

Formulación de criterios de diseño para sistema aislado de tierra con localizador de fallas para unidades de cuidados intensivos y salas de cirugía

Formulation of design criteria for isolated ground system with fault locator for intensive care units and surgical wards

Carlos A. Castañeda
CAM Colombia S.A.S.
cacsunlimited@hotmail.com

Leandro Rondón A.
Proequip S.A.S.
amaya1981stone@hotmail.com

Este artículo presenta la definición de criterios para el diseño de sistemas aislados de tierra con localizador de fallas, para instalaciones eléctricas en unidades de cuidados intensivos y salas de cirugía. La formulación del problema surge de la necesidad de reducir los riesgos de origen eléctrico por corrientes de fuga, generadas por equipos electromédicos y fallas de aislamiento, que pueden llegar a causar fibrilación, quemaduras e incluso la muerte a pacientes y personal médico de instituciones de asistencia médica. Con base en el análisis y comparación de algunas de las normas nacionales e internacionales, se establece la conformación de un sistema aislado de tierra, compuesto principalmente por un transformador de aislamiento, un monitor de aislamiento de línea y un localizador de fallas. A partir del diseño de un prototipo y la realización de pruebas eléctricas, se verifica la capacidad del sistema de minimizar las corrientes de fuga y protegerlo en condiciones de falla. Se concluye que es importante aplicar las normas vigentes que garanticen la seguridad eléctrica en unidades de cuidados intensivos y salas de cirugía de instituciones de asistencia médica.

Palabras clave: Sala de cirugía, sistema aislado, tierra

This paper presents the definition of criteria for design of isolated ground systems with fault locator, for electrical installations in intensive care units and operating rooms. The formulation of the problem arises from the need to reduce electrical hazard by leakage currents, generated by electro-medical equipment and fault isolation, which may eventually cause fibrillation, burns and even death for patients and medical staff of welfare institutions medical. Based on the analysis and comparison of some of the national and internationally standards, the formation of an isolated ground system is established, mainly composed of an isolation transformer, a line isolation monitor and a fault locator. From the design of a prototype and performing electrical tests, is verified the system's ability to minimize leakage currents and protect under fault condition. We conclude that it is important to apply the existing rules to ensure electrical safety in intensive care units and surgical wards of health care institutions.

Keywords: ground, isolated system, surgery room

Introducción

El constante aumento en la población mundial incrementa también de forma continua las necesidades de consumo. En igual medida, se ha incrementado globalmente el número de emergencias hospitalarias debidas al aumento de enfermedades, accidentes, entre otros. En particular, hay que destacar el surgimiento de accidentes de origen eléctrico dentro de instituciones de atención médica.

A raíz de estos problemas, tanto en Europa como en Norteamérica se han establecido normas que definen criterios técnicos en instalaciones eléctricas de esta clase (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013), con la intención de evitar este tipo de accidentes que afectan directamente a los pacientes de diferentes áreas, sobre todo los pacientes vinculados a salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos.

Recientemente se han realizado varios proyectos e investigaciones relacionadas con sistemas aislados de tierra en Colombia y en varios países. Entre ellos, se destacan algunos, dada su importancia a la hora de establecer criterios de diseño eléctrico. Tal es el caso del trabajo realizado por Julián Garnica Jiménez, que ha desarrollado un documento con base en las normas NTC 2050 y NFPA 70 que permite dar criterios de diseño de instalaciones eléctricas en hospitales a partir de su composición, en los que se encuentran los sistemas aislados de tierra. Además, destaca la importancia que tiene la aplicación de las normas establecidas para evitar los riesgos de origen eléctrico (Garnica, 2011).

A nivel internacional cabe destacar un estudio desarrollado en el hospital Mato Grosso do Sul (Brasil), el cual mostró que la falta de atención de la infraestructura y la eficiencia eléctrica tiene afectado financiera y estructuralmente a la institución, ya que produce disminución en la vida útil de los equipos, llevando a que la infraestructura eléctrica dañe constantemente equipos eléctricos, ocasionando que los dispositivos destinados a la protección de pacientes no cumplan con las normas y puedan ocasionar resultados graves, tanto al personal médico como a los pacientes. Dicho estudio, se hizo con el fin de verificar el cumplimiento de las normas existentes, tales como NBR 5413 y la Resolución RDC50 ANVISA. Dichos resultados los compararon con los estándares e hicieron sugerencias para resolver los problemas que afectan el correcto funcionamiento de la institución (Veneziano y Assis, 2014).

Otro estudio referente a los sistemas aislados, fue realizado por la Universidad de Twente (Enschede, Países Bajos (Van Vugt, Bijman, Timens, y Leferink, 2013)), donde se indica que siempre existe algún grado de acoplamiento capacitivo a tierra, aunque sólo sea por los cables que componen la instalación.

Por otro lado, las instalaciones modernas al utilizar filtros de línea de energía que tienen condensadores a tierra por razones de compatibilidad electromagnética (tanto pasivos como activos), que aunque no generan riesgo a la instalación, hacen necesario evaluar la seguridad de las personas en

relación con la capacidad de fuga por valores extremos de capacitancia.

Con una sola falla de aislamiento, no hay grandes corrientes que fluyan para activar interruptores automáticos, y la red sigue totalmente funcional, es por eso que un dispositivo especial debe ser instalado para detectar la falla de aislamiento, ya que sin la detección oportuna de dicha falla, puede llevar tarde o temprano a una segunda falla, causando daños a la infraestructura eléctrica y en el peor de los casos suspender el servicio de energía (Van Vugt et al., 2013).

También se destaca el trabajo realizado por Claudia Beatriz Navarro Palacios Ingeniera Biomédica, que realizó un documento guía de seguridad eléctrica con base en el National Electrical Code NEC para una institución médica en concreto, en el cual realiza un énfasis en tecnologías aplicadas en áreas críticas, enfocando principalmente los sistemas de puestas a tierra, transformadores de aislamiento, entre otros, en el cual se destaca un análisis de costo-beneficio de cada uno de los elementos que componen un sistema aislado de tierra (Palacios, 2006).

A nivel local se encuentra, según Héctor Valbuena, algunos criterios de diseño para instalaciones eléctricas hospitalarias, dentro de las cuales se destaca la descripción estructural de áreas críticas y de emergencia como salas de cirugía. Allí menciona como deben ir ubicados los equipos electromédicos y destaca la importancia de los tableros de aislamiento, realizando una descripción de sus componentes y esquema eléctrico (Martín, 2006).

También se destaca a nivel local, el documento realizado por Pablo Castro y Cintya Hernández, donde muestra la composición, construcción e importancia en la aplicación de transformadores de aislamiento en instituciones de asistencia médica, que sirven como punto de referencia para fallas por corrientes de fuga (Castro y Hernandez, 2009).

El artículo se estructura de la siguiente forma. En la Sección se presenta el análisis conceptual y funcional de los sistemas aislados de tierra; un análisis comparativo en lo establecido en cada una de las normas en estudio, con respecto a cada uno de los elementos que componen un sistema aislado de tierra; se muestran las limitaciones técnicas y por último se presenta el análisis de montaje de este tipo de sistemas aislados en unidades de cuidados intensivos y salas de cirugía de instituciones de asistencia médica. En la Sección se detallan las memorias de cálculo de un diseño de un sistema aislado de tierra, para una unidad de cuidados intensivos estándar y una sala de cirugía estándar, con sus respectivos diagramas unifilares y planos eléctricos. En la Sección se presentan los resultados obtenidos en las pruebas eléctricas realizadas al prototipo de sistema aislado de tierra. Finalmente, la Sección concluye el artículo.

Fecha recepción del manuscrito: Agosto 29, 2014

Fecha aceptación del manuscrito: Septiembre 22, 2014

Carlos A. Castañeda, CAM Colombia S.A.S.; Leandro Rondón A., Proequip S.A.S.

Esta investigación fue financiada por: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Correspondencia en relación con el artículo debe ser enviada a: Carlos A. Castañeda. Email: cacsunlimited@hotmail.com

Análisis de los sistemas aislados de tierra

Análisis conceptual y funcional de los sistemas aislados de tierra

En instituciones de asistencia médica, se debe contar con sistemas aislados de tierra que permitan mantener de forma continua el suministro eléctrico, aún en condiciones de falla a tierra, especialmente en las áreas críticas de la zona 2, donde el suministro de energía eléctrica, es vital para mantener con vida a pacientes sujetos a cuidados médicos, procedimientos quirúrgicos, en zonas tales como Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), salas de cirugía, entre otros, y tal como lo establecen las normas eléctricas (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013). El sistema aislado de tierra debe minimizar las corrientes de fuga provenientes de la red pública, de los equipos electromédicos y fallas en la instalación eléctrica, que puedan afectar directamente a los pacientes que están expuestos a estos equipos electromédicos.

Conceptos básicos. Es importante entender cuál es la ventaja de usar un sistema aislado de tierra con respecto a un sistema normal, aplicado a las áreas críticas antes mencionadas.

Un sistema normal monofásico trifilar está constituido por una fase, neutro y tierra, a un nivel de tensión de 120 Vac. Como podemos observar (Fig. 1), el conductor neutro al igual que el conductor de tierra están conectados al sistema de puesta a tierra, por lo que la tensión entre ambos conductores es de 0 Vac, mientras que la fase no tiene conexión alguna con los otros dos conductores, por lo tanto la tensión entre fase y tierra, o fase neutro es de 120 Vac. La impedancia de fuga entre fase y tierra o fase y neutro comúnmente es de aproximadamente 1,2 M Ω , además se considera que la resistencia del cuerpo humano en condiciones normales es de aproximadamente 1 k Ω (UPME, 2013).

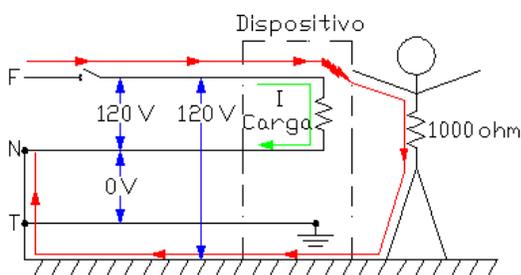


Figura 1. Falla a tierra sistema normal (Link, 2014).

Si el sistema normal está alimentando una carga eléctrica a 120 Vac (Fig. 1) y si una persona accidentalmente entra en contacto directo o indirecto con el conductor de fase, el circuito equivalente que se obtiene del sistema es tal como se muestra en la Fig. 2.

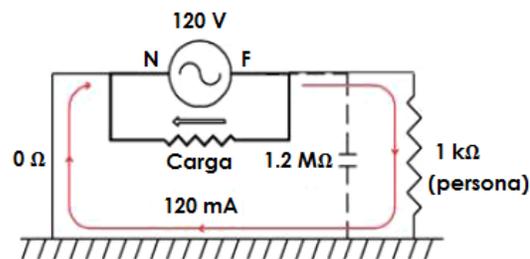


Figura 2. Circuito equivalente falla a tierra sistema normal (Link, 2014).

Como observamos (Fig. 2), en el sistema normal se obtiene una impedancia entre neutro y tierra de 0 Ω y una impedancia de fuga entre fase y tierra de 1.2 M Ω . Cuando la persona entra en contacto con el conductor de fase, su resistencia de 1 k Ω queda expuesta a una tensión de 120 V, por lo tanto fluye por la persona una corriente de 120 mA, que para tiempos mayores a 1 s puede llegar a causar fibrilación, paro cardíaco, quemaduras o paro respiratorio (UPME, 2013).

Ahora consideremos un sistema aislado de tierra, que consta en principio de un sistema normal que alimenta un transformador de aislamiento de 120/120 V a 60 Hz (Fig. 3). A diferencia del sistema normal, tanto la línea 1 como la línea 2 están aisladas de tierra, lo que permite obtener una gran impedancia entre la línea 1 y tierra de 1,2 M Ω , y una impedancia entre línea 2 y tierra de 1,2 M Ω (valores comunes de impedancia), en condiciones ideales de equilibrio, logrando así un valor de tensión entre cualquiera de las líneas y tierra de 60 V.

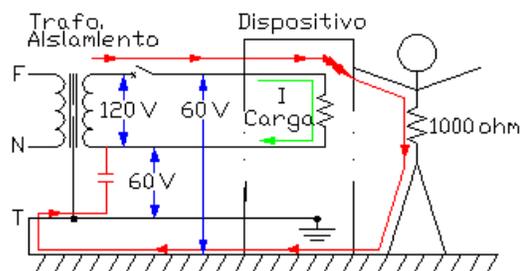


Figura 3. Falla a tierra sistema aislado (Link, 2014).

Cuando la persona entra en contacto con alguna de las dos líneas aisladas (Fig. 4), por ejemplo con L1, su resistencia de 1 k Ω en paralelo con la impedancia de 1.2 M Ω es equivalente a 999 Ω , valor que queda en serie con la impedancia de fuga de L2 de 1.2 M Ω , por lo tanto sobre esta última cae una tensión aproximada de 119.9 Vac, generándose así sobre el circuito una corriente aproximada de 0.1 mA que fluye a través del cuerpo de la persona, valor que no representa mayor peligro de fibrilación, incluso en tiempos de exposición mayores a 1 s (UPME, 2013).

