

**REQUISITOS PARA LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (SPT) EN  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS HOSPITALARIAS DE ACUERDO CON EL  
REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)**

**AUTORES:**

**FABIAN DEL TORO ZULETA**

**OCTAVIO PIMENTEL POLO**

**MONOGRAFIA PRESENTADA PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIEROS ELECTRICISTAS**

**ASESOR:**

**ENRIQUE VANEGAS CASADIEGO**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIAS ELECTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARTAGENA D. T. y C.**

**2007**

**REQUISITOS PARA LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (SPT) EN  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS HOSPITALARIAS DE ACUERDO CON EL  
REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)**

**AUTORES:**

**FABIAN DEL TORO ZULETA**

**OCTAVIO PIMENTEL POLO**

**MONOGRAFIA PRESENTADA PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIEROS ELECTRICISTAS**

**ASESOR:**

**ENRIQUE VANEGAS CASADIEGO**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIAS ELECTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARTAGENA D. T. y C.**

**2007**

Cartagena, de 2007

**Señores  
Comité Curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad Tecnológica de Bolívar  
La Ciudad**

Respetados Señores:

De la manera más atenta nos permitimos presentar a su consideración y aprobación, el trabajo de monografía titulado **REQUISITOS PARA LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (SPT) EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS HOSPITALARIAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE).**

Elaborado por **FABIAN DEL TORO y OCTAVIO PIMENTEL POLO**, ambos egresados de la carrera de Ingeniería eléctrica y aspirantes al título como profesionales de la misma.

Atentamente,

---

**Fabian del Toro**

---

**Octavio Pimentel Polo**

Cartagena, 2007

**Señores  
Comité Curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad Tecnológica de Bolívar  
La Ciudad.**

Respetados Señores:

Cordialmente me permito informarles, que he llevado a cabo la Dirección de la monografía de los estudiantes Fabián del Toro y Octavio Pimentel Polo, titulado **REQUISITOS PARA LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (SPT) EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS HOSPITALARIAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE).**

Atentamente,

---

**ENRIQUE VANEGAS CASADIEGO**

Ingeniero Electricista  
UTB

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, OCTAVIO PIMENTEL POLO, identificado con la cédula de ciudadanía número 73087.659 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catalogo on-line de la biblioteca.

---

**OCTAVIO PIMENTEL POLO**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, FABIAN DEL TORO ZULETA, identificado con la cédula de ciudadanía número 73583.538 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catalogo on-line de la biblioteca.

---

**FABIAN DEL TORO ZULETA**

## INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	13
2.	REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS (RETIE)	16
2.1.	ANTECEDENTES DEL RETIE	16
2.2.	OBJETO DEL RETIE	19
2.3.	RESPONSABILIDADES EN LAS INSTALACIONES ELECTRICAS SEGÚN EL RETIE	21
2.4.	VIGILANCIA Y CONTROL DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS RETIE	23
3.	SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS	24
3.1.	GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	24
3.1.1.	COMPONENTES BÁSICOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	25
3.1.2.	REQUISITOS MINIMOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)	33
3.1.3.	PATOLOGIAS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA CON DEFECTOS	33
3.2.	RIESGO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA PARA LOS SERES HUMANOS	34
3.2.1.	EFECTOS PATOLOGICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA	40
3.2.2.	UMBRALES DE SOPORTABILIDAD	42
3.2.3.	EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO	44
3.2.4.	TENSIONES DE SEGURIDAD	45
3.2.4.1.	TENSIÓN DE PASO	46
3.2.4.2.	TENSIÓN DE CONTACTO	47
3.2.4.3.	TENSION TRANSFERIDA	48
3.3.	PASOS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UNA PUESTA A TIERRA PARA SUBESTACIONES	50
3.4.	SISTEMA PUESTAS A TIERRA EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS ESPECIALES	51
3.4.1.	REQUISITOS PARA INSTALACIONES HOSPITALARIAS	52
3.4.1.1.	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS	55

3.4.1.2.	TOMACORRIENTES CON TERMINAL DE PUESTA A TIERRA AISLADO	59
3.4.1.3.	CAMINO EFECTIVO DE PUESTA A TIERRA	59
3.5.	CLASIFICACION DE LAS INSTITUCIONES HOSPITALARIAS SEGUN LA NORMA ICONTEC 2050	60
3.5.1.	CLÍNICAS, CONSULTORIOS MEDICOS Y ODONTOLOGICOS, Y SERVICIOS DE CONSULTA EXTERNA	60
3.5.1.1.	REQUISITOS ESPECIALES	60
3.5.2.	HOSPITALES DE CUIDADOS INTERMEDIOS Y DE ASISTENCIA MÉDICA A PACIENTES DE LARGA ESTANCIA	60
3.5.2.1.	REQUISITOS ESPECIALES	61
3.5.3.	HOSPITALES	61
3.5.3.1	REQUISITOS ESPECIALES	61
3.6.	AREAS DE CUIDADO DE PACIENTES	62
3.6.1.	GENERALIDADES	62
3.6.2.	ÁREAS DE ATENCION GENERAL	63
3.6.2.1.	EFICIENCIA DE LA PUESTA A TIERRA	63
3.6.2.2.	TOMACORRIENTES DEL PUESTO DE CAMA DE PACIENTE	64
3.6.2.3.	PUESTA A TIERRA E INTERCONEXIONES	64
3.6.2.4.	INSPECCIONES	65
3.6.3.	AREAS DE ATENCION CRÍTICA	66
3.6.3.1.	EFICIENCIA DE LA PUESTA A TIERRA	66
3.6.3.2.	TOMACORRIENTES DE PUESTO DE CAMA DE PACIENTE	66
3.6.3.3.	PUESTA A TIERRA E INTERCONEXIÓN EN LA VECINDAD DEL PACIENTE	67
3.6.3.4.	PUESTA A TIERRA DE LA CANALIZACIÓN DEL ALIMENTADOR	70
3.6.3.5.	PUESTA A TIERRA DE UN SISTEMA DE POTENCIA AISLADO	70
3.6.3.6.	PUESTA A TIERRA DE TOMACORRIENTES ESPECIALES	70
3.6.3.7.	TÉCNICAS ADICIONALES DE PROTECCIÓN	71
3.6.3.8.	INSPECCIONES	73
3.6.4.	AREAS HUMEDAS	74
3.6.4.1.	TÉCNICAS DE PROTECCIÓN	74
3.6.5.	AREAS PARA ANESTESIA	75
3.6.5.1.	LUGARES CLASIFICADOS COMO PELIGROSOS	75
3.6.5.2.	LUGARES DIFERENTES A LOS CLASIFICADOS COMO PELIGROSOS	75
3.6.5.3.	EQUIPOS Y PUESTAS A TIERRA	76
3.6.5.3.1.	DENTRO DE LOCALES DE ANESTESIA	76

3.6.5.3.2.	POR ENCIMA DE AMBIENTES DE ANESTESIA PELIGROSOS	77
3.6.5.3.3.	DIFERENTES DE LOCALES O AMBIENTES DE ANESTESIA PELIGROSA	77
3.7.	PISCINAS TERAPEUTICAS Y BAÑERAS	79
3.7.1.	DISPOSICIONES GENERALES	79
3.7.2.	PISCINAS TERAPEUTICAS INSTALADAS PERMANENTEMENTE	79
3.7.2.1.	PUESTA A TIERRA	79
3.7.2.2.	MÉTODOS DE CONEXIÓN	80
3.7.2.2.1	APARATOS DE ALUMBRADO EN PISCINA Y OTROS EQUIPOS	80
3.7.2.2.2.	TABLEROS	82
3.7.2.2.3.	OTROS EQUIPOS	83
3.7.2.2.4.	EQUIPOS CONECTADOS CON CORDONES	83
3.7.3.	BAÑERAS TERAPEUTICAS (TANQUES HIDROTERAPEUTICOS)	83
3.7.3.1.	CONEXIÓN	84
3.7.3.2.	MÉTODOS DE CONEXIÓN	84
3.7.3.3.	PUESTA A TIERRA	85
3.7.3.4.	MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA	85
3.7.3.5.	TOMACORRIENTES	85
3.8	COMUNICACIONES, SISTEMAS DE SEÑALIZACION, SISTEMAS DE DATOS, SISTEMAS DE SAÑALIZACION DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS Y SISTEMAS DE BAJA TENSION	86
3.8.1.	AREAS DE CUIDADO DE PACIENTES	86
4.	CONCLUSIONES	87
5.	BIBLIOGRAFIA	89
6.	ANEXOS	90
6.1.	ANEXO A. TEORIA Y DISEÑO DE SISTEMAS DE TIERRAS SEGUN LA IEEE	90
6.2.	ANEXO B. EJEMPLO DE DISEÑO DE UNA PUESTA A TIERRA APLICANDO LOS PASOS ESENCIALES PARA EL DISEÑO DE UNA PUESTA A TIERRA SEGÚN LA IEEE 80	101
6.3.	ANEXO C. BREVE RESEÑA HISTORICA DE LAS PUESTAS A TIERRA	115
6.4.	ANEXO D. MITOS Y REALIDADES DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	118

6.5.	ANEXO E. DEFINICIONES TOMADA DE LAS NORMAS ICONTEC PARA INSTALACIONES HOSPITALARIAS	120
6.6.	ANEXO F. LISTAS DE VERIFICACION E INSPECCIÓN PARA UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	126

## **LISTA DE FIGURAS**

- 1. Figura 1. Niveles de importancia de una norma técnica**
- 2. Figura 2. Importancia de los SPT**
- 3. Figura 3. Puesta a tierra**
- 4. Figura 4. Fotografía de una puesta a tierra**
- 5. Figura 5. Componentes básicos de un sistema de puesta a tierra**
- 6. Figura 6. Riesgo eléctrico**
- 7. Figura 7. Señales de advertencia del riesgo eléctrico**
- 8. Figura 8. Contacto fase a tierra**
- 9. Figura 9. Efectos de la electricidad**
- 10. Figura 10. Circulación de corriente por el cuerpo humano con electrización y de forma segura**
- 11. Figura 11. Curva de Tiempo Vs Corriente a través de la corriente**
- 12. Figura 12. Matriz de riesgo**
- 13. Figura 13. Tensión de paso**
- 14. Figura 14. Tensión de contacto**
- 15. Figura 15. Tensión transferida**
- 16. Figura 16. Puesta a tierra e interconexiones en la venciad del paciente**
- 17. Figura 17. Conexiones para equipos sensibles**

## **LISTA DE TABLAS.**

- 1. Tabla 1. Cuadro comparativo normas técnicas vs. Reglamentos técnicos**
- 2. Tabla 2. Especificación de electrodos**
- 3. Tabla 3. Conductor del electrodo de puesta a tierra (Tabla 250-94, Norma NTC 2050)**
- 4. Tabla 4. capacidad de corriente en barrajes**
- 5. Tabla 5. Calibre mínimo del conductor de puesta a tierra para ducterías y equipos**
- 6. Tabla 6. Resistividad de terrenos**
- 7. Tabla 7. Porcentaje de personas que se protegen según la corriente de disparo**
- 8. Tabla 8. Relación entre energía específica y efectos fisiológicos**
- 9. Tabla 9. Valores máximos de tensión de contacto**
- 10. Tabla 10. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos**

# **REQUISITOS PARA LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (SPT) EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS HOSPITALARIAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)**

## **1. INTRODUCCIÓN**

Con el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) estipulado por el gobierno nacional se da la obligación de cumplir con los requisitos que exige el diseño y la construcción en las instalaciones eléctricas cubiertas por el reglamento. Un diseño debe cumplir con normas a las que un personal calificado les puede dar la correcta interpretación para las que fueron realizadas, y por eso para el caso específico de las instalaciones hospitalarias, se verán desde los mecanismos legales bajo los cuales el gobierno nacional se vale para hacerlos cumplir, hasta criterios que se aplican para realizar diseños y construir instalaciones de puesta a tierra. En este estudio no solo se ira plasmando gradualmente el conjunto de todos los elementos necesarios en sistemas de puesta a tierra (SPT), sino que se describirá la relación entre cada uno de ellos, de tal forma que se pueda comprender mejor como llegar a realizar para hospitales proyectos seguros, confiables y eficientes.

Para dimensionar que tan comprometido hay que estar en el entendimiento de la metodología de diseño y construcción de los sistemas de puesta a tierra (SPT), se considera que entender el objeto del RETIE es el mejor comienzo para conseguirlo. Entonces se verá que garantizar la seguridad del ser humano y del medio ambiente que le rodea, obliga a conocer detalladamente los efectos que se pueden producir en el uso de la energía eléctrica, y así conseguir las herramientas que ayuden a contrarrestar las consecuencias nocivas o minimizar los riesgos que se pueden presentar.

En las instalaciones de puesta a tierra se deben aplicar los resultados de el esfuerzo que en la ciencia y la tecnología se han realizado para preservar y garantizar las mas seguras condiciones para los seres vivos en general; en la medida en que podamos recopilar todos los aspectos fundamentales relacionados con el tema de tierras, no solo en materia científica sino también en materia técnico-legal, se mantendrá a la mano las herramientas y fundamentos que se necesitan para el desarrollo de las buenas prácticas de la ingeniería.

En el caso de las instalaciones eléctricas hospitalarias los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de equipos médicos cada vez más sofisticados y sensibles, lo que implica mejorar la seguridad de los pacientes y equipos, mejorando entre otros las puestas a tierra de los mismos.

Una de las características fundamentales de un adecuado sistema de protección y puesta a tierra, es el garantizar la operación de las instalaciones dentro de los parámetros estándares y asegurar el resguardo del personal y los equipos. Por lo anterior los sistemas de puesta a tierra (SPT) han de ser considerados justo antes de toda ampliación ó implementación de sistemas eléctricos en general, y no solo cuando ocurren fallas.

La posibilidad de electrocución es mayor en los hospitales, por tener dos tipos de individuos: los que manipulan equipos eléctricos como parte de su actividad normal, cuyo umbral de peligro es de 25 mA y los que están sometidos a tratamientos invasivos con catéteres al corazón, cuyo umbral es del orden de 100  $\mu$ A. Es importante considerar que basados en la complejidad de los sistemas, las soluciones deben ser específicas y realmente adaptadas a los requerimientos locales y características de instalación y operación, es decir que dependiendo de la aplicación existen ciertos requisitos a tener en cuenta en los sistemas de puesta a tierra para

asegurar la correcta operación de equipos y garantizar la seguridad de las personas. Todo esto sin olvidar las características regionales y geográficas que nos definen las condiciones de riesgo y bondades de la zona ó sector.

Los sistemas de puesta a tierra (SPT) son componentes cada vez más importantes de los sistemas eléctricos, puesto que deben permitir la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas originadas por rayos, electricidad estática o fallas del sistema. En el caso de hospitales las puestas a tierra se constituyen en el verdadero y más tangible seguro de vida de los pacientes.

En esta monografía, se consignan los principales criterios a aplicar para los sistemas de puesta a tierra de hospitales.

## **2. REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS (RETIE)**

El primero de mayo de 2005 entró a regir en Colombia la resolución 180398 del Ministerio de Minas y Energía, donde se establece el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). El RETIE es un instrumento técnico-legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- ❖ La protección de la vida y la salud humana.
- ❖ La protección de la vida animal o vegetal.
- ❖ La preservación del medio ambiente.
- ❖ La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.

### **2.1. ANTECEDENTES DEL RETIE**

Los reglamentos técnicos en el desarrollo de un país son necesarios porque existe un nuevo orden en el comercio y como consecuencia directa un nuevo marco de reglamentación. Dentro de este nuevo orden en el comercio se tiene:

- ❖ La globalización de mercados
- ❖ La integración económica de países
- ❖ Los acuerdo sobre obstáculos al comercio (O.T.C's.) de la organización mundial del comercio OMC
- ❖ La fusión Técnico . Legal
- ❖ Las compras con base en la calidad

- ❖ El gran desarrollo tecnológico
- ❖ Los países subdesarrollados frente a los desarrollados
- ❖ Los procesos de normalización

Además se ha tenido en cuenta para el desarrollo del país en la creación del RETIE los siguientes aspectos:

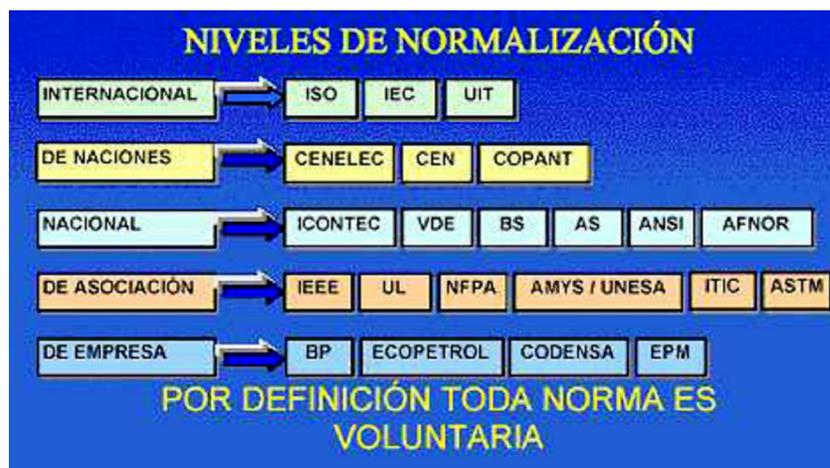
- ❖ Régimen de derecho privado y cambio de propiedad de empresas del sector eléctrico
- ❖ Eliminación de obligatoriedad de normas técnicas
- ❖ Deterioro de la seguridad en las instalaciones y trabajos relacionados
- ❖ Aumento de accidentes
- ❖ Alto costo para el país

Términos como homologación y Normas Técnicas Colombianas Oficiales Obligatorias (NTCOO) perdieron su vigencia, ahora el esquema se basa en reglamentos técnicos de carácter obligatorio, normas técnicas de voluntaria adopción o formulación y en que cada país es autónomo para defender sus objetivos legítimos.

<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>REGLAMENTOS TÉCNICOS</b>
<p>➤ Es un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido de normalización el cual proporciona a efectos de uso común y repetitivo, directrices y/o pautas destinadas a garantizar unos productos y unos servicios similares, con calidad, seguridad</p>	<p>➤ Es un Instrumento técnico-legal mediante el cual un país protege sus intereses legítimos. Por lo tanto se realiza teniendo en cuenta las necesidades básicas de uso, empleo y desempeño.</p>

y competitividad.	
➤ Las normas, por lo tanto, deben estar en permanente evolución, de conformidad con los avances tecnológicos y culturales de la humanidad. Es decir deben realizarse teniendo en cuenta los atributos técnicos, tecnológicos y de diseño.	➤ Es expedido por una autoridad competente para elaborarlo y adoptarlo como tal. En nuestro caso el MINISTERIO de MINAS Y ENERGIA
➤ Es de adopción voluntaria.	➤ No es de adopción voluntaria sino que tiene carácter obligatorio.
➤ Hay distintos niveles de Normalización y distintas instancias de Normalización (ver fig.1)	➤ En él se pueden adoptar Normas Técnicas para su aplicación con carácter de obligatorio cumplimiento, como en Colombia, en el cual se adopta la NTC 2050.

**Tabla 1.** Cuadro comparativo normas técnicas vs. Reglamentos técnicos



**Figura 1.** Niveles de importancia de una norma técnica

Con la creación del RETIE se vela porque:

- ❖ No se creen obstáculos al comercio de productos y servicios del sector eléctrico.
- ❖ Se garanticen productos y servicios del sector eléctrico de calidad que aseguren la protección de la vida en todas sus manifestaciones, los bienes materiales y el medio ambiente.
- ❖ Se eviten y condenen prácticas que puedan inducir y llevar al error en el consumo de productos y servicios del sector eléctrico que pongan en peligro a los consumidores y usuarios de estos bienes y servicios.
- ❖ Las Normas Técnicas son de voluntaria creación y aplicación y por lo tanto no son de carácter obligatorio.

## **2.2. OBJETO DEL RETIE**

El objeto fundamental del RETIE es establecer medidas para garantizar la seguridad de las personas, previniendo o minimizando los riesgos de origen eléctrico; esto con base en el buen funcionamiento de las instalaciones, la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos, es decir, que se cumplan los requisitos civiles, mecánicos y de fabricación de equipos o productos.

El párrafo anterior resume los objetivos legítimos que se deben cumplir, y se basa en los siguientes objetivos específicos:

- Fijar las condiciones para evitar accidentes por contactos eléctricos directos e indirectos.

- Establecer las condiciones para prevenir incendios causados por electricidad.
- Fijar las condiciones para evitar quema de árboles causada por acercamiento a líneas de energía.
- Establecer las condiciones para evitar muerte de animales causada por cercas eléctricas.
- Establecer las condiciones para evitar daños debidos a sobrecorrientes y sobretensiones.
- Adoptar los símbolos de tipo verbal y gráfico que deben utilizar los profesionales que ejercen la electrotecnia.
- 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 puedan 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 Reglamento.

- Exigir confiabilidad y compatibilidad de los productos y equipos eléctricos mencionados expresamente.

### **2.3. RESPONSABILIDADES EN LAS INSTALACIONES ELECTRICAS SEGÚN EL RETIE**

El RETIE involucra una serie de responsabilidades, obligaciones y deberes claramente definidos de todas las partes, de modo que cobra especial importancia, quizás como nunca antes en Colombia el aspecto técnico en el manejo de la energía eléctrica. Es este el primer intento de reglamentar o unificar diversos criterios en el ámbito de la electrotecnia.

El RETIE al ser una herramienta técnico-legal, podrá permitir la sanción al incumplimiento, infracciones y prescripciones de los requisitos establecidos en este. Por eso el RETIE debe ser observado por las personas que de una u otra manera estén involucradas con las instalaciones eléctricas, tales como los fabricantes y quienes comercialicen dichos productos, diseñen, dirijan, construyan, hagan interventoría o emitan dictamen de inspección de las instalaciones; las empresas que prestan el servicio de energía eléctrica, los organismos de certificación de productos o de inspección de las instalaciones. Por lo tanto se deben cumplir todas las especificaciones y medidas necesarias exigidas por el RETIE al realizar un diseño, la construcción, el mejoramiento y el mantenimiento de una instalación eléctrica.

