos de salas, según los grupos de aplicación.

GRUPO DE APLICACIÓN	TIPO DE SALA DE ACUERDO A LA UTILIZACIÓN	TIPO DE UTILIZACIÓN MÉDICA
0	Salas de internación Salas de esterilización para operaciones Salas de lavado para operaciones Consultorios de medicina humana y dental	Ninguna utilización de equipos electromédicos.
1	Salas de internación Salas para terapia física Consultorios de medicina humana y dental Salas para diagnóstico radiológico y tratamiento Salas para endoscopias Salas para diálisis Salas de examen intensivo Ambulatorios quirúrgicos Salas para cateterismo cardíaco para diagnóstico	Utilización de equipos electromédicos a través de aberturas naturales en el cuerpo, o con intervenciones quirúrgicas menores (cirugía menor)  Exámenes con catéter flotante
2	Salas de preparación para operaciones Salas de operación Salas de recuperación Salas para yesos quirúrgicos Salas de examen intensivo Salas de cuidados intensivos Salas de endoscopia Salas para diagnóstico radiológico y tratamiento Salas clínicas de parto Salas para cateterismo cardíaco para diagnóstico para tratamiento y diagnóstico donde no se utilizan catéteres flotantes Salas para diálisis de emergencia o aguda Salas de neonatología	Operaciones de órganos de todo tipo (cirugía mayor), introducción de catéteres en el corazón (cateterismo cardíaco), introducción quirúrgica de partes de aparatos, operaciones de todo tipo, mantenimiento de las funciones vitales con equipos electromédicos, intervenciones a corazón abierto

#### 1.4.8 Alimentación general de energía eléctrica de emergencia.

La instalación eléctrica de emergencia está compuesta por las fuentes de energía eléctrica de emergencia, los dispositivos de conmutación correspondientes, los centros de distribución, los circuitos de distribución y consumo, hasta los bornes de conexión de los equipos a alimentar. En caso de

una perturbación de la red general, la red general de energía eléctrica de emergencia deberá alimentar por un tiempo determinado los equipos de emergencia necesarios, los equipos médico-técnicos (se entiende por equipos médico-técnicos a los equipos electromédicos comprendidos por lámparas scialfíticas, heladeras de medicamentos, equipos de laboratorios y en general a todos aquellos que resultando indispensables para la labor de los médicos, que no pueden quedar sin energía bajo ningún concepto) y los equipos imprescindibles para el mantenimiento del servicio del hospital.

#### **1.4.9 Alimentación Adicional de Energía de Emergencia.**

Una Alimentación Adicional de Energía de Emergencia (UPS), es un equipamiento eléctrico que suministra energía eléctrica durante un tiempo establecido a determinados equipos médico-técnicos, para el caso en que se produzca, en forma simultánea, un corte de la red general y la falta de la alimentación de energía de emergencia.

#### **1.4.10 Tiempo de conmutación.**

Es el período que transcurre entre el comienzo de la perturbación en la red general y el restablecimiento de la alimentación efectiva de energía eléctrica de emergencia a los consumidores previamente asignados.

#### **1.4.11 Tablero de distribución principal del edificio.**

Es el centro de distribución que satisface todas las funciones de un centro de distribución principal.

#### **1.4.12 Esquemas de conexión a Tierra.**

Existen tres tipos de conexiones para conseguir la seguridad de las personas y equipos electromédicos que se encuentren en el ambiente hospitalario; dichos esquemas tienen sus ventajas y desventajas. Se identifican por las siguientes letras:

Tabla 1.3: Esquemas de Conexión a Tierra.

PRIMERA LETRA	SEGUNDA LETRA	TERCERA LETRA
<b>T</b> CONEXIÓN DIRECTA A TIERRA	<b>N</b> CONEXIÓN A NEUTRO	<b>S</b> CONDUCTORES SEPARADOS <b>C</b> CONDUCTORES COMUN
<b>I</b> AISLADO DE TIERRA	<b>T</b> CONEXIÓN A TIERRA	

Según la Tabla 1.3 se definen tres sistemas de conexión, a saber: TN, TT e IT.

#### 1.4.13 Redes IT.

Estas redes o sistemas se caracterizan fundamentalmente por no tener un neutro conectado a tierra y de disponer de un transformador de aislación o también llamado barrera galvánica. Son de uso frecuente en instalaciones hospitalarias, centro de cómputos y en aquellos lugares donde la seguridad física tanto de equipos como de personas es una prioridad.