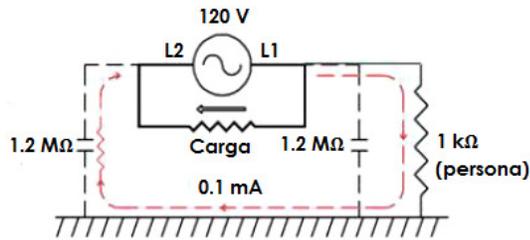


Figura 4. Circuito equivalente falla a tierra sistema aislado (Link, 2014).

Elementos que componen un sistema aislado de tierra.

Para la aplicación en instituciones de asistencia médica, los sistemas aislados de tierra deben contar con varios equipos fundamentales que lo complementan y que permiten además de aislarlo de la red normal, realizar un monitoreo y localización de corrientes de fuga, que pueden afectar al paciente involucrado en zonas como salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos.

A continuación se describen los equipos primordiales de los sistemas aislados de tierra:

- Transformador de Aislamiento:

Es la parte fundamental del sistema ya que es el que permite aislar de tierra las líneas de alimentación de perturbaciones como ruido, defectos de potencia, etc, además de contar con una malla electrostática entre el primario y el secundario del transformador, que conectada a tierra, permite disipar las perturbaciones de origen eléctrico y protegen el transformador en caso de pérdida de aislamiento entre los dos devanados. Debe contar con un aislamiento tipo H que permite la elevación de temperatura hasta un valor de 150 grados centígrados, a una temperatura ambiente de 40 grados centígrados (Harper, 2004).

- Monitor de Aislamiento:

Sin embargo, tanto los circuitos eléctricos derivados del sistema aislado de tierra, como los dispositivos electromédicos conectados a los mismos, aportan cierto nivel de corrientes de fuga, debido a que los aislamientos de estos equipos no tienen una resistencia de aislamiento finita, además del acople capacitivo entre las líneas y tierra, lo que hace que se presenten pequeñas fugas de corriente, sumadas a las que aporta el transformador de aislamiento y las fugas de los conductores eléctricos de los circuitos ramales. Por lo tanto, es importante tener en cuenta el nivel de corrientes de fuga propio del sistema durante su funcionamiento, que debe ser lo más bajo posible, lo que hace que se deba vigilar estos niveles de corriente en el sistema.

Para tal fin, los sistemas aislados de tierra deben contar con un dispositivo que vigile constantemente la resistencia de aislamiento del sistema. Esto se logra a través de un monitor de aislamiento de línea, que mide de forma constante la impedancia entre las líneas aisladas y tierra, y a partir de este valor, el monitor de aislamiento calcula la corriente total de

peligro presente en el sistema. Si éste último valor supera el umbral de 2 mA o 5 mA, según la programación del equipo, se enciende una señal sonora y visual, indicando que se ha producido un primer fallo en el sistema, es decir que alguna de las líneas está puesta a tierra. Sin embargo, esto no significa que se esté presentando un peligro de consideración que pueda comprometer la seguridad de un paciente o del personal médico, de hecho es indispensable tener habilitado el sistema aislado aún en condiciones de falla, ya que no se debe interrumpir algún procedimiento médico al que pueda estar sometido un paciente. Una vez se ha generado la alarma, el personal técnico a cargo del mantenimiento del sistema debe despejar la falla en el menor tiempo posible. Algunos sistemas cuentan con protocolos de comunicación en estaciones de enfermería, con el fin de informar y poder ubicar rápidamente donde se está presentando la falla (Link, 2014; L. Torres, 2001).

- Localizador de fallas de aislamiento:

Cuando se presenta una falla de aislamiento es de vital importancia ubicarla en el menor tiempo posible, pero realizarlo de forma manual no es nada fácil ya que un sistema aislado está compuesto por varios circuitos ramales, y a su vez, un circuito ramal está compuesto por dos líneas, lo que complica aún más la localización de la falla. Para poder realizar este procedimiento de forma automática, se puede contar con un localizador de fallas de aislamiento, que es un dispositivo que recibe señales provenientes del monitor de aislamiento de línea, que le indican el estado actual del sistema aislado. Este dispositivo, además cuenta con transformadores toroidales de corriente, internos o externos, que censan la corriente de entrada y salida de ambas líneas aisladas de un circuito ramal, por lo tanto para cada uno de los circuitos se requiere de un transformador con estas características.

Cuando se presenta una falla a tierra, el monitor de aislamiento envía una señal de prueba a todo el sistema aislado, es decir por todos los circuitos ramales, por los transformadores de corriente y por ende pasa a través del punto eléctrico donde se encuentra la falla de aislamiento. El localizador de fallas, a través de las lecturas obtenidas por cada una de los transformadores toroidales, evalúa los niveles de corriente comparados con la señal de prueba dada por el monitor de aislamiento de línea, de esta manera se hace notorio que en alguno de los circuitos ramales se presentan niveles de corriente anómalos, identificando así el circuito ramal relacionado con la falla (Bender Group, 2009).

- Cable de bajas fugas:

Para obtener un sistema aislado seguro, además de los equipos antes mencionados, hay que tener en cuenta los circuitos ramales que alimentan los equipos electromédicos. Para estos circuitos ramales es importante que estén constituidos por cables eléctricos de bajas fugas, ya que algunos tipos de conductores, como por ejemplo el de

aislamiento del tipo THHN/THWN presentan valores altos de capacitancia, por lo que las corrientes de fuga se pueden incrementar dentro del sistema aislado. Para esto, se deben usar conductores con aislamiento constituido de polietileno de cadena cruzada (XLP), que tienen un valor de constante dieléctrica menor o igual a 3,5 (ICONTEC, 1998). Para sistemas aislados de tierra, el cable más adecuado es el del tipo XHHW-2.

Al utilizarse un conductor de bajas fugas y al disminuir al máximo las longitudes de los circuitos ramales, se logra obtener un valor muy bajo de corrientes de fuga en todo el sistema aislado en condiciones sin carga, lo que indica que son valores no muy cercanos a los 5 mA permisibles por el monitor de aislamiento de línea, dando un amplio margen a las corrientes de fuga propias de los equipos electromédicos que se conectan al sistema aislado. A pesar de su condición, este tipo de aislante (XLP), contribuye aproximadamente 1 uA de corriente de fuga por cada pie de longitud de cable. En el caso del conductor de tierra, no es necesario que tenga un aislante de bajas fugas, lo que es usual que se utilice el tipo THHN/THWN.

Sin embargo, durante el proceso de jalado de cables dentro de la tubería conduit, se puede perder parte de esa protección, si se usan elementos o compuestos que hacen que la constante dieléctrica supere el valor permitido de 3,5 (ICONTEC, 1998), aumentando las corrientes de fuga en todo el sistema aislado de tierra. También es importante tener en cuenta que la humedad dentro de la tubería eléctrica donde se alojan los conductores eléctricos, también afecta el rendimiento del sistema aislado, provocando también corrientes de fuga (Electric, 2005).

- Dispositivos de protección:

Los dispositivos de protección también son vitales, ya que protegen el sistema aislado de tierra cuando se presenta un segundo fallo, es decir, cuando las dos líneas simultáneamente están puestas a tierra y se pierde completamente el aislamiento, situación en la cual el dispositivo de protección debe abrir el circuito ramal relacionado con la falla.

Estos no deben actuar cuando se presenta un primer fallo, es decir, cuando solo una de las líneas aisladas está puesta a tierra, ya que no se debe desenergizar el sistema aún en condiciones de falla, debido a que en el caso de salas de cirugía podría verse comprometida la vida del paciente vinculado a estas áreas.

- Barras de tierra o sistemas de puesta a tierra:

Las técnicas de puesta a tierra son indispensables dentro del sistema aislado, ya que permite disipar las corrientes de fuga y la estática que se puedan presentar en algunas áreas de asistencia médica, que pueden llegar a afectar el estado físico de los pacientes que están expuestos a dispositivos como catéteres, que pueden transmitir estas corrientes al paciente, incluso el personal médico también se puede ver expuesto a

estas fugas, si no se cuenta con un sistema de puesta a tierra apropiado.

En el caso de las cargas estáticas al no ser despejadas, pueden causar explosiones, debido a que la acumulación de estas cargas pueden producir una chispa que active un gas de uso medicinal que se pueda encontrar en el ambiente y que son muy comunes en áreas como quirófanos y unidades de cuidados intensivos.

Por lo tanto se requiere de un sistema de puesta a tierra que proviene del centro de distribución eléctrica general, que por medio de conductores eléctricos unen las barras equipotenciales de cada uno de los tableros de aislamiento, al sistema de puesta a tierra. A su vez, a estas barras equipotenciales llegan los conductores de tierra de cada módulo de fuerza, que permiten despejar las corrientes de fuga, provenientes de los equipos electromédicos conectados al mismo. También se conectan a estas barras los módulos de tierra, que por medio de receptáculos permiten realizar conexiones equipotenciales de tablas de cirugía, entre otros. Deben conectarse todas las partes metálicas de tableros y equipos al sistema de puesta a tierra, para que no se produzcan diferencias de potencial, que puedan generar corrientes de fuga de consideración que lleguen a fluir a través de un paciente.

En síntesis, un sistema aislado de tierra está compuesto por los elementos descritos en la tabla 1 con su función principal dentro del sistema.

Tabla 1

Funciones equipos de un sistema aislado de tierra.

EQUIPO	FUNCIÓN DENTRO DEL SISTEMA
Transformador de aislamiento	Aísla el sistema de perturbaciones eléctricas
Monitor de aislamiento	Vigila la resistencia de aislamiento y los niveles de corriente de fuga del sistema aislado de tierra
Localizador de fallas	Localiza el ramal y la línea correspondiente a la ubicación de una falla de aislamiento del sistema
Cable de bajas fugas	Minimiza las corrientes de fuga al máximo de los circuitos ramales
Dispositivos de protección	Protege el sistema cuando se presentan de forma simultánea, fallas a tierra en las dos líneas aisladas
Barras de tierra	Referencia todos los conductores de tierra y todas las partes no conductoras de corriente

Sistemas de emergencia. Por último, como un sistema aislado de tierra no puede quedar desenergizado en algún momento, ya que puede comprometer la vida de pacientes en estado crítico o bajo procedimientos quirúrgicos, se debe contar con un sistema de emergencia que proporcione energía eléctrica al sistema aislado cuando la red pública deje de suministrarlo. El sistema eléctrico debe contar con uno o mas grupos electrógenos que a través de una transferencia

automática, realice la conmutación entre la red y la planta eléctrica cuando se presenta una falla de suministro de energía y que además restituya la red cuando vuelve el suministro de la misma.

Sin embargo, no es suficiente con el grupo electrógeno para mantener de forma constante el suministro de energía, ya que durante la transición en la conmutación se puede llegar a desenergizar el sistema aislado de tierra. Por lo tanto es necesario contar con uno o más sistemas ininterrumpidos de potencia (UPS) que permite que los equipos electromédicos no se des-energicen durante la conmutación entre la red pública y el grupo electrógeno que no debe durar más de 10 s (UPME, 2013).

Finalmente, un sistema eléctrico esencial para salas de cirugía o unidades de cuidados intensivos, está compuesto en primera medida por la red pública o grupo electrógeno, que se conmutan a través de una transferencia automática. Más adelante se encuentra la UPS, que garantiza un suministro de energía ininterrumpido a un tablero general del cual se derivan las acometidas parciales, cada una de estas energiza un sistema aislado de tierra. Cada sistema aislado está compuesto por un transformador de aislamiento que alimenta en primera instancia, dos dispositivos fundamentales. El primer dispositivo es el monitor de aislamiento que supervisa tanto el transformador de aislamiento como todos los circuitos ramales. El segundo dispositivo que alimenta el transformador, es el localizador de fallas que a partir de una señal del monitor de aislamiento, localiza la falla dentro del sistema aislado. Finalmente, los circuitos ramales alimentan los módulos de fuerza y tierra donde se conectan los equipos electromédicos (Fig. 5), (Huertas, 2010; ICONTEC, 1998).

Análisis de los artículos establecidos en las normas NTC 2050, IEC 6034-7-710, NFPA 99 y RETIE, con respecto a Sistemas Aislados de tierra

A partir del análisis conceptual y funcional sobre sistemas aislados de tierra, se deben tener en cuenta los criterios establecidos por las normas nacionales e internacionales (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013), para cada uno de los elementos que componen un sistema aislado de tierra (Fig. 5).

- Red eléctrica y grupo electrógeno:

La red de suministro de energía eléctrica, hace parte de la primera etapa del sistema eléctrico esencial de una institución de asistencia médica y las cuatro normativas hacen alusión a estos dos elementos del sistema eléctrico.

