

# Crterios para la implementaci3n el3ctrica de un quir3fano integrado o inteligente

Ing. Miguel Yapur  
Erwin Murillo<sup>1</sup>, Nelson Guzm3n<sup>2</sup>  
Facultad de Ingenier3a El3ctrica y Computaci3n  
Escuela Superior Polit3cnica del Litoral  
Campus Gustavo Galindo V. km.30.5 V3a Perimetral

## Resumen

*Los quir3fanos inteligentes acoplan lo mejor de la tecnolog3a utilizada en equipos m3dicos, con los avances en telecomunicaciones y computaci3n. El quir3fano ha evolucionado desde una estructura donde se depend3a exclusivamente de la habilidad del m3dico, a un 3rea muy compleja donde distintos profesionales son responsables de su funcionamiento. El presente estudio tiene por objetivo ser una gu3a t3cnica, para que el lector forme sus criterios acerca de la seguridad el3ctrica en 3reas hospitalarias, sobre todo en zonas cr3ticas como los quir3fanos. El 3xito del presente trabajo est3 en el cumplimiento de reglas y normas de seguridad, en la implementaci3n el3ctrica, en el mejoramiento y mantenimiento inteligente de los quir3fanos, para que garanticen el funcionamiento normal y continuo de los equipos utilizados en las intervenciones quir3rgicas, con la debida seguridad el3ctrica del paciente. T3cnicamente, los nuevos quir3fanos no tienen diferencias con los tradicionales en la implementaci3n el3ctrica. El sistema IT aislado, sigue siendo la parte principal que permite dar seguridad al paciente; claro est3 que sus sistemas de monitoreo son mucho m3s avanzados, permitiendo dar avisos de alarmas remotamente. Es obligatorio el uso de UPS para alimentar todo el sistema el3ctrico que alimenta al tablero de aislamiento y al sistema de comunicaci3n del quir3fano; el sistema de tierra es fundamental y todas las partes met3licas deben ir a una barra equipotencial, la cual debe estar conectada hacia la tierra principal, para no mezclar los sistemas.*

**Palabras Claves:** Seguridad el3ctrica, Macro shock, Micro shock, Equipotencialidad, Sistema el3ctrico hospitalario, Sistema aislado.

## Abstract

*The intelligent operating rooms mate the best of technology used in electro-medical equipment with the advances in telecommunications and computation. The operating room has evolved from a structure where it exclusively depended on the ability of the physician, to a very complex area where different professionals are responsible for its operation. The present project has the objective to be a technical guide, so that the reader creates his criteria about the electrical security in the hospital, mainly in critical areas like the operating rooms. The success of the present work is in the fulfillment of rules and norms of security, in the electrical implementation, the improvement and intelligent maintenance of the operating rooms, that guarantee normal and continuous operation of the equipment used in operations, and the electrical security of the patient. Technically, the new operating rooms do not have differences in the electrical implementation. The electrical system IT isolated, continues being the main part that allows to give security to the patient, of course, it is clear that their system of monitoring are much more advanced, allowing to give alerts remotely. It is obligatory to use an UPS to provide a pure sine wave to the electrical system of the hospital, that supply to an isolated electrical board and the communication system from the operating room. The earth system is fundamental; all the metallic parts must to be connected to a equipotential bar, and this one is connected towards the main earth, and it is prohibited to mix the systems.*

**Key Words:** Electrical safety, Macro shock, Micro shock, Equipotential, Hospital electrical system, Isolated electrical system.

## 1. Introducción

En el presente trabajo se persigue el desarrollo de una guía técnica de criterios eléctricos, que garanticen el funcionamiento continuo de un quirófano inteligente. Así mismo, se procura mostrar las innovaciones de la estructura eléctrica de los mismos.

Se pretende informar al sistema hospitalario sobre la necesidad de cambiar las actuales estructuras o, en su defecto modernizarlas; también se pretende analizar si los sistemas implementados cumplen con los requerimientos técnicos que garanticen el funcionamiento normal de los equipos utilizados y la seguridad eléctrica de las personas.

El modelo utilizado en este trabajo fue el Hospital Roberto Gilbert, diseñado bajo normas americanas, lo cual estuvo complementado con normas dadas por el NEC y EL REBT.

## 2. Quirófanos Integrados

El quirófano inteligente es una sala quirúrgica, altamente funcional que conjuga la distribución de los equipos médicos e instalaciones; es un quirófano de múltiples especialidades, ergonómico, con integración de equipos, manejo digital de la información y conectividad con el exterior (figura 1).