#### 1.4.14 Luminaria Scialítica.

Son luminarias que se utilizan para la iluminación localizada en los quirófanos, las cuales están localizadas en el techo sobre la mesa de operaciones, mediante brazos articulados con el objetivo de darle flexibilidad, además cumplen con las siguientes condiciones:

- Flujo luminoso elevado.
- No generan sombra.
- No irradian calor.

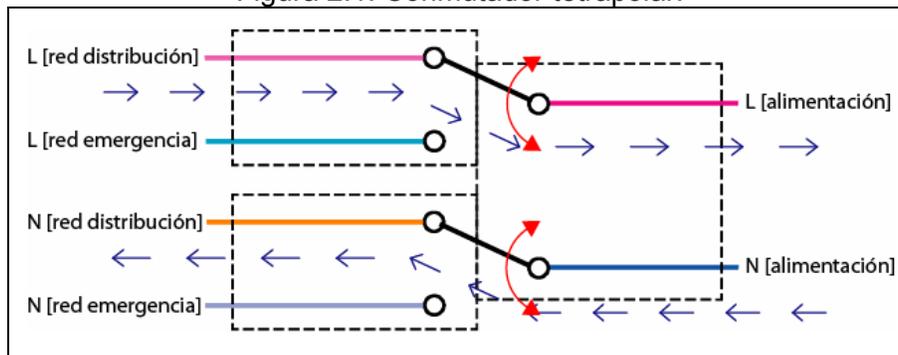
## 2 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, PROTECCIÓN E ILUMINACIÓN.

### 2.1 Alimentación y distribución de Energía Eléctrica.

#### 2.1.1 Tablero de distribución principal de la alimentación de Energía Eléctrica de Emergencia.

El dispositivo de conmutación de la Energía Eléctrica de Emergencia, en el tablero principal no debe referenciar (común) el neutro del alimentador de Energía Eléctrica de Emergencia con el neutro de la compañía distribuidora de Energía Eléctrica. Por tal razón se sugiere utilizar un dispositivo conmutador tetrapolar.

Figura 2.1: Conmutador tetrapolar.



#### 2.1.2 Tableros de distribución

El personal médico debe tener fácil acceso a los dispositivos de protección contra sobrecorrientes y los interruptores diferenciales de los circuitos terminales que utiliza dicho personal, también la instalación del tablero de distribución se deberá efectuar fuera de la sala y debe permitir una simple medición de la resistencia de aislación de todos los conductores y Tierra en cada circuito de salida.

Para cada quirófano se deberán instalar tableros de distribución propios; en estos tableros se instalarán los transformadores de aislación y deberán estar lo mas

próximos a las salas; es decir exteriormente a ellas y preferentemente fuera del área estéril.

### **2.1.3 Alimentación de energía eléctrica en Quirófanos.**

Es imprescindible la instalación de una red IT preferentemente con transformadores monofásicos (La potencia nominal del transformador no debe ser menor que 0.5 KVA y no mayor que 10 KVA), a fin de procurar un abastecimiento seguro de energía a los equipos electromédicos propios de la sala de operaciones. Dicha red IT no es necesaria para otros dispositivos eléctricos conectados a dos alimentaciones diferentes, tales como la iluminación y otras tomas que no necesitan de la seguridad proporcionada por una red IT (como por ejemplo radio, computadora, etc.).

La alimentación de la red IT deberá tener dos alimentaciones independientes una preferencial y otra secundaria, y en caso de fallar la alimentación preferencial, automáticamente se conmutara a la alimentación secundaria. Cuando se alimenta al tablero con Energía de Emergencia y un suministro de energía principal; la alimentación con Energía de Emergencia siempre se considerara como preferencial, y como alimentación secundaria la proveniente del tablero principal. La instalación de las dos alimentaciones se debe realizar lo más separadas posibles o se lo hará en dos canalizaciones diferentes.

Se deben instalar dos dispositivos de protección del transformador de aislamiento en caso de sobrecarga sin corte automático de la Energía Eléctrica; uno acústico que se podrá desactivar y un óptico ubicado de tal forma que pueda ser observado por el personal médico durante una intervención quirúrgica; además la indicación debe ser percibida por el personal técnico que les permitirá reaccionar rápidamente reduciendo la carga. Como no es admisible la desconexión por sobrecarga, es necesario prever un dimensionamiento adecuado del transformador.