Para toda instalación eléctrica cubierta por el RETIE, será obligatorio que actividades como las de diseño, dirección, construcción, supervisión, recepción, operación, mantenimiento e inspección sean realizadas por personal calificado con matrícula profesional vigente que lo autorice para ejercer dicha actividad. La competencia para realizar dichas actividades corresponderá a las personas calificadas, tales como ingenieros Electricistas, Electromecánicos, de distribución y redes eléctricas, Tecnólogos en

Electricidad, Tecnólogos en Electromecánica o Técnicos Electricistas, con matrícula profesional vigente, teniendo en cuenta lo dispuesto en las leyes y normas reglamentarias que regulan estas profesiones.

Los Organismos de Certificación no deben expedir la certificación de conformidad con el RETIE a instalaciones eléctricas diseñadas, construidas o supervisadas por personas que según la legislación vigente no tengan la competencia legal para el ejercicio profesional de dichas actividades; en consecuencia, el OR no debe dar servicio a dichas instalaciones+.

El RETIE al establecer las responsabilidades, obligaciones y deberes definidos de todas las partes, implica que las aseguradoras de riesgos profesionales-A.R.P- deberán contar con personal calificado y matriculado para establecer los niveles de responsabilidad en los casos de accidentes por causas de la energía.

Las compañías de seguros deberán profesionalizar su personal de ajustadores toda vez que en manos de ellos están los procesos de reclamaciones por siniestros y accidentes derivados del uso o manipulación de la energía eléctrica.

Esto implica para los Ingeniero de la Universidad Tecnológica de Bolívar nuevas posibilidades de empleo ya que obliga a que los diseños, los montajes, las modificaciones y los mantenimientos sean realizados por personal idóneo y con matrícula profesional, además que abre posibilidades de empleo en el campo de las inspecciones de instalaciones eléctricas.

## **2.4. VIGILANCIA Y CONTROL DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS RETIE**

La Vigilancia y control del cumplimiento del presente Reglamento Técnico, corresponde a las Superintendencias de Servicios Públicos Domiciliarios y de Industria y Comercio, de conformidad con las competencias otorgadas a cada una de estas entidades por la normatividad vigente.

De conformidad con lo dispuesto en la Ley 142 de 1994, a la Superintendencia de Servicios Públicos le corresponde entre otras funciones, vigilar y controlar el cumplimiento de las leyes y actos administrativos a los que estén sujetos quienes presten servicios públicos, en cuanto el cumplimiento afecte en forma directa e inmediata a usuarios determinados y sancionar sus violaciones, siempre y cuando esta función no sea competencia de otra autoridad.

De conformidad con lo dispuesto en los Decretos 2153 de 1992 y 2269 de 1993 y demás normas aplicables, a la Superintendencia de Industria y Comercio le corresponde entre otras funciones, velar por el cumplimiento de las disposiciones sobre protección al consumidor, realizar las actividades de verificación de cumplimiento de Reglamentos Técnicos sometidos a su control, supervisar a los organismos de certificación, inspección, laboratorios de pruebas y ensayos y de metrología.

El ejercicio de las profesiones de los ingenieros, tecnólogos y técnicos, están vigiladas por el Estado, por generar riesgo social.

La vigilancia del ejercicio profesional de las personas que intervienen en las instalaciones eléctricas es competencia de los Consejos Profesionales

correspondientes. Estos consejos profesionales vigilan que no se viole el código de ética profesional establecido en la Ley 842 de 2003.

### 3. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS

#### 3.1. GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Una de las medidas establecidas por el RETIE (artículo 15 Capítulo II) para salvaguardar la seguridad de las personas, proteger las instalaciones y garantizar la compatibilidad electromagnética (EMC), es que toda instalación eléctrica cubierta por este reglamento, excepto que se indique lo contrario, debe disponer de un sistema de puesta a tierra (SPT).

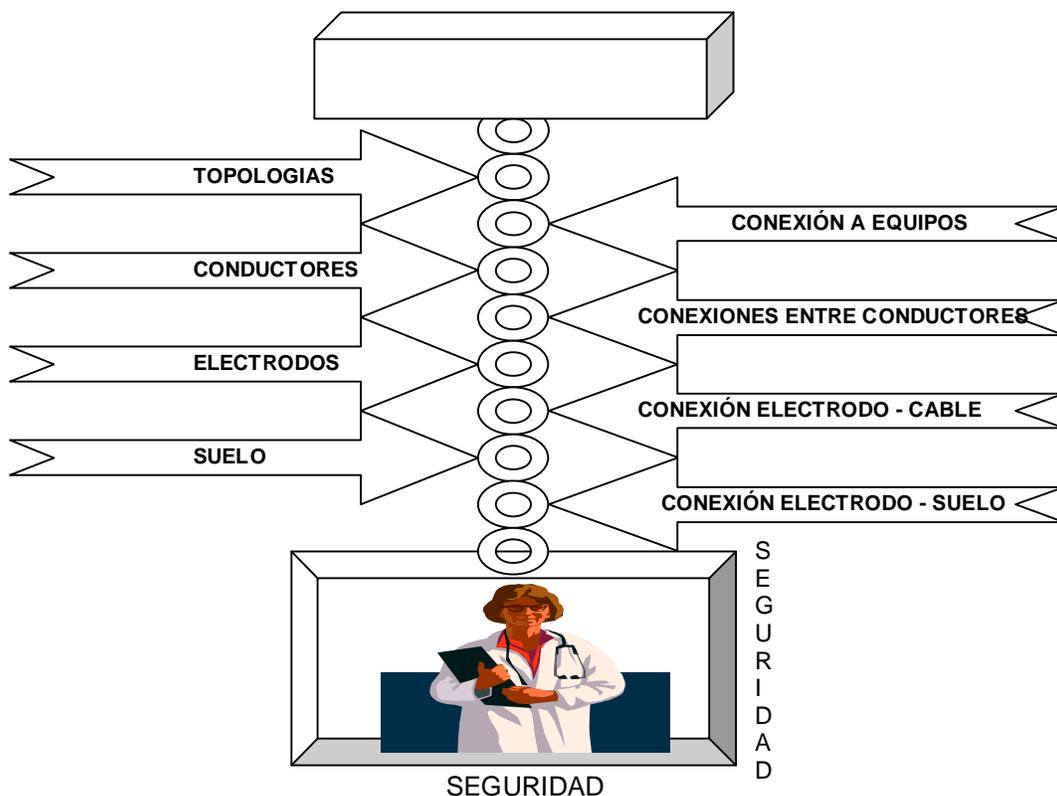


Figura 2. Importancia de los SPT

Los SPT son componentes importantes en los sistemas eléctricos, puesto que además de permitir la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas originadas por rayos, electricidad estática o fallas en el sistema, deben poseer capacidad de dispersión y disipación de fallas, sin que se presenten potenciales peligrosos en la superficie.

Los SPT tienen un concepto vinculado a la seguridad de las personas, porque éstas se hallan a su mismo potencial por estar pisando el suelo. Si cualquier aparato está a ese mismo potencial no habrá diferencia o será mínima entre el aparato y la persona, por lo que no habrá descarga eléctrica peligrosa.

Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

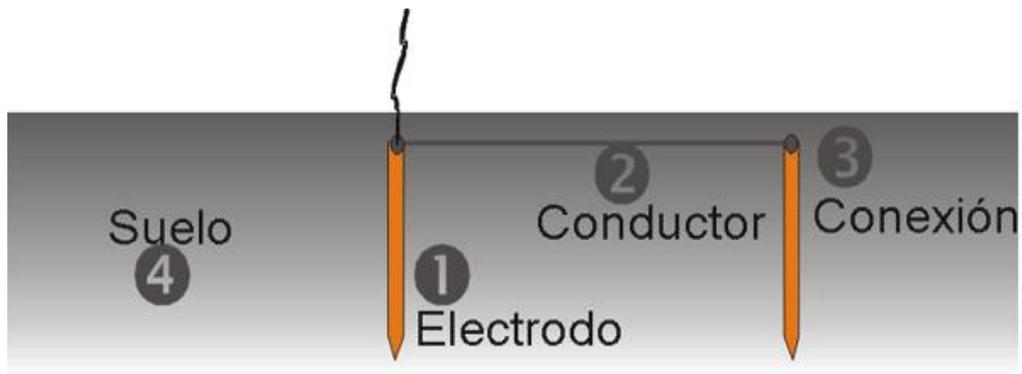
- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar las corrientes de falla con suficiente capacidad.
- Eliminar ruidos eléctricos
- Transmitir señales de RF en onda media.

La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras que ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura puesta a tierra y la red.

### **3.1.1. COMPONENTES BÁSICOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

Dentro de un SPT se puede diferenciar dos grandes bloques:

5. La puesta a tierra, que se da bajo el nivel del terreno: Esta comprende el grupo de elementos equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común. Comprende los electrodos, las conexiones y cables enterrados.

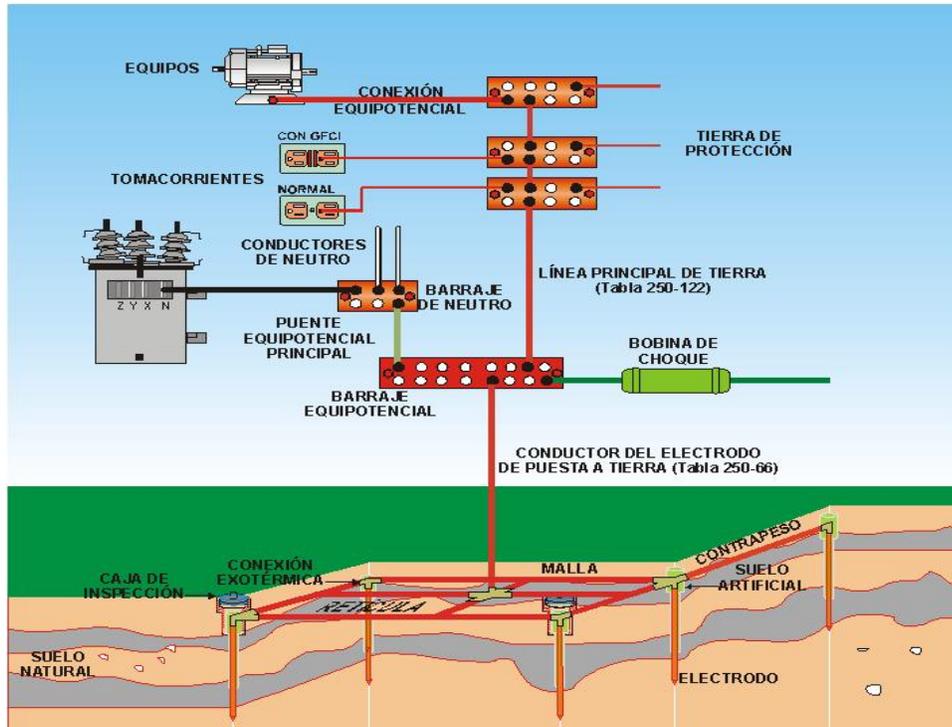


**Figura 3. Puesta a tierra**



**Figura 4. Fotografía de una puesta a tierra**

5. Cableados o red equipotencial, que se da sobre el nivel del terreno



**Figura 5. Componentes básicos de un sistema de puesta a tierra**

A continuación se describen los diferentes componentes básicos que hacen parte de un SPT<sup>1</sup>:

- ❖ **Electrodo de puesta a tierra:** Conductor o grupo de ellos en contacto con el suelo, para proporcionar una conexión eléctrica con el terreno. Puede ser una varilla, un tubo, una placa o un cable, resistentes a la humedad y a la acción química del terreno. Para efectos del RETIE serán de obligatorio cumplimiento que los electrodos de puesta a tierra, cumplan los requisitos dados en el Capítulo II, artículo 15, apartado 3.1 del

<sup>1</sup> Nota: Se incluyen otros componentes que no aparecen en la figura

reglamento; adoptados de las normas IEC 60364-5-54, BS 7430, AS 1768, UL 467, UNESA 6501F y NTC 2050.

Tipo de electrodo	Materiales	Dimensiones mínimas			
		Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Espesor (mm)	Recubrimiento (μm)
Varilla	Cobre	12.7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			250
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Cobre cincado	25		2	55
Fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincado		50	2	40
Cable	Cobre	1.8 para cada hilo	25		
	Cobre estañado	1.8 para cada hilo	25		
Placa	Cobre		20000	1.5	
	Acero inoxidable		20000	6	

**Tabla 2. Especificación electrodos**

- ❖ **Conductor de puesta a tierra:** Conductores utilizados para conectar el circuito puesto a tierra de una instalación, al electrodo o electrodos de puesta a tierra de la instalación. (la conexión se debe dar con soldadura exotérmica o conector certificado).
- ❖ **Conductor del electrodo de puesta a tierra:** Conductor que es intencionalmente conectado a una puesta a tierra, desde el punto neutro, bien solidamente o a través de una impedancia limitadora de corriente. El conductor para baja tensión, se debe seleccionar con base en la Tabla 250-94 de la NTC 2050.

Conductor del electrodo de puesta a tierra (Norma NTC 2050. tabla 250-94)		
Sección transversal del mayor conductor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo)	Sección transversal (calibre) del conductor al electrodo de puesta a tierra	
Cobre	mm <sup>2</sup>	Cobre
2 o menor	8.36	8
1 o 1/0	13.29	6
2/0 o 3/0	21.14	4
4/0 hasta 350 kcmil	33.62	2
400 hasta 600 kcmil	53.5	1/0
650 hasta 1100 kcmil	67.44	2/0
1200 kcmil	85.02	3/0

**Tabla 3. Conductor del electrodo de puesta a tierra**

- ❖ **Barraje equipotencial de tierra:** Conductor de tierra colectiva, usualmente una barra de cobre o un cable que permite la unión de dos o más conductores y garantiza el mismo potencial.

Dimensiones		Área efectiva (mm <sup>2</sup> )	Capacidad de corriente (A)	
Ancho	Espesor		Desnudo	Pintado
12	2	23.5	110	125
15	3	44.5	170	185
20	3	59.5	220	245
25	3	74.5	270	300
25	5	124	350	395
40	5	199	520	600
50	5	249	630	720
50	10	499	920	1030
80	5	399	970	1070
100	10	999	1700	1880

**Tabla 4. Capacidad de corriente en Barrajes**

- ❖ **Puente equipotencial principal:** Conexión entre el conductor puesto a tierra (barraje neutro) y el barraje equipotencial de tierra o punto depuesta a tierra.

- ❖ **Impedancia limitadora:** Resistencia o reactancia de potencia, dimensionada adecuadamente para conectar el punto neutro del transformador o generador y el punto de puesta a tierra. Su función es proteger el equipo y la instalación, al limitar la corriente de cortocircuito.
- ❖ **Barraje de neutro:** Barra de cobre para la conexión de los conductores neutros del sistema.
- ❖ **Conductor de puesta a tierra de equipo o puesta a tierra de protección:** Conductor usado para conectar partes metálicas que no conducen corriente, como canalizaciones y gabinetes. El conductor para baja tensión, debe cumplir con la **Tabla 250-95 de la NTC 2050** y demás requisitos exigidos en el Capítulo II, artículo 15, apartado 3.3 del RETIE.

Calibre mínimo del conductor de continuidad de tierra de ducterías y equipos (Norma NTC 2050, tabla 250-95)		
Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes del equipo, tubos conduit. Etc. (Amperios)	Sección transversal Conductor de cobre N°	
	mm <sup>2</sup>	AWG
15	2.08	14
20	3.3	12
30	5.25	10
40	5.25	10
60	5.25	10
100	8.36	8
200	13.29	6
300	21.19	4
400	26.66	3
500	33.62	2
600	42.2	1
800	53.5	1/0
1000	67.44	2/0
1200	85.02	3/0
1600	107.21	4/0

**Tabla 5. Calibre mínimo del conductor de puesta a tierra para ducterías y equipos**

- ❖ **Neutro:** Conductor activo conectado al punto neutro.
- ❖ **Conexión equipotencial:** Conexión eléctrica entre dos o más puntos, de tal forma que ante el paso de una corriente quedan al mismo potencial.
- ❖ **Conductor aislado de puesta a tierra de equipos:** Conductor de tierra de equipos electrónicos, aislados, que recorre las mismas conducciones o canalizaciones que los conductores de alimentación.
- ❖ **Estructuras metálicas del edificio:** Para las estructuras metálicas de los edificios el RETIE da los siguientes requisitos:
  - Los elementos metálicos que no forman parte de las instalaciones eléctricas, no podrán ser incluidos como parte de los conductores de puesta a tierra. Este requisito no excluye el hecho de que se deben conectar a tierra, en algunos casos.
  - Los elementos metálicos principales que actúan como refuerzo estructural de una edificación deben tener una conexión eléctrica permanente con el sistema de puesta a tierra general.
- ❖ **Transformador o sistema de alimentación**
- ❖ **Suelo o terreno:** Capa de productos de meteorización, llena de vida, que se encuentra en el límite de la roca inerte de la corteza y la atmósfera. El suelo o terreno tiene una característica fundamental en los sistemas de puesta a tierra que es la resistividad, la cual es la relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo. Es la resistencia específica de una sustancia, que se da en ohmios metro ( $\Omega \cdot m$ ). El RETIE dentro del procedimiento básico sugerido se encuentra la investigación de las características del suelo, especialmente la resistividad.

Tipo de terreno	Resistividad del terreno ( -m)	
	Margen de valores	Valor medio
Terreno pantanoso	2 - 30	30
Barro mezclado con paja	2 - 200	40
Terreno fangoso y arcilloso, humus	20 - 200	100
Arena y terreno arenoso	50 - 3000	200 (húmedo)
Turba	> 1200	200
Grava (Húmeda)	50 - 3000	1000 (húmedo)
Terreno pedregoso y rocoso	100 - 8000	2000
Hormigón: 3 partes de cemento+3 partes de arena	50 - 300	150
1 parte de cemento+5 partes de grava	100 - 8000	400

**Tabla 6. Resistividad de terrenos**

- ❖ **Bajantes de pararrayos:** Elemento conectado eléctricamente entre los pararrayos y la puesta a tierra respectiva, cuya función es conducir las corrientes de rayo que puedan incidir sobre la instalación que se va a proteger y disminuir los efectos del campo magnético en el interior de una instalación. En general todos los componentes del sistema integral de protección contra rayos (SIPRA) deberán cumplir los requisitos establecidos por el RETIE en el Capítulo VII, artículo 42, adoptados de la norma técnica colombiana NTC 4552 de protección contra rayos, siempre y cuando la evaluación del nivel de riesgo así lo determine. Se debe tener especial cuidado en las instalaciones donde se tenga concentración de personas tales como, hospitales.
  
- ❖ **Tomacorrientes con polo a tierra:** Son aquellos con una tercera clavija que hace el primer contacto eléctrico al conectar el equipo. Algunos vienen con la tierra unida a la caja y otros con la tierra aislada (para equipos sensibles). Ver anexo A del presente trabajo sobre tierras aisladas.

### **3.1.2. REQUISITOS MINIMOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)**

Dentro de los requisitos mínimos que debe tener un sistema de puesta a tierra están:

- ✓ El valor de resistencia debe ser el adecuado para cada tipo de instalación.
- ✓ La variación de la resistencia debido a cambios ambientales debe ser mínima.
- ✓ Su vida útil debe ser mayor a 20 años.
- ✓ Debe ser resistente a la corrosión.
- ✓ Su costo debe ser el más bajo posible sin que se comprometa la seguridad.
- ✓ Debe permitir su mantenimiento periódico.
- ✓ Debe cumplir los requerimientos de las normas y especificaciones.

Todo esto lo debemos tener en cuenta al realizar una propuesta técnico económica para un sistema de puesta a tierra.

### **3.1.3. PATOLOGIAS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA CON DEFECTOS**

Una falla en un equipo eléctrico puede deberse a múltiples causas; pero el origen o perturbación (por ejemplo un rayo) puede ser relativamente fácil de detectar, si se cuenta con la experiencia y los equipos apropiados. A continuación se dan algunas patologías típicas que se pueden encontrar en sistemas de puesta a tierra con defectos:

- ❖ Acoplamiento en modo común
- ❖ Alta resistencia de puestas a tierra

- ❖ Ausencia total de puestas a tierra
- ❖ Bajo calibre del neutro
- ❖ Ausencia total de mantenimiento
- ❖ Calibres menores
- ❖ Electrodo de mala calidad
- ❖ Electrodo muy cortos
- ❖ Electrodo muy próximos
- ❖ Falta de barrajes equipotenciales
- ❖ Malas conexiones
- ❖ Interconexiones no adecuadas
- ❖ Más de una conexión a tierra para equipos sensibles.
- ❖ Pérdida de equipotencialidad.
- ❖ Tomacorrientes mal polarizados
- ❖ Tomacorrientes sin puesta a tierra aislada para equipos sensibles

### **3.2. RIESGO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA PARA LOS SERES HUMANOS**

Como se expresó anteriormente el objeto fundamental del RETIE es establecer medidas para garantizar la seguridad de las personas, previniendo o minimizando los riesgos de origen eléctrico. Por lo tanto conocer los riesgos eléctricos que existen en una instalación eléctrica ayuda a establecer las medidas necesarias para minimizarlas.

El hecho de manipular, trabajar y estar rodeado de equipos e instalaciones eléctricas genera riesgos de tipo eléctrico, los cuales se pueden observar en la Figura 6.