Como se puede observar en la tabla 2, en los cuatro casos se establece que es indispensable contar con una o más fuentes de respaldo, que permitan dar suministro de energía eléctrica, cuando la red pública no pueda suministrarla. Las normas (IEC, 2002; NFPA, 2005) establecen que la transición entre estas fuentes de energía debe realizarse lo más rápido posible, mientras que en (ICONTEC, 1998;

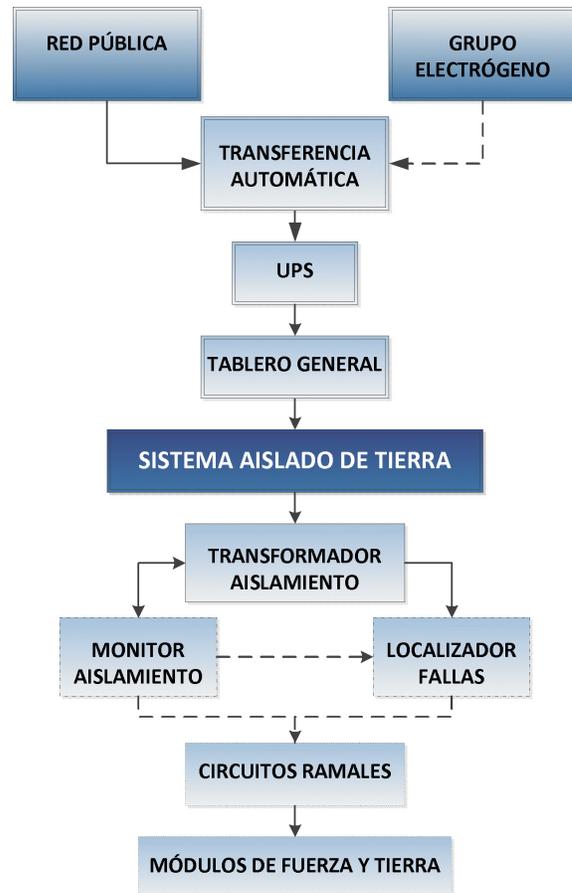


Figura 5. Sistema eléctrico esencial ramal crítico.

UPME, 2013) se establece un tiempo máximo de 10 s en el que se debe efectuar la transición. Además del tiempo máximo establecido, se debe tener en cuenta que para poder realizarse la transición, las fuentes alternas deben tener un nivel de tensión y frecuencia adecuada para poder alimentar las cargas esenciales.

- Sistema ininterrumpido de potencia (UPS):

Para los sistemas ininterrumpidos de potencia (UPS) aplicados en instituciones de asistencia médica, solo el reglamento (UPME, 2013) establece la importancia del uso de estos sistemas para la continuidad del servicio de energía eléctrica, para la alimentación de equipos de asistencia vital (tabla 3).

- Transformador de aislamiento:

Las cuatro normativas establecen algunos criterios técnicos que deben tener los transformadores de aislamiento, para la aplicación en sistemas aislado de tierra (tabla 4).

De la tabla 4, se destaca, por un lado las limitaciones de usar solo un transformador por cada sala de cirugía, ya que en este tipo de áreas se usan equipos electromédicos de gran potencia, además se debe tener en cuenta otro de los

Tabla 2

Red eléctrica y grupo electrógeno (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013).

NFPA 99	IEC 6034-7-710	NTC 2050	RETIE
Los sistemas eléctricos esenciales deben tener una fuente normal y una o más alternativas, para su uso cuando se interrumpe la fuente normal	Se debe disponer de una fuente de alimentación alterna que se activa cuando falla la fuente de alimentación normal	Los sistemas eléctricos esenciales deben tener una fuente norma I de suministro y una o más fuentes alternativas que entran cuando la primera falla	Debe instalarse una fuente alterna de suministro de energía eléctrica que opere cuando se presenta un corte de energía en el sistema normal
Cuando falla la fuente normal, la transferencia con la fuente alternativa se realiza después de un tiempo breve y solo cuando logra una tensión y frecuencia adecuada	La transferencia entre las dos fuentes se realiza durante un periodo de transición definido	El ramal crítico debe instalarse a la fuente alternativa de modo que se restablezcan las funciones del sistema aislado antes de 10 s desde la interrupción del suministro normal	Para media tensión se debe disponer de transferencia automática con by pass para conectar otra fuente de alimentación dentro de los 10 s siguientes al corte de energía del sistema normal

Tabla 3

Sistema ininterrumpido de potencia (UPS) (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013).

NFPA 99	IEC 6034-7-710	NTC 2050	RETIE
			En áreas críticas donde debe continuar el servicio de energía, debe instalarse una UPS para equipos eléctricos de asistencia vital

ítems establecidos por estas normas, que habla de limitar la potencia a 10 kVA.

Con respecto a los niveles de tensión en los bobinados primario y secundario de los transformadores de aislamiento, la norma (NFPA, 2005) hace referencia a una tensión máxima de 600 Vac en el primario y la norma (ICONTEC, 1998) hace referencia a 600 Vac máximo en el lado secundario, sin embargo la norma (IEC, 2002) y el reglamento (UPME, 2013) restringen la tensión en el secundario a 250 Vac máximo. En sistemas aislados de tierra aplicados en Colombia, no se utilizan equipos que requieran mas de 120 Vac nominales para su funcionamiento, por lo que sistemas con tensiones superiores serían innecesarios, incluso los transformadores trifásicos tienen una salida de aproximadamente 230 Vac línea a línea, pero tienen

Tabla 4

Transformador de aislamiento (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013).

NFPA 99	IEC 6034-7-710	NTC 2050	RETIE
Debe ser homologado para su propósito	Debe instalarse cerca a las ubicaciones médicas y en armarios para evitar el contacto accidental	Un transformador de aislamiento no debe servir para más de una sala de operación	Debe tener un aislamiento tipo H o B. Debe suministrar potencia al 150 % de la nominal para cargas intermitentes para mantener la corriente de fuga menor a 5 mA
El bobinado primario se conecta a una fuente de modo que no se energiza con más de 600 V	La tensión en el lado secundario no puede exceder los 250 Va.c.	La tensión del primario y del secundario del transformador no debe ser superior a 600 V.	La tensión en el secundario no debe exceder 250 V
La pantalla electrostática deberá estar conectada a la toma de tierra	Debe conectarse la pantalla de metal del transformador de aislamiento a la barra de tierra	Si hay un blindaje electrostático, se debe conectar al punto de referencia de puesta a tierra	
	La corriente de fuga del secundario y la carcasa, puestos a tierra, sin carga, no debe exceder los 0.5 mA		Para áreas críticas debe ser de muy bajas corrientes de fuga (microamperios)
	La potencia nominal no debe ser inferior a 0.5 kVA y no debe exceder los 10 kVA	La potencia máxima debe ser de 10 kVA para cumplir los requisitos de impedancia	No debe tener una potencia inferior a 0,5 kVA ni mayor a 10 kVA para áreas críticas y 25 kVA para rayos X

dispuestos un punto común para la obtención de 127 Vac nominales. Además, desde el punto de vista de corrientes de fuga, no sería muy conveniente tener sistemas mayores a 600 V ya que podrían representar mayor peligro sobre los pacientes y personal médico.

- Monitor de aislamiento de línea:

Con respecto a los monitores de aislamiento, las cuatro normativas también establecen criterios que deben cumplir este tipo de dispositivos que monitorean el sistema aislado. En la tabla 5, podemos observar que las normas (ICONTEC, 1998; NFPA, 2005), establecen que un monitor de aislamiento debe indicar las corrientes de fuga presente en cualquiera de las dos líneas aisladas, mientras que las otras dos normatividades (IEC, 2002; UPME, 2013), son más

específicas indicando que debe activarse una alarma, cuando la resistencia de aislamiento es menor a 50 kΩ.

Tabla 5

Monitor de aislamiento de línea (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013).

NFPA 99	IEC 6034-7-710	NTC 2050	RETIE
Debe funcionar continuamente e indicar corrientes de fuga de cualquiera de las dos líneas aisladas, con respecto a tierra	Debe indicar alarma cuando la resistencia de aislamiento es menor a 50 kΩ	Debe funcionar continuamente, señalando las posibles corrientes de fuga desde cualquier conductor aislado a tierra	Debe activar una alarma si la resistencia de aislamiento entre fase y tierra es menor de 50 kΩ
Debe tener una lámpara verde que indica que el sistema está aislado de tierra	Debe tener una señal de luz verde que indique un funcionamiento normal	Cuando el sistema está aislado de tierra, se debe encender una bombilla verde fácilmente visible	
Debe tener una lámpara de luz roja y una señal acústica que indique que la corriente de peligro total de cualquier línea aislada de tierra alcanza 5 mA. No deberá dar alarma para corrientes menores a 3,7 mA	Debe tener una señal de luz amarilla (que no se desactiva mientras se mantenga la falla) y acústica (que puede ser silenciada) que se encienden cuando se alcanza un valor mínimo fijado de resistencia de aislamiento	Cuando la corriente total de riesgo de cualquier línea aislada y tierra (resistiva o capacitiva) llegue a 5 mA debe encender una bombilla roja y una señal sonora (si se quiere). No debe producir alarmas para corrientes de riesgo menores a 3,7 mA	Se debe disponer de un monitor de aislamiento para 5 mA
Debe tener una impedancia interna que permita una corriente interna máximo 1 mA cuando algún punto está conectado a tierra	La impedancia interna será mínimo 100 kΩ. y la corriente interna en condiciones de falla no deberá ser superior a 1 mA pico	La impedancia interna suficiente para que la corriente interna máxima sea de 1 mA cuando algún punto aislado esté puesto a tierra	
Para monitores de baja impedancia la corriente interna no debe superar dos veces el valor umbral de alarma en condiciones de falla a tierra, en un tiempo no mayor a 5 ms		Para monitores de baja impedancia la corriente interna no debe superar dos veces el valor umbral de alarma en condiciones de falla a tierra, en un tiempo no mayor a 5 ms	

Se destaca además, una diferencia en cuanto a la señalización luminosa cuando se alcanza un valor de 5 mA de corriente

fuga, ya que (NFPA, 2005; UPME, 2013) establecen una luz de color rojo, mientras que la norma (IEC, 2002) determina que debe ser de color amarillo, sin embargo, el color rojo se asume más a situaciones de peligro, por lo que se puede considerar mas conveniente.

Con respecto a la impedancia interna que debe tener este tipo de dispositivos, las normas coinciden en establecer que debe ser tal, que no debe superarse una corriente de fuga interna de 1 mA en condiciones de falla, pero la norma (IEC, 2002) considera que la impedancia interna debe ser mínimo 100 kΩ, sin embargo un valor como este, condiciona la impedancia de aislamiento de todo el sistema, ya que sería el mínimo valor, comparado con las impedancias de las líneas aisladas a tierra, que como ya se hizo énfasis, tiene un valor aproximado de 1.2 MΩ. En estas condiciones, un valor bajo en la impedancia del monitor de aislamiento, reduce el rango de corrientes de fuga, ya que podrían conectarse menos equipos electromédicos, antes de llegar a los 5 mA.

- Localizador de fallas de aislamiento:

Para el caso de localizadores de fallas de aislamiento, solo el (UPME, 2013) y una norma adicional perteneciente a la IEC, hacen referencia a dispositivos que localicen las fallas a tierra, de alguna de las dos líneas aisladas y deben hacerlo en el menor tiempo posible (tabla 6). Esto significa, la relevancia que dan estas normas en mención, en dar más criterios de seguridad y fiabilidad del sistema aislado comparado con las otras normas (IEC, 2002; UPME, 2013).

Tabla 6

Localizador de fallas de aislamiento (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013).

NFPA 99	IEC 6034-7-710	NTC 2050	RETIE
	En la norma IEC 6034-4-41 permite el uso de sistemas de localización de fallos de aislamiento que indican un primer fallo de línea a tierra, iniciando una señal audible o visual		Debe de disponerse de dispositivos que permitan localizar las fallas a tierra en el menor tiempo posible

- Cables eléctricos de bajas fugas:

Para el caso de conductores eléctricos para sistemas aislados de tierra, las normas analizadas muestran características técnicas diferentes que deben cumplir (tabla 7). La norma (NFPA, 2005) especifica el valor de la impedancia mínima a tierra que debe tener un conductor aislado, mientras la (IEC, 2002) especifica el valor de la resistencia máxima del conductor, desde el dispositivo de protección hasta los dispositivos de fuerza. Por su parte la norma (ICONTEC, 1998), hace énfasis en el valor máximo de constante dieléctrica que debe tener el tipo de aislamiento del

conductor. Por último, el (UPME, 2013) establece un valor máximo de corriente de fuga. Lo que se puede analizar, es que todos estos criterios establecidos tienen algo en común y es la relación con las longitudes del cableado, ya que a menor longitud se puede cumplir cada parámetro establecido en cada caso.

Con respecto a la identificación de los conductores, solo se tiene referencia de la (ICONTEC, 1998; NFPA, 2005), que designan los colores correspondientes a los conductores aislados (tabla 7), teniendo en cuenta que este tipo de conductor eléctrico debe ser de bajas fugas del tipo XLP.

Tabla 7

Cables de bajas fugas (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013).