#### **2.1.4 Circuitos en la red IT de salas de Quirófano.**

Es necesario por lo menos en una red IT, un control de aislación para los circuitos que alimentan ya sea a equipos electromédicos de vital importancia y luminarias scialfíticas o luminarias similares cuya alimentación no se aplica la medida de protección Muy Baja Tensión de Seguridad [MBTS].

En el puesto de atención de pacientes se dividirán los tomacorrientes por lo menos en dos circuitos; cada circuito no debe abastecer a mas de 6 tomacorrientes, asimismo se ha demostrado en la práctica que se necesitan por lo menos 12 tomacorrientes hasta un máximo de 24 para cada puesto de pacientes. Los tomacorrientes deben tener una indicación visual (lámpara de neón o LED) de la existencia de tensión. Se deben identificar los tomacorrientes de la red IT cuando en la misma sala se encuentra otro circuito que esta conectado a otra alimentación de seguridad.

Con el objetivo de proteger a los conductores y líneas alimentación de calentamientos excesivos se utilizarán interruptores de línea de protección que interrumpirán todos los polos actuando selectivamente ante los cortocircuitos, para desconectar únicamente el circuito respectivo.

#### **2.1.5 Uso de computadoras.**

Actualmente existe una gran cantidad de equipos que son controlados a través de una computadora; esto acarrea problemas en el ambiente hospitalario y en mayor parte en un quirófano; toda computadora o cualquier sistema en general que posea una fuente de entrada con filtros capacitivos a tierra no podrán usarse dentro de una red IT, debido a que estos tipos de fuentes interfieren el sistema de medición de aislamiento. Solamente se pueden usar computadoras dotadas con fuentes de alimentación de grado médico; estas fuentes están certificados como apto para equipos médicos por algún ente certificador y avalados en su país de origen para dicho uso, lo que las hace muy confiables

para ser usado en el equipamiento médico por ser concebidas para tener una alta aislación y minimizar las fugas de corriente.

### **2.1.6 Circuitos de iluminación.**

Con el fin de garantizar la iluminación; cuando se utilice protección por medio de desconexión con interruptores diferenciales (ver Anexo A), estos se deben asignar a por lo menos dos circuitos de tal forma que en caso de activarse no desconecten todos los circuitos de iluminación de una sala.

## **2.2 Protección contra las corrientes peligrosas para el cuerpo humano.**

### **2.2.1 Protección contra el contacto directo**

En la sala de operaciones las partes conductivas expuestas del equipo médico como por ejemplo luminarias, deben conectarse a un borne equipotencial, además se requiere de protección mediante la utilización de aislantes, envolventes o barreras que proporcionen el aislamiento de las partes activas incluso con menos de 25V de tensión alterna, es decir aun cuando se utilice Muy Baja Tensión de Protección [MBTP] o Muy Baja Tensión de Seguridad [MBTS].

Las instalaciones con Muy Baja Tensión de Seguridad son aquellas en las que la tensión nominal no supere 25 V en c.a. ó 60 V en c.c, alimentadas por una fuente con aislamiento de protección, tales como un transformador de seguridad o fuentes equivalentes.

Los límites nominales para Muy Baja Tensión de Seguridad y Muy Baja Tensión de Protección son 50 V en c.a. y 120 v en c.c. libre de ondulaciones<sup>2</sup>, sin embargo la Norma CEI 60601-1 reduce estos límites a 25 V c.a. y 60 V c.c. Libre de ondulaciones; cuando estos dos sistemas se están utilizando en salas médicas del Grupo 1 y del Grupo 2.

---

<sup>2</sup> Según la disposición Española ITC-BT-36, la corriente continua libre de ondulación comprende aquella en la cual el porcentaje de ondulación no supera el 10% del valor eficaz.

## **2.2.2 Protección contra el contacto indirecto**

Es necesario aplicar las siguientes protecciones:

### **2.2.2.1 Aislación de protección.**

Los equipos utilizados en la sala de operaciones deberán tener aislación doble ó la aislación reforzada. (Clase II de protección ver Anexo B).

### **2.2.2.2 Muy Baja Tensión de Protección.**

El voltaje nominal en los consumidores no debe ser mayor a 25 V de tensión alterna.

### **2.2.2.3 Luminarias scialíficas.**

Solamente se utilizara alimentación MBTS en las luminarias scialíficas de la sala de operaciones.