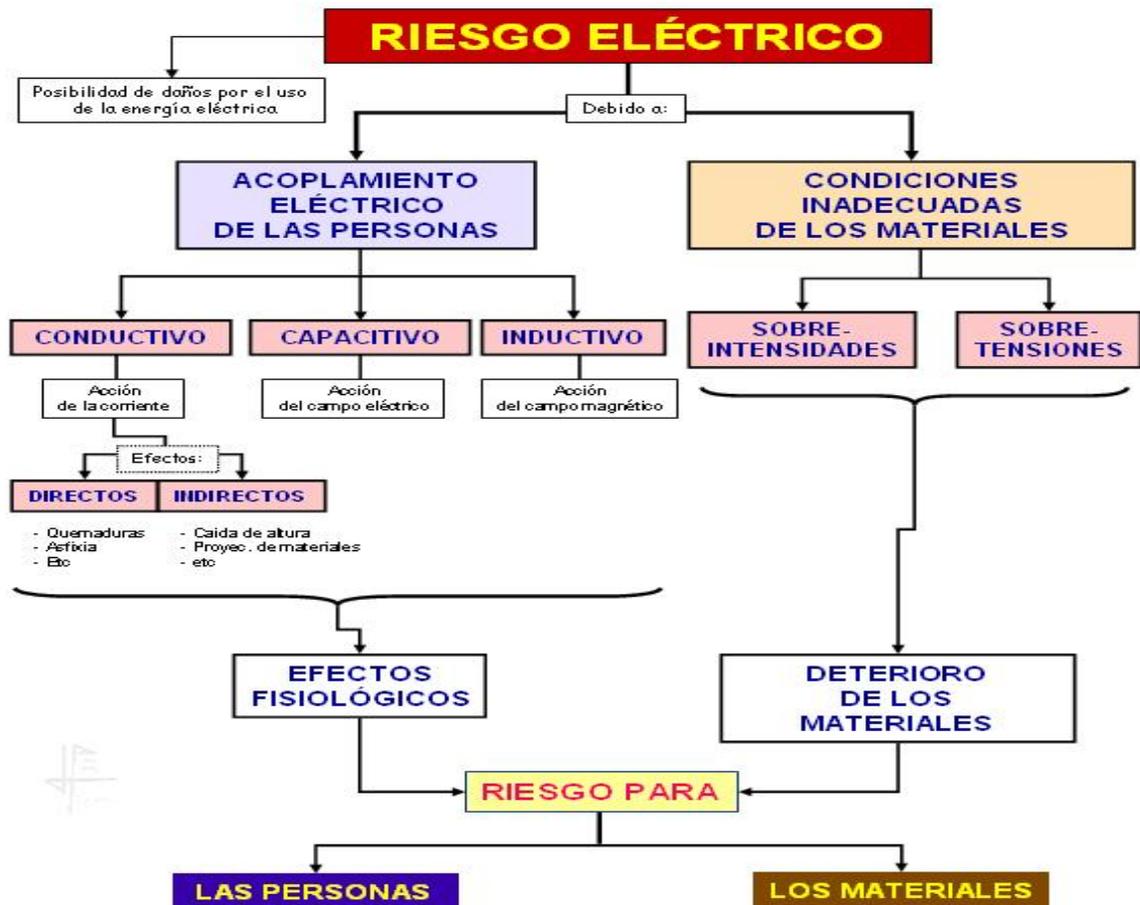


Figura 6. Riesgo eléctrico

En este trabajo se enfocará a los efectos que pueden causar el paso de la corriente eléctrica externa por el cuerpo humano y los requisitos que exige el RETIE para minimizarlos. En general la utilización y dependencia tanto industrial como doméstica de la energía eléctrica ha traído consigo la aparición de accidentes por contacto con elementos energizados o incendios, los cuales se han incrementado cada vez más.

El número de accidentes sigue al avance de electrificación de un país. La mayor parte de los accidentes con origen eléctrico se presentan en los procesos de distribución y utilización.

A medida que el uso de la electricidad se extiende, se requiere ser más exigentes en cuanto a la normalización y reglamentación. El resultado final del paso de una corriente eléctrica por el cuerpo humano puede predecirse con un gran porcentaje de certeza, si se toman ciertas condiciones de riesgo conocidas y se evalúa en qué medida influyen todos los factores que se conjugan en un accidente de tipo eléctrico.

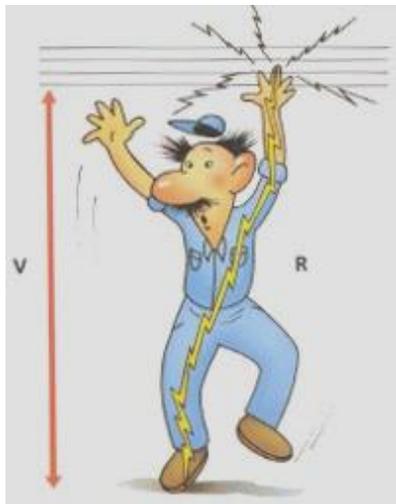


**Figura 7. Señales de advertencia de riesgo eléctrico**

La electrocución es el paso de la corriente eléctrica externa por el cuerpo humano y el riesgo de electrocución es la posibilidad de circulación de esa corriente. Debido a la gran dependencia actual de la energía eléctrica, es conveniente recordar algunos conceptos fundamentales:

- Umbral de percepción: Cuando se tiene sensación de cosquilleo no representa daño para el 99.5% de las personas (para 60 Hz: 1.1 mA para hombres y 0.7 mA para mujeres).

- Electrización: valor de la corriente que produce movimientos reflejos de los músculos (para 60 Hz: 16 mA para hombres y 10.5 mA para mujeres).
- Clases de accidentes con origen eléctrico:
  - a. Impacto de rayo
  - b. Contactos directos: fase a fase, fase a neutro, fase a tierra



**Figura 8. Contacto fase a tierra**

- c. Contactos indirectos: inducción, contacto con masa energizada, tensión de paso, tensión de contacto tensión transferida
- d. Irradiaciones e incendios
- e. Para analizar los individuos expuestos a riesgo eléctrico se clasifican en individuos tipo  $I_A$  y tipo  $I_B$ :
  - Individuo tipo  $I_A$ : toda aquella persona que lleva conductores eléctricos que terminan en el corazón. Para este tipo de pacientes se considera que la máxima corriente segura es de 80  $\mu A$ .

- Individuo tipo **B+**: Aquellos que están en contacto con equipos eléctricos y que no llevan conductores al corazón. Se estima como máxima corriente segura, 24 mA.
- f. La gravedad de una descarga eléctrica en el ser humano depende de muchos factores, como se muestra en la Figura 7, que puede ocasionar desde un malestar hasta la muerte. Es conveniente tener presente siempre que el cuerpo humano es un buen conductor.

Entre los factores relacionados que determinan la peligrosidad de una descarga eléctrica se tiene:

\*Intensidad de la corriente

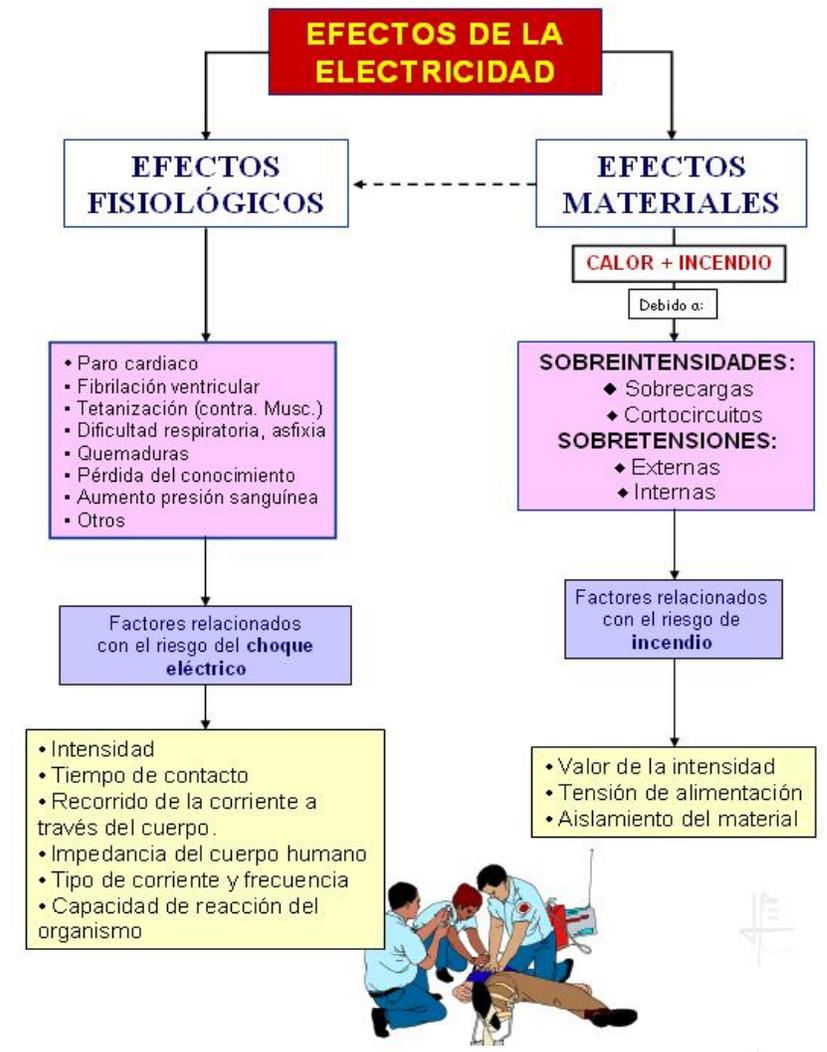
\*Tiempo de contacto

\*Trayectoria de la corriente por el cuerpo

\*Impedancia del cuerpo, que depende del grado de humedad y otros factores, como la tensión de contacto.

\*Tipo de corriente y frecuencia

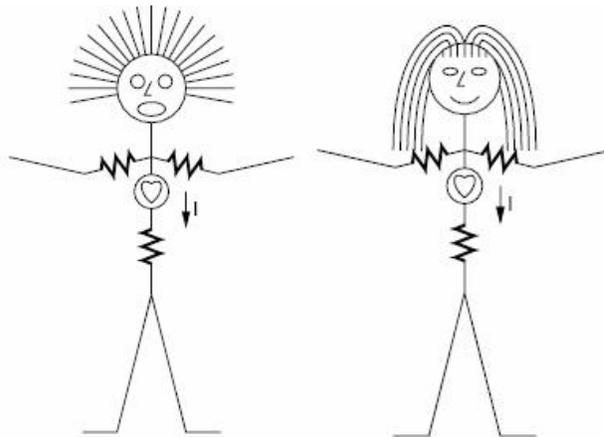
\*Capacidad de reacción del organismo



**Figura 9. Efectos de la electricidad**

- g. La resistencia normalizada del ser humano se toma de 1000 ohmios. Experimentalmente se mide entre las dos manos sumergidas en solución salina, que agarran dos electrodos y parado sobre una placa de cobre.
- h. El corazón es un músculo y la parte más vital de nuestro cuerpo. La corriente estimada como mínima mortal es de 25 mA, si al pasar por el corazón produce fibrilación ventricular.

- i. Siempre se presentan en mayor o menor grado tres efectos cuando circula la corriente por el cuerpo: nervioso, químico y calorífico.



**Figura 10. Circulación de corriente por el cuerpo humano con electrización y de forma segura**

### 3.2.1. EFECTOS PATOLOGICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Algunos estudios, principalmente los de Dalziel, han establecido niveles de corte de corriente de los dispositivos de protección que evitan la muerte por electrocución de cero al ciento por ciento. En la siguiente tabla aparece un resumen de estos niveles:

Corriente de disparo	6 mA (rms)	10 mA (rms)	20 mA (rms)	30 mA (rms)
<b>Hombres</b>	100 %	98.5 %	7.5 %	0 %
<b>Mujeres</b>	99.5 %	60 %	0%	0 %
<b>Niños</b>	92.5 %	7.5 %	0 %	0 %

**Tabla 7. Porcentaje de personas que se protegen según la corriente de disparo**

El ingeniero Biegelmeier estableció la relación entre  $I^2.t$  y los efectos fisiológicos, tal como se ve en la tabla:

<b>Energía específica <math>A^2.S (10^{-6})</math></b>	<b>Percepciones y reacciones fisiológicas</b>
<b>4-8</b>	Sensaciones leves en dedos y tendones de los pies
<b>10-30</b>	Rigidez muscular suave en dedos, muñecas y codos
<b>15-45</b>	Rigidez muscular en dedos, muñecas, codos y hombros. Sensación en las piernas.
<b>40-80</b>	Rigidez muscular y dolor en brazos y piernas.
<b>70-120</b>	Rigidez muscular, dolor y ardor en brazos, hombros y piernas.

**Tabla 8. Relación entre energía específica y efectos fisiológicos**

El resumen de las mediciones mostradas en la tabla 8 se establece a partir de la ecuación  $I^2.t$ , por medio del cual podemos conocer el límite para una sensación neta de dolor, con una duración de tres medias ondas (30 milisegundos).

Por ejemplo:

- a) Valor de corriente del Interruptor Diferencial = 30 mA.  
Tiempo de disparo = 100 mseg.

$$I^2 .t = 90.10^{-6} \text{ A .seg.}$$

- b) Valor de corriente = 30 mA  
Tiempo de disparo = 30 mseg.

$$I^2 .t = 27.10^{-6} \text{ A .seg.}$$

Esto indica que si se tiene en cuenta la sensación de dolor ocasionada por el paso de la corriente eléctrica y no el efecto de fibrilación cardiaca se debería

utilizar interruptores diferenciales de  $I = 30 \text{ mA}$  pero con un tiempo de corte no superior a 30 ms.

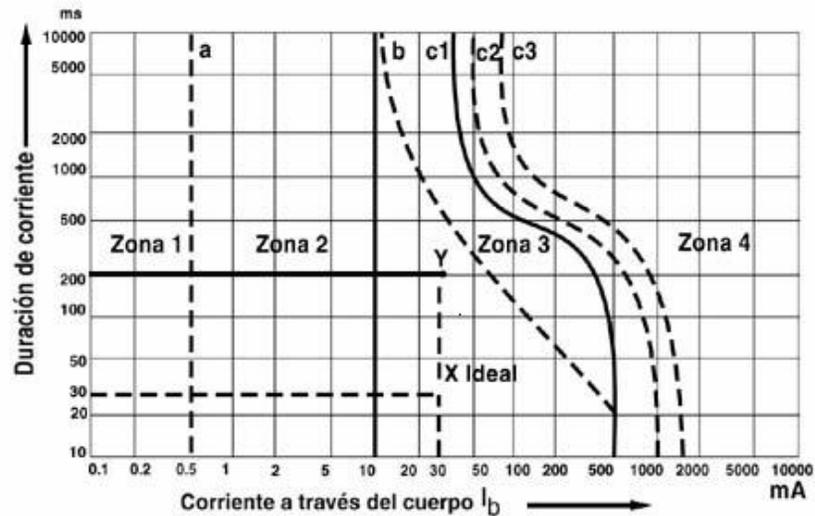
De todo esto se deduce que el tiempo de corte no debería ser superior a 30 mseg en el interruptor diferencial que se utilice, si se quieren evitar sensaciones muy dolorosas.

### **3.2.2. UMBRALES DE SOPORTABILIDAD**

Dentro de los umbrales de soportabilidad de la corriente alterna entre los 15 Hz a 100 Hz, se pueden dar las siguientes definiciones:

- a) Umbral de Percepción: Es el valor mínimo de la corriente que causa alguna sensación para la persona atravesada por ella.
- b) Umbral de desprendimiento: Es el valor máximo de corriente a la cual alguna persona agarrada a electrodos puede desprenderse de ellos.
- c) Umbral de Fibrilación Ventricular: El valor mínimo de la corriente el cual causa fibrilación ventricular.
- d) Período Vulnerable: El período vulnerable abarca una parte comparativamente reducida del ciclo cardíaco (10 al 20%), durante el cual las fibras del corazón están en estado no homogéneo de excitabilidad y la fibrilación ventricular ocurre si ellas son excitadas por una corriente eléctrica de suficiente valor.

A continuación se muestra la curva de soportabilidad para los seres humanos, para corrientes de 15 Hz a 100 Hz, tomada de la norma IEC 60479-1 y se da la descripción de los efectos en las diferentes zonas:



**Figura 11. Curva de Tiempo Vs Corriente de efectos de la corriente (15 Hz hasta 100 Hz)**

Zonas: Efectos fisiológicos

Zona 1: Normalmente sin reacción

Zona 2: Usualmente sin efectos fisiológicos

Zona 3: Usualmente no se esperan daños orgánicos. Aparecen contracciones musculares y dificultad en la respiración, disturbios reversibles de impulsos en el corazón. Paros cardiacos transitorios sin fibrilación ventricular se incrementan con la corriente y el tiempo.

Zona 4: En adición a los efectos de la Zona 3, la probabilidad de fibrilación ventricular se incrementa hasta un 5% sobre (curva C2), y hasta un 50% (curva C3), y arriba de un 50% por encima de la curva c3. Los efectos de paros cardiacos, respiratorios y quemaduras pueden ocurrir con el incremento de la corriente y el tiempo.

X: Punto de accionamiento de los Interruptores Automáticos de Corriente Diferencial.

### 3.2.3. EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO

Debido a que los umbrales de soportabilidad de los seres humanos, tales como el de paso de corriente (1,1 mA), de reacción a soltarse (10 mA) y de rigidez muscular o de fibrilación (25 mA) son valores de corriente muy bajos; la superación de dichos valores puede ocasionar accidentes como la muerte o la pérdida de algún miembro o función del cuerpo humano.

Adicionalmente, al considerar el uso masivo de instalaciones y que la continuidad en su utilización es casi permanente a nivel residencial, comercial, industrial y oficial, la frecuencia de exposición al riesgo podría alcanzar niveles altos, si no se adoptan las medidas adecuadas.

Con el fin de evaluar el grado de los riesgos de tipo eléctrico que el RETIE busca minimizar o eliminar, se puede aplicar la siguiente Matriz de Análisis de Riesgo:

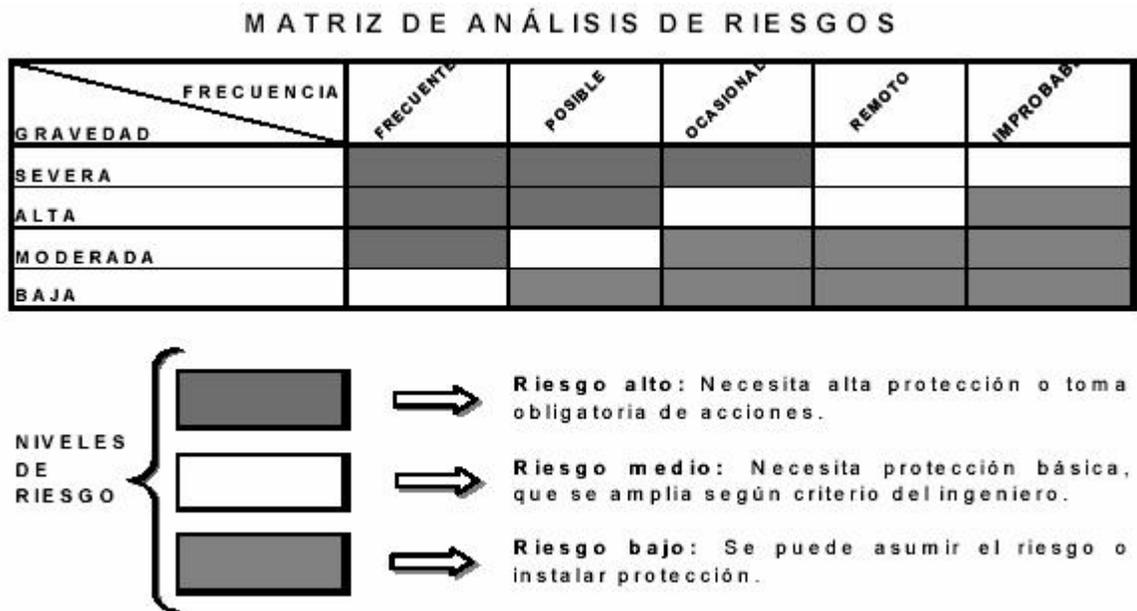


Figura 12. Matriz de riesgo

En el tema de sistemas de puesta a tierra el criterio fundamental es garantizar la seguridad de los seres humanos. Se entenderá que una instalación es de alto riesgo cuando no se tenga las protecciones, es decir, un sistema de puesta a tierra necesaria para minimizar o eliminar los efectos de los contactos directos, indirectos y por rayos, que pueden causar la muerte, graves efectos fisiológicos en el cuerpo humano o efectos sobre el entorno de la instalación eléctrica.

La matriz de riesgo nos da una indicación del nivel de riesgo de una instalación y la deberíamos tener en cuenta debido a que los gastos en que frecuentemente incurren las personas o entidades cuando se presenta un accidente de origen eléctrico son muy elevados, superando significativamente las inversiones que se hubieran requerido para minimizar o eliminar el riesgo.

#### **3.2.4. TENSIONES DE SEGURIDAD**

En el estudio de las tensiones de riesgo eléctrico existen tres condiciones que definen el diseño de una puesta a tierra. Como son las tensiones de paso, de contacto y las transferidas. Las tensiones de paso y de contacto se constituyen en las limitantes fundamentales para garantizar la seguridad de los seres humanos y animales.

### 3.2.4.1. TENSIÓN DE PASO

La tensión de paso es la diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por un paso (aproximadamente 1 metro), en la dirección del gradiente de tensión máximo.

Dentro de las posibles causas de las tensiones de paso se tiene:

- ❖ Rayos
- ❖ Fallas a tierra
- ❖ Fallas de aislamiento
- ❖ Violación de áreas restringidas

Y como medidas de protección se tiene:

- ❖ Puestas a tierra de baja resistencia
- ❖ Restricción de accesos
- ❖ Alta resistividad del piso
- ❖ Equipotencializar

En la figura 13 se pueden observar la importancia de una buena malla de puesta a tierra para minimizar los riesgos por las tensiones de paso.