NFPA 99	IEC 6034-7-710	NTC 2050	RETIE
La impedancia (capacitiva y resistiva) a tierra de uno de los conductores de un sistema aislado excederá los 200 k Ω cuando se instala	La resistencia de los conductores entre los dispositivos de protección y los tomacorrientes no debe exceder los 0,2 Ω	Deben tener constante dieléctrica menor a 3,5 y longitudes cortas para cumplir requisitos de impedancia y reducir corrientes de riesgo. no deben usarse compuestos para halado que aumente su constante dieléctrica.	Deben ser de muy bajas corrientes de fuga. La longitud y calidad del aislamiento no deben generar corrientes de fuga mayores a 10 μ A, y tensiones que generen más de 10 mA
Conforme a la NFPA 90 el Conductor aislado 1 es naranja, conductor 2 marrón, ambos con una banda de color distintivo diferente a blanco, verde o gris. conductor 3 color amarillo (sistema trifásico) con banda distintiva		Para sistemas aislados se identifica: Conductor 1 naranja, conductor 2 marrón. Para sistemas trifásicos el tercer conductor debe ser amarillo	Los conductores de circuitos no deben estar conectados a tierra

- Dispositivos de protección:

Con respecto a los dispositivos de protección (tabla 8), las normas establecen que deben utilizarse dispositivos de corte bipolar, es decir, para realizar el corte simultáneo de las dos líneas aisladas de cada circuito ramal (ICONTEC, 1998; UPME, 2013). Pero el criterio más importante dado por (IEC, 2002; UPME, 2013), es el de establecer que estos dispositivos no deben proteger por sobrecarga si no solo cuando se presente una segunda falla, es decir, cuando las dos líneas aisladas estén puestas a tierra de forma simultánea.

Este criterio es importante ya que garantiza la continuidad del servicio, teniendo en cuenta además lo establecido en la tabla 4, en el que el transformador de aislamiento debe suministrar el 150 % de la potencia nominal.

Tabla 8

Dispositivos de protección (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013).

NFPA 99	IEC 6034-7-710	NTC 2050	RETIE
El sistema aislado de tierra debe contar con dispositivos de protección y control, además de un monitor de línea que indique las corrientes de fuga	La protección contra sobrecarga no está permitida en circuitos de alimentación aguas arriba y aguas abajo del transformador de aislamiento. pueden utilizarse fusibles	Todos los circuitos de potencia aislados deben estar controlados por un interruptor que tenga un polo de desconexión en cada conductor aislado	En sistemas aislados deben instalarse interruptores bipolares de mínimo 20 A, que deben abrirse solo cuando se presente una segunda falla que genere cortocircuito
		Cada conductor aislado debe tener un dispositivo de protección contra sobre corriente, de la capacidad adecuada	No deben utilizarse como control de encendido y apagado de iluminación

- Barrajes de tierra:

Para los sistemas de puesta a tierra aplicados en sistemas aislados de tierra, las normas coinciden en establecer una conexión equipotencial de todos los equipos electromédicos, tableros de distribución y en general, partes conductoras no portadoras de corriente, relacionadas especialmente con los equipos en torno a pacientes, ubicados en áreas críticas de instituciones de asistencia médica (tabla 9).

Comparación de equipos aplicados en sistemas aislados de tierra

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos por las normas analizadas en el apartado anterior, se realiza a continuación, una comparación de los datos técnicos de tres marcas comerciales, para cada uno de los dispositivos principales que componen un sistema aislado de tierra.

Transformadores de aislamiento. Para transformadores de aislamiento, se realiza la comparación de los datos técnicos de tres marcas comerciales diferentes tal como se muestra en la tabla 10.

Podemos observar que los datos técnicos de los tres transformadores son muy similares, solo cambian los niveles de tensión del primario y secundario, pero de igual manera se mantiene el máximo permitido de 250 Vac. Referente a los demás ítems como corrientes de fuga y niveles de ruido, las marcas tienen datos muy similares lo que hace que no sobresalga uno en especial.

Tabla 9
Barrajes de tierra (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013).

NFPA 99	IEC 6034-7-710	NTC 2050	RETIE
Conforme a la NFPA 70 todas las partes conductivas no portadoras de corriente, se deben poner a tierra	Para igualar las diferencias de potencial deben conectarse los conductores de tierra a la barra de conexión equipotencial, deben conectarse de forma individual	Todas las partes conductivas no portadoras de corriente se deben conectar al sistema de puesta a tierra	Los tomacorrientes y equipos eléctricos deben estar puestos a tierra a través de un conductor entre estos y la barra de tierra
	Deben conectarse a tierra pisos conductivos mesas de quirófano, pantallas electrostáticas, en general. elementos entorno al paciente		

Monitor de aislamiento. En el mercado se pueden encontrar tres referencias de monitores de aislamiento de última generación, el LIM 2010, el ISO-GARD serie 6 y el Mark V, sin embargo, los dos primeros tienen las mismas características técnicas (tabla 11).

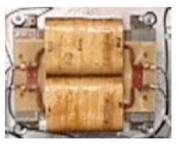
Como se puede observar (tabla 11), el Mark V genera menor corriente de fuga que las otras dos marcas, sin embargo, el LIM 2010 y el ISO-GARD serie 6, cuentan con funciones que no posee el Mark V, como identificación de fallas junto a equipos EDS, alarmas por sub tensión, monitoreo de la resistencia e impedancia de aislamiento; ítems que son primordiales teniendo en cuenta los requisitos establecido en el reglamento (UPME, 2013) según la tabla 6.

Localizador de fallas de aislamiento. Debido a que los monitores de aislamiento LIM 2010 e ISO-GARD serie 6, tienen las mismas características técnicas de construcción, se puede utilizar el mismo localizador de fallas (tabla 12).

Cuentan con salidas para la conexión de transformadores de corriente, para máximo 12 circuitos y un puerto de comunicación BMS.

Cable de bajas fugas. No son muchas las especificaciones técnicas que se pueden conseguir sobre este tipo de cable (tabla 13), solo cabe destacar que es un conductor eléctrico para una tensión máxima de 600 V y lo más importante, tienen un tipo de aislamiento XLP que contribuyen en disminuir las corriente de fuga.

Tabla 10
Especificaciones técnicas transformadores de aislamiento (Bender, 2011; Electric, 2005; PG Life Link, 2013a).

BENDER	SCHNEIDER	POST GLOVER
		
Norma: IEC 6034-7-710	Norma: IEC 6034-7-710	Norma: NFPA 99
Potencia nominal: 3, 5, 7.5 y 10 kVA	Potencia nominal: 3, 5, 7.5 y 10 kVA	Potencia nominal: 3, 5, 7.5 y 10 kVA
Tensión primario: 110 – 480 Va.c.	Tensión primario: 120 /240 Va.c.	Tensión primario: 110 – 480 Va.c.
Tensión secundario: 110 – 240 Va.c.	Tensión secundario: 120 Va.c.	Tensión secundario: 110 – 240 Va.c.
Frecuencia: 60 Hz	Frecuencia: 60 Hz	Frecuencia: 60 Hz
Tipo aislamiento: Clase H	Tipo aislamiento: Clase H	Tipo aislamiento: Clase H
Nivel de ruido máximo: 37 dB	Nivel de ruido máximo: 35 dB	Nivel de ruido máximo:
Corriente de fuga máxima (según UL 1047, tabla 30.2):	Corriente de fuga máxima (según UL 1047, tabla 30.2):	Corriente de fuga máxima:
Tensión sec. 120 V: 5 kVA.....20 uA 10 kVA.....25 uA	Tensión sec. 120 V: 5 kVA.....20 uA 10 kVA.....25 uA	3 kVA.....10 uA 5 kVA.....10 uA 7.5 kVA.....14 uA 10 kVA.....25 uA
Tensión sec. 208, 240 Va.c.: 5 kVA.....30 uA 10 kVA.....37 uA	Tensión sec. 208, 240 Va.c.: 5 kVA.....30 uA 10 kVA.....37 uA	
Impedancia: 3 kVA.....4.22 % 5 kVA.....3.58 % 10 kVA.....2.01 %		

Limitaciones técnicas de los sistemas aislados de tierra

Para que un sistema aislado de tierra sea confiable, se deben tener en cuenta algunas limitantes de carácter técnico, para mantener en niveles óptimos la resistencia de aislamiento del sistema y minimizar las corrientes de fuga, propias de los equipos que lo componen.

Equipos electromédicos. Para lograr que el sistema sea eficiente, también se deben aplicar sistemas aislados para cada uno de los equipos electromédicos, que integran las zonas críticas como salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos, ya que estos también pueden generar niveles de corriente de fuga, si no se tiene un buen aislamiento y que pueden afectar directamente a los pacientes en torno a estos equipos. Para lograr su protección, se deben tener en cuenta dos criterios importantes, uno de ellos es mantener aislado al

Tabla 11
Especificaciones técnicas monitores de aislamiento (Bender, 2013; PG Life Link, 2013b; Schneider, 2014).

BENDER	SCHNEIDER	POST GLOVER
		
LIM 2010	Iso-Gard Serie 6	PG LifeLink Mark V
Norma: IEC 6034-7-710	Norma: IEC 6034-7-710	Norma: NFPA 99
Tensión nominal: 100 – 240 Va.c.	Tensión nominal: 100 – 240 Va.c.	Tensión nominal: 120 – 240 Va.c.
Frecuencia: 50 – 60 Hz	Frecuencia: 50 – 60 Hz	Frecuencia: 50 – 60 Hz
Tensión de prueba: 2 kV	Tensión de prueba: 2 kV	
Potencia nominal: menor a 22 VA	Potencia nominal: menor a 22 VA	Potencia nominal: 10 VA
Valores monitoreo sistema aislado: *Corriente de fuga THC: 2 mA / 5 mA *impedancia: 10 – 200 kΩ *Resistencia: 20 – 200 kΩ	Valores monitoreo sistema aislado: *Corriente de fuga THC: 2 mA / 5 mA *impedancia: 10 – 200 kΩ *Resistencia: 20 – 200 kΩ	Valores monitoreo sistema aislado: *Corriente de fuga THC: 2 mA / 5 mA
Resistencia Interna: ≥ 1.5 MΩ	Resistencia Interna: ≥ 1.5 MΩ	
Corriente de fuga: 60 uA / 95 uA	Corriente de fuga: 60 uA / 95 uA	Corriente de fuga: 50 uA max.
*Interface: RS-485 BMS Bus	*Interface: RS-485 BMS Bus	Interface: RS-485
Funciones (alarmas incluidas): *Corriente de fuga *Sobrecarga trafo *Sobrettemperatura trafo *Sobretensión y subtensión *Conexión de tierra *Resistencia e impedancia de aislamiento *Localización de falla a tierra *Indicador remoto externo	Funciones (alarmas incluidas): *Corriente de fuga *Sobrecarga trafo *Sobrettemperatura trafo *Sobretensión y subtensión *Conexión de tierra *Resistencia e impedancia de aislamiento *Localización de falla a tierra *Indicador remoto externo	Funciones (alarmas incluidas): *Corriente de fuga *Sobrecarga trafo *Sobrettemperatura trafo *Indicador remoto externo

paciente y por otro mantener la equipotencialidad (Pinzón, 2010; Puentes y Girón, 2009; Soler, 2011).

- Aislamiento del paciente: Este método consiste en aislar las partes activas o sometidas a tensión eléctrica, con el fin de evitar el contacto accidental, que pueda generar el cierre de un circuito a través del paciente. También se tiene en cuenta que se deben separar las partes conductoras que se aplican directamente sobre el paciente como catéteres, de

Tabla 12
Especificaciones técnicas localizador de fallas (Bender Group, 2013).

BENDER	SCHNEIDER	POST GLOVER
		
EDS461	EDS461	
Norma: IEC 6034-7-710	Norma: IEC 6034-7-710	
Tensión nominal: 100 – 250 Va.c.	Tensión nominal: 100 – 250 Va.c.	
Frecuencia: 42 – 460 Hz	Frecuencia: 42 – 460 Hz	
Potencia nominal: ≤ 10 VA	Potencia nominal: ≤ 10 VA	
Canales de medida: 12	Canales de medida: 12	
Transformadores toroidales externos: Potencia nominal: 0.0375 VA Carga nom.: 2.4 kΩ	Transformadores toroidales externos: Potencia nominal: 0.0375 VA Carga nom.: 2.4 kΩ	
Sensibilidad: 0.2 – 1 mA	Sensibilidad: 0.2 – 1 mA	
Respuesta localización: 0 – 24 s	Respuesta localización: 0 – 24 s	
Indicación de fallas: *Leds indicadores *Display LC	Indicación de fallas: *Leds indicadores *Display LC	
Interface: RS-485 BMS Bus	Interface: RS-485 BMS Bus	

Tabla 13
Especificaciones técnicas cable de bajas fugas (Conduxmex Cables, 2014; Kris-Tech Wire, 2014).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CABLES XHHW-2 DE SISTEMAS AISLADOS DE TIERRA		
BENDER	SCHNEIDER	POST GLOVER
		
Kris-Tech Wire		Conduxmex Vulcanel
Tipo Aislamiento: XHHW-2		Tipo Aislamiento: XHHW-2
Material Aislamiento: XLP		Material Aislamiento: XLP
Tensión: 600 Va.c.		Tensión: 600 Va.c.
Temperatura: 90 °C		Temperatura: 90 °C

las partes activas del equipo. Sin embargo, estos equipos que están en contacto directo con el paciente, deben tener un nivel bajo de impedancia a tierra, con el fin de disipar las corrientes de fuga que se puedan generar y que puedan fluir a través del paciente. La conexión se puede logra a partir de módulos de tierra.