### **2.2.2.4 Protección por indicación en un sistema IT.**

Ya que la protección por desconexión no es aceptada se tendrá que equipar al sistema IT con un dispositivo de monitoreo de aislación; pudiendo este ser del tipo de medición de aislamiento por resistencia que en su caso deberá indicar cuando la resistencia de aislación disminuya a  $50K\Omega$  o del tipo de medición de aislación por impedancia en cuyo caso la alarma se activará cuando exceda 1,4mA y actuara al pasar de los 2mA de corriente de fuga a tierra<sup>3</sup>.

El monitor deberá tener un indicador analógico o de aguja y/o digital que indiquen los valores totales en mA o en  $k\Omega$  en forma permanente. A fin de realizar los controles pertinentes, se debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Una lámpara del color verde indicando el funcionamiento.
- Una lámpara de color amarillo que indicara cuando se alcance el valor calibrado de resistencia de aislación (No cancelable y no desconectable).

---

<sup>3</sup> AEA - REGLAMENTACION PARA LA EJECUCION DE INSTALACIONES ELECTRICAS EN HOSPITALES Y SALAS EXTERNAS A LOS HOSPITALES" [EDICION 2005]

- La lámpara amarilla se apagará una vez que el valor de aislación regrese a condiciones normales.
- Una señal acústica que indica si el valor de la resistencia prefijado se alcanzó con posibilidad de ser silenciada.
- Pulsante de prueba del sistema que conectara una resistencia de 42kΩ entre un conductor de fase y otro de protección.

Figura 2.2: Ejemplo de Monitor de Aislación [BENDER - LIM200PLUS].



#### 2.2.2.5 Protección por desconexión fuera del sistema IT.

Únicamente se utiliza protección por desconexión en:

- Circuito de control de la mesa de operaciones.
- Circuitos para equipos de rayos X.
- Circuitos para equipos grandes con una potencia mayor a 5kW.
- Circuitos de tomacorrientes que no estén destinados para aplicación médica de interés vital.
- Circuitos de iluminación a excepción de las scialíticas.

### 2.3 Iluminación.

Se debe asegurar que exista un restablecimiento de la iluminación en un tiempo de hasta 15 segundos para los siguientes casos:

- Vías de escape, con un nivel mínimo recomendado en la línea media de 1 lux medido a una altura de 20cm sobre el nivel del piso o escalones según sea el caso.
- Indicadores de Salida (*Exit signs*) y las respectivas señalizaciones complementarias deberán iluminarse en caso de una falla del suministro de energía eléctrica.
- Salas de tableros, salas de grupos electrógenos; es decir las salas encargadas de la conmutación y las salas de control de energía; en los cuales se recomienda un nivel mínimo de luz de al menos el 10% de la nominal y mayor a 15 lux.
- Los tableros de distribución de la energía proveniente de la red general y asimismo los tableros del suministro de Energía Eléctrica de Emergencia, deberán contar con su debida iluminación de trabajo en caso de averías.
- Salas o lugares creados con la intención de llevar a cabo servicios esenciales, en dichos sitios como mínimo una luminaria deberá estar alimentada con el suministro de energía eléctrica de emergencia para servicios de seguridad<sup>4</sup>.
- Salas del Grupo 1, en donde tendrá que seguir funcionando por lo menos una luminaria; alimentada por el suministro de energía eléctrica de emergencia.
- Salas del grupo 2, en estas salas se tendrá que contar con un mínimo del 50% de las luminarias alimentadas; es decir conectadas al suministro de energía eléctrica de emergencia.

---

<sup>4</sup> La CEI define servicios de seguridad como: “Aquellos servicios en una edificación los cuales son esenciales para la seguridad de las personas y evitan daños al entorno u otros materiales. Por ejemplo luces de las salidas de emergencia, sistemas de alarma, sistemas de evacuación, sistemas de extracción de humo y equipo electromédico esencial”.

### **3 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN UN QUIRÓFANO.**

#### **3.1 Sistemas de puesta a Tierra.**

Las instalaciones eléctricas en general, están vinculadas funcionalmente con la tierra, incluso aquellas que se denominan "aisladas de tierra". Esta vinculación se puede realizar de distintas formas, cada una de las cuales hará que la instalación eléctrica presente ciertas características de protección. Entendiendo como tal a los contactos que puedan realizar los seres vivos con cables activos o en caso de un cortocircuito.