Figura 1.- Quirófano Integrado

## 3. Normas de Seguridad

Ecuador no posee un reglamento propio, pero se han adoptado directamente las normas emitidas por los organismos internacionales:

\*IEC (International Electrotechnical Commission)

\*NEC (National Electrical Code)

\*IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)

\*ANSI (American National Standards Institute)

La norma UNE 20460-7-710 y la IEC 60364-7-710: 2002-11 establecen los criterios para determinar los sistemas de protección en salas hospitalarias

Clasificación:

- Grupo 0.- son aquellas en las que no se utilizan equipos de electro-medicina aplicados al paciente.
- Grupo 1.- son aquellas en las que se utilizan equipos de electro-medicina aplicados a partes exteriores, pero no al corazón.
- Grupo 2.- son aquellas en las que se utilizan equipos electro-médicos aplicados al corazón o sus cercanías.

### 3.1 Normativa eléctrica en salas de grupo 2

- REGLAMENTO ELECTROTECNICO DE BAJA TENSION ITC-BT-28.- Establece que en todo centro hospitalario debe existir suministro eléctrico normal y complementario.
- NORMA NFPA N° 99.- Uso de sistemas no aterrados, aislados en áreas críticas hospitalarias.
- NORMA IEC 60364-710:2002-11.- Considera la instalación de un sistema de distribución aislada IT.
- NORMA UNE-EN 60601-1-1.- Requisitos de seguridad para sistemas electromédicos.
- NORMA EN 55081-1.- Compatibilidad electromagnética.
- NORMA UL 1022 y UL 1047.- Monitores de aislamiento de línea.

- NORMA NEC 517.-Seguridad eléctrica en hospitales. Sistema de puesta a tierra equipotencial, y resistencia máxima por cada derivación.

### 3.2 Normativa de protección de equipos médicos:

Existen varios organismos que verifican los niveles de protección y seguridad de equipos electrónicos antes de homologarlos, entre ellos:

- AENOR
- IEC
- IEEE

De acuerdo a la protección utilizada:

- **Clase 1.-** Conexión en partes conductoras accesibles a conductor de tierra en forma permanente.
- **Clase 2.-** Doble aislamiento, no existe provisión de una puesta a tierra de seguridad.
- **Clase 3.-** La protección se basa en alimentar a una muy baja tensión de seguridad.

Normativa de protección de equipos médicos de acuerdo al nivel de protección:

- **Tipo B.-** Alto grado de protección contra corriente de fuga y fiabilidad de conexión a tierra, estos equipos no tienen partes aplicadas al paciente.
- **Tipo BF.-** Alto grado de protección con partes aplicadas al paciente, mediante circuitos flotantes.
- **Tipo CF.-** Los equipos clase 1 y clase 2, con alto grado de protección contra corriente de fuga y entrada flotante que se conectan o establecen un camino directo al corazón del paciente.
- **Tipo H.-** Equipos clase 1, clase 2, clase 3, con protección de descargas eléctricas similares a las que producen los electrodomésticos.

### 4. Sistemas de alimentación eléctrica para los quirófanos.

La alimentación normal es la proveniente de la calle y su calidad depende de la empresa proveedora.

El suministro de emergencia se aporta mediante grupos electrógenos.

Se requieren sistemas que aislen eléctricamente la red eléctrica del paciente y de esta forma se rompa el bucle de corriente y se minimicen los peligros de descarga. Este aislamiento eléctrico se realiza principalmente por medio de un transformador especial que convierte el sistema aterrizado en monofásico sin referencia. Ver figura 2



**Figura 2.-Tablero de aislamiento**

Para verificar continuamente la impedancia total del sistema aislado no aterrado, se requiere un monitor de aislamiento de línea (LIM). El sistema no corta el suministro frente a una primera falla.

Los interruptores con detección de falla a tierra (GFCI), se colocan en los tomas fuera del sistema aislado.

Los equipos médicos requieren de un suministro especial, sin variaciones y sin interrupciones, el UPS ON LINE doble conversión garantiza un suministro eléctrico de calidad.

### 5. Fallas en el Suministro Eléctrico

- Corrientes de fuga
- Transientes

- Sobrecargas y Cortocircuitos
- Armónicos y Ruido Eléctrico
- Cortes del Suministro

## 6. Riesgos de Electrocuación

La mayor parte de los tejidos del cuerpo contienen un elevado porcentaje de agua por lo que la resistencia eléctrica que presentan es baja y pueden considerarse como un buen conductor, no obstante, la impedancia de la piel (epidermis) es bastante elevada (200-500K $\Omega$ ) por lo que el cuerpo humano puede considerarse como un conductor volumétrico no homogéneo.