- Equipotencialidad: Es un criterio muy importante que debe aplicarse debidamente, con el fin de que no se generen tensiones mayores a 40 mV entre los equipos en contacto directo con el paciente y el sistema de puesta a tierra, para que no se generen corrientes considerables, que puedan afectar al paciente. se deben conectar todos los equipos que están en torno al paciente a través de un terminal de equipotencialidad.

Transformador de aislamiento. Recopilando la información en las normas (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013), las limitaciones en transformadores de aislamiento se ven reflejados de la siguiente manera:

- Potencia: Para unidades de cuidados intensivos y salas de cirugía, la potencia máxima que se puede aplicar es de 10 kVA nominales, para mantener los niveles de impedancia óptimos, que no se generen altas corrientes de fuga. Debe utilizarse un solo transformador por cada sala de cirugía.

- Aislamiento: Por lo general, se utilizan transformadores con aislamiento tipo H que puede soportar temperaturas hasta de 150 grados centígrados, a una temperatura ambiente de 40 grados centígrados.

Cable de bajas fugas. Las longitudes de los circuitos ramales derivados de un sistema aislado de tierra, deben ser lo más cortas posibles para evitar que se aumente las corrientes de fuga.

Sistema aislado de tierra. Un sistema aislado de tierra es más eficiente que un sistema normal, con respecto a la seguridad que ofrece contra choques eléctricos, que puedan afectar a una persona que entre en contacto directo con alguna parte energizada del sistema. Sin embargo, la mayor limitación de un sistema aislado de tierra, se ve sujeta a que no pueden ocupar grandes áreas en comparación a las que se logran con los sistemas normales, debido a que los equipos eléctricos que lo componen para su control y lo equipos conectados al mismo, generan las indeseadas corrientes de fuga que limitan el sistema, teniendo en cuenta que el máximo permitido es de 5 mA.

Sistemas aislados de tierra aplicados en salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos

Para el presente análisis, debe tenerse en cuenta que un sistema aislado de tierra aplicado en salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos, tienen la misma estructura descrita en la Fig. 5, la diferencia radica principalmente en la disposición del área hospitalaria en el cual se va a aplicar este tipo de sistema aislado. Así mismo, la ubicación del tablero de aislamiento y los módulos de fuerza y tierra, varían debido a este factor.

Implementación de sistemas aislados de tierra en unidades de cuidados intensivos. Las unidades de cuidados intensivos, son áreas primordiales para mantener

con vida a los pacientes en estado crítico y que deben estar en constante revisión médica.

La Secretaría Distrital de Salud, ha dispuesto algunos requerimientos mínimos con respecto a la conformación arquitectónica de una unidad de cuidados intensivos (UCI) de atención pediátrica (B. Torres, 2010b), donde se muestran las áreas más relevantes (Fig. 6).

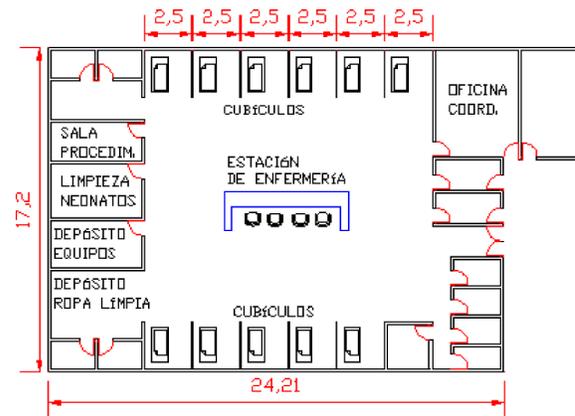


Figura 6. Diagrama unidad de cuidados intensivos estándar (B. Torres, 2010b).

En la Fig. 6, se observa una disposición común de una unidad de cuidados intensivos, ya sea para adultos o para unidades pediátricas, que deben disponer de varios recursos indispensables como instalaciones eléctricas, recurso hídrico, gases de uso medicinal como oxígeno y aire, con el fin de lograr la asistencia médica apropiada a los pacientes vinculados a este tipo de áreas críticas para su recuperación.

Una unidad de cuidados intensivos cuenta con varios cubículos donde se ubican los pacientes, cuya dimensión mínima permitida es de 12 metros cuadrado; una estación de enfermería donde se ubica el punto central de supervisión de toda el área, que cuenta con sistemas de comunicación centralizada que le informan el estado de cada cubículo. En cada uno de estos cubículos, se ubica un cabecero o columna colgante donde se alojan los tomacorrientes pertenecientes a los circuitos ramales del sistema aislado de tierra, tomas de aire, tomas de oxígeno y vacío (Fig. 7). La disposición de colocar las salidas eléctricas y de gases en una sola unidad (columna), se debe a la comodidad de la ubicación de los equipos electromédicos alrededor del paciente, que además, permite que los conectores eléctricos de los equipos no se ubiquen en el suelo, dando mayor espacio periférico a la cama del paciente (Palacio, 2007; Palanca, Sánchez, y Elola, 2010).

Teniendo como referencia el diagrama de la Fig. 5, el tablero general de la unidad de cuidados intensivos, debe estar respaldado por el grupo electrógeno y UPS, que garanticen el suministro de energía de forma continua, a todos los tableros de aislamiento que conforman el sistema



Figura 7. Foto unidad de cuidados intensivos estándar (Amerlife, 2013).

aislado de tierra del área crítica. La ubicación de los tableros de aislamiento se realiza según la disposición arquitectónica de la unidad, aunque en varios casos se ubica un tablero de aislamiento adaptado en cada columna de cada cubículo, lo que permite reducir al máximo las longitudes de los circuitos ramales y por ende, se reducen las corrientes de fuga, además de permitir el control y monitoreo individual de cada cubículo.

Implementación de sistemas aislados de tierra en salas de cirugía. Las salas de cirugía son zonas de instituciones de asistencia médica, donde se realizan intervenciones quirúrgicas, reanimación y anestesia, a pacientes que se encuentran en estado de emergencia por diferentes circunstancias.

Es de vital importancia contar con sistemas aislados de tierra, para garantizar la continuidad del servicio eléctrico, que represente la protección de los pacientes y el personal médico, la protección de los equipos electromédicos del área y la disipación de cargas estáticas que se puedan generar. Para lograr integrar los sistemas aislados de tierra, se debe partir de la organización estructural típica de una sala de cirugía.

Para esto, igual que en el caso de unidades de cuidados intensivos, la Secretaría Distrital de salud ha determinado los requerimientos necesarios que debe tener una estructura básica de una sala de cirugía (Fig. 8).

Según las especificaciones técnicas establecidas, las salas de cirugía deben contar con una altura mínima de 2.8 m, un área mínima útil de 20 metros cuadrados y debe contar con una puerta de vaivén de 1.5 m de ancho como mínimo.

Según el área establecida, se debe asignar la ubicación de toda la instalación eléctrica, que debe cumplir con varios criterios (Fig. 8), (Palacio, 2007; Yapur, Murillo, y Guzmán, 2011).

- Debe contar con un tablero de aislamiento, que a través de sus circuitos derivados se puedan instalar los

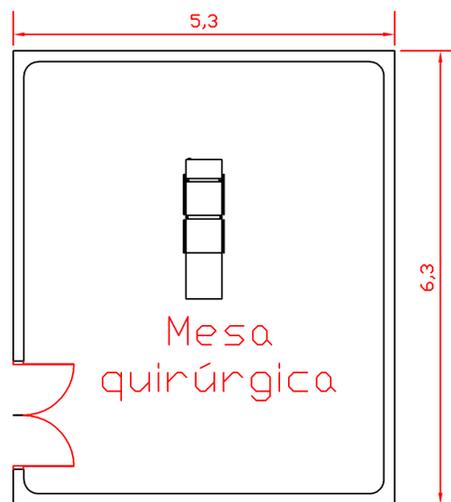


Figura 8. Diagrama sala de cirugía estándar (B. Torres, 2010a).

equipos electromédicos en torno al paciente y que están en contacto directo con este. Deben estar instalados lo más cerca o incluso dentro de las salas de cirugía, para reducir las corrientes de fuga y además de contar con indicadores remotos provenientes del monitor de aislamiento de línea que indiquen el estado actual del sistema.

- Debe contar con lámparas ciélficas, que también deben estar protegidas por un sistema aislado de tierra; en ocasiones cada lámpara cuenta con pequeños transformadores de aislamiento.

- La resistencia eléctrica entre el sistema de puesta a tierra y los receptáculos de tierra, debe ser menor a 0.2Ω .

- Debe disponer de varios módulos que contengan receptáculos de tierra conectados equipotencialmente, ubicados de forma radial, para poder conectar las partes conductoras no portadoras de corriente de equipos electromédicos.

- Debe tener varios módulos de fuerza, constituidos por tomacorrientes grado hospitalario, ubicados a una altura mínima de 1.5 m y de forma radial para la conexión de equipos electromédicos (Fig. 9).

Diseño de un sistema aislado de tierra

Teniendo en cuenta el análisis realizado sobre sistemas aislados de tierra, aplicado en instituciones de asistencia médica, con base en las normas (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013), se realiza el diseño de un sistema aislado de tierra con localizador de fallas, que puede ser utilizado en unidades de cuidados intensivos o salas de cirugía, ya que se maneja el mismo principio de seguridad en ambos casos. La diferencia en su aplicación radica en la disposición de equipos electromédicos que se usan en cada una de estas zonas médicas, lo que hace que



Figura 9. Foto sala de cirugía con módulos de fuerza-tierra (Yopal E.S.E, 2014).

cambie la potencia nominal del transformador de aislamiento para la demanda de carga instalada en ambos casos (Acosta, 2007).

Antes de realizar los cálculos correspondientes, debemos tener presente el diagrama unifilar del sistema eléctrico esencial con el que debe estar soportado un sistema aislado de tierra, teniendo como base la disposición dada en la Fig. 5.

El sistema eléctrico esencial cuenta con el suministro de energía eléctrica de la red pública, respaldada por dos o más grupos electrógenos que pueden ser conmutadas por medio de una transferencia automática; seguida de un sistema ininterrumpido de potencia (UPS), respaldada con una o más unidades similares. A continuación de estas unidades de respaldo de energía, se ubica el tablero general de acometidas parciales, que contiene los totalizadores de cada uno de los tableros de aislamiento que componen el ramal crítico de una sala o varias salas de cirugía, o una unidad de cuidados intensivos. Por último, se ubica el tablero de aislamiento que lo conforma el transformador de aislamiento que alimenta cada uno de los dispositivos de control, monitoreo y los circuitos ramales, que alimentan a su vez las cargas esenciales, a través de módulos de fuerza y tierra para el caso de salas de cirugía; y columnas o cabeceros para el caso de unidades de cuidados intensivos (Fig. 10).

Diseño sistema aislado para unidad de cuidados intensivos. A partir de la disposición arquitectónica de la Fig. 6, se aplica el diseño de un sistema aislado de tierra, sobre uno de los cubículos de atención a pacientes en estado crítico. Para tal fin, se deben tener en cuenta los equipos electromédicos comunes en este tipo de áreas, para la posterior realización del cuadro de cargas correspondiente (tabla 14).

Para una disposición de 6 circuitos, cada uno con una protección de 2x20 A y teniendo en cuenta que el factor de demanda es del 100%, la carga total de todos los equipos electromédicos es de 2362 VA (tabla 14), por lo tanto la potencia nominal normalizada del transformador

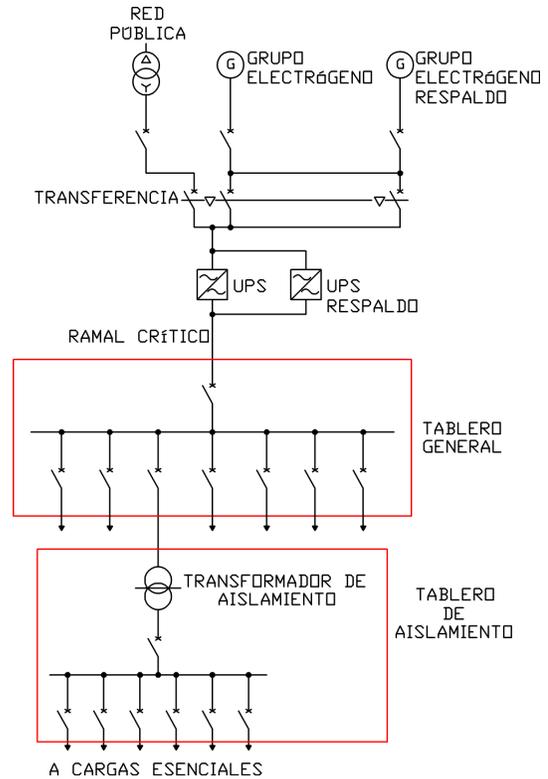


Figura 10. Diagrama unifilar sistema eléctrico esencial.

Tabla 14
Cuadro de cargas cubículo unidad de cuidados intensivos.