Figura 13. Tensión de paso

### 3.2.4.2. TENSIÓN DE CONTACTO

La tensión de contacto es la diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo.

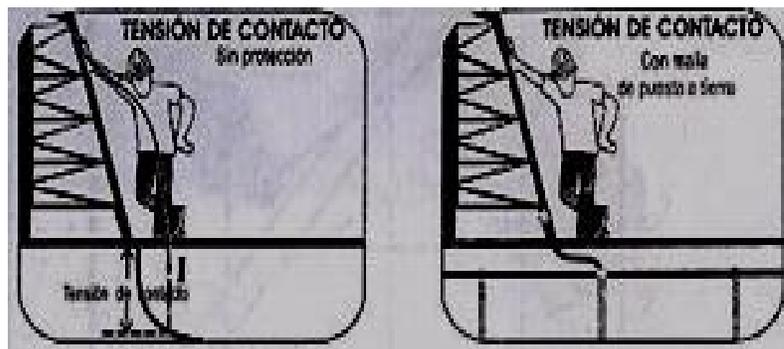
Dentro de las posibles causas de las tensiones de contacto se tiene:

- ❖ Rayos
- ❖ Fallas a tierra
- ❖ Fallas de aislamiento
- ❖ Violación de áreas restringidas

Y como medidas de protección se tiene:

- ❖ Puestas a tierra de baja resistencia
- ❖ Restricción de accesos
- ❖ Alta resistividad del piso
- ❖ Equipotencializar

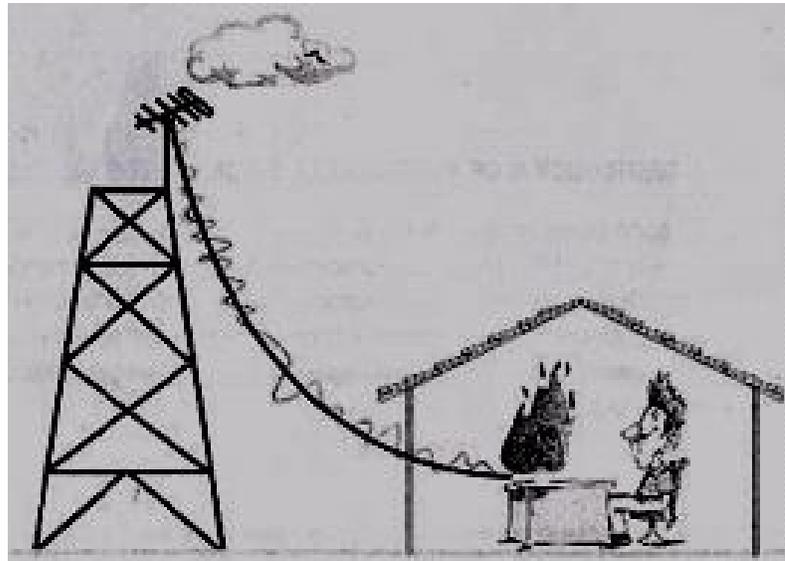
En la figura 14 se pueden observar la importancia de una buena malla de puesta a tierra para minimizar los riesgos por las tensiones de contacto.



**Figura 14. Tensión de contacto**

### 3.2.4.3. TENSION TRANSFERIDA

Es un caso especial de tensión de contacto, donde un potencial es conducido hasta un punto remoto respecto a una puesta a tierra.



**Figura 15. Tensión transferida**

Se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima energía eléctrica que pueden soportar, debida a las tensiones de paso, de contacto o transferidas y no el valor de resistencia de puesta a tierra tomado aisladamente. Sin embargo, un bajo valor de la resistencia de puesta a tierra es siempre deseable para disminuir la máxima elevación de potencial (GPR por sus siglas en inglés). La máxima elevación de potencial de tierra (GPR) se refiere a la máxima elevación del potencial de una puesta a tierra respecto de una puesta a tierra remota, cuando fluye a través de ella una corriente desde o hacia el suelo y es proporcional a la resistencia de puesta a tierra y a la corriente de falla monofásica.

La máxima tensión de contacto aplicada al ser humano que se acepta, está dada en función del tiempo de despeje de la falla a tierra, de la resistividad del suelo y de la corriente de falla (Ver anexo b, del presente documento). Para efectos del RETIE, la tensión máxima de contacto o de toque no debe superar los valores dados en la Tabla 9, tomados de la figura 44A de la IEC 60364-4-44:

<b>Tiempo de despeje de la falla</b>	<b>Máxima tensión de contacto admisible (valores en rms c.a.)</b>
Mayor a dos segundos	50 voltios
750 milisegundos	67 voltios
500 milisegundos	80 voltios
400 milisegundos	100 voltios
300 milisegundos	125 voltios
200 milisegundos	200 voltios
150 milisegundos	240 voltios
100 milisegundos	320 voltios
40 milisegundos	500 voltios

**Tabla 9. Valores máximos de tensión de contacto**

Los valores de la Tabla 9 se refieren a tensión de contacto aplicada a un ser humano en caso de falla a tierra, corresponden a valores máximos de soportabilidad del ser humano a la circulación de corriente y considera la resistencia promedio neta del cuerpo humano entre mano y pie, es decir, no considera el efecto de las resistencias externas adicionalmente involucradas entre la persona y la estructura puesta a tierra o entre la persona y la superficie del terreno natural. Para determinar la tensión de contacto, se debe comprobar mediante el empleo de algún procedimiento de cálculo, tal como el análisis de circuitos siguiendo los lineamientos de IEC o el método consignado en la norma IEEE 80, considerando las restricciones para cada caso.

Para cumplir el requerimiento de la Tabla 9, se acepta como válido calcular la tensión máxima de contacto de circuito abierto, en voltios, aplicando la siguiente ecuación:

$$V_{\text{contacto}} = \frac{0,116}{\sqrt{t}} (1000 + 1,5C_s \cdot \rho_s)$$

Donde  $C_s$  es el factor de disminución debido a la capa superficial sobre el terreno natural.

### 3.3. PASOS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UNA PUESTA A TIERRA PARA SUBESTACIONES

El diseñador de un sistema de puesta a tierra deberá comprobar mediante el empleo de un procedimiento de cálculo reconocido por la práctica de la ingeniería actual, que los valores máximos de las tensiones de paso, de contacto y transferidas a que puedan estar sometidos los seres humanos, no superen los umbrales de soportabilidad.

Para efectos del diseño de una puesta a tierra de subestaciones, se deben calcular las tensiones máximas admisibles de paso, de contacto y transferidas, las cuales deben tomar como base una resistencia del cuerpo de 1000. y cada pie como una placa de 200 cm<sup>2</sup> aplicando una fuerza de 250 N.

El procedimiento básico sugerido es el siguiente:

- ❖ Investigación de las características del suelo, especialmente la resistividad.
- ❖ Determinación de la corriente máxima de falla a tierra, que debe ser entregada por el Operador de Red para cada caso particular.
- ❖ Determinación del tiempo máximo de despeje de la falla para efectos de simulación.
- ❖ Investigación del tipo de carga.
- ❖ Cálculo preliminar de la resistencia de puesta a tierra.

- ❖ Cálculo de las tensiones de paso y de contacto en la instalación.
- ❖ Evaluar el valor de las tensiones de paso y contacto calculadas con respecto a la soportabilidad del ser humano.
- ❖ Investigar las posibles tensiones transferidas al exterior, debidas a tuberías, mallas, conductores de neutro, blindaje de cables, circuitos de señalización, además del estudio de las formas de mitigación.
- ❖ Ajuste y corrección del diseño inicial hasta que se cumpla los requerimientos de seguridad.
- ❖ Diseño definitivo.

### **3.4. SISTEMA PUESTAS A TIERRA EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS ESPECIALES**

Aquellas instalaciones que por estar localizadas en ambientes clasificados como peligrosos o alimentar equipos o sistemas complejos, presentan mayor probabilidad de riesgo que una instalación básica y por tanto requieren de medidas especiales, para mitigar o eliminar tales riesgos. Entre estas instalaciones eléctricas especiales se tienen:

- a) Instalaciones hospitalarias o de asistencia médica a que hace referencia la sección 517 del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050, Primera Actualización).
- b) Sistemas de emergencia y sistemas de alarma contra incendio.
- c) Instalaciones de ambientes especiales, contempladas en el Capítulo 5 del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050, Primera Actualización) clasificadas como peligrosas por el alto riesgo de explosión debida a la presencia de gases, vapores o líquidos inflamables; polvos, fibras o partículas combustibles.

d) Instalaciones eléctricas para sistemas de transporte de personal como ascensores, grúas, escaleras eléctricas, montacargas o teleféricos.

e) Instalaciones eléctricas en sitios con concentración de alto número de personas, que hace referencia la sección 518, 520 y 525 del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050, Primera Actualización).

#### **3.4.1. REQUISITOS PARA INSTALACIONES HOSPITALARIAS**

El objetivo primordial de este apartado es la protección de los pacientes y demás personas que laboren o visiten dichos inmuebles, reduciendo al mínimo los riesgos eléctricos que puedan producir electrocución o quemaduras en las personas e incendios y explosiones en las áreas médicas.

Las siguientes disposiciones se aplicarán tanto a los inmuebles dedicados exclusivamente a la asistencia médica de pacientes como a los inmuebles dedicados a otros propósitos pero en cuyo interior funcione al menos un área para el diagnóstico y cuidado de la salud, sea de manera permanente o ambulatoria. Convencionalmente se han tenido tres niveles de atención médica, dependiendo del grado de especialización; por tanto, este capítulo aplica a los niveles I (centros de salud con medicina general) y niveles II y III (hospitales y clínicas con diferentes grados de especialización).

La mayor importancia de este tipo de instalación, radica en que los pacientes en áreas críticas pueden experimentar electrocución con corrientes del orden de microamperios, que pueden no ser detectadas ni medidas, especialmente cuando se conecta un conductor eléctrico directamente al músculo cardíaco del paciente, por lo que es necesario extremar las medidas de seguridad.

Para efectos del RETIE, en las instalaciones hospitalarias se debe cumplir lo establecido en la norma NTC 2050 del 25 de noviembre de 1998 y particularmente su sección 517.

En el caso de las instituciones hospitalarias, en donde se debe garantizar la protección a los pacientes y demás personas que laboren o visiten dichos inmuebles y donde existe equipo eléctrico sofisticado y sensible, los sistemas de puestas tierra se constituyen en componentes importantes de los sistemas eléctricos, puesto que deben permitir la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas originadas por rayos, electricidad estática o fallas del sistema, constituyéndose en el verdadero y más tangible seguro de vida de los pacientes los cuales están en contacto directo con los equipos o están sometidos a tratamientos invasivos y pueden experimentar electrocución con corrientes de microamperios. En las instalaciones eléctricas hospitalarias el riesgo es mayor y por lo tanto es necesario extremar las medidas de seguridad.

Conocer los requisitos de las puestas a tierra en hospitales nos permite tomar las medidas necesarias para garantizar la seguridad de las personas que es el objetivo fundamental del RETIE, además de proteger a los equipos.

Puede considerarse que un paciente esta conectado a tierra debido a la transpiración, a la posible incontinencia y al simple hecho de que se encuentra sobre una cama de armazón metálico. Por este motivo en algunos centros asistenciales se prohíbe el uso de aparatos eléctricos particulares. Otros limitan su admisión, solamente a aparatos que funcionan con pilas. La conexión a tierra de todos los equipos eléctricos- electrónicos es requerida tanto por seguridad como punto de referencia al sistema. Debe

existir una perfecta equipotencialidad entre todos los componentes del sistema y tierra.

Es una práctica común encontrar en los hospitales sistemas de puesta a tierra de una referencia general aislada (varillas individuales) la cual nunca debe ser usada por la inseguridad que representa. Una adecuada conexión a tierra y equipotencialidad de los componentes del sistema garantizan una operación limpia, libre de ruidos electromagnéticos y una alta confiabilidad.

En el caso de las instalaciones eléctricas hospitalarias los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de equipos médicos cada vez más sofisticados y sensibles, lo que implica mejorar la seguridad de los pacientes y equipos, mejorando entre otros las puestas a tierra de los mismos.

Una de las características fundamentales de un adecuado sistema de protección y puesta a tierra, es el garantizar la operación de las instalaciones dentro de los parámetros estándares y asegurar el resguardo del personal y los equipos. Por lo anterior los sistemas de puesta a tierra (SPT) han de ser considerados justo antes de toda ampliación ó implementación de sistemas eléctricos en general, y no solo cuando ocurren fallas.

La posibilidad de electrocución es mayor en los hospitales, por tener dos tipos de pacientes: los que manipulan equipos eléctricos como parte de su actividad normal, cuyo umbral de peligro es de 25 mA y los que están sometidos a tratamientos invasivos con catéteres al corazón, cuyo umbral es del orden de 100  $\mu$ A. Es importante considerar que basados en la complejidad de los sistemas, las soluciones deben ser específicas y realmente adaptadas a los requerimientos locales y características de instalación y operación, es decir que, dependiendo de la aplicación existen ciertos requisitos a tener en cuenta en los sistemas de puesta a tierra para

asegurar la correcta operación de equipos y garantizar la seguridad de las personas.

Los sistemas de puesta a tierra (SPT) son componentes cada vez más importantes de los sistemas eléctricos, puesto que deben permitir la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas originadas por rayos, electricidad estática o fallas del sistema. En el caso de hospitales las puestas a tierra se constituyen en el verdadero y más tangible seguro de vida de los pacientes.

#### **3.4.1.1. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS**

A continuación se enuncian las más importantes exigencias que se deben tener en cuenta en las puestas a tierras hospitalarias:

- a) **Redundantes.** El principal criterio sobre tierras para hospitales que las hace diferentes a otras instalaciones es el de construirlas redundantes.
- b) **El neutro.** Debe conectarse en uno y solo un punto, en el transformador y antes de cualquier medio de desconexión o dispositivo de protección. Este punto debe ser un barraje equipotencial (BE) de cobre de  $3 \times \frac{1}{4} \times 60$  cm.

A su vez la carcasa del transformador o de un equipo, el neutro y el cable principal de tierra deben estar aterrizados siempre, sin seccionamientos ni posibilidad de daño.

- c) **Los electrodos de puesta a tierra.** Deben estar tan cerca como la practica lo permita de la conexión al neutro del sistema. Preferentemente deben emplearse varillas de cobre sólido de  $5/8 \times 2.4$  m como mínimo, homologadas por el sector eléctrico colombiano y enterradas verticalmente.

El conductor que une los electrodos con el BE debe ser aislado y color verde o verde- amarillo.

- d) **Malla de puesta a tierra.** Debe tener por lo menos una caja de inspección de  $0.3 \times 0.3$  m con tapa fácil de levantar de acuerdo con el diseño de dicha malla.

- e) **Partes metálicas.** Las tuberías metálicas subterráneas, la estructura metálica del edificio, los apantallamientos, en el caso que los hubiera, debe unirse entre sí y conectarse al sistema de puesta a tierra (SPT) en el barraje equipotencial. Los ductos, las bandejas para cableado y las cajas para salidas tienen que unirse rígidamente a la fuente del sistema, si este es alimentado en forma separada.

Además Los ductos metálicos, los gabinetes, las estructuras y demás partes metálicas del equipo eléctrico, no portadoras de corriente, deben mantenerse a una distancia mayor de 1.8 m de los bajantes de pararrayos o de la distancia calculada como segura. Si no es así deberían unirse rígidamente entre sí.

- f) **Corrientes espúreas o errantes.** No se debe permitir que corrientes espúreas o errantes circulen por los conductores de puesta a tierra de los

equipos, sólo las corrientes de una falla a tierra deben fluir por ellos.

- g) **Cables.** Los cables tipo MC y MI deben tener una pantalla o armadura metálica exterior válida como trayectoria de tierra. Con esto se busca que los circuitos parciales que alimentan las áreas de cuidado de pacientes dispongan de una trayectoria a tierra redundante a través de un ducto o cable metálico. Esta trayectoria es adicional a la que se tiene mediante el conductor de puesta a tierra aislado.
- h) **Tomacorrientes y equipos eléctricos fijos.** En los lugares usados para el cuidado de pacientes, todos los tomacorrientes y las superficies conductoras (metálicas) de los equipos fijos, los cuales transportan corriente, pero que pueden estar energizados operando con tensión mayor a 100 voltios y que estén al alcance de las personas, deben ser puestos a tierra por medio de un conductor de cobre aislado, cuyo calibre de estar de acuerdo con la Tabla 10, instalado junto con los conductores del circuito ramal que alimenta estos tomacorrientes o equipos.

### **Excepciones**

- Las tapas de las salidas pueden ser puestas a tierra por medio de tornillos metálicos de montaje, los cuales fijan la tapa a la caja de salida metálica puesta a tierra o conectadas a un dispositivo de alumbrado puesto a tierra.

Capacidad nominal de la protección en amperios	Calibres de conductores de cobre		Capacidad de corriente en falla *	Factor K **	Sobrecarga permitida	Capacidad según tabla 310-16 ***
	AWG	kcmil				
20	12	6530	155	7.7	125%	25
30	10	10380	246	8.2	117%	35
40	10	10380	246	6.1	88%	35
60	10	10380	246	4.1	58%	35
100	8	16510	391	3.9	50%	50
200	6	26240	621	3.1	33%	65
400	3	52620	1,245	3.1	25%	100
600	1	83690	1,981	3.3	22%	130
800	1/0	105600	2,499	3.1	19%	150
1000	2/0	133100	3,150	3.2	18%	175
1200	3/0	167800	3,972	3.3	17%	200
1600	4/0	211600	5,008	3.1	14%	230
2000	250 kcmil	250000	5,917	3.0	13%	255
2500	350 kcmil	350000	8,284	3.3	12%	310
3000	400 kcmil	400000	9,467	3.2	11%	335
4000	500 kcmil	500000	11,834	3.0	10%	380
5000	700 kcmil	700000	16,568	3.3	9%	460
6000	800 kcmil	800000	18,935	3.2	8%	490

\* Un amperio por cada 42,25 circular mill por cinco segundos.  
\*\* FACTOR K: Para calcular la capacidad de corriente en falla.  
\*\*\* Basada en 75° C para conductores de cobre. Tabla 310-160 norma NTC 2050

**Tabla 10. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos**

- i) **Equipos conectados por medio de cordón y enchufe.** Deben ser puestas a tierra las partes conductivas descubiertas, que transporten corriente, de equipos conectados por medio de cordón y enchufe, y que sean usados en áreas de cuidado de pacientes y operen con tensiones mayores a 100 V.

**Excepción**

- Los equipos aprobados y protegidos por un sistema de doble aislamiento o su equivalente, los cuales tienen superficies conductivas

descubiertas. Estos equipos deben ser claramente marcados y/o identificados.

#### **3.4.1.2. TOMACORRIENTES CON TERMINAL DE PUESTA A TIERRA AISLADO**

Los tomacorrientes con terminal de puesta a tierra aislada, deben ser identificados mediante un triángulo color naranja. Tal identificación debe ser visible después de su instalación.

Nota: Estos tomacorrientes o los equipos alimentados de ellos no se instalaran en la vecindad del paciente dentro del área de cuidados intensivos.

#### **3.4.1.3. CAMINO EFECTIVO DE PUESTA A TIERRA**

El camino a tierra desde circuitos, equipos y cubiertas debe:

- a) Ser permanente y continuo.
- b) Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- c) Tener suficiente capacidad de corriente para transportar con toda seguridad, cualquier corriente de falla que pueda circular por él.
- d) Tener una impedancia lo suficientemente baja para limitar el potencial respecto a tierra y asegurar el funcionamiento de los dispositivos de sobrecorriente del circuito.
- e) Evitar ruidos eléctricos.
- f) Ser resistente a la corrosión.
- g) Tener un costo lo más económico posible.

### **3.5. CLASIFICACION DE LAS INSTITUCIONES HOSPITALARIAS SEGUN LA NORMA ICONTEC 2050**

#### **3.5.1. CLÍNICAS, CONSULTORIOS MEDICOS Y ODONTOLOGICOS, Y SERVICIOS DE CONSULTA EXTERNA**

Será aplicable a todas las áreas de clínicas, consultorios médicos y odontológicos y a los servicios de consulta externa, donde se examina y se hacen tratamientos a pacientes.

No se aplicara a las oficinas, pasillos, salas de espera y ambientes semejantes.

##### **3.5.1.1. REQUISITOS ESPECIALES**

La instalación de las puestas a tierra se regirá de acuerdo con lo establecido en el numeral 3.4.1.1.

#### **3.5.2. HOSPITALES DE CUIDADOS INTERMEDIOS Y DE ASISTENCIA MÉDICA A PACIENTES DE LARGA ESTANCIA**

Se aplicara a los hospitales de cuidados intermedios y a los de asistencia médica a pacientes de larga estancia. Aquellos hospitales que prevean servicios de hospitalización deben cumplir con los requisitos del numeral 3.5.3.

### **3.5.2.1. REQUISITOS ESPECIALES**

La instalación de las puestas a tierra se regirá de acuerdo con lo establecido en los numerales 3.4.1.1. y 3.4.1.2.

### **3.5.3. HOSPITALES**

Se aplicara a los hospitales para el cuidado de pacientes que no pueden valerse por sí mismos.

No se aplicara en locales con sistemas de energía aislada, oficinas, pasillos, salas de espera y ambientes semejantes.

#### **3.5.3.1 REQUISITOS ESPECIALES**

La instalación de las puestas a tierra se regirá de acuerdo con lo establecido en los numerales 3.4.1.1., 3.4.1.2. y en los numerales 3.6. y 3.7. del presente documento.