Para que la electricidad produzca daños, el cuerpo humano debe formar parte de un circuito eléctrico.

El efecto de la corriente eléctrica depende de la magnitud de la corriente que circula por el tejido, la frecuencia y el tiempo de exposición.

Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica:

- 500UA –1mA : Umbral de Percepción
- 1mA-10 mA : Nivel de seguridad aceptado ( 5 mA)
- 10mA-70mA : Corriente máxima de pérdida del control del motor
- 70mA- 100mA:Dolor, fatiga, posibilidad de lesiones físicas
- 100mA- 1A : Peligro de fibrilación ventricular
- 1A- 10A: Contracción sostenida del miocardio
- 10A: Quemaduras y Lesiones físicas varias

**6.1.- MACROSHOCK.-** cuando la persona entra en contacto con dos o más puntos a diferente potencial, estos puntos pertenecen a la superficie corporal y una mínima fracción de corriente pasa al corazón.

Cuando el chasis de los equipos no esta debidamente aterrizado se inducen potenciales peligrosos, un contacto accidental puede producir macroshock.

**6.2.- MICROSHOCK.-** es la descarga eléctrica a través de dos puntos, y uno de ellos corresponde al corazón o sus vecindades. Las principales causas de riesgo:

- Defecto o rotura del conductor de puesta a tierra.
- Superficies metálicas cercanas al paciente y no conectadas a tierra.
- Equipos conectados a diferentes potenciales de masas.
- Equipos alimentados a baterías.

## 7. Criterios para la implementación eléctrica de los quirófanos inteligentes

Un quirófano debe tener una instalación eléctrica segura con un sistema de tierra y equipotencial adecuado, con corrientes de fuga por debajo del mínimo, con sistemas aislados que protejan de cualquier riesgo de macroshock o microshock y con suministro seguro y sin interrupciones de energía.

El departamento de equipamiento electro-médico garantiza el funcionamiento normal de los equipos y en caso de nuevas implementaciones, entrega toda información técnica sobre los equipos que funcionarán en cada quirófano.

El departamento eléctrico es el encargado de realizar el diseño eléctrico, basado en el código eléctrico nacional NEC en especial el artículo 517.

Consideraciones técnicas iniciales:

- Seguridad del paciente y personal médico.- Uso de un sistema aislado con monitoreo y protecciones.
- Protección de equipos.- Garantizar energía segura y sin interrupciones sobre todo en equipos que son sostén de vida.
- Electricidad estática.- Es necesario el uso de pisos conductivos (50K $\Omega$ -1M $\Omega$ ).

Los requerimientos de instalación son dados por el fabricante de los equipos. Por ejemplo:

- Capacidad de soporte (en Kg) de la loza o cielo raso.- Para colocación de brazos y soportes.
- Temperatura.- Entre 18° y 21°C.

- Conexión.- Panel aislado.
- Voltaje.- 110V +/- 3%.
- Frecuencia.- 60HZ.
- Sistema de tierra.-  $R < 1\Omega$ .
- Humedad relativa.- 50% y 60%
- Protección adicional recomendada.- Energía regulada suministrada por UPS de tecnología ONLINE.
- Corrientes de fugas.- Máximo valor de seguridad, no mayor a 2mA.

#### Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación (V).
- Consumo dado en potencia (va) o en corriente (a).
- Frecuencia de operación (hz).
- Factor de potencia.
- Eficiencia.
- Nivel de ruido (db).
- Protecciones.

#### Inspección al hospital Roberto Gilbert:

- Alimentación normal de 120v lejos del área de operaciones.
- Alimentación aislada mediante tableros de aislamiento de 5kVA con breakers bipolares de 20 amperios, conductores de fuerza #12 y de tierra # 10.
- El cableado eléctrico se lleva por tubería metálica, aterrizada.
- Tablero de aislamiento ubicado dentro del quirófano cerca de los consumos.
- Las lámparas celiáticas o leds utilizan fuente de poder a 24Vdc, también se alimentan de 120 aislados.
- UPS de 80 kVA online doble conversión protege a todos los quirófanos.

#### Institución hospitalaria # 2:

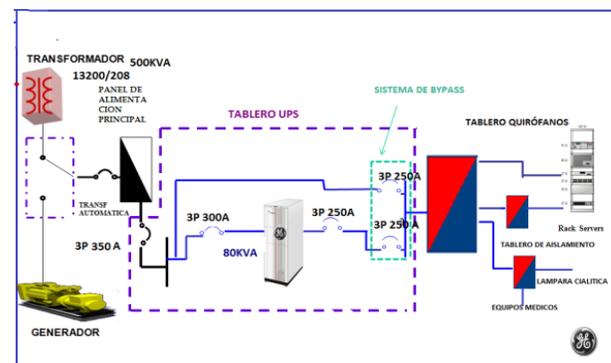
- Tablero de fuente de poder para lámparas leds y para sistemas de video.