Circuito	Descripción	Potencia (VA)	Cantidad	Potencia Total (VA)	Corriente (A)	Protección (A)
1	Monitor signos vitales	240	1	240	2	20
2	Bomba de infusión	120	4	480	2	20
3	Incubadora	270	1	270	2,25	20
4	Ventilador	156	1	156	1,3	20
	Lámpara fototerapia	108	1	108	0,9	
5	Colchón térmico	800	1	800	6,66	20
6	Perfusor	8	1	8	0,06	20
	Computador	150	1	150	1,25	
	Calentador de fluidos	150	1	150	1,25	
Potencia Total				2362		

de aislamiento será de 3 kVA por cubículo. Sin embargo, se debe tener en cuenta la tabla 4 que establece que el transformador de aislamiento debe suministrar el 150% de su capacidad nominal para cargas intermitentes (UPME,

2013), por lo tanto el valor de potencia a tener en cuenta se calcula en la ecuación 1.

$$\begin{aligned} P_t &= P_n * 1,5 \\ P_t &= 3[kVA] * 1,5 \\ P_t &= 4,5[kVA] \end{aligned} \quad (1)$$

Donde

Pt: Potencia total

Pn: Potencia nominal transformador

Teniendo en cuenta este valor, se realizan los cálculos correspondientes para el sistema aislado de tierra, a partir de un transformador de aislamiento tipo H de 208/120 V, frecuencia 60 Hz.

• Cálculos correspondientes al secundario del transformador:

Para una tensión de 120 Vac, la corriente total se calcula en la ecuación 2.

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{V} \\ I &= \frac{4500[V\cdot A]}{120[V]} \\ I &= 37,5[A] \end{aligned} \quad (2)$$

Donde

I: Corriente

P: Potencia

V: Tensión

Para una corriente total de 37.5 A, el dispositivo de protección normalizado, para las líneas aisladas 1 y 2, es de 2x40 A y según la tabla 310-16 de la norma (ICONTEC, 1998), para un tipo de aislamiento XHHW-2, sería adecuado utilizar una acometida parcial de 2x10 AWG en cobre que soporta hasta 40 A a 90 grados centígrados y un conductor de tierra 10 AWG THHN/THWN. Además de las protecciones de cada circuito ramal, el sistema debe contar con un monitor de aislamiento y un localizador de fallas, tal como se ha descrito en el análisis de los sistemas aislados, para su constante monitoreo.

• Cálculos correspondientes al primario del transformador:

A partir de la ecuación 2 y para una tensión de 208 Vac, la corriente total se calcula en la ecuación 3.

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{V} \\ I &= \frac{4500[V\cdot A]}{208[V]} \\ I &= 21,63[A] \end{aligned} \quad (3)$$

Donde

I: Corriente

P: Potencia

V: Tensión

Para una corriente total de 21.63 A, se puede asignar una protección de 2x30 A y según la tabla 310-16 (ICONTEC, 1998), se puede asignar una acometida de 2x10 AWG THHN/THWN en cobre que soporta hasta 40 A y para la puesta a tierra un conductor eléctrico calibre 10 AWG THHN/THWN, según la tabla 250-95 (ICONTEC, 1998). Según el artículo 215-2 nota 2 (ICONTEC, 1998), se debe tener en cuenta la caída de tensión para poder determinar el calibre de los conductores de la acometida del sistema aislado de tierra de cada cubículo, que es máximo del 3 % y que se puede calcular a partir de la ecuación 4, para una regulación de tensión fase-fase.

$$\Delta V = \frac{2 * \sqrt{3} * Z * L * I}{V} \quad (4)$$

ΔV : Caída de tensión

Z: Impedancia eficaz del cable

L: Longitud acometida

I: Corriente total acometida

V: Tensión nominal

A partir de la ecuación 4 se puede determinar la longitud máxima permisible de la acometida a través de la expresión 5.

$$L = \frac{\Delta V * V}{2 * \sqrt{3} * Z * I} \quad (5)$$

Para nuestro cálculo, la longitud máxima de la acometida 6, se determina con una caída de tensión máxima permitida ΔV del 3 %, una tensión nominal V de 208 V, una corriente I calculada en la expresión 3 de 21.63 A y una impedancia eficaz para el calibre 10 AWG en un tubo conduit de acero, de 3.94 Ω /km, según la tabla 9 del capítulo 9 (ICONTEC, 1998).

$$L = \frac{0,03 * 208[V]}{2 * \sqrt{3} * 3,94 \frac{\Omega}{km} * 21,63[A]} \quad (6)$$

$$L = 0,0211[km]$$

En la Fig. 11 se muestra el diagrama multifilar de un tablero aislado de tierra para cada uno de los cubículos, a partir de los cálculos realizados en el lado primario y en el lado secundario del transformador de aislamiento.

Para la disposición arquitectónica de la Fig. 6, se deben disponer de 11 tableros de aislamiento (uno por cada cubículo) (Fig. 12), cada uno con las mismas técnicas descritas en el diagrama multifilar de la Fig. 11.

Todas las acometidas parciales de cada uno de los tableros de aislamiento se derivan de un tablero general de acometidas (TGA-1) (Fig. 12).

El tablero general de acometidas contiene los 11 totalizadores de cada tablero de aislamiento, de 2x30 A cada uno. El cálculo de la corriente total del tablero general de

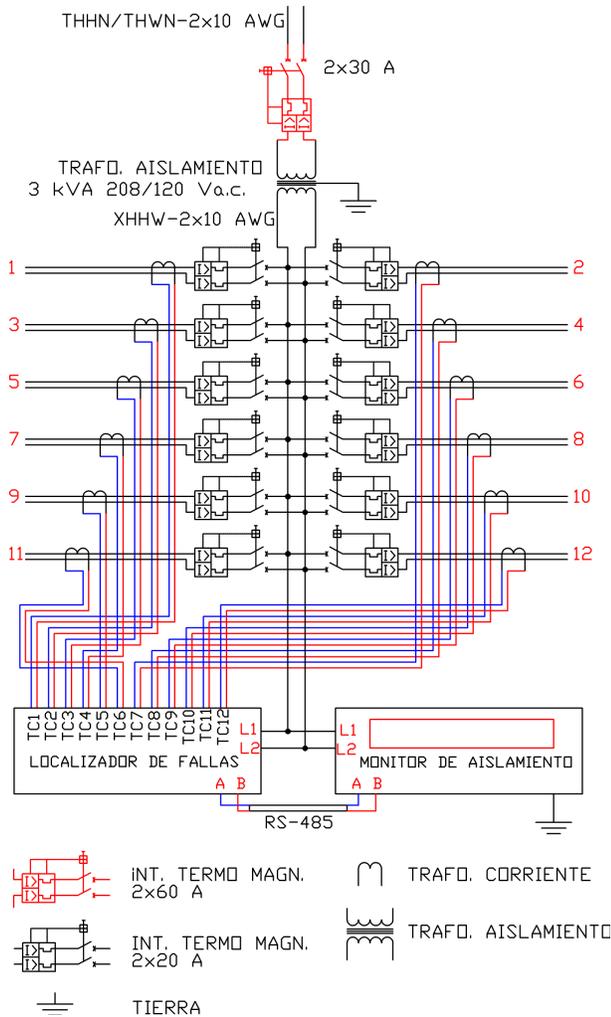


Figura 11. Diagrama multifilar cubículo unidad de cuidados intensivos.

acometidas, se realiza a partir de la suma de cada potencia al 150 % de la nominal por el número de cubículos sobre la tensión nominal para un sistema trifásico 7.

$$I = \frac{(Pn*1.5)*Cubiculos}{Vn*\sqrt{3}}$$

$$I = \frac{(3[kVA]*1.5)*11}{208[V]*\sqrt{3}}$$

$$I = \frac{49,5[kVA]}{208[V]*\sqrt{3}}$$

$$I = 137,39[kVA]$$

Para una corriente total de 137.39 A, el totalizador general del tablero general de acometidas correspondería a un valor normalizado de 3x160 A.

De la tabla 310-16 (ICONTEC, 1998), se puede asignar una acometida de 3x1/0 AWG THHN/THWN en cobre, con

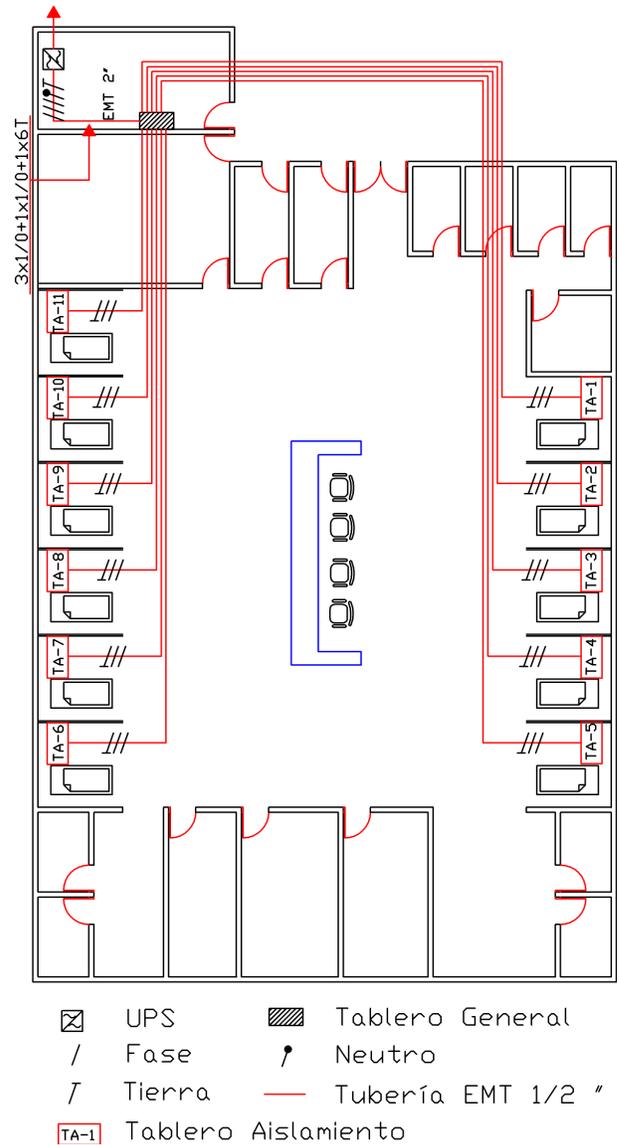


Figura 12. Plano eléctrico unidad de cuidados intensivos.

un conductor de neutro de calibre 1/0 AWG y un conductor de tierra calibre 6 AWG.

Para una potencia aparente de 49.5 kVA ec. 7, se puede asignar un sistema UPS de 65 kVA valor normalizado.

Diseño sistema aislado para sala de cirugía. De igual manera, se realizan los cálculos correspondientes para designar el transformador de aislamiento, para una sala de cirugía con los respectivos equipos electromédicos comunes en este tipo de áreas, tal como se muestran en el cuadro de cargas de la tabla 15.

De la tabla 15, se ha obtenido una potencia aparente total de 5868 VA, por lo tanto se puede asignar un transformador de aislamiento normalizado de 7.5 kVA tipo H de 208/120

Tabla 15

Cuadro de cargas sala de cirugía.

Circuito	Descripción	Potencia (VA)	Cantidad	Potencia Total (VA)	Corriente (A)	Protección (A)
1	Monitor signos vitales	240	1	240	2	20
	Computador	150	1	150	1.25	
	Lámpara de examen	140	1	140	1.16	
2	Bomba de infusión	120	1	120	1	20
	Bomba de infusión	35	2	70	0.58	
	Mesa de cirugía	600	1	600	5	
4	Litotriptor camilla	378	1	378	3.15	20
	Litotriptor control	600	1	600	5	
	Microscopio	210	1	210	1.75	
5	Litotriptor equipo	1200	1	1200	10	20
	Litotriptor monitor	120	1	20	1	
6	Electro-bisturí	1080	1	1080	9	20
	Electro-bisturí	960	1	960	8	
Potencia Total				5868		

Vac, frecuencia 60 Hz. A partir de la ecuación 8, se calcula el 150 % de la potencia nominal.

$$Pt = Pn * 1,5$$

$$Pt = 7,5[kVA] * 1,5 \quad (8)$$

$$Pt = 11,25[kVA]$$

Donde

Pt: Potencia total

Pn: Potencia nominal transformador

• Cálculos correspondientes al secundario del transformador:

Para una tensión de 120 Vac, la corriente total se calcula según la ecuación 9.

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{7500[VA]*1,5}{120[V]} \quad (9)$$

$$I = 93,75[A]$$

Donde

I: Corriente

P: Potencia

V: Tensión

Para una corriente total de 93.75 A se puede utilizar una protección de 2x100 A y según la tabla 310-16 (ICONTEC, 1998), se puede asignar una acometida de 2x3 AWG XHHW-2 en cobre que soporta hasta 110 A y para la puesta a tierra un conductor eléctrico calibre 8 AWG THHN/THWN según la tabla 250-95 (ICONTEC, 1998).

• Cálculos correspondientes al primario del transformador:

Para una tensión de 208 Vac, la corriente total se calcula en la ecuación 10.