## **3.6. AREAS DE CUIDADO DE PACIENTES**

### **3.6.1. GENERALIDADES**

En las instalaciones para el cuidado de la salud es difícil prevenir la aparición de trayectorias conductivas o capacitivas entre el cuerpo de un paciente y algún objeto puesto a tierra, porque esta trayectoria podría establecerse accidentalmente o a través de los instrumentos conectados directamente al paciente, además cualquier superficie conductora de electricidad que eventualmente entre en contacto con el paciente o los aparatos a él conectados, son posibles fuentes de corrientes eléctricas que circularan por su cuerpo. El peligro aumenta a medida que aumenta el número de aparatos electromédicos que son usados en el paciente, y por tanto es indispensable intensificar las precauciones.

El control de los perjuicios causados por un choque eléctrico requiere limitar la corriente que fluirá por un circuito que incluye el cuerpo del paciente; este objetivo puede lograrse mediante el aumento de la resistencia del circuito, aislamiento de las superficies expuestas que podrían energizarse, o reduciendo la diferencia de potencial que puede existir entre las superficies conductoras descubiertas en la vecindad del paciente o mediante una combinación de estos métodos.

Un problema especial se presenta en pacientes con un conductor que desde el exterior es conectado directamente al músculo del corazón. Tal paciente pudiera electrocutarse con niveles de corriente tan bajos que se requiere de

protecciones adicionales en el diseño de los aparatos, catéteres, así como un control riguroso de las practicas medicas.

El diseño y mantenimiento de las salidas para los aparatos utilizados en electromedicina deben basarse más en la clasificación de los tipos de áreas de cuidados de paciente que designe las directivas del hospital que en su aspecto constructivo y apariencia física.

### **3.6.2. ÁREAS DE ATENCION GENERAL**

Son aquellas áreas como cuartos de pacientes, salas de examen, salas de tratamientos salas de curas y áreas similares en las que el paciente este en contacto con dispositivos comunes tales como el sistema de llamado a enfermeras, camas eléctricas, lámparas de examen, teléfonos y aparatos para el entretenimiento.

En estas áreas el paciente también podría estar conectado a aparatos electromédicos (tales como almohadillas calientes, electrocardiógrafos, bombas de drenaje, monitores, otoscopios, oftalmoscopios, líneas periféricas intravenosas).

#### **3.6.2.1. EFICIENCIA DE LA PUESTA A TIERRA**

La puesta a tierra es eficiente cuando cualquiera de dos superficies conductivas descubiertas en la proximidad del paciente (un área de 1.80 m<sup>2</sup> en todas las direcciones que estén alcance del paciente según lo define la

NTC 2050), no exceda los 500 mV bajo operación normal a frecuencias de 1000 Hz o menos, medidas a través de una resistencia de 1000 ohmios.

### **3.6.2.2. TOMACORRIENTES DEL PUESTO DE CAMA DE PACIENTE**

Cada puesto de cama del paciente deberá ser provisto con un mínimo de cuatro tomacorrientes sencillos o dos dobles, los cuales deberán estar puestos a tierra mediante un cable de cobre aislado dimensionado de acuerdo con la Tabla 10. Cada puesto de cama de paciente debe ser alimentado al menos de dos circuitos de los cuales al menos uno debe originarse en un tablero del sistema normal; todos los circuitos ramales del sistema normal deben originarse en el mismo tablero.

A partir de 1993 los tomacorrientes para los puestos de camas de los pacientes deben ser de tipo %Grado Hospitalario+ e identificarse de forma visible. Cada toma debe ponerse a tierra mediante un conductor de cobre aislado como ya se menciona.

### **3.6.2.3. PUESTA A TIERRA E INTERCONEXIONES**

Las barras de terminales de puesta a tierra de equipos en los tableros de los sistemas normal y emergencia deberán estar interconectadas mediante un conductor continuo de cobre de calibre no menor al No. 10. No deben descuidarse los cuartos de baño. Las cadenas de encender lámparas requieren de un eslabón aislado, a fin de evitar un choque eléctrico

accidental, también son deseables las llaves y los tomacorrientes con tapa aislada.

Además de las salas destinadas a los pacientes, las destinadas a las enfermeras, como también sus áreas auxiliares, deben estar dotadas de tomacorrientes y equipos debidamente conectados a tierra o que tengan doble aislamiento.

#### **3.6.2.4. INSPECCIONES**

Las inspecciones que se deben desarrollar en las áreas de atención general son:

- ✓ Verificar la continuidad eléctrica de todos los circuitos a tierra.
- ✓ Controlar los aparatos y todas las superficies conductoras accesibles y que no llevan corriente, con el fin de que no tengan una pérdida excesiva de corriente.
- ✓ Verificar que la superficie física de los equipos portátiles y fijos no este dañada (por ejemplo superficies rajadas, abolladas o deformadas), de ser así, se deben somete a una minuciosa inspección a fin de determinar si existe un peligro potencial.
- ✓ En caso de encontrarse en uso adaptadores eléctricos o tomacorrientes múltiples (improvisados) será necesario cambiarlos.

### **3.6.3. AREAS DE ATENCION CRÍTICA**

Son aquellas unidades de cuidados especiales, UCI, las de cuidados coronarios, los laboratorios de caterización y de angiografía, salas de partos, salas de cirugía y áreas similares en las cuales los pacientes son sometidos a procesos invasivos y conectados a aparatos electromédicos alimentados por la red.

#### **3.6.3.1. EFICIENCIA DE LA PUESTA A TIERRA**

La puesta a tierra es eficiente cuando cualquiera de dos superficies conductoras descubiertas en la vecindad del paciente que esta en áreas de cuidado critico, no sobrepase los 20 mV, medidas a través de una resistencia de 1000 ohmios. En consecuencia la impedancia limite entre dos superficies (eléctricamente conductoras) expuestas sea de 0.2 ohmios.

#### **3.6.3.2. TOMACORRIENTES DE PUESTO DE CAMA DE PACIENTE**

Cada puesto de paciente deberá estar provisto de seis tomacorrientes sencillos o tres dobles puestos a tierra al punto de puesta a tierra de referencia, mediante conductor de cobre aislado de puesta a tierra de equipos. Todos los tomacorrientes deben ser del tipo Grado Hospitalario+e identificarse de forma visible como tales. Cada toma debe ponerse a tierra mediante un conductor de cobre aislado dimensionado de acuerdo con la Tabla 10.

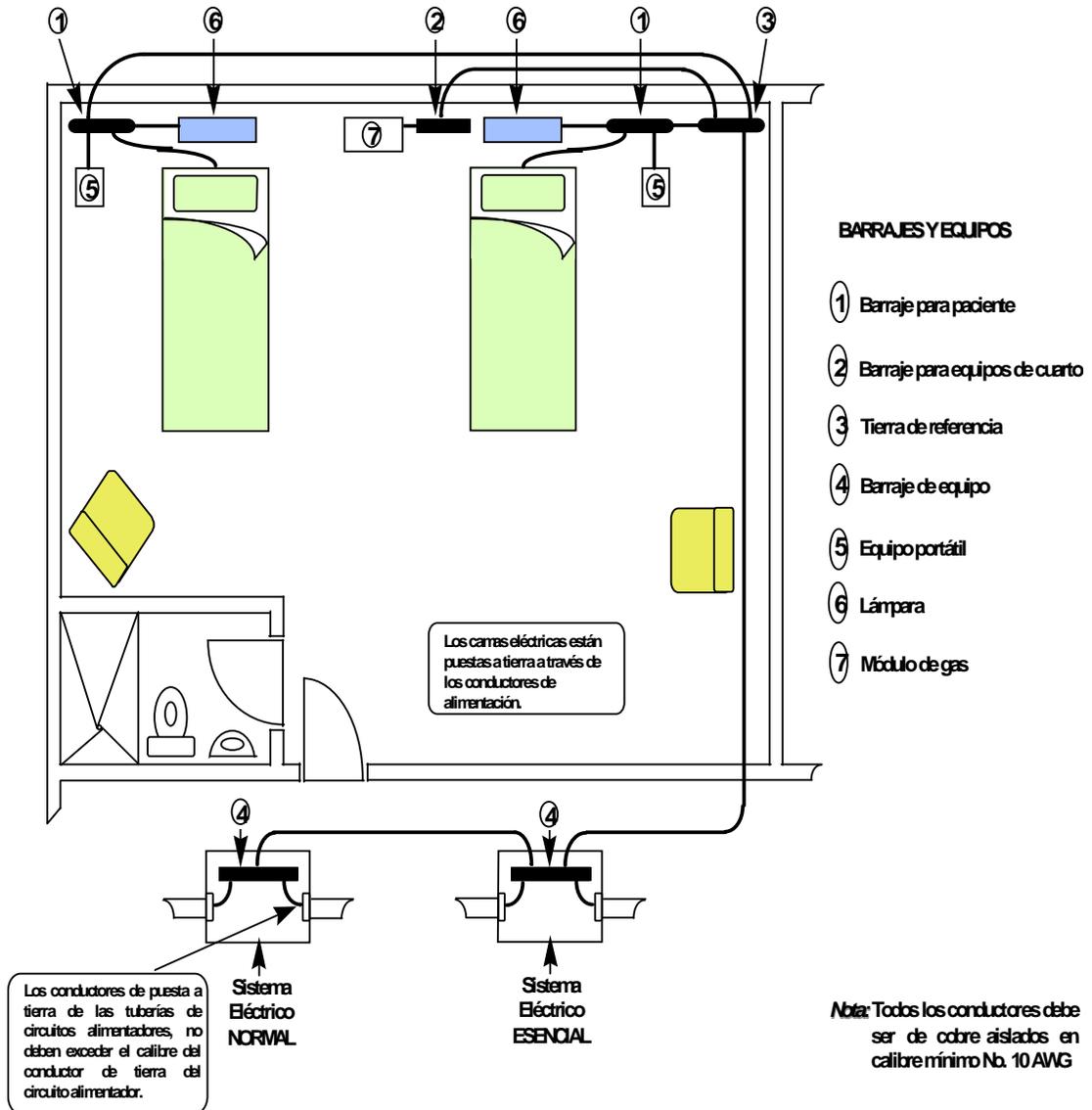
Cada puesto de cama de paciente debe ser alimentado al menos de dos circuitos de los cuales uno o más de ellos debe provenir del sistema de emergencia y al menos uno ellos debe ser un circuito ramal individual. Todos los circuitos ramales del sistema normal deben originarse en el mismo tablero. Los tomacorrientes deben ser identificados y también indicarán el tablero y el número del circuito que los alimenta.

### **3.6.3.3. PUESTA A TIERRA E INTERCONEXIÓN EN LA VECINDAD DEL PACIENTE**

Para una mejor comprensión de cada uno de los puntos expuestos a continuación ver Figura 16.

- a) Cada puesto para cama de pacientes tendrá un punto de puestas a tierra para equipo del paciente conectado al punto de puesta a tierra de referencia mediante un conductor de cobre aislado de calibre no menor del No. 10, que vaya directamente al punto de puesta a tierra de referencia o mediante un conductor conectado en forma permanente al conductor de puesta a tierra de un tomacorriente cercano. El punto de puesta a tierra para equipo del paciente, donde sea previsto, contara con una o más clavijas aprobadas para tal fin.
- b) Las barras terminales de puesta a tierra de los equipos del tablero normal y del sistema de emergencia deben ser unidas con un conductor de cobre aislado y continuo no menor del calibre No. 10. Cuando más de dos (2) paneles alimentan la misma área este conductor debe ser continuo entre ellos.

- c) Se preverá uno o más puntos de interconexión de un ambiente y serán puestos a tierra al punto de referencia por medio de un conductor de cobre aislado y continuo no menor del calibre No. 10.



**Figura 16. Puestas a tierra e interconexiones en la vecindad del paciente**

d) Las superficies conductivas fijas descubiertas en la vecindad del paciente y con probabilidades de ser energizadas, serán conectadas al punto de interconexión del ambiente o al punto de puesta a tierra de la referencia mediante conductores continuos de cobre o mediante las partes conductivas de las estructuras cuya conductancia sea al menos igual a la del conductor de cobre calibre No. 10. En caso de instalarse conductores de interconexión, deben ser colocadas en forma radial o de anillo según el caso.

### **Excepción**

- Las superficies conductivas pequeñas empotradas en paredes sin probabilidad de ser energizadas, tales como colgador de toallas, dispensador de jabón, espejos o similares. De igual manera las superficies metálicas sin probabilidad de ser energizadas (tales como marcos de ventanas y puertas) no necesitan ser puestos a tierra intencionalmente mediante conexión al punto de interconexión del ambiente.
- a) Los requisitos del ítem d no se aplicaran a utensilios portátiles o muebles (Ej. Estantes al lado de las camas, mesas de cama, sillas, soportes para aparatos de TV, jarras, platos y similares).
- b) Cualquiera de los puntos de conexión y puesta a tierra de los numerales a, b, c y d pueden conectarse entre sí para formar un solo punto.
- c) Un puesto para cama de paciente no estará servido por mas de un punto de puesta a tierra de referencia.

#### **3.6.3.4. PUESTA A TIERRA DE LA CANALIZACIÓN DEL ALIMENTADOR**

Cuando se utiliza un sistema de distribución eléctrica puesto a tierra se asegura la puesta a tierra de la canalización del alimentador mediante boquilla de puesta a tierra y un conductor continuo de cobre de calibre no inferior al No. 12 que se extienda desde la boquilla hasta la barra de tierra del tablero.

#### **3.6.3.5. PUESTA A TIERRA DE UN SISTEMA DE POTENCIA AISLADO**

Cuando se utiliza una fuente de potencia aislada, no puesta a tierra y la corriente de primera falla es limitada a un valor bajo, el conductor de puesta a tierra asociado con el circuito secundario podrá ir fuera de la canalización de los conductores de potencia en el mismo circuito. Sin embargo es más seguro llevar este conductor junto con los conductores de potencia a fin de obtener una mejor protección en caso de falla a tierra en el secundario, supuesto que esta situación reduce la impedancia de la trayectoria de tierra.

#### **3.6.3.6. PUESTA A TIERRA DE TOMACORRIENTES ESPECIALES**

El conductor de puesta a tierra del equipo de tomacorrientes especiales, tales como aquellos para la operación de equipos móviles de rayos X, serán extendidos hasta el punto de puesta a tierra de referencia en todos los sitios

donde tales tomas existan; cuando tal circuito es alimentado por un sistema aislado, no puesto a tierra, el conductor de tierra debe ir por vía distinta a la de los conductores activos del circuito, sin embargo el terminal de puesta a tierra del equipo del tomacorriente de uso especial estará conectado al punto de puesta a tierra de referencia.

### **3.6.3.7. TÉCNICAS ADICIONALES DE PROTECCIÓN**

- a) Se permitirá el uso de sistemas aislados en áreas de cuidado crítico.
- b) El equipo para sistemas de potencia aislados será el aprobado para tal fin y diseñado e instalado de manera que cumpla con los propósitos y este de acuerdo con la sección 517-104 de la norma ICONTEC 2050.

#### **Excepción**

- Un circuito parcial aislado que alimenta un área para anestesia, no puede servir ninguna otra dependencia. Los indicadores audibles y visuales del monitor de aislamiento de línea podrán estar ubicados en el puesto de enfermería del área servida.

En la figura 17 se pueden observar algunos tipos de conexión para equipos sensibles.

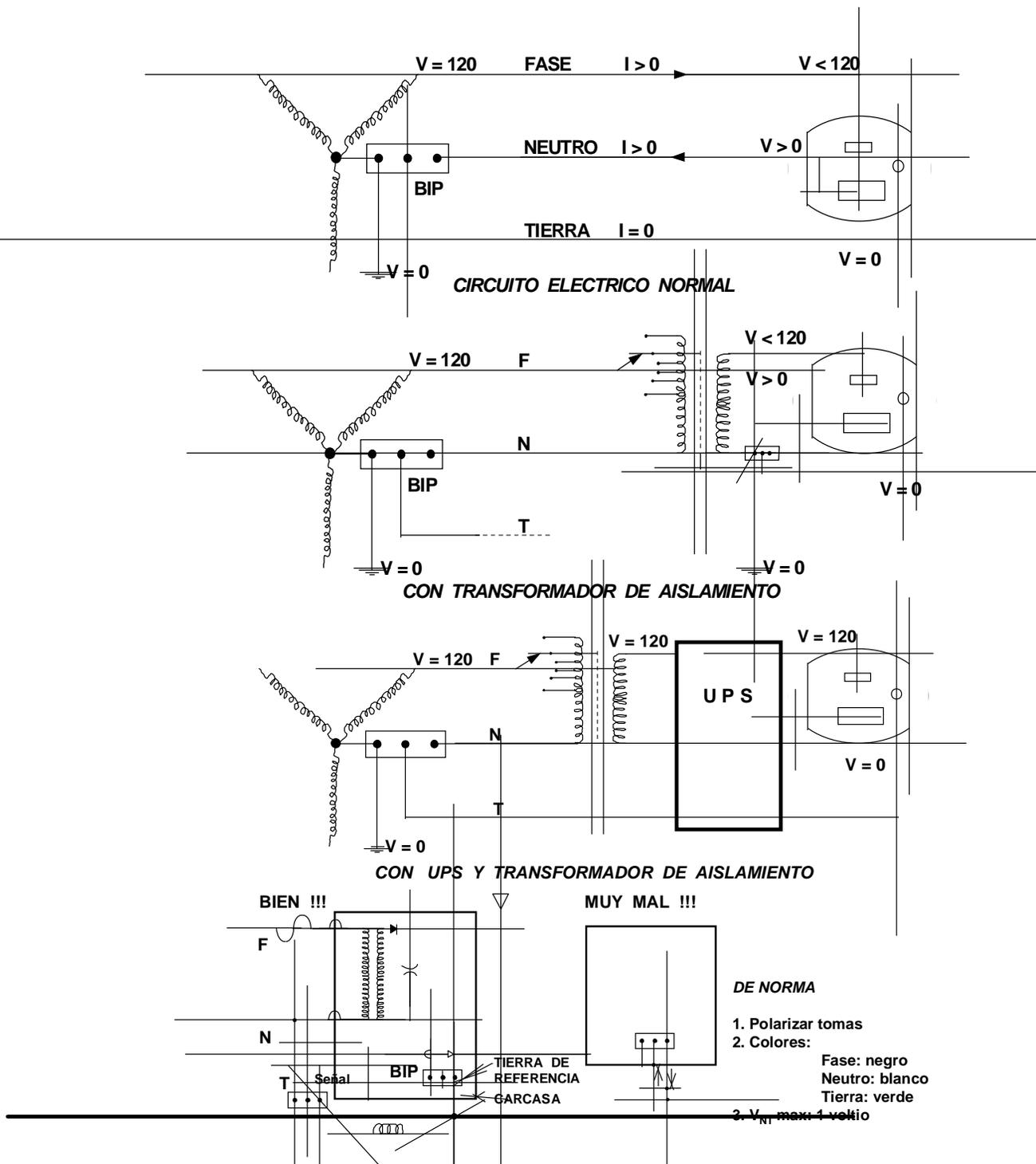


Figura 17. Conexiones para equipos sensibles

### 3.6.3.8. INSPECCIONES

Las inspecciones que se deben desarrollar en las áreas de atención crítica son:

- ✓ Verificar que los equipos y muebles que no tienen electricidad estén conectados al punto de tierra para el paciente (Las sillas, la bacinilla y otros elementos similarmente pequeños no requieren conexión a tierra).
- ✓ Controlar la continuidad a tierra entre todas las superficies conductoras expuestas que no tienen corriente en la vecindad del paciente. Este control es imperativo en esta área y deberá realizarse cada tres meses.
- ✓ Controlar la tensión de los resortes de las ranuras de los tomacorrientes, la ranura de conexión a tierra en particular. Los controles regulares servirán para identificar aquellos tomacorrientes regulares y remplazarlos antes de que se presenten fallos.

Nota: Se considera aceptable una tracción de 113 gr. La confiabilidad del tomacorriente es dudosa cuando la lectura del tensiómetro descende a la mitad de este valor. Una tensión de 85 gr es considerada por UL como mínimo absoluto. (Las tapas excesivamente pintadas de los tomacorrientes pueden producir interferencia a las clavijas de prueba, dando una lectura erróneamente alta).

### **3.6.4. AREAS HUMEDAS**

Son áreas de cuidados de pacientes normalmente sujetas a condiciones de humedad mientras los pacientes están presentes. Estos incluyen líquidos sobre el piso o que humedecen el área de trabajo, ya sea que cualquiera de estas condiciones esté ligada al paciente o al personal del hospital. Los procedimientos rutinarios y el derrame accidental de líquidos no definen un lugar húmedo. Las áreas de cuidado crítico y de cuidados generales también deben considerarse como áreas húmedas.

#### **3.6.4.1. TÉCNICAS DE PROTECCIÓN**

- a) Los equipos conectados por enchufe o cordón deben tener un conductor de tierra del equipo de calibre no menor del No. 12 y un enchufe del tipo con puesta a tierra.
- b) Todos los tomacorrientes y equipos fijos dentro de estas áreas, deben estar provistos de interruptores con protección contra falla a tierra si se puede permitir la interrupción del circuito bajo falla o un sistema de potencia aislado, si tal corte no puede permitirse.

#### **Excepción**

- Los circuitos parciales que alimentan equipos de diagnóstico y terapia, homologados y fijos, que pueden alimentarse desde una acometida monofásica o trifásica normal puesta a tierra, si el alambrado para los circuitos aislados y las puestas a tierras no ocupan los mismos ductos

y todas las superficies conductoras de los equipos están puestas a tierra.

### **3.6.5. AREAS PARA ANESTESIA**

#### **3.6.5.1. LUGARES CLASIFICADOS COMO PELIGROSOS**

En un local donde se emplean anestésicos inflamables, el área completa será clasificada como un lugar Clase I, División 1, hasta una altura de 1,5 metros sobre el nivel del piso. El resto del volumen del local hasta la placa del techo se considera como espacio por encima de lugares (clasificados) peligrosos.