##### **3.1.1 Definiciones.**

###### **3.1.1.1 Tierra (profunda).**

Masa conductora del planeta que sirve de referencia de modo común de las instalaciones eléctricas.

###### **3.1.1.2 Toma de tierra.**

Conductor en contacto directo con la tierra.

###### **3.1.1.3 Potencial eléctrico.**

Es el trabajo que se debe realizar sobre una unidad de carga eléctrica para trasladarla desde el infinito a un punto elegido, o viceversa.

###### **3.1.1.4 Resistencia de la toma de tierra.**

Resistencia entre el (o los) conductor(es) que constituyen la toma de tierra y la tierra profunda.

**3.1.1.5 Red de tierra.**

Conjunto de de protección (PE) ligado a la toma de tierra, cuyo objeto es evitar la aparición de una tensión peligrosa entre las masas eléctricas y la tierra en caso de defecto de aislación (contacto indirecto).

**3.1.1.6 Masa eléctrica.**

Parte conductora de un material eléctrico que puede quedar con tensión cuando se produce una falla de aislación.

**3.1.1.7 Masa funcional.**

Parte conductora de un material electrónico que tiene una misión de pantalla y frecuentemente de referencia de potencial (0 voltios).

**3.1.1.8 Masa de acompañamiento.**

Estructura de masa o conductor, tal como una plancha mallada, un electrocanal metálico o un blindaje, que acompañan de principio a fin a un cable de señal al que protegen para conseguir reducir los acoplamientos electromagnéticos (HF) o comunes.

**3.1.1.9 Redes de masas funcionales.**

Conjunto de conductores de masa de acompañamiento y de estructuras conductoras de los edificios que tienen la misión de equipotencialidad y de pantalla frente a las perturbaciones.

**3.1.1.10 Conexión de Tierra.**

Es toda conexión proyectada o accidental con una impedancia muy baja, a través de la cual se conecta a Tierra un circuito electrónico o equipo eléctrico, o

conectado a algún medio conductor relativamente grande que reemplace a la Tierra.

#### **3.1.1.11 Tierra de seguridad.**

Es la cual brinda protección de cualquier choque eléctrico a los seres vivos. Es de vital importancia que las partes conductoras, por ejemplo las carcasas metálicas de los equipos y artefactos estén correctamente conectadas a tierra para evitar el riesgo de choque eléctrico a los usuarios.

#### **3.1.1.12 Ruido.**

El ruido es energía electromagnética indeseable, que proviene de fuentes ajenas al equipo; las fuentes de ruido se pueden clasificar en tres tipos fundamentales:

- Naturales.
- Incidentales.
- Intencionales.

**Naturales.** Ocurren independientemente de la actividad humana pero sus efectos pueden ser controlados. Por ejemplo descargas atmosféricas.

**Accidentales.** Son producidas por el hombre pero no son intencionales. Por ejemplo transitorios producidos por la conmutación de Alta Tensión de una sección a otra.

**Intencionales.** Son emisiones de energía potencialmente interferente producidas para otros propósitos. Por ejemplo Rayos X, Electrobisturías, etc.

### **3.1.2 Esquemas de Conexión de tierra**

Los circuitos ya sean eléctricos o electrónicos se deben conectar a Tierra por seguridad, ante la presencia de varias razones tales como:

- Reducción de ruido.
- Punto de referencia para las señales.
- Protección contra descargas atmosféricas
- Para evitar choque eléctricos.

Los Esquemas de Conexión a Tierra establecen la clasificación según la conexión a tierra de las redes de alimentación y de las masas de las instalaciones eléctricas consumidoras; la norma CEl 60364 presenta tres esquemas distintos para la conexión de tierras: TN, TT e IT; denominándose cada uno estos esquemas “regímenes de neutro” y que suelen denominarse simplificadaamente ECT. Los tres grupos o esquemas se los reconoce con letras, las cuales tienen el siguiente significado:

**Primera letra:** Indica la situación del neutro de la alimentación, respecto a la puesta a tierra, pudiendo ser las letras T e I.