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{7500[VA]*1,5}{208[V]} \quad (10)$$

$$I = 54,08[A]$$

Para un valor de corriente total de 54.08 A, se puede asignar una protección de 2x60 A y según la tabla 310-16 (ICONTEC, 1998), se puede asignar una acometida de 2x6 AWG THHN/THWN en cobre. Finalmente, para la puesta a tierra, se puede asignar un conductor eléctrico calibre 10 AWG THHN/THWN (ICONTEC, 1998).

A partir de la ecuación 11, se calcula la longitud máxima de la acometida parcial para mantener una caída de tensión máxima del 3 %, para una acometida de 2x6 AWG THHN/THWN, cuya impedancia es de 1.61 Ω/km (ICONTEC, 1998).

$$L = \frac{\Delta V * V}{2 * \sqrt{3} * Z * I}$$

$$L = \frac{0,03 * 208[V]}{2 * \sqrt{3} * 3,94 \frac{\Omega}{km} * 21,63[A]} \quad (11)$$

$$L = 0,0211[km]$$

Donde

ΔV: Caída de tensión

Z: Impedancia eficaz del cable

L: Longitud acometida

I: Corriente total acometida

V: Tensión nominal

A partir de los datos obtenidos, se realiza el diagrama multifilar del sistema aislado para una sala de cirugía (Fig. 13).

Para la disposición de una sala de cirugía (Fig. 8), y conforme a los cálculos realizados, se muestra el plano eléctrico correspondiente en la Fig. 14.

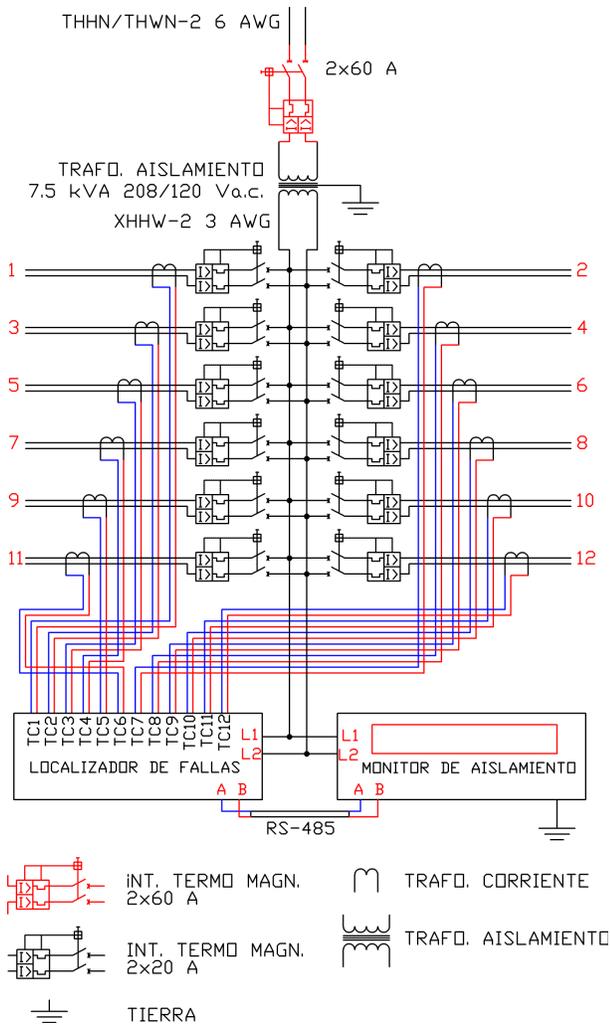
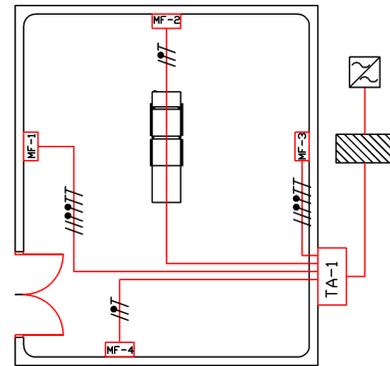


Figura 13. Diagrama multifilar sala de cirugía.

Evaluación de desempeño

A partir del diseño realizado en la sección (Fig. 11), se hace el montaje de un prototipo para la implementación de un sistema aislado de tierra, en el cual se utilizaron los siguientes equipos eléctricos, cuyas características técnicas se muestran a continuación:

- Transformador de aislamiento:
 - Potencia nominal: 3 kVA
 - Tensión nominal: 115/115 Vac
 - Frecuencia: 60 Hz
 - Clase: H
- Monitor de aislamiento de línea:
 - Tensión nominal: 100-240 Vac
 - Frecuencia: 50-60 Hz
 - Potencia nominal: \leq a 22 VA
 - Corriente de fuga THC: 2 mA/5 mA
 - Resistencia interna: \geq 1.5 M Ω



- ☒ UPS
- ▨ Tablero General
- / Fase
- Neutro
- ∕ Tierra
- MF-1 Módulo fuerza-tierra
- Tubería EMT 1/2"
- TA-1 Tablero Aislamiento

Figura 14. Plano eléctrico sala de cirugía.

- Corriente de fuga: 60/95 μ A
 - Localizador de fallas de aislamiento:
 - Tensión nominal: 100-250 Vac
 - Frecuencia: 42-460 Hz
 - Potencia nominal: \leq a 10 VA
 - Respuesta de localización: 0-24 s
 - Equipo de medición, multímetro Erasmus EMA-300:
 - Medición tensión AC: 0.2V/2V/20V/200V \pm 1.5 %
 - Medición corriente AC: 200 μ A \pm 1.5 %, 2mA/20mA/200mA \pm 1.8 %
 - Medición resistencia: 200 Ω /2k Ω /20k Ω /200k Ω /2M Ω \pm 1.2 %, 20M Ω \pm 2 %

Una vez se ha realizado el montaje eléctrico del prototipo de un sistema aislado de tierra, se realizan las pruebas eléctricas que permiten establecer el correcto funcionamiento del sistema.

Mediciones de resistencia de aislamiento

Después de realizar las pruebas de continuidad de todo el sistema, se realiza la medición de la impedancia entre cada una de las líneas aisladas y tierra, obteniendo los datos consignados en la tabla 16.

Según los datos de la tabla 16, se obtuvieron dos valores de impedancia similares por lo que se puede deducir que el sistema estaría equilibrado.

Pero un dato muy importante a tener en cuenta (tabla 16), es que las impedancias están en el orden de los mega ohmios,

Tabla 16

Valores medidos de impedancia.

Impedancia entre línea 1 y tierra (M Ω)	Impedancia entre línea 2 y tierra (M Ω)
2,184 \pm 0,043	2,183 \pm 0,043

incluso mayor a los 1,2 M Ω (Fig. 4), lo que indica que efectivamente se cuenta con un sistema en el cual las dos líneas L1 y L2 están aisladas del sistema de puesta a tierra.

Pruebas de funcionamiento de alarmas visuales y sonoras de los dispositivos de monitoreo del sistema aislado de tierra:

Una vez se ha energizado el sistema aislado de tierra, se debe comprobar que las señales de emergencia del monitor de aislamiento de línea y el localizador de fallas funcionan correctamente.

Para comprobar su funcionamiento, se realizaron pruebas de cortocircuito, que consisten en realizar una conexión provisional entre alguna de las líneas aisladas y tierra, con el fin de simular una falla. Posteriormente, se verifica si el monitor de aislamiento de línea activa las señales sonora y visual. El monitor cuenta con un display que muestra la línea asociada con la falla, por lo que se debe verificar si se cumple con esta función.

Con respecto al localizador, se debe verificar si el circuito que muestra en su display, coincide con el circuito donde se presenta la falla de aislamiento.

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas se muestran en la tabla 17.

A partir de los datos obtenidos en la tabla 17, se comprobó en cada uno de los circuitos, que los dos dispositivos funcionan correctamente, tanto en condiciones normales como en condiciones de falla en el sistema aislado de tierra.

Prueba de cortocircuito en línea 1

Ahora se realizan las mediciones de tensiones línea-línea y línea-tierra, en condiciones normales y en condiciones de falla.

En primera instancia se realizó la medición de las tensiones L1-L2, L1-tierra y L2-tierra, en condiciones normales y para cada uno de los circuitos (tabla 18).

Como se puede observar, la tensión entre las líneas 1 y 2 se encuentra entre los 122.9 \pm 1.8 Vac y los 126.7 \pm 1.9 Vac, lo que indica que está en un rango aceptable de tensión de salida del transformador de aislamiento, teniendo en cuenta que la tensión nominal es de 115 Vac.

Tabla 17

Prueba indicadores de emergencia.

Círculo	Línea puesta a tierra	Monitor de aislamiento de línea			Localizador de fallas Círculo que presenta la falla
		Indicadores			
		Visual	Sonora	Línea a tierra	
1	L1	Si	Si	L1	1
	L2	Si	Si	L2	1
2	L1	Si	Si	L1	2
	L2	Si	Si	L2	2
3	L1	Si	Si	L1	3
	L2	Si	Si	L2	3
4	L1	Si	Si	L1	4
	L2	Si	Si	L2	4
5	L1	Si	Si	L1	5
	L2	Si	Si	L2	5
6	L1	Si	Si	L1	6
	L2	Si	Si	L2	6
7	L1	Si	Si	L1	7
	L2	Si	Si	L2	7
8	L1	Si	Si	L1	8
	L2	Si	Si	L2	8
9	L1	Si	Si	L1	9
	L2	Si	Si	L2	9
10	L1	Si	Si	L1	10
	L2	Si	Si	L2	10
11	L1	Si	Si	L1	11
	L2	Si	Si	L2	11
12	L1	Si	Si	L1	12
	L2	Si	Si	L2	12

Vemos además que la tensión entre la línea 1 y tierra que oscila entre 55.1 \pm 0.8 Vac y 57.0 \pm 0.9 Vac, es menor que el valor de la tensión entre la línea 2 y tierra, que oscila entre 70.8 \pm 1 Vac y 72.3 \pm 1 Vac. La suma aproximada de las tensiones entre L1-tierra y L2-tierra nos daría un valor aproximado al de la tensión en la fuente (Tensión L1-L2).

Tabla 18

Tensiones en líneas, prueba 1.

Círculo	Tensión L1-L2 (Va.c.)	Tensión L1-Tierra (Va.c.)	Tensión L2-Tierra (Va.c.)
1	123,8 \pm 1,9	55,3 \pm 0,8	72,3 \pm 1
2	123,2 \pm 1,8	55,3 \pm 0,8	71,0 \pm 1
3	123,3 \pm 1,8	55,1 \pm 0,8	71,1 \pm 1
4	123,1 \pm 1,8	55,2 \pm 0,8	70,8 \pm 1
5	122,9 \pm 1,8	55,2 \pm 0,8	71,0 \pm 1
6	123,8 \pm 1,9	55,4 \pm 0,8	71,3 \pm 1
7	126,1 \pm 1,9	56,6 \pm 0,8	72,0 \pm 1
8	125,0 \pm 1,9	56,0 \pm 0,8	71,8 \pm 1
9	125,2 \pm 1,9	56,4 \pm 0,8	71,6 \pm 1
10	126,7 \pm 1,9	56,9 \pm 0,9	72,3 \pm 1
11	126,5 \pm 1,9	57,0 \pm 0,9	72,3 \pm 1
12	125,0 \pm 1,9	56,2 \pm 0,8	71,0 \pm 1

La diferencia entre estas tensiones significaría que el sistema no estaría en equilibrio. Sin embargo, los datos de

impedancia de las líneas a tierra (tabla 16), indican que son similares, por lo tanto el sistema estaría en equilibrio. Pero hay que tener en cuenta, que el monitor de aislamiento vigila cada una de las líneas aisladas a través de una impedancia interna de 1.2 MΩ que está puesta a tierra, que influye dentro del sistema y que puede generar esta diferencia de tensiones tal como se observa en la tabla 18.

Al realizar la prueba de cortocircuito entre la línea 1 y tierra de cada uno de los 12 circuitos, se obtuvieron los datos consignados en la tabla 19.

Tabla 19

Prueba de cortocircuito línea 1.

Circuito	Tensión L1-L2 (Va.c.)	Tensión L1-Tierra (Va.c.)	Tensión L2-Tierra (Va.c.)
1	123,2±1,8	0,003±0	123,9±1,9
2	123,3±1,8	0,003±0	123,2±1,8
3	123,0±1,8	0,003±0	123,0±1,8
4	123,6±1,9	0,003±0	123,5±1,9
5	122,4±1,8	0,003±0	122,7±1,8
6	123,6±1,9	0,003±0	123,6±1,9
7	125,2±1,9	0,003±0	125,2±1,9
8	125,6±1,9	0,003±0	125,4±1,9
9	126,3±1,9	0,003±0	126,2±1,9
10	126,4±1,9	0,003±0	126,1±1,9
11	126,0±1,9	0,003±0	125,8±1,9
12	124,5±1,9	0,004±0	124,4±1,9

Al observar los datos de la tabla 19, al generar un cortocircuito entre la línea 1 y tierra, la tensión entre estos dos puntos es un valor cercano a 0 Vac (tensión L1-tierra), y que la tensión entre L2 y tierra es similar a la de la fuente, es decir a la tensión entre L1 y L2 de 120 Vac.