Cualquier habitación o lugar en el cual se almacenen anestésicos inflamables o desinfectantes volátiles inflamables será considerado como lugar Clase I, División 1, del piso al techo.

#### **3.6.5.2. LUGARES DIFERENTES A LOS CLASIFICADOS COMO PELIGROSOS**

Cualquier lugar, incluido los quirófanos, salas de partos, cuartos de anestesia, corredores, cuartos de faena, utilizados y designados para uso de anestésicos no inflamables será clasificados como lugares diferentes al peligroso.

### **3.6.5.3.EQUIPOS Y PUESTAS A TIERRA**

En cualquier área de anestesia se conectaran a tierra todas las canalizaciones metálicas y todas las partes conductoras de equipos fijos o portátiles que no transporten corriente.

#### **Excepción**

- Los equipos que funcionen a menos de 8 voltios entre conductores que no necesitan puesta a tierra.

#### **3.6.5.3.1. DENTRO DE LOCALES DE ANESTESIA**

- a) Todos los equipos aquí utilizados deberán ser aprobados para las atmósferas peligrosas involucradas (éter etílico, etileno o gases o vapores de riesgo similar), adicionalmente deben ser equipos aprobados para Clase I, División 1.
- b) Los enchufes y tomacorrientes en lugares (clasificados) peligrosos Clase I, Grupo C, debe estar provistos de contacto para la conexión del conductor de puesta a tierra.
- c) Los cordones flexibles, usados en áreas peligrosas, para conectar equipos portátiles incluyendo lámparas, que operen a mas de 8 voltios entre conductores, deberá ser de un tipo aprobado para uso extra- pesado, de acuerdo con lo estipulado en la tabla 400-4 de la norma ICONTEC 2050 y deberán incluir un conductor adicional para puesta a tierra.

### **3.6.5.3.2. POR ENCIMA DE AMBIENTES DE ANESTESIA PELIGROSOS**

- a) Los enchufes y tomacorrientes deben ser aprobados para uso especial de hospitales (Grado Hospitalario) y para servicios de determinadas tensiones, frecuencias, rango y numero de conductores con provisión de conexión a tierra. Este requisito solo se aplica a enchufes y tomacorrientes de 2 polos, 3 hilos, tipo de puesta a tierra, para corriente alterna monofásica de 120 voltios nominales.
  
- b) Los enchufes y tomacorrientes para conectar equipos médicos de 250 voltios, 50 y 60 amperios C.A., deberán ser diseñados de tal forma que el tomacorriente de 60 amperios acepte un enchufe con capacidad de 50 a 60 amperios. Los tomacorrientes de 50 amperios no deben aceptar enchufes de 60 amperios. Los enchufes deben ser del tipo 2 polos, 3 hilos con un tercer contacto que conecte el conductor aislado de puesta a tierra del equipo (verde o verde con bandas amarillas), en el sistema eléctrico.

### **3.6.5.3.3. DIFERENTES DE LOCALES O AMBIENTES DE ANESTESIA PELIGROSA**

- a) Los enchufes y tomacorrientes deben ser aprobados para uso especial de hospitales (Grado Hospitalario) y para servicios de determinadas tensiones, frecuencias, rango y numero de conductores con provisión de conexión a tierra. Este requisito solo se aplica a enchufes y tomacorrientes de 2 polos, 3 hilos, tipo de puesta a tierra, para corriente alterna monofásica de 120, 208 o 240 voltios nominales.

b) Los enchufes y tomacorrientes para conectar equipos médicos de 250 voltios, 50 y 60 amperios C.A., deberán ser diseñados de tal forma que el tomacorriente de 60 amperios acepte un enchufe con capacidad de 50 a 60 amperios. Los tomacorrientes de 50 amperios no deben aceptar enchufes de 60 amperios. Los enchufes deben ser del tipo 2 polos, 3 hilos con un tercer contacto que conecte el conductor aislado de puesta a tierra del equipo (verde o verde con bandas amarillas), en el sistema eléctrico.

### **3.7. PISCINAS TERAPEUTICAS Y BAÑERAS**

#### **3.7.1. DISPOSICIONES GENERALES**

Las disposiciones siguientes aplican a las piscinas terapéuticas y bañeras en instalaciones de asistencia médica. Los artefactos terapéuticos portátiles cumplirán con la sección 422 de la norma ICONTEC 2050.

#### **3.7.2. PISCINAS TERAPEUTICAS INSTALADAS PERMANENTEMENTE**

Las piscinas terapéuticas instaladas en el piso o sobre el piso o en una edificación de tal manera que las piscinas no puedan ser fácilmente desmontadas.

##### **3.7.2.1. PUESTA A TIERRA**

Los siguientes equipos estarán puestos a tierra:

- a) Los aparatos de alumbrado subacuáticos de nicho mojado.
- b) Los aparatos de alumbrado subacuáticos de nicho seco.
- c) Todos los equipos eléctricos colocados dentro de 1,50 m de las paredes internas de la piscina.
- d) Todos los equipos eléctricos anexos con el sistema de circulación de agua de la piscina.

- e) La caja de empalmes.
- f) La cubierta de los transformadores.
- g) Los interruptores contra falla a tierra del circuito.
- h) Los tableros que no forman parte del equipo de acometida y que alimentan cualquier equipo eléctrico anexo a la piscina.

### **3.7.2.2. MÉTODOS DE CONEXIÓN**

#### **3.7.2.2.1 APARATOS DE ALUMBRADO EN PISCINA Y OTROS EQUIPOS**

- a) Los aparatos de alumbrado de nicho mojado estarán conectados a un conductor de puesta a tierra del equipo, cuyo calibre está de acuerdo con la tabla 250-95 pero no menor del calibre No. 12. El conductor será de cobre aislado y será conectado con los conductores del circuito en tubos rígidos metálicos, tubo metálico intermedio o tubo rígido no metálico.

#### **Excepción**

- Se permitirá el uso de tubería metálica eléctrica para la protección de los conductores que vayan por dentro o fuera de las paredes.
- El conductor de puesta a tierra del equipo entre la cámara de alumbrado del arrollado secundario de un transformador y la caja de empalmes será de un calibre que esté de acuerdo con el dispositivo contra sobrecorriente de este circuito.

- b) La caja de empalme, la cubierta del transformador u otras cubiertas en el

circuito de alimentación de un aparato de alumbrado de nicho mojado y la cámara de alumbrado de campo de un aparato de alumbrado de nicho seco de pondrán a tierra al terminal de puesta a tierra del equipo de tableros. Este terminal estará directamente conectado a la cubierta del tablero. El conductor de puesta a tierra del equipo se instalará sin unión ni empalme.

### **Excepción**

- Cuando se alimenta con un mismo circuito ramal más de un aparato de alumbrado subacuático, el conductor de puesta a tierra de equipo instalado entre cajas de empalmes, cubiertas de transformadores u otras envolturas en el circuito de alimentación de aparatos de nicho mojado o entre los campos de alumbrado de aparatos de nicho seco, puede terminar en los terminales de puesta a tierra.
  - Cuando el aparato de alumbrado subacuático se alimenta desde un transformador, un interruptor contra fallas a tierra o un suiche operado por un reloj el cual está situado entre el tablero y una caja de empalmes conectadas al tubo rígido que se extiende directamente hasta el aparato de alumbrado subacuático, el conductor de puesta a tierra del equipo puede terminar en los terminales de puesta a tierra sobre el transformador interruptor automático contra fallas a tierra o cubiertas del interruptor operado por reloj.
- c) En los aparatos de alumbrado de nicho mojado que están alimentados por cables o cordones flexibles tendrán todas las partes descubiertas metálicas que no transportan corrientes puestas a tierra por un conductor

de puesta a tierra de equipos de cobre aislado y que sea parte integral del cordón o cable. Este conductor de puesta a tierra será conectado a un terminal de tierra en la caja de empalmes de alimentación, cubierta del transformador u otras cubiertas. El conductor de puesta a tierra no será menor que el conductor de alimentación y no menor del calibre No. 16.

#### **3.7.2.2.2. TABLEROS**

Un tablero que no sea parte del equipo de acometida, tendrá un conductor de puesta a tierra de equipo instalado entre su terminal de puesta a tierra y el terminal de puesta a tierra del equipo de acometida. Este conductor será de calibre de acuerdo a la Tabla 10, pero no menor que el calibre No. 12, será un conductor aislado e instalado con los conductores alimentadores en un tubo metálico rígido.

El conductor de puesta a tierra del equipo será conectado a un terminal de puesta a tierra del equipo de tableros.

#### **Excepción**

- El conductor de puesta a tierra de equipos entre un tablero lejano existente y el equipo de acometida no necesita colocarse en un tubo si la interconexión se hace por medio de un cable aprobado ensamblado con un aislante que tenga un conductor de puesta a tierra de equipos con cubierta.
- La tubería eléctrica metálica se permitirá usar para proteger los

conductores cuando están instalados en o dentro de inmuebles.

#### **3.7.2.2.3. OTROS EQUIPOS**

El equipo eléctrico que no sea aparatos de alumbrados subacuáticos será puesto a tierra de acuerdo con la sección 250 de la norma ICONTEC 2050.

#### **3.7.2.2.4. EQUIPOS CONECTADOS CON CORDONES**

Cuando se conectan equipos fijos o estacionarios con un cordón flexible para facilitar su remoción o desconexión para su mantenimiento, reparación o almacenamiento, los conductores de puesta a tierra de equipos deberán conectarse a una parte metálica fija del conjunto. La parte que es retirable estará montada sobre la parte metálica fija o estará interconectada a ella.

#### **3.7.3. BAÑERAS TERAPEUTICAS (TANQUES HIDROTERAPEUTICOS)**

Conformarán a esta parte bañeras térmicas usadas para la inmersión y tratamientos de pacientes; éstas no se moverán fácilmente de un lugar a otro en uso normal o estarán fijadas o aseguradas de otra manera en un lugar específico incluyendo sistema de tuberías para cañerías.

### **3.7.3.1. CONEXIÓN**

Las siguientes partes se conectarán juntas.

- a) Todos los accesorios metálicos dentro o fijos a la estructura de la bañera.
- b) Partes metálicas para los equipos eléctricos asociados con el sistema de circulación del agua de la bañera, incluyendo los motores de bombas.
- c) Tubos metálicos y tuberías metálicas que están dentro de los 1,50 m de la pared interna de la bañera y no separados de la bañera por una barrera permanente.
- d) Todas las superficies metálicas que están dentro de los 1,50 m del interior de la bañera y no separadas del área de la bañera por una barrera permanente.
- e) Los dispositivos y controles eléctricos no asociados con las bañeras terapéuticas se localizarán mínimo a 1,50 m, a lo lejos de tales unidades o se conectarán al sistema de bañeras terapéuticas.

### **3.7.3.2. MÉTODOS DE CONEXIÓN**

Todas las partes metálicas asociadas con los tubos se conectarán por uno cualquiera de los siguientes métodos: La conexión de tuberías y accesorios metálicos roscados en un montaje de metal a metal sobre una estructura o base común; conexiones por empalmes metálicos adecuados o por provisiones de un conector de cobre de interconexión, aislado, cubierto o desnudo no menor que el calibre No. 8 sólido.

### **3.7.3.3. PUESTA A TIERRA**

Los siguientes equipos estarán puestos a tierra:

- a) Todos los equipos eléctricos localizados dentro de 1,50 m de las paredes internas de la bañera.
- b) Todos los equipos eléctricos asociados con el sistema de circulación de agua de la bañera.

### **3.7.3.4. MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA**

- a) Todos los equipos eléctricos serán puestos a tierra de acuerdo con la sección 250 de la norma ICONTEC 2050.
- b) Cuando los equipos se conectan con un cordón flexible, los conductores de puesta a tierra del equipo serán conectados a una parte metálica fija del conjunto.

### **3.7.3.5. TOMACORRIENTES**

Todos los tomacorrientes dentro de 1,50 m de una bañera terapéutica serán protegidos por un interruptor contra fallas a tierra.

### **3.8. COMUNICACIONES, SISTEMAS DE SEÑALIZACION, SISTEMAS DE DATOS, SISTEMAS DE SAÑALIZACION DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS Y SISTEMAS DE BAJA TENSION**

#### **3.8.1.AREAS DE CUIDADO DE PACIENTES**

Se proveerá de sistemas de puesta a tierra y aislamiento equivalentes al requerido para los sistemas de distribución eléctricos en áreas de cuidado de pacientes a los sistemas de intercomunicación, sistemas de señalización, de protección de incendios, sistemas de baja tensión y a los circuitos de sistemas de procesamiento de datos.

Un medio alternativo de aislamiento de los sistemas de llamado a enfermera es el uso de dispositivos de señalización, comunicación o control, no eléctrico, sostenidos por el paciente o al alcance de él.

#### **4. CONCLUSIONES**

La necesidad de garantizar la seguridad de las personas ante el riesgo que existe en las instalaciones eléctricas de sufrir efectos a causa de la manipulación de estas, y a la necesidad de establecer requisitos para productos eléctricos que no obstaculicen innecesariamente el comercio, el ministerio de minas y energía emitió el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) para establecer los requisitos mínimos necesarios para garantizar la Protección de la vida y salud humana, protección de la vida animal y vegetal, protección del medio ambiente, prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario seguridad Nacional.

El reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE da una serie de responsabilidades y mecanismos de vigilancia que se deben tener en cuenta, llevando a que se cumplan todos los requisitos mínimos en una instalación eléctrica, garantizando y cumpliendo los objetivos legítimos que protege el reglamento.

Los sistemas de puesta a tierra son una de las partes que deben ser consideradas antes de toda ampliación ó implementación de sistemas eléctricos en general, y no solo cuando ocurren fallas, ya que por medio de estas se minimiza el riesgo de tener efectos debido a la manipulación de instalaciones eléctricas, eso si cumpliendo con las especificaciones de materiales, diseño, construcción y mantenimiento que estos requieren.

En el momento de especificar un sistema de puesta a tierra es necesario realizar un estudio técnico . económico que permita evaluar y tomar decisiones que cumplan con los requisitos exigidos por el RETIE.

Hay que tener en cuenta al momento de especificar un sistema de puesta a tierra que el riesgo o posibilidad de electrocución es mayor en hospitales, por tener dos tipos de pacientes: los que manipulan equipos eléctricos como parte de su actividad normal, cuyo umbral de peligro es de 25 mA y los que están sometidos a tratamientos invasivos con catéteres al corazón, cuyo umbral es del orden de 100 A.

Las instalaciones hospitalarias son consideradas instalaciones especiales y por lo tanto deben tenerse en cuenta todos los requerimientos que se exigen dependiendo del área y el riesgo que se presente, para minimizar los efectos que pueden producir fallas eléctricas en los seres humanos.

## 5. BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS, Código Eléctrico Nacional. Santa fe de Bogotá: Actualización ICONTEC 1998 (NTC 2050). Secciones 250, 517, 680, 725, 760 y 800.

CASAS OSPINA, Favio, Soporte de la seguridad eléctrica, mayo 1998.

REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS (RETIE), Ministerio de minas y energía.

MEMORIAS DIPLOMADO INSTALACIONES ELECTRICAS TENIENDO EN CUENTA EL RETIE, convenio CIDET-UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR, Agosto 2006

Página web <http://www.retie.com.co>, que trata sobre el reglamento técnico de instalaciones eléctricas.

NATIONAL ELECTRICA CODE (NEC), edición 2005

Página web <http://www.liebert.com>, TEORIA Y DISEÑO DE SISTEMAS DE TIERRAS SEGUN LA IEEE

## **6. ANEXOS**

### **6.1. ANEXO A. TEORIA Y DISEÑO DE SISTEMAS DE TIERRAS SEGUN LA IEEE**

Tierras Aisladas por Liebert Corporation

<http://www.liebert.com>

#### **RESUMEN**

Tierra Aislada (IG) es una técnica usada frecuentemente con equipo electrónico sensible para reducir el ruido de modo común. La IG aísla la tierra del equipo sensible del sistema de tierras de canalizaciones, y controla la conexión al sistema de tierras de fuerza. Así, los cambios en el potencial de tierra debidos a corrientes inducidas de tierra que fluyen por las canalizaciones son eliminados, y las bandejas y tuberías conduit proveen de blindaje a la interferencia electromagnética (EMI) y a la radiointerferencia (RFI).

La IG es algunas veces mal interpretada como significando una tierra separada y aislada para la carga sensible, y las configuraciones basadas en esta interpretación son usualmente inseguras y en conflicto con los requisitos del

National Electrical Code. Si corrientes inducidas en la tierra del equipo aislado fluyen en los cables de datos, comunicación y control, el cableado de IG puede contribuir al ruido de modo común acoplado inductivamente cuando se aplica a circuitos que tienen otros equipos interconectados.

El ruido de modo común es cualquier señal indeseable que es común a todos los conductores del circuito simultáneamente con respecto a tierra. La

diferencia de potencial entre el neutro y tierra es una forma de ruido de modo común. Otra forma más problemática es la diferencia de potenciales de tierra en un sistema eléctrico. Además, la supresión de picos, cableado, blindado y aterrizado del sistema eléctrico del edificio (incluyendo el cableado de control, datos y comunicación) puede tener un efecto pronunciado en los niveles de señales de modo común a los que la electrónica sensitiva puede ser expuesto.

Porque se ha observado que los potenciales a tierra de los equipos (o cambios en ellos) afectan la operación de ciertos equipos electrónicos, frecuentemente hay instrucciones específicas y especiales de aterrizado. La mayoría de esas instrucciones están basadas más que en un análisis riguroso, y los principios básicos de electricidad frecuentemente se ignoran. Observe que el propósito principal del aterrizado es la seguridad personal, no la reducción de ruido. Estas metas pueden ser mutuamente exclusivas. Si ese es el caso, la seguridad debe prevalecer.

Una técnica de aterrizado usada en sistemas de CA en bajo voltaje para reducir el ruido de modo común es la tierra aislada (IG). La IG está permitida en los E.U. por el Código Nacional Eléctrico (NEC) y en Canadá por el Código Eléctrico Canadiense (CEC). En ambos casos, la IG es una excepción a los requisitos de aterrizados estándares. El NEC 250-74 y 250-75 permite la IG solamente "donde se requiera para la reducción de ruido eléctrico".

## ¿QUÉ ES AISLADO?

Tierra aislada se refiere a una tierra aislada (realmente con aislamiento) de la computadora al punto de aterrizado de potencia. No es un sistema de tierras "limpio" separado para la computadora, aislado de la tierra "sucia" de la compañía suministradora. Debe existir una sola tierra. Colocando una segunda tierra separada no solo es peligrosa y una violación al Código, sino que también causa más problemas de los que resuelve.

El concepto de IG puede verse al comparar un receptáculo estándar con el receptáculo IG. En el receptáculo IG, las terminales de tierra del receptáculo están eléctricamente aisladas de la caja metálica y de los conduits metálicos y de las canalizaciones. Así, hay dos trayectorias de puesta a tierra al punto de aterrizado del sistema de fuerza. Los receptáculos IG son frecuentemente de color naranja o están marcados con un triángulo de ese color.

Como un requisito mínimo del Código, el conduit o la canalización pone a tierra la caja. Cuando se usan conduits no metálicos y flexibles (los que no proveen una trayectoria efectiva a tierra) con receptáculos IG, el NEC requiere otro conductor para aterrizar la caja, [N. del T.: si ésta es metálica].

La razón básica para aterrizar los sistemas de C.A. es para limitar y estabilizar los voltajes y, para facilitar la operación del dispositivo de protección por sobrecorriente (OPD) en el caso de una falla a tierra.

Para un sistema sólidamente aterrizado en bajo voltaje de c.a., el NEC 250-51 requiere que todas las cubiertas metálicas de los sistemas eléctricos estén efectivamente aterrizadas, para minimizar el riesgo de un choque eléctrico y facilitar la operación del OPD para abrir la falla a tierra. El NEC

define como aterrizado efectivamente cuando se tiene una trayectoria a tierra que:

(1) es permanente y continua,

(2) que tiene una gran capacidad para manejar la corriente de falla a tierra

(3) tiene una baja impedancia para permitir que el OPD opere rápidamente para abrir la falla. Estos requisitos necesitan que un conductor de puesta a tierra de equipos permanentemente conecte todas las cubiertas del sistema eléctrico y cualesquiera otras partes que pudieran llegar a energizarse. Con el fin de facilitar la operación del OPD para abrir la falla a tierra, los conductores de puesta a tierra de equipos deben estar conectados al punto de aterrizaje del sistema de fuerza.

### **TRAYECTORIA A TIERRA.**

Con receptáculos convencionales, el conductor de puesta a tierra de equipos está en SERIE con la puesta a tierra de la canalización. Aunque la impedancia a tierra es mejor, puede existir ruido en la tierra de la canalización. Con los receptáculos de tierra aislada, la trayectoria de la puesta a tierra de los equipos está separada de la canalización para evitar el acoplamiento del ruido a la tierra de cómputo.

La terminal de tierra de un receptáculo IG no está conectada al sistema de puesta a tierra de la canalización. En lugar, un cable IG está conectado a la terminal de tierra del receptáculo y, está canalizada junto con los conductores de fuerza, pasando por uno o más paneles de control, permaneciendo

aislado de la canalización metálica y del sistema de puesta a tierra de los gabinetes hasta su conexión en el punto de puesta a tierra del sistema de fuerza en la acometida.

El conductor de puesta a tierra aislado debe estar dentro de la canalización. Evidencias experimentales indican una impedancia menor para un conductor de puesta a tierra dentro de una canalización que estando por fuera.

Si existiese una falla a tierra en la carga en un sistema convencionalmente aterrizado o en un o aterrizado IG, ambos esquemas proveen de una trayectoria efectiva de aterrizado.

### **EQUIPOS CON CABLEADO FIJO.**

Una forma diferente de IG es permitida por el NEC 250-75 (también por excepción). Es para equipos con cableado fijo. Como no hay receptáculo IG, una boquilla o acople aislante se insertan donde la canalización termina en el gabinete del equipo.