- Tablero aislado para equipos que se conectan a pacientes.
- El sistema de comunicación se conecta directo a un tablero de alimentación sistema en estrella con puesta a tierra.
- Control de luces para interactuar con el nivel de iluminación.
- Cableado estructurado categoría 6<sup>a</sup>.
- El sistema de alimentación normal, aislado y estructurado viaja por distintas tuberías.
- Iluminación general mayor a los 1000L, y en lámparas graduable desde 160,000L a 3000L.
- Temperatura promedio de 20 grados graduable de acuerdo al tipo de cirugía.
- Humedad relativa entre el 50% y 60%.

Una tercera institución no utiliza UPS, y el tablero de aislamiento solo alimenta equipos conectados al paciente, el resto de equipos van directo al suministro normal con sistema de generación.

El sistema recomendado como suministro principal de los hospitales es trifásico en estrella, debe poseer protecciones de corto circuitos armónicos, transientes y corrección de factor de potencia; el sistema debe ser sobredimensionado dejando capacidad libre para futuras aplicaciones.

En el Hospital Roberto Gilbert existen sistemas eléctricos que alimentan cargas críticas y sensibles; y otros sistemas para cargas fuertes. Ver figuras 3 y 4.



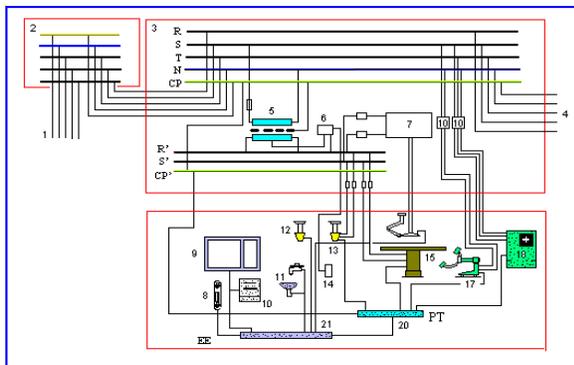
**Figura 3.-Diagrama general de las instalaciones de los quirófanos del Hospital Roberto Gilbert.**

Tableros eléctricos:

- **Tablero principal** -. alimenta iluminación, ups, equipo de cómputo, equipos médicos, tableros de bypass.
- **Tablero de bypass principal**.- permite la selección del suministro eléctrico normal o regulado dado por el ups.
- **Tablero de UPS**.- alimenta los quirófanos y a los equipos que necesitan de energía regulada y sin interrupciones.
- **Tablero normal**.- alimenta equipos que no influyen en la productividad del hospital.
- **Tablero de aislamiento**.- alimenta equipos médicos y lámparas del quirófano.

Sistema de tierra:

- Resistividad del terreno menor a  $1\Omega$ .
- Resistencia entre la puesta a tierra y los puntos eléctricos de tierra menor a  $0.2\Omega$ .
- Barra de tierra equipotencial donde se conectan en forma radial las parte conductoras de los equipos.
- Voltaje no mayor a 10 mV entre barra equipotencial y puntos de conexión a tierra, resistencia menor a  $0.1\Omega$ .



**Figura 4.- Esquema general de instalaciones Eléctricas de los quirófanos.**

Tablas de estimación de cargas en equipos médicos:

- Tipo y número de quirófano.

- Listado de los equipos que van a ser instalados en el quirófano.
- Consumo de cada equipo, potencia en VA.
- Cantidad de equipos y consumos totales.
- Voltaje de alimentación.
- Necesidad de conexión, en el sistema normal aterrizado o en el sistema aislado.
- Carga total por paneles.

Guía técnica:

Las normas recomiendan llevar una guía técnica de los chequeos y mantenimientos realizados en los quirófanos, la información que contiene es:

- Información general.
- Información técnica inicial.
- Información técnica implementación.
- Informes de mantenimientos.
- Cambios realizados.
- Observaciones y conclusiones.

Información general:

- Nombre de la institución hospitalaria.
- Nombre del proyecto.
- Justificación técnica del proyecto.
- Responsables técnicos.
- Ubicación.
- Cantidad y tipos de quirófanos a implementar.
- Potencias de consumo.

Información técnica:

- Levantamiento eléctrico del sistema de alimentación.
- Pruebas realizadas.
- Resumen técnico.