Estos resultados indican que cuando se presenta una falla entre la línea 1 y tierra, el sistema no se ve vulnerado, ya que sobre la impedancia entre L2 y tierra cae toda la tensión de la fuente, por lo tanto la corriente que fluye es muy baja. A partir de esta prueba, se pudo comprobar la eficiencia del sistema aislado de tierra, cuando se presenta una primera falla, tal como se describió en la sección .

Prueba de cortocircuito en línea 2

Para la ejecución de la siguiente prueba, nuevamente se realizó la medición de tensiones línea a línea y tensiones línea-tierra (tabla 20), obteniendo valores similares a los obtenidos en la tabla 18, manteniéndose la diferencia entre las tensiones de las líneas con respecto a tierra.

Al generar un cortocircuito entre la línea 2 y tierra, para cada uno de los circuitos derivados, la tensión en ambos puntos es cercano a los 0 Vac y la tensión de la fuente (L1-L2) recae sobre la impedancia entre la línea 1 y tierra, logrando así obtener el mismo comportamiento cuando se generó un cortocircuito entre la línea 1 y tierra (tabla 21).

Tabla 20

Tensiones en líneas, prueba 2.

Circuito	Tensión L1-L2 (Va.c.)	Tensión L1-Tierra (Va.c.)	Tensión L2-Tierra (Va.c.)
1	123,1±1,8	55,2±0,8	71,2±1
2	123,4±1,9	55,0±0,8	71,3±1
3	124,7±1,9	55,1±0,8	71,1±1
4	122,7±1,8	55,2±0,8	71,1±1
5	122,1±1,8	54,7±0,8	70,9±1
6	125,2±1,9	55,7±0,8	71,9±1
7	124,4±1,9	56,0±0,8	70,9±1
8	125,3±1,9	56,5±0,8	71,8±1
9	126,4±1,9	56,7±0,9	72,2±1
10	124,7±1,9	56,4±0,8	71,8±1
11	125,2±1,9	56,1±0,8	71,6±1
12	124,3±1,9	56,0±0,8	70,9±1

Tabla 21

Prueba de cortocircuito línea 2.

Circuito	Tensión L1-L2 (Va.c.)	Tensión L1-Tierra (Va.c.)	Tensión L2-Tierra (Va.c.)
1	123,3±1,8	123,2±1,8	0,003±0
2	123,4±1,9	123,1±1,8	0,004±0
3	124,3±1,9	124,6±1,9	0,003±0
4	122,4±1,8	122,4±1,8	0,003±0
5	122,7±1,8	122,6±1,8	0,003±0
6	126,6±1,9	126,6±1,9	0,003±0
7	124,5±1,9	124,5±1,9	0,004±0
8	125,6±1,9	125,6±1,9	0,004±0
9	127,3±1,9	127,2±1,9	0,003±0
10	124,9±1,9	124,8±1,9	0,003±0
11	124,4±1,9	124,2±1,9	0,005±0
12	123,7±1,9	123,7±1,9	0,003±0

Conclusiones

Este artículo presenta un estudio que resume los criterios de diseño de un sistema aislado de tierra con la incorporación de un localizador de fallas, para su uso en unidades de cuidados intensivos y salas de cirugía.

Después de realizar el análisis conceptual y funcional de los sistemas aislados de tierra, se puede determinar que su implementación en áreas críticas de instituciones de asistencia médica, influyen considerablemente en la reducción de los riesgos por corrientes de fuga generadas por equipos electromédicos, a las que puedan estar expuestos pacientes y personal médico. De igual forma, se evidencia importancia vital de contar con sistemas de emergencia que garanticen la continuidad del servicio de energía eléctrica.

Como resultado del análisis de las normas NTC 2050, NFPA 99, IEC 6034-7-710 y el RETIE, con respecto a sistemas aislados de tierra, se puede concluir que para la aplicación de este tipo de sistemas eléctricos en Colombia, sería más conveniente tomar en cuenta los criterios dados por

el RETIE y la IEC 6034-7-710, debido a que establecen unos niveles de tensión no mayores a 250 Vac. Ellos establecen un rango en los niveles de potencia admisible, para el caso específico de salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos. También indican el valor mínimo de resistencia de aislamiento que debe tener el sistema antes de que el monitor de aislamiento genere una alarma, y recalcan la importancia de la implementación de localizadores de falla, contrario a las otras normas que no lo mencionan. Con respecto a los dispositivos de protección, enfatizan en que solo deben actuar cuando se presente un primer fallo y no en condiciones de sobrecarga. Por lo tanto, el RETIE junto con la IEC 6034-7-710 establecen criterios con mayor fundamento que lo establecido por la NTC 2050 y la NFPA 99, que permiten ampliar el margen de seguridad de un sistema aislado, que debe brindar al personal médico y pacientes que integran una institución de asistencia médica.

Por otro lado, al comparar los diferentes dispositivos existentes en el mercado de tres marcas reconocidas (Bender, Schneider y Post Glover), se observa que tanto Bender y Schneider, basados en la norma la IEC 6034-7-710, incluyen el localizador de fallas de aislamiento, mientras que en el caso de Post Glover (basado en la norma NFPA 99) y con base a la información recopilada, no se evidencia la implementación de localización de fallas dentro de un sistema aislado de tierra. Por lo tanto, Bender y Schneider cuentan con varios dispositivos que ofrecen una mayor confiabilidad, mayor seguridad y vigilancia de sistemas aislados de tierra. Es necesario tener presente que se debe evitar la instalación de equipos o elementos que no cumplen con las normas, ya que pueden afectar la estructura del sistema, por lo tanto se hace necesario el desarrollo e implementación de nuevos diseños con estándares de calidad óptimos y de fácil manejo.

Después de haber realizado el diseño de un sistema aislado de tierra, se puede determinar que no se presentan diferencias significativas, entre un sistema aislado aplicado en salas de cirugía y un sistema aislado aplicado en una unidad de cuidados intensivos, ya que sus diferencias radican solo en la potencia nominal en cada uno. Sin embargo, cabe destacar que en ambos casos se debe tener en cuenta factores externos, como por ejemplo el manejo de gases de uso medicinal y la disipación de carga estática, que pueden llegar a ocasionar un incendio, por lo que la altura de los módulos de fuerza en ambos casos es un parámetro que hay que tener en cuenta.

Dentro del diseño del sistema aislado, se tuvo en cuenta el criterio de reducir al máximo las distancias de los circuitos ramales para minimizar las corrientes de fuga que pueda generar el cableado. Esto se logró a partir de una configuración, que permite incluir un tablero de aislamiento para cada cubículo, que conforma la unidad de cuidados intensivos. Todo el conjunto de tableros de aislamiento son controlados por un tablero general y respaldados por una

o varias UPS, y uno o varios grupos electrógenos. Esta configuración permite realizar el control del sistema de forma individual en cada cubículo. En el caso de salas de cirugía, la disposición de los módulos de fuerza requieren que los circuitos ramales sean de mayor longitud, pero no requiere de grandes áreas, por lo tanto, la generación de corrientes de fuga no son críticas y por ende no afectan el sistema aislado de tierra.

El montaje del sistema aislado de tierra a partir del prototipo construido, se caracterizó por pruebas pruebas realizadas que permitieron evidenciar un desempeño satisfactorio en el funcionamiento del sistema aislado, garantizando al mismo tiempo el cumplimiento de lo establecido en (ICONTEC, 1998; IEC, 2002; NFPA, 2005; UPME, 2013). Se resalta que el uso de equipos certificados facilita la puesta en marcha y la solución de fallas de una manera más rápida y precisa, sin dejar de lado que lo fundamental de cualquier instalación eléctrica es garantizar la seguridad y el cuidado de la vida humana. Además, se pudo evidenciar a partir de las pruebas de corto circuito, que a pesar de presentarse una falla a tierra de alguna de las líneas aisladas, el sistema efectivamente cuenta con el respaldo de la impedancia a tierra, de la otra línea que no presenta la falla, por lo que recae en esta última, en un gran porcentaje la tensión de la fuente y por ende la corriente circundante en el sistema es muy baja. Por lo tanto, es notorio el aporte que da el sistema aislado de tierra, a la seguridad de pacientes y personal médico de una institución de asistencia médica.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se puede mejorar la seguridad en instalaciones hospitalarias, concientizando a los directivos, funcionarios públicos y privados, relacionados con el área hospitalaria, mostrándoles la necesidad de adecuar y normalizar las instalaciones existentes, para que cumplan con los requisitos de seguridad eléctrica y continuidad del servicio, ya que diariamente se observa el no cumplimiento de la reglamentación, en gran parte por buscar la economía, pero sin tener en cuenta que una vida humana no se puede reemplazar, por lo tanto, se debería incorporar entidades de control en instalaciones hospitalarias, para que se garantice el correcto uso e instalación de equipos en las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos.

Referencias

- Acosta, J. A. (2007, 4). *Estudio de diseño de las instalaciones eléctricas del hospital san rafael de leticia mediante la aplicación del retie*. On line.
- Amerlife. (2013). Columna para uci adulto-pediátrico amerlife [Manual de software informático].
- Bender. (2011, 04). Hospital grade isolation transformers [Manual de software informático].
- Bender. (2013, 05). Lim 2010 monitor de aislamiento de línea [Manual de software informático].

- Bender Group. (2009). Tableros para hospitales [Manual de software informático].
- Bender Group. (2013, 07). Dispositivo de búsqueda de fallos de aislamiento con función de control e indicación para sistemas eds [Manual de software informático].
- Castro, P., y Hernandez, C. (2009). *Especificaciones y construcción de transformadores de aislamiento*. On line.
- Condumex Cables. (2014, 10). Construcción e industria - cables de baja tensión para la construcción - forrado baja tensión [Manual de software informático].
- Electric, S. (2005). Square d, sistemas de aislamiento para hospitales [Manual de software informático].
- Garnica, J. (2011). *Guía para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias*.
- Harper, G. E. (2004). *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos* (M. D. Limusa, Ed.). Grupo Noriega.
- Huertas, A. Y. (2010). *Guía de seguridad eléctrica para ambientes hospitalarios*. On line.
- ICONTEC. (1998, 11). *Código eléctrico colombiano ntc 2050* (n.º 2050).
- IEC. (2002). *Requirements for special intallations or locations - medical locations iec 6034-7-710* (n.º 6034-7-710).
- Kris-Tech Wire. (2014). *Xhhw-2*. Online.
- Link, P. L. (2014, Marzo). Isolated power system training (Manual de software informático n.º 02).
- Martín, H. H. V. (2006). *Criterios de diseño en instalaciones eléctricas hospitalarias*.
- NFPA. (2005). *Health care facilities nfpa 99* (n.º 99). On line.
- Palacio, D. (2007). *Proyecto de resolución 2008 - requisitos mínimos de infraestructura hospitalaria* (Inf. Téc.). Ministeriode la Protección Social.
- Palacios, C. B. N. (2006, 9). *Análisis de la seguridad eléctrica en áreas críticas del hospital nacional zacamil*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/123456789/368>
- Palanca, I., Sánchez, A., y Elola, J. (2010). *Unidad de cuidados intensivos estándares y recomendaciones* (Inf. Téc.). Ministerio de Sanidad y Política Social.
- PG Life Link. (2013a). Instructivo de instalación y mantenimiento [Manual de software informático].
- PG Life Link. (2013b, 01). Mark v line isolation monitor instruction manual [Manual de software informático].
- Pinzón, J. V. (2010). *Manual de procedimientos en seguridad eléctrica para el laboratorio de instrumentación biomédica*. Tesis de Master no publicada, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Puentes, E. C. C., y Girón, A. L. N. (2009). *Análisis y evaluación de seguridad eléctrica en las Áreas de quirófanos, unidad de cuidados intensivos y consulta externa de la clínica rafael uribe uribe*. On line.
- Schneider. (2014, 02). Monitor de aislamiento de línea iso-gard serie 6 [Manual de software informático].
- Soler, C. (2011, 9). Instalaciones eléctricas para uso hospitalario. En *Congreso técnico de biel light - building 2011* (p. 1-8).
- Torres, B. (2010a). Manual guía para el diseño arquitectónico servicio de cirugía [Manual de software informático].
- Torres, B. (2010b). Manual para el diseño arquitectónico de unidades de cuidados intensivos e intermedios [Manual de software informático].
- Torres, L. (2001). *Tratado de anestesia y reanimación* (1.ª ed., Vol. 2; E. A. E. Madrid, Ed.). Grupo Arán.
- UPME. (2013, 10). *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas retie*.
- Van Vugt, P., Bijman, R., Timens, R., y Leferink, F. (2013, Sept). *Impact of grounding and filtering on power insulation monitoring in insulated terrestrial power networks*.
- Veneziano, W., y Assis, A. (2014, April). *Analysis of the power infrastructure that supplies the intensive care unit of a hospital in mato grosso do sul (brazil)*.
- Yapur, M., Murillo, E., y Guzmán, N. (2011). *Criterios para la implementación eléctrica de un quirófano integrado o inteligente*. On line.
- Yopal E.S.E, H. de. (2014). *Adecuación salas de cirugía*. On line. Retrieved from <http://www.hospitaldeyopal.gov.co/es/otras-secciones/item-otras-secciones/16459-items-otras-secciones>