EL NEC recientemente añadió la excepción para equipos con cableado fijo, pero su efectividad y seguridad son cuestionadas. Para aislar la puesta a tierra del equipo, la armazón metálica de la carga debe estar aislada de sus alrededores aterrizados, quizá del mismo edificio. Existe la preocupación de que con corrientes grandes a tierra (ej. En la presencia de descargas atmosféricas), exista un potencial de choque o que chispas se presenten entre los alrededores aterrizados y el gabinete del equipo.

## **IG PARA UNA FUENTE DERIVADA INDEPENDIENTE**

Paquetes con fuentes derivadas independientes (definidas en el NEC) generalmente proveen de la puesta a tierra de los sistemas de cómputo. Usualmente están en los mismos cuartos de cómputo, minimizando el cableado a la carga. Cables largos de tierra aislada (IG) entre la carga y el punto de aterrizado del sistema pueden causar problemas por ruido de modo común por la alta impedancia en alta frecuencia.

Cuando receptáculos de tierra aislada se usan con una fuente derivada independiente, el sistema de tierra aislada (IG) se termina en esta fuente y no en la acometida.

## **CABLEADO IG INCORRECTO E INSEGURO**

En un intento aparente de aislar la tierra de los equipos de la tierra "sucia" de fuerza, algunas veces se realizan esfuerzos extraordinarios para asegurar una buena conexión a tierra para equipo electrónico sensible.

Este esfuerzo no provee una trayectoria efectiva a tierra como requiere el NEC. Considere la posibilidad de una falla a tierra en el equipo. No existe esa trayectoria a tierra efectiva entre la tierra aislada y el electrodo de puesta a tierra de la acometida. La trayectoria entre los electrodos puede o no puede ser continua, permanente o de amplia capacidad de corriente. Sin embargo, es improbable que la trayectoria tenga la impedancia suficientemente baja para permitir que abra rápidamente el dispositivo de sobrecorriente. La

impedancia de las conexiones de un electrodo a tierra es medida en ohms, mientras que la impedancia requerida debe ser en el rango de miliohms.

Como la tierra aislada se considera limpia y la tierra de los sistemas de potencia se considera sucia, hay una diferencia de potencial entre la tierra aislada y la de fuerza. Tales diferencias se manifestarán como voltaje de modo común (N-IG) en el equipo.

Así, mientras que la razón de la tierra aislada es evitar el ruido eléctrico, el resultado de una conexión incorrecta de la tierra aislada, es un incremento en los potenciales del ruido de modo común. Diferencias significativas pueden encontrarse cuando fluyen grandes cargas por el conductor de puesta a tierra; por ejemplo, cuando ocurren fallas, descargas atmosféricas y aún cuando pasan nubes eléctricamente cargadas por encima. Como resultado de ese cableado IG incorrecto los equipos conectados sufren daños.

Equipos conectados con cableado IG incorrecto pueden operar normalmente excepto durante condiciones específicas tales como en fallas a tierra o durante una tormenta con rayos.

## **LOS BENEFICIOS DEL CABLEADO IG.**

Claramente las canalizaciones proveen blindaje de las interferencias electromagnéticas y de radio frecuencia a los conductores encerrados en ellas. Como un beneficio práctico, el cableado IG minimiza las corrientes parásitas.

Corrientes a tierra parásitas que fluyen por el sistema de tierras causan cambios en los potenciales en el sistema. Estas corrientes don una realidad

en todos los sistemas eléctricos y, existen bajo una gran variedad de condiciones, la mayoría dinámicas. Pueden ser causadas por las descargas electrostáticas a los gabinetes, corrientes de falla a tierra, o aún la corriente capacitiva de carga cuando una carga es conectada.

En el cableado IG la referencia a tierra para el equipo es aislada del sistema de tierras de la canalización metálica y del gabinete. Corrientes parásitas fluyen en canalizaciones y gabinete, y los cambios en potenciales de tierra son confinados al sistema de tierras de la canalización metálica y del gabinete. No hay corrientes parásitas en el cableado IG, así la referencia de tierra para el equipo de utilización no es afectada.

### **DESVENTAJAS DE LAS TECNICAS DE CABLEADO IG**

Hay una posibilidad de corrientes inducidas en el conductor de IG en sistemas interconectados.

En la mayoría de las canalizaciones eléctricas, se emplean múltiples conductores individuales en lugar de cable manufacturado. Por lo que la posición del conductor IG relativa a los conductores de fuerza es al azar. Siempre que el conductor a tierra no está igualmente espaciado entre los conductores de fuerza, los campos magnéticos asociados con las corrientes de los conductores de fuerza no se balancean en el conductor de tierra. El campo magnético neto en a.c. inducirá corriente en el conductor de tierra si es parte de una trayectoria completa o lazo de tierra.

Los circuitos IG evitarán el problema de corrientes de tierra inducidas porque el conductor IG no forma un lazo completo, a no ser que existan sistemas interconectados, enlazados con cables de datos, comunicación o control entre las unidades individuales.

Cables enlazando equipos individuales pueden cerrar el lazo para corrientes inducidas en el conductor IG. Y, porque las corrientes inducidas son forzadas a pasar por los cables de conexión, hay una probabilidad de dañar la carga sensitiva. Las corrientes inducidas en los cables pueden causar particularmente problemas si son de frecuencias de fuerza. Ejemplo: 60 Hz y sus armónicas. Equipos de video y audio y, procesadores de señal analógica son sensitivos particularmente a esas frecuencias.

Las corrientes inducidas en cables de conexión han llevado a la práctica común de aterrizar las pantallas de los cables únicamente en un extremo. Aunque esta práctica rompe el lazo de corriente, admite la posibilidad de que aparezcan voltajes dañinos o inseguros en el sistema, especialmente durante una falla a tierra, descarga atmosférica u otro evento que cause impulsos.

Normalmente, las técnicas de aterrizado estándar dan menos problemas con corrientes a tierra inducidas. Esto es, porque las corrientes de tierra inducidas tienden a fluir sin consecuencias prácticas en lazos formados por el conductor a tierra y el sistema de canalizaciones, brincando los lazos de alta impedancia que incluyen el cableado de interconexión.

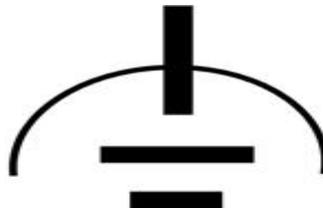
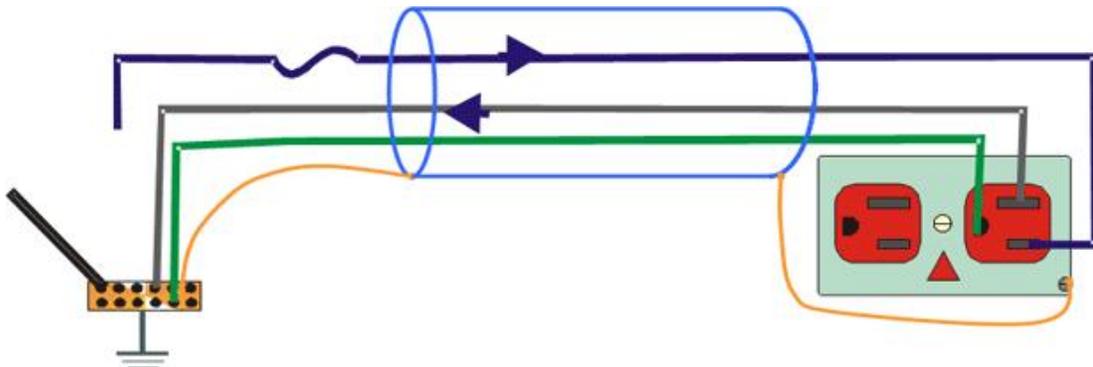
Algunas veces las técnicas de cableado IG son implementadas inadvertidamente cuando la conexión a tierra para canalizaciones se interrumpe. Una causa frecuente es cuando se emplean gabinetes no metálicos en medios corrosivos. Otra causa puede ser el enterramiento de tubería

eléctrica en tierra o en concreto. El resultado puede ser el de corrientes inducidas en sistemas interconectados. También pudieran existir problemas con interferencia electromagnética o de radiofrecuencia si el blindaje metálico se elimina.

## REGLAS PRÁCTICAS

Una regla fácil de recordar cuando instalamos cableados IG es:

Desde el receptáculo de tierra aislada, el conductor IG debe seguir el alambrado hasta el primer puente de unión (neutro-tierra), y debe ser conectado a tierra únicamente en ese punto. La tierra aislada no debe continuar más allá de ese punto, ni debe conectarse a un electrodo de puesta a tierra separado (estructura del edificio, tubo de agua, o varilla electrodo). Y, la más básica de todas las reglas, cuando aterrice un sistema, siga primero el NEC por seguridad.



TIERRA AISLADA



**TOMACORRIENTE CON TIERRA AISLADA, GRADO HOSPITALARIO**



**TOMACORRIENTE GRADO HOSPITALARIO**

## **6.2. ANEXO B. EJEMPLO DE DISEÑO DE UNA PUESTA A TIERRA APLICANDO LOS PASOS ESENCIALES PARA EL DISEÑO DE UNA PUESTA A TIERRA SEGÚN LA IEEE 80**

### **INTRODUCCIÓN**

Este documento contiene los criterios de seguridad e información necesaria, basados principalmente en la metodología de la norma IEEE 80, para el diseño y construcción de un sistema de malla puesta a tierra para la protección de personas, estructuras y equipos de los riesgos que puedan surgir por fallas en el sistema eléctrico de un hospital y de esta manera, cumplir con las mínimas normas legales establecidas por la ley. A continuación tomaremos una serie de datos que asumiremos como obtenidos con los procedimientos mas adecuados según los criterios de ingeniería.

### **1. OBJETIVOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Í SPT Î**

Las razones principales por las cuales se ha realizado el diseño de los sistemas de conexión a tierra, ceñidos a los lineamientos regidos por la ley mediante el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, son las siguientes:

1. Proveer un ambiente seguro para proteger a las personas dentro de los predios de la subestación, así como al público en general en áreas cercanas.
2. Servir de referencia al sistema eléctrico.
3. Proveer un medio para disipar rápidamente la corriente a tierra, para que  
no exceda los límites de operación de los equipos.

## **2. PARAMETROS ASUMIDOS**

Para efectos de simular este diseño de la forma más real posible, se asumen unas instalaciones cuyos parámetros estén definidos de la siguiente manera:

- A) Distancia del poste a la subestación del hospital: 42 mts.
- B) Cable de alimentación en media tensión Calibre # 2.
- C) Un transformador a instalar de 300 KVA

## **3. PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO**

Este procedimiento sigue la guía del Reglamento de Instalaciones Eléctricas. En el, explicamos los criterios bajo los cuales se construiría el sistema de puesta a tierra del un centro hospitalario tal y como se presenta en el diseño.

### **3.1. Estudio del suelo:**

Basados en mediciones confiables realizadas al tipo de terreno sobre el cual se construirán las instalaciones, asumimos una resistividad medida del mismo de 2.1  $\Omega$ -m. Esta se debe realizar con un instrumento llamado Megger, cuya documentación nos debe certificar sus condiciones de calibración.

### **3.2. Determinación de la corriente de falla a tierra.**

#### **3.2.1. Corriente de falla del primario.**

Nos permitimos considerar una corriente de corto circuito en el primario del transformador de 10 KA según el operador de red.

### 3.2.2. Corriente de falla.

Para determinar el calibre del conductor de la malla, se utiliza la corriente de falla más crítica en el primario del transformador, la cual se puede obtener con el siguiente criterio:

A) Para tomar la condición más crítica, se toma la corriente de falla a tierra en el primario del transformador.

- ❖ Corriente de corto circuito según operador de red = 10 KA.
- ❖ Valor de la potencia nominal del transformador = 300 KVA
- ❖ Potencia del corto circuito:

$$P_{\text{corto-circuito}} = \sqrt{3} * 10.000A * 13.200V = 228.630.707VA$$

- ❖ La resistencia del cable seleccionado, desde el punto de conexión hasta el transformador, es:

$$r_{\text{cable}} = \rho * \ell \quad \text{Donde} \quad \rho = 0.0061789[\Omega/m] \quad \text{y} \quad \ell = 52mts$$

(distancia desde el punto de conexión hasta el transformador).

- ❖ La corriente de falla a tierra la tomamos con la potencia que el circuito de media tensión es capaz de aportar a una falla y la resistencia del cable de la acometida:

$$I_{\text{FALLA}} = \sqrt{\frac{P_{\text{corta\_circuito}}}{3 r_{\text{cable}}}} = \sqrt{\frac{76'210.236}{0,3584}} = 14.582A$$

Esta corriente está basada en el caso más crítico que se podría suponer, aunque según la experiencia y la norma IEEE 80, la corriente de falla a tierra en el primario es del orden de los 2.000 A. Estas corrientes son las que, según las mediciones tomadas por los

instrumentos utilizados en las instalaciones del Operador de Red, se presentan en el 99 % de los casos en que ha habido falla a tierra.

### 3.3. Tiempo de despeje de la falla.

Siguiendo como guía lineamientos internacionales, los sistemas de protección de fallas a tierra en niveles de media tensión están ligados a los estándares que se rigen en la fabricación de los elementos utilizados para tal fin. Estos sistemas presentan unos tiempos de despeje de la falla designados en la siguiente tabla.

NIVEL DE LA FALLA	Duración de la Falla Considerando la Operación del Equipo de Resguardo (Segundos)
Central generatriz	0.20 (12 Ciclos)
Centro de transmisión	0.25 (15 Ciclos)
Subestación de distribución	0.333 (20 Ciclos)
Subestación de uso final	0.500 (30 Ciclos)

Para una subestación de uso final, se tomará un tiempo de despeje de la falla, en el primario del transformador, de 0.5 Segundos.

### 3.4. Tipo de carga:

El tipo de carga a conectar la tomaremos como de tipo resistiva por la sencilla razón de que en un hospital, el porcentaje de consumo efectuado por motores de inducción es muy bajo.

### 3.5. Cálculo preliminar de la resistencia de puesta a tierra.

En el diseño de la malla de tierra se tendrá en cuenta la sección 12.3 del Estándar ANSI/IEEE 80 - 1986 usando las formulas de Schwarz, y ecuaciones de la página 177 sección 4.1.4 del Estándar IEEE 142 . 1991. y el Método de Integración-segmentación.

Una vez revisados los procedimientos de cálculo existentes para sistemas de puesta a tierra aplicados a sistemas de potencia, se opto por llevar a cabo el **método de análisis de integración**.

#### 3.5.1. Calculo del conductor de la malla:

Este valor se obtiene con la formula

$$A = \frac{I_{FALLA}}{\sqrt{\left[ \frac{TCAP * 10^{-4}}{t_c * \alpha_r * \rho_r} \right] * \ln \left[ \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right]}}$$

Donde:

$I_{FALLA}$ : Corriente de falla, kA.

A: Área del conductor, mm<sup>2</sup>.

T<sub>m</sub>: Temperatura máxima permitida, °C.

T<sub>a</sub>: Temperatura ambiente, °C.

T<sub>r</sub>: Temperatura de referencia para el material, °C.

o: Coeficiente térmico de resistividad a 0 °C, 1/°C.

r: Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura T<sub>r</sub>, 1/°C.

r: Resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia

K<sub>o</sub>: 1/ o ó ( r)-T<sub>r</sub>, °C.

t<sub>c</sub>: Tiempo que fluye la corriente, s.

TCAP: Factor de capacidad térmica, J/(cm<sup>3</sup> °C), Ver Tabla 2.

**Tabla 2: Constantes de materiales**

Descripción	Conductividad	$\alpha_r$ @20 °C	$K_o$ (1/ $\alpha_o$ ) @0 °C	Temperatura de fusión (°C)	$\rho_r$ @20 °C ( $\mu\text{pcm}$ )	factor TCAP (J/cm <sup>3</sup> /°C)
Cobre recocido	100,0	0,00393	234	1083	1,7241	3422
Cobre estirado en frío	97,0	0,00381	242	1084	1,7774	3,422
Acero cobrizado	40,0	0,00378	245	1084/1300	4,397	3,846
Acero cobrizado	30,0	0,00378	245	1084/1300	5,862	3,836
Aluminio comercial EC	61,0	0,00403	228	657	2,862	2,556
Aleación de aluminio 5005	53,5	0,00353	263	652	3,2226	2,598
Aleación de aluminio 6201	52,5	0,00347	268	654	3,2840	2,598
Acero aluminizado	20,3	0,00360	258	657	8,4805	2,670
Acero galvanizado	8,5	0,00320	293	419	20,1	3,931
Acero inoxidable	2,4	0,00130	749	1400	72,0	4,032

Para nuestro caso:

$$A = \frac{14,58}{\sqrt{\left[ \frac{3,42 \cdot 10^{-4}}{0,5 \cdot 0,00381 \cdot 1,7774} \right] \cdot \ln \left[ \frac{242 + 1084}{242 + 25} \right]}} = 36,22 \text{ mm}^2$$

Aunque se puede tomar el calibre 1/0 (53,49 mm<sup>2</sup> de sección transversal), se toma el conductor de calibre 2/0 desnudo con sección transversal de 67.43 mm<sup>2</sup> para ser mas conservativos al tratarse de una instalación de mucho cuidado.

### 3.5.2. Datos de diseño:

Los parámetros como la forma de la malla, el número de varillas, la distancia entre varillas y la longitud de las mismas, se escogen con el

propósito de calcular si cumplen con los mínimos patrones, por los cuales e nos rige, en cuanto a los valores de las tensiones de paso y de contacto.

- Dimensiones de largo y ancho de la malla.= La escogeremos cuadrada.
- Profundidad de enterramiento de la malla.= 0.5 m, Esta es la recomendable.
- Temperatura ambiente.= 20°C
- Tiempo de duración de la falla.= 0.5seg, Según ítem 4.3 del presente documento.
- Resistividad del suelo = 2.1 (Ohm-m), Según ítem 4.2 del presente documento.
- Resistividad del agregado.= 1600 (Ohm-m), Según tabla 2.
- Número de varillas.= 4,
- Distancia entre varillas = 4 mts
- Longitud de una varilla ó pozo según el caso (m)= 2.4m
- Diámetro del conductor en (milímetro cuadrado) = cable 2/0. Se calculó teniendo en cuenta la corriente de falla de 14.58 Amperios, con una temperatura ambiente de 40°C y un tiempo de duración de la falla de  $t_s = 0.5$  segundos siguiendo los lineamientos de la norma IEEE-80
- Longitud de cable desnudo 2/0 para la malla = 24 m
- Capa superficial sobre el terreno natural = Concreto. Espesor 15 cms.

### 3.6. Cálculo preliminar de la resistencia de puesta a tierra:

Con una malla que se encuentre a menos de 0.25 mts, puede utilizar la fórmula

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A} + \frac{\rho}{L}}$$

Para una malla rectangular con 4 electrodos, uno en cada esquina, a una profundidad entre 0,25 y 2,5 mts se utiliza la fórmula de SveraK

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

Donde  $\rho$  es la resistividad del terreno natural, ( $\rho = 2.1 \hat{o} -m$ ).

A es el área ocupada por la malla, ( $A = 16$  metros cuadrados).

L es la longitud total del conductor de la malla, ( $L = 36$  mts.).

Esta variable  $L = 36$  mts se debe a la suma de 6 tramos de conductor de 4 mts cada uno mas 5 varillas enterradas de 2.4 mts cada una; 4 varillas a los extremos y una en la mitad.

Entonces

$$R_g = 2.1 * \left[ \frac{1}{36} + \frac{1}{\sqrt{20 * 16}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.5\sqrt{20/16}} \right) \right] = 0.25 Ohm$$

### 3.7. Cálculo de tensiones de paso y de contacto tolerables.

Los parámetros bajo los cuales nos seguimos para el cálculo de las tensiones de paso y contacto los obtendremos según la fórmula tomada de la IEEE 80. Para nuestro caso específico, se calcula para

una persona de 50 kgs. de peso (250 Newton de fuerza aplicada por cada pie), y a una longitud promedio de un paso de 1 metro.

$$V_{\text{Contacto t.}} = \frac{0.116}{\sqrt{t}}(1000 + 1,5 * C_s * \rho_s) \quad V_{\text{paso t.}} = \frac{0.116}{\sqrt{t}}(1000 + 6 * C_s * \rho_s)$$

Donde t es el tiempo de despeje de la falla.

$\rho_s$  es la resistividad aparente de la capa superficial

$C_s$  es el factor de fricción de la capa superficial sobre el terreno natural

$$C_s = 1 - \frac{0,09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0,09}$$

$h_s$  es el espesor de la capa superficial

Para:  $\rho = 2.1 \hat{\delta}\text{-m}$

$\rho_s = 1.600 \hat{\delta}\text{-m}$

$h_s = 15 \text{ cms} = 0.15 \text{ mts}$

Tenemos

$$C_s = 1 - \frac{0,09 * \left(1 - \frac{2,1}{1.600}\right)}{2 * 0,15 + 0,09} = 0,77$$

Entonces

$$V_{\text{Contacto t.}} = \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}(1000 + 1,5 * 0,77 * 1600)$$

$$V_{\text{Contacto t.}} = 467 \text{ V}$$

$$V_{\text{paso t.}} = \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}(1000 + 6 * 0,77 * 1600)$$

$$V_{\text{paso t.}} = 1375,9 \text{ V}$$

### 3.8. Cálculo del máximo potencial de tierra GPR.

$$GPR = I_G R_g \text{ Donde } I_G = 1,8 I_o$$

$I_o \rightarrow$  Corriente de falla en el primario del transf.

$R_g \rightarrow$  Resistencia de puesta a tierra

$$GPR = 3.600 * 0,25 = 900 \text{ V} \quad (\text{Con } I_o = 2.000 \text{ A Según lo dicho en ítem 3.2 de este documento}).$$

Por ser  $GPR > V_{\text{Contacto tolerable}}$  procedemos a calcular el voltaje de retícula o de malla paso y de contacto admisibles.