**T:** conexión directa del neutro con la puesta a tierra

**I:** aislamiento de todas las partes activas por conexión a tierra o por conexión a través de una impedancia.

**Segunda letra:** Indica la situación de las masas de la instalación respecto de a la puesta a tierra. Pudiendo ser:

**T:** masas conectadas directamente a tierra

**N:** masa conectadas al neutro de la instalación y estas a tierra

**Tercera letra**

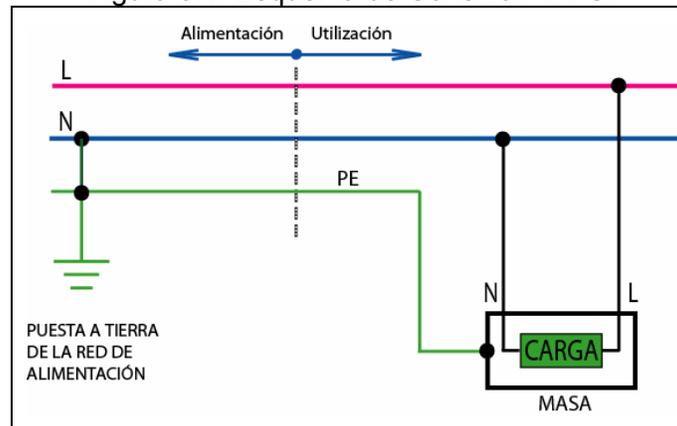
**S:** el cable neutro (N) está separado del cable de protección eléctrica (PE) y ambos separados.

**C:** las funciones de neutro y de protección están combinadas por un solo cable (PEN), situación combinada.

### 3.1.2.1 Esquema de conexión a tierra TN-S

El cable correspondiente al neutro (N) y el cable de protección (PE) están separado en toda la instalación y están conectados entre sí en el origen de la alimentación, y a tierra, como mínimo en el origen de la alimentación (Figura 3.1), pudiendo estar además el cable de protección (PE) conectado a tierra en varios puntos mas a lo largo de la instalación consumidora.

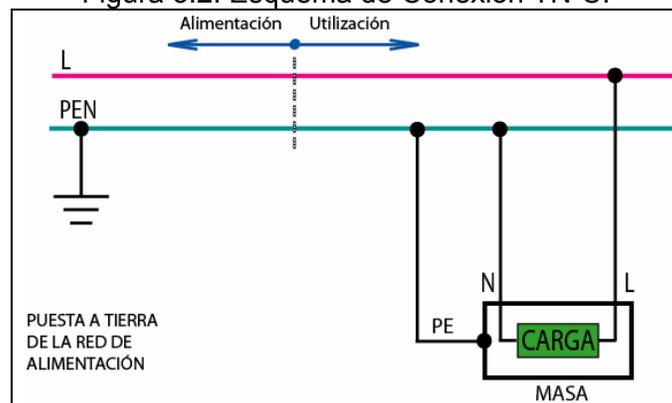
Figura 3.1: Esquema de Conexión TN-S.



### 3.1.2.2 Esquema de conexión a tierra TN-C

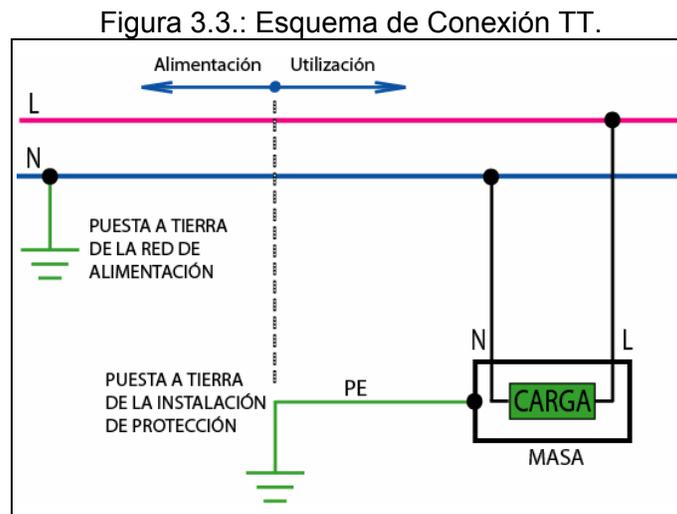
La función del cable de neutro (N) y de protección (PE) se combinan en uno solo (llamado PEN) en toda la instalación y el mismo está puesto a tierra en la alimentación (Figura 3.2). En caso de fallas, no hay corriente que circule por tierra, este esquema también esta prohibido para tipo de inmueble.

Figura 3.2: Esquema de Conexión TN-C.



### 3.1.2.3 Esquema de conexión a tierra TT

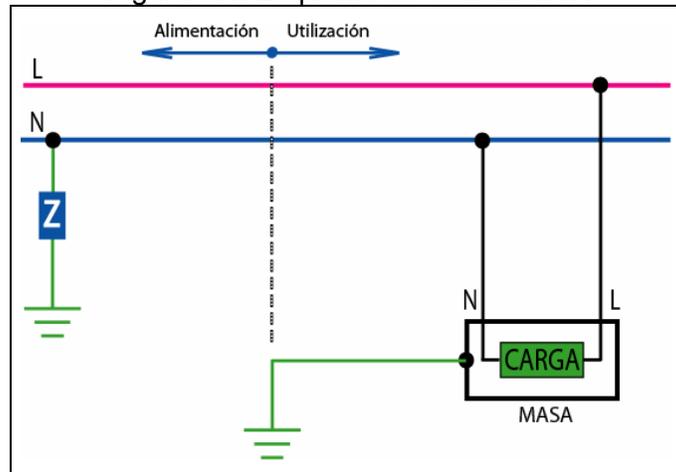
Un punto del sistema de alimentación (en general el centro de estrella del transformador de distribución "neutro" del sistema) es conectado directamente a tierra (de servicio o funcional) por el proveedor de la energía eléctrica, y las masas eléctricas de la instalación consumidora conectada a través de un cable de protección denominado PE, a una toma de tierra (tierra de protección) eléctricamente independiente de la toma de tierra de servicio (Figura 3.3). En caso de falla circula una corriente por tierra. En los sistemas TT, la resistencia de puesta a tierra debe ser menor o igual a  $10\Omega$ , pero preferentemente no mayor de  $5\Omega$ .



### 3.1.2.4 Esquema de conexión a tierra IT

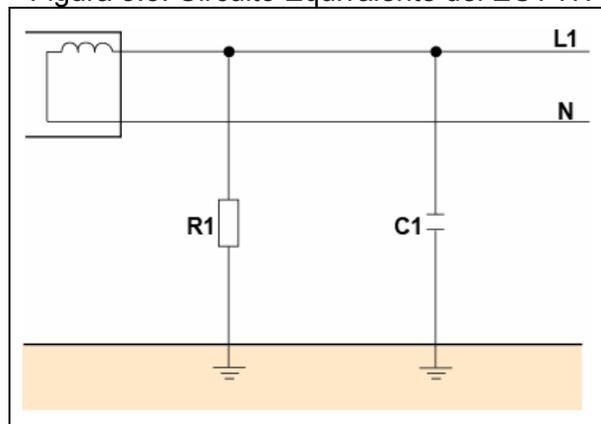
El esquema IT o de neutro aislado, como su nombre lo indica, presenta la particularidad de que el neutro del transformador está aislado de tierra o a través de una impedancia ( $Z$ ). Las masas de la instalación consumidora están puestas a tierra mediante el cable de protección (PE) que es distinto al del neutro (N) (Figura 3.4). O sea que hay un aislamiento permanente entre el cable del neutro y tierra.

Figura 3.4: Esquema de Conexión IT.



Este régimen posee la ventaja de que permite garantizar la máxima continuidad de servicio y sobre todo seguridad para las personas, requiere la presencia de personal de mantenimiento y un cálculo preciso de longitudes máximas de líneas que nos permita decidir si hay que utilizar o no protección diferencial para efectuar la correcta protección en caso de segundo defecto.

Figura 3.5: Circuito Equivalente del ECT IT.



En funcionamiento normal (es decir sin fallos de aislamiento), la red se conecta a tierra a través de la impedancia de fuga de la red (Figura 3.5). Para un cable, esta impedancia se caracteriza por los siguientes valores típicos de capacidad (C) y resistencia (R) de aislamiento:

$$C = 0,3 \mu\text{F} / \text{Km.}$$

$$R = 10 \text{ M}\Omega / \text{Km}^5.$$

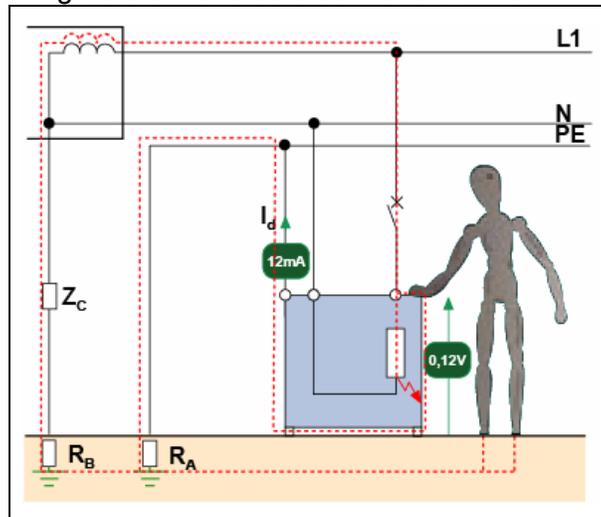
Tendremos pues una impedancia total de línea formada por dos impedancias (resistiva y capacitiva); la resultante de las impedancias en paralelo es prácticamente capacitiva, podemos aproximarla a:

$$Z_c = X_c = \frac{1}{C \cdot \omega}, \quad \omega = 2\pi f$$

En caso de fallo de aislamiento (Figura 3.6) y para una tensión  $U_0$  de 110 V suponiendo que  $R_A = R_B = 10 \Omega$ , la corriente de defecto  $I_d$  será de:

$$I_d = \frac{U_0}{Z_c + R_A + R_B} = \frac{110}{(8840 + 10 + 10)} = 12,4 \text{ mA}$$

Figura 3.6: Fallo de aislamiento en ECT IT.



Por lo tanto, no hay riesgo de incendio. La tensión de contacto  $U_c$  de la masa del receptor a tierra será equivalente a:

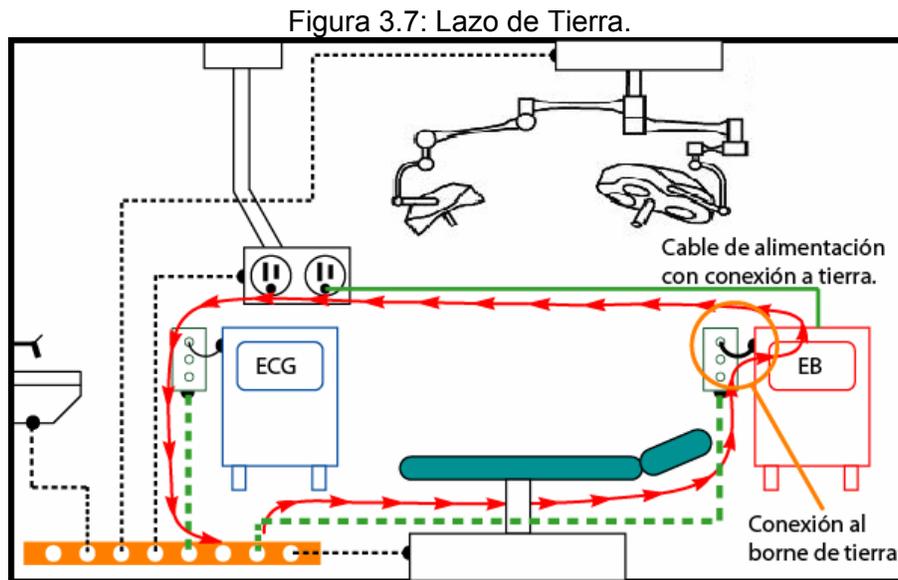
$$\begin{aligned} U_c &= I_d \cdot R_A \\ U_c &= 0,0124 \cdot 10 \\ U_c &= 0,124 \text{ V} \end{aligned}$$

Por lo tanto no hay peligro para las personas.

<sup>5</sup> Merlin Gerin - Guía de protección diferencial Baja Tensión.

### 3.2 Lazos cerrados de Tierra.

Cuando un equipo está conectado en varios puntos a tierra o varios equipos están conectados entre sí, y estos están conectados a la misma toma de tierra pero en distintos puntos, se forma un circuito cerrado que incluye el conductor de tierra y el plano de tierra. En la Figura 3.7; se puede apreciar el “lazo de tierra” (también llamado “bucle de masa”); que se origina como consecuencia de que el conductor a tierra del equipo se ha conectado en puntos diferentes.



Para evitar lazos de tierra se debe conectar cada equipo existente en la sala de operaciones con un solo conector a tierra, además en un sistema general de alimentación debe existir un solo punto de retorno; tal como podemos apreciar en la Figura 3.8.

### 3.3 Planos equipotenciales.

Es el lugar donde la diferencia de potencial no cambia a pesar de la corriente que circula desde y hacia ese punto y sirve de referencia a un circuito o un sistema eléctrico o electrónico