### 3.9. Cálculo de la tensión malla. (Em)

Se calculara el voltaje de la malla con la siguiente fórmula

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + \left[ 1.55 + 1.22 \cdot \left( \frac{Lv}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \ln \left[ \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[ \frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right]$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 * n$$

$K_{ii} = 1$ , para mallas con varillas en las esquinas

$$K_h = \sqrt{1+h}$$

Donde:

D es la distancia entre conductores paralelos (mts).

d diámetro del conductor (mts).

n número de conductores paralelos en una misma dirección.



Tenemos entonces que

$$E_m = \frac{2,1 \cdot (3.600) \cdot (0,470) \cdot (1,5321)}{24 + \left[ 1,55 + 1,22 \left( \frac{2,4}{\sqrt{4^2 + 4^2}} \right) \right]} \cdot 12 = 111,4 \text{ V}$$

Observamos que la tensión de malla (111,4 V), en caso de falla, es menor que el voltaje de contacto tolerable (467 V).

En el caso en que  $E_m > V_{\text{Contacto-t}}$  se debía cambiar la configuración de la malla.

### 3.10. Cálculo de tensiones de paso y de contacto admisibles.

Al observar que el voltaje de malla es menor que el voltaje de contacto tolerable, precedemos a comprobar que los valores de voltaje de paso y de contacto, a que puedan estar sometidos los seres humanos, no superen los umbrales de soportabilidad.

3.10.1. Cálculo de la tensión de paso en caso de falla:

Es calculado de acuerdo la fórmula

$$V_{\text{paso A}} = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_s \cdot K_i}{0,75 \cdot L_c + 0,85 \cdot L_R}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \cdot (0,5)} + \frac{1}{2 + 0,5} + \frac{1}{2} (1 - 0,5^{6-2}) \right] = 0,595$$

$$V_{pasoA} = \frac{2.1 * 3600 * 0.595 * 1.5321}{0.75 * 24 + 0.85 * 12} = 268,12V$$

Notamos que la tensión de paso admisible (268,12 V) es menor que la tensión de paso tolerable (1375,9 V).

3.10.2. Calculo de la tensión de contacto admisible en caso de falla:

Es calculado de acuerdo la fórmula

$$V_{contacto-A} = \left[ Rg * I_G - \frac{\rho_s}{2\pi * x} \right] * \left[ \frac{1000}{1000 + 1.5 * \rho_s} \right]$$

Donde Rg Es la resistencia de puesta a tierra

$I_G$  Es la corriente de falla monofásica, (1.8\*Io)

x Es la distancia, paralela al suelo, entre el punto en que una persona hace contacto con el punto de falla y punto de apoyo con el suelo.

$\rho_s$  Resistividad del suelo.

Al tomar el valor de la corriente de falla como de 2.000 A y una distancia a la falla de 0.4 metros, se tiene que:

$$V_{contacto-A} = \left[ 0.25 * 3.600 - \frac{1.600}{2\pi * 0.4} \right] * \left[ \frac{1000}{1000 + 1.5 * 1.600} \right]$$

$$V_{contacto-A} = 78,55V$$

#### **4. CONCLUSIÓN**

Luego de seleccionar el calibre y las características geométricas de la malla, hemos comprobado que el sistema de puesta a tierra instalado, se ciñe a los parámetros indicados por las normas que se rigen en esta materia. El voltaje de contacto admisible nos lleva a cumplir con la norma toda vez que, para una falla de 0.5 segundos, no se excede del voltaje de contacto admisible estipulado según la Tabla 21 del RETIE.

### **6.3. ANEXO C. BREVE RESEÑA HISTORICA DE LAS PUESTAS A TIERRA**

**1720** S. Gray y G. Wheeler realizaron los primeros estudios sobre resistividad de rocas.

**1746** Watson descubrió que el suelo era conductor

**1815** Robert Fox, llamado el "abuelo de los geofísicos", descubrió el fenómeno de la polarización espontánea.

**1879** Primera muerte con energía generada por el hombre a 250 V

**1883** Brown patentó un sistema de prospección eléctrica con dos electrodos.

**1892** El New York Board of Fire Underwrites (NYBFU) determinó que la práctica de las conexiones a tierra era peligrosa y estas debían ser retiradas antes del 01/10/1982. Se basó en el estudio del profesor Henry Morton.

**1900** La revista Electrical World and Engineer informó sobre la resolución de permitir la conexión a tierra en sistema de menos de 550 V.

**1901** El Nacional Electrical Code permitió un sistema de corriente alterna con el punto neutro del transformador conectado a tierra.

**1904** VDE publicó las primeras recomendaciones sobre sistemas de puesta a tierra en Alemania.

**1905** La National Conference on Standard Electrical Rules (NCSER) publicó una resolución para que el sistema de corriente alterna, en la entrada de las edificaciones, se conectará a tierra mediante la tubería de agua.

**1909** El American Institute of Electrical Engineers (AIEE) y el NYBFU divulgaron la obligatoriedad de la conexión a tierra para sistemas de 150 V o menos y opcional para los que operaban a más de 250 V fase-tierra.

**1913** Conrad Schlumberger, padre de la prospección eléctrica+ logro el primer hallazgo geofísico de mineral no magnético.

**1915** Schlumberger y Wenner, idearon de manera independiente, los arreglos tetraelectródicos para medida de la resistencia aparente.

**1915** Se inventaron los electrodos marca Copperweld.

**1918** C.S. Meter desarrollo el método de los tres electrodos, para medir resistencia de puesta a tierra.

**1924** Se publicó la primera normalización para dimensionar sistemas de puesta a tierra según VDE.

**1925** El 25 de septiembre los hermanos Conrad y Marcel Schlumberger, solicitaron patente de su método.

**1926** J.R. Carson publico %Wave propagation fields+

**1928** Se editó el primer libro sobre el tema: Erdstroeme o Corrientes Telúricas de Franz Ollendorf.

**1934** L.V. Bewley publicó su artículo "Theory and Test of the Counterpose+.

**1936** Charles A. Caldwell y F.H. Neff, realizaron con éxito una soldadura, mediante una reacción de óxido cobre y aluminio.

**1961** Se publicó la primera versión de la IEEE 80 Guide for Safety in A.C. Substation Grounding. Nació el factor de irregularidad Ki.

**1962** Se publicó la primera versión de la norma AIEE 81 Recommended guide for measuring ground resistance and potential gradients in the earth.

**1964** G.F. Tagg desarrolló el método de la regla del 62% para medir resistencia.

**1970** HP e IBM iniciaron el uso del cable aislado de tierras para equipos electrónicos.

**1980** El EPRI y la Universidad de Ohio construyeron modelos a escalas para terrenos de dos capas.

**2000** La IEEE reafirmó la norma IEEE-80 el 30 de Enero del 2000.

**2002** Se publicó la norma IEC 60364-5-54 Selection and erection of electrical equipment-Earthing arrangement, protective conductors and protective bonding conductor.

**2005** Se publicó la edición número 51 del NEC.

#### 6.4. ANEXO D. MITOS Y REALIDADES DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

MITO	REALIDAD
El tema de las tierras es sencillo por lo tanto todo electricista esta graduado en tierras	Intervienen al menos 20 ciencias
Ground es diferente a earth	Según la norma IEC 60050-195 son términos equivalentes. Por tanto, puesta a tierra = grounding= earthing
Sistema de puesta a tierra es igual a puesta a tierra	Sistema de puesta a tierra comprende además de la puesta a tierra, la red equipotencial
Copperweld es un nombre genérico de electrodos tipo varilla	El proceso copper Clading fue patentado desde 1915 por la empresa Copperweld.
Las interpretaciones personales están por encima de las leyes físicas.	Los electrones no saben leer, ni distinguen jerarquías, ni compromisos contractuales, ni cargos, es decir, los ingenieros deben aplicar su profesión con criterios técnicos.
Unión metálica es sinónimo de equipotencialidad.	Ante un fenómeno de alta frecuencia, unos centímetros son una distancia que puede superar ampliamente su longitud de onda y por tanto, no se puede asumir como un punto al mismo potencial.
Se deben diseñar puestas a tierra	Es distinto el cortocircuito, que es

con corrientes de cortocircuito.	entre conductores activos y la falla de tierra que siempre es un contacto con el terreno, suelo o tierra.
Iguals puestas a tierra para regiones diferentes.	La resistividad varía de acuerdo al tipo de terreno, por tanto, no se deben reproducir diseños sin estudio previo.
Para disminuir la resistencia de puesta a tierra se requiere cambiar mucho terreno alrededor del electrodo.	Basta con cambiar un volumen de terreno de pocos centímetros de diámetro
Asumir que los problemas de las instalaciones eléctricas radican siempre en las puestas a tierra.	El 90% de los problemas están en los cableados.
Uniones múltiples entre el neutro y tierra no son perjudiciales.	Se forman lazos de tierra que llevan corriente a las señales, con la consiguiente interferencia.
Cable aislado de tierra es igual a puesta a tierra independiente.	Las palabras Insulated Equipment Grounding Conductor fueron mal traducidas.
MEGGER+ es nombre genérico de telúrometro	Megger es una marca de telurómetros como lo son Norma, Megabras, Lem, etc.
En corriente continua no se requieren tierras+.	Se requieren porque son circuitos que también pueden lesionar a las personas o causar daños en instalaciones.

## 6.5. ANEXO E. DEFINICIONES TOMADA DE LAS NORMAS ICONTEC PARA INSTALACIONES HOSPITALARIAS

Los textos fueron tomados en su mayoría de la norma ICONTEC 2050 y de la revista Mundo Eléctrico Colombiano.

- **Anestésicos inflamables.** Gases o vapores tales como fluoruro, ciclo propano, éter divinilo, cloro- etílico, éter etílico, etileno, que puedan formar mezclas inflamables o explosivas con aire, oxígeno o gases reductores tales como el óxido nitroso.
- **Corriente peligrosa.** Corriente total que puede circular entre un conductor aislado y la tierra, a través de una impedancia baja en un sistema aislado de tierra para un grupo de conexiones.
- **Corriente peligrosa de falla.** Corriente peligrosa en un sistema aislado donde todos los dispositivos, a excepción del monitor de aislamiento de la línea, están conectados a él.
- **Corriente peligrosa del monitor.** Corriente peligrosa de un monitor de aislamiento de línea.
- **Corriente peligrosa total.** Corriente peligrosa de un sistema aislado con todos los dispositivos conectados a él incluyendo también el monitor de aislamiento de línea.
- **Hospitales.** Edificios o partes de edificios, usados para cuidados de pacientes médicos, psiquiátricos, obstétricos o de cirugía con base en

24 horas continuas, a 4 ó más pacientes hospitalizados.

El término hospital donde quiere sea usado en este documento incluirá hospitales generales, mentales, hospitales de niños y cualquier otro centro que provea cuidado al paciente hospitalizado.

- **Hospitales de asistencia médica a pacientes de larga estancia.** Edificios o partes de edificios usados para hospedaje, alimentación y cuidado de 4 ó más pacientes, quienes por razones de edad, incapacidad física o mental no puedan cuidarse por sí mismos. Esta definición incluye servicios tales como: ancianatos, guarderías (para niños hasta 6 años) y colonias psiquiátricas. Los servicios de consultas y tratamientos a pacientes ambulatorios que no requieran hospitalización, no se incluyen dentro de esta definición.
- **Hospitales de cuidado intermedio.** Es el edificio o parte del edificio usado para hospedaje, alimentación y cuidado con base en 24 horas, de 4 ó más pacientes, quienes por razones de incapacidad física o mental no pueden cuidarse por sí mismos sino con ayuda de otra persona. Los hospitales mencionados en este Código deben incluir centros de convalecencia y cuidado intermedio, tratamientos de atención especializada y asilo de ancianos.
- **Instalaciones de asistencia médica.** Edificios o partes de edificios que contienen, al menos parcialmente, hospitales, guarderías, instalaciones para tratamiento y cuidado, clínicas y consultorios de médicos y dentistas, fijos o móviles.

- **Locales de anestesia.** Cualquier área, que se destine a las aplicaciones de agentes anestésicos inflamables o no inflamables, durante exámenes o tratamiento que incluyen salas de operación, salas de partos, salas de emergencia, salas de anestesia, faenas y otros ambientes donde pudieran estar gases anestésicos inflamables o no inflamables.
- **Áreas de anestesia inflamable.** Cualquier sala de operación (quirófano), sala de partos o anestesia, pasillos, cuartos de faena u otros lugares que se destinan a sala de aplicaciones de anestésicos inflamables.
- **Monitor de aislamiento de línea (MAL).** Un instrumento de prueba diseñado para medir continuamente la impedancia balanceada y desbalanceada, con respecto a tierra, de cada línea de un circuito de prueba incorporado para accionar la alarma sin aumentar el peligro de la corriente de fuga.
- **Puesto de enfermeras.** Lugares destinados al desarrollo de las actividades profesionales de un grupo de enfermeras que trabajan bajo una enfermera supervisora y que atiendan los pacientes hospitalizados y donde se reciben las llamadas de los pacientes, se envían las enfermeras para atenderlas, las enfermeras redactan los informes, se abren fichas sobre los pacientes que ingresan y se preparan las medicinas para ser distribuidas a los pacientes. Cuando tales actividades se desarrollan en más de un lugar dentro de una unidad de hospitalización, todos los lugares separados se consideran como parte de un puesto de enfermeras.

- **Punto de interconexión de un ambiente.** Uno o varios terminales que sirven como punto central para conectar a tierra todas las partes metálicas o superficies conductivas, descubiertas del edificio dentro del cuarto.
- **Puntos de puesta a tierra de equipos en la vecindad del paciente.** Toma de clavija o barra terminal de puesta a tierra que sirve como punto colector para la puesta a tierra de artefactos eléctricos en la vecindad del paciente (barraje para pacientes y para equipos de cuarto).
- **Punto de puesta a tierra de referencia.** Es la barra terminal o su prolongación de puesta a tierra del equipo que sirve como punto central de interconexión de todos los puntos de puesta a tierra de los artefactos, equipos y superficies conductivas descubiertas en la vecindad del paciente.
- **Sistema de energía eléctrica aislada.** Es un sistema que contiene un transformador de aislamiento o su equivalente, un monitor de aislamiento y sus circuitos de conductores activos.
- **Sistema alimentado en forma separada.** Un sistema de alambrado para inmuebles cuya potencia se deriva de los arrollamientos de un generador, transformador, o convertidor y que no tiene conexión eléctrica directa, incluido un conductor de circuito puesta a tierra (neutro) conectado en forma sólida, para alimentar conductores que se originan en otro sistema.

- **Superficies conductivas descubiertas.** Son aquellas superficies que tienen capacidad de conducir corrientes eléctricas y carentes de protección, no encerrados o no envueltos, que permiten contacto directo con el cuerpo humano. La pintura, la cubierta anodizada o protecciones similares no se consideran como aislamiento adecuado, salvo que sean aprobados para tal uso.
- **Tomacorriente con terminal de puesta a tierra aislado.** Cuando se requiere reducir el ruido eléctrico (interferencia electromagnética) en el circuito de puesta a tierra, se permite un tomacorriente con el terminal de tierra aislado del receptáculo donde va a ser montado. El terminal de tierra del tomacorriente debe estar aterrizado a través de un conductor, el cual puede pasar por varios tableros sin ser aterrizado a su sistema de puesta a tierra, pero si se tiene que conectar al neutro en la fuente del sistema (donde se genera el neutro del transformador de potencia). Estos deben ser identificados con un triángulo color naranja, localizado enfrente del tomacorriente.
- **Tomacorrientes de áreas de anestesia.** tomacorrientes destinados para aceptar enchufes aprobados para usarse en esas áreas.
- **Tomacorriente grado hospitalario.** Todos los tomacorrientes clasificados como Grado Hospitalario, se deben señalar con un punto verde localizado en el frente y cumplir con unas pruebas adicionales a las de un tomacorriente normal como se establece en la norma UL498.

- **Tomacorrientes seleccionados.** El número mínimo de tomacorrientes para alimentar artefactos normalmente requeridos para tareas locales o para los que generalmente se usan en cuidado de pacientes en casos de emergencias.
- **Transformadores de aislamiento.** Es un transformador de devanado múltiple, donde el devanado primario está físicamente separado del devanado secundario, éste último está acoplado inductivamente con el devanado primario, que a su vez está conectado al sistema eléctrico puesto a tierra, evitando así que la tensión del devanado primario sea impresa sobre los circuitos del secundario.
- **Unidades de asistencia médica, lugares mojados.** Áreas de cuidado de pacientes normalmente mojadas por razones de permanencia en el piso o agua derramada, siempre y cuando ésta no provenga del servicio de limpieza de rutina o de un bote de agua accidental.
- **Vecindad del paciente.** En un ambiente destinado a la atención del paciente, la vecindad del paciente es el espacio cuyas superficies están al alcance del paciente o de una persona que pueda tener contacto con éste. Representa el espacio comprendido hasta 1,8 m del perímetro de la cama en su ubicación normal y se extiende hasta una altura de 2,3 m del nivel del piso.

## 6.6. ANEXO F. LISTAS DE VERIFICACION E INSPECCIÓN PARA UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA					
<b>LISTADO DE INSPECCION</b>					HOJA 1 DE 2
FECHA: _____					
INSTITUCION INSPECTORA: _____					
INSPECTOR: _____					
INSTALACION INSPECCIONADA: _____					

ITEM	CUMPLIMIENTO	SI	NO	N/A	# DE OBS.
1	El sistema de puesta a tierra cumple con lo establecido en la Tabla 2.1 del R.E.T.I.E.				
2	Hay elementos metálicos incluidos como parte de los conductores de puesta a tierra.				
3	Los elementos metálicos de refuerzo estructural han sido conectados al S.P.T.				
4	Las conexiones bajo el nivel del suelo han ido realizadas con soldadura exodérmica.				
5	Las conexiones bajo el nivel del suelo han ido realizadas con conector certificado.				
6	Se ha dejado por lo menos un punto de conexión accesible e inspeccionable.				
7	La instalación del sistema de puesta a tierra está basado y realizado tal y como ha sido diseñado.				
8	Ha sido empleado aluminio en los electrodos de puesta a tierra.				
9	Es utilizado el suelo o terreno como camino de retorno de la corriente en condiciones normales de funcionamiento.				
10	Se presenta un sistema con un solo conductor como fase y el terreno como única trayectoria de retorno para la corriente.				
11	Todas las puestas a tierra están interconectadas electricamente según IEC-61000-5-2.				
12	Se presentan S.P.T. similares a los ilustrados en la <i>Figura 11</i> del R.E.T.I.E.				
13	Se presentan S.P.T. similares a los ilustrados en la <i>Figura 12</i> del R.E.T.I.E.				
14	Los electrodos empleados en el S.P.T. cumplen lo establecido por el R.E.T.I.E. en la <i>Tabla 22</i>				
15	La resistencia a la corrosión de cada electrodo es mínima de 15 años contados a partir de la fecha de instalación.				
16	La longitud de cada electrodo mide, como mínimo, 2,4 mts.				
17	El electrodo está identificado con marca registrada o el nombre del fabricante.				
18	La marcación del electrodo se encuentra dentro de los primeros 30 cms desde la parte superior.				
19	El electrodo presenta púntos cuya dimensión es menor a la especificada en la <i>Tabla 22</i>				
20	Se han seguido las recomendaciones del fabricante de los electrodos en la instalación de los mismos.				
21	Todos los electrodos han sido enterrados en su totalidad.				
22	La parte superior de cada electrodos ha quedado a, por lo menos, 15 cms de la superficie.				
23	El conductor del electrodo de puesta a tierra para baja tensión, ha sido seleccionado con base a la tabla 250-94 y 250-95 de la norma N.T.C 2050.				
24	Los tomas con polo a tierra aislados están debidamente identificados como tal.				
25	Todas la superficies conductivas expuestas de los equipos fijos de mas de 100 V por las que pueda circular corriente se encuentran aterrizadas.				
26	La protección contra falla a tierra está integrado en el funcionamiento del medio de desconexión de la acometida o del alimentador.				
27	Se ha instalado protección contra falla a tierra cerca de la carga alimentada según el artículo 517-17 de la N.T.C. 2050				
28	Existe una separación mínima de 6 ciclos entre los valores de disparo del dispositivo de protección de las acometidas o alimentadores.				

FIRMA DEL INSPECTOR \_\_\_\_\_

FIRMA DEL RESPONSABLE \_\_\_\_\_

Con este listado de verificación se busca el no pasar por alto ninguno de los aspectos más importantes que ameritan ser tenidos en cuenta al momento de realizar una inspección.

A continuación se da un formato para especificar las observaciones que se tienen de acuerdo a la inspección y verificación realizada.

<b>SISTEMA DE PUESTA A TIERRA</b>		
<b>LISTADO DE OBSERVACIONES</b>		<b>HOJA 2 DE 2</b>
FECHA: _____		
INSTITUCION INSPECTORA: _____		
INSPECTOR: _____		
INSTALACION INSPECCIONADA: _____		
ITEM	# DE OBS.	OBSERVACION REALIZADA
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		

Por ultimo se da una lista de verificación para la recepción de un sistema de puesta a tierra (SPT) después de realizada la inspección:

<b>ASPECTOS A EVALUAR</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. ¿Se entrega la evaluación del nivel de riesgo?		
2. ¿Se entregan planos de localización de las puestas a tierra?		
3. ¿Se entregan memorias de estudio de la resistividad del terreno?		
4. ¿Se entregan memorias de cálculo de las mallas de puestas a tierra?		
5. ¿Se entrega protocolo de medición de la resistencia de puesta a tierra?		
6. ¿Se entrega plano de conexión del sistema de puesta a tierra?		
7. ¿Se entregan especificaciones de los materiales utilizados?		