Levantamiento eléctrico:

- Tipo y capacidad del sistema de transformación.
- Tipo y calibre de los conductores eléctricos.
- Tipo y capacidad de las protecciones.
- Estructura del sistema de tierra.
- Medios para visualización de parámetros.

Pruebas realizadas:

- Mediciones de parámetros con instrumentos básicos (consumos, voltaje, frecuencia).
- Medición avanzada de parámetros con el analizador de calidad de energía y osciloscopio (máximos y mínimos de voltaje y consumo, distorsión armónica, corrientes de fuga, aislamiento, etc.).
- Prueba de la calidad del sistema de tierra con medidores especiales (terrómetro o telurómetro.).
- Tabla de resultados.

Resumen técnico:

- Tipo, medidas (calibre) y cantidad del material eléctrico a utilizar.
- Tipo, medidas y cantidad material a utilizar desde los tableros aislamiento hasta el UPS.
- Tipo, medidas y cantidad de material a utilizar desde el UPS hasta el tablero principal.
- Tipo, medidas y cantidad de material a utilizar en el sistema de distribución normal.
- Ubicación, estructura y valores de resistencia de los sistemas de tierra.
- Tablas de estimación de cargas en equipos médicos.
- Medidas de las corrientes de fuga del sistema, resistencia de aislamiento entre conductores y resistencia de la tierra.
- Esquemas y diagramas unifilares.

- Capacidad y características del tablero de aislamiento.
- Planillas del sistema.

## 8. Tipos de mantenimientos en los sistemas de alimentación eléctrica

Muchas instituciones Hospitalarias poseen programas de mantenimiento mayormente orientados a equipo y en menor grado a las instalaciones eléctricas.

De acuerdo a las normas ITC-BT-05 y NEC 517, las verificaciones constantes permiten mantener a los sistemas funcionales y seguros. Los mantenimientos pueden ser simples inspecciones visuales, hasta el desarmado completo de equipos e instalaciones eléctricas, con la finalidad de localizar fallas y/o repararlas.

Los mantenimientos deben ser realizados por personal calificado, estos son:

- Mantenimiento Preventivo Nivel 1.
- Mantenimiento Preventivo Nivel 2
- Mantenimiento Correctivo o de Emergencias

Los hospitales dividen la responsabilidad en los mantenimientos, la razón principal es que no existe una empresa especializada en el manejo de todos los elementos presentes en el quirófano.

## 9. Conclusiones

Se recomienda realizar un levantamiento eléctrico y un análisis de calidad de energía, para establecer si el sistema eléctrico existente, reúne las características técnicas para la implementación del quirófano inteligente.

Un quirófano seguro es el que se implementa siguiendo una cadena de procedimiento; empezando por el diseño, ejecución de la obra y materiales utilizados, pruebas de rigor y mantenimientos inteligentes del sistema.

Para garantizar la seguridad del paciente se debe cumplir con las normas técnicas en este caso el REBT y el NEC; si es posible se recomienda utilizar bajo voltaje de seguridad.

El material utilizado posee características especiales, el conductor eléctrico es conductor de 600V 90º, cubierta de polietileno resistente a humedad y temperaturas extremas.

El cable es # 12 para fases y #10 para tierra, el aislamiento debe ser mayor a 300KΩ. El tablero de aislamiento debe ser normalizado en lo posible con transformado tipo toroidal; los circuitos no aislados deben tener protección GFCI.

Es obligatorio el uso de sistemas UPS; los pisos y paredes conductivos deben poseer una resistencia de 50KΩ y 1MΩ; la humedad relativa debe estar entre 50 y 60%.

## 10. Recomendaciones

En todo hospital se debe realizar un análisis de calidad de energía con los equipos de medición adecuados, los resultados establecerán si es necesario realizar cambios o en su defecto implementar nuevos sistemas para asegurar el funcionamiento normal de los quirófanos.

Para minimizar los riesgos, se recomienda usar muy bajo voltaje de seguridad (24V) para la alimentación de equipos, actualmente luces, cámaras, LCDS funcionan con bajo voltaje. Cuando se realizan sistemas diferentes de alimentación, se debe evitar mezclas entre ellos.

Es recomendable alimentar, todos los equipos usados en los quirófanos, con UPS ONLINE doble conversión con dos horas de respaldo.

Llevar un libro de mantenimiento del sistema eléctricos y de los equipos de monitoreo y de protección.

## 11. Bibliografía

[1] Mardones Oscar, Pabellones Quirúrgicos "STRYKER I- SUITE",  
Http:// [www.stryker.com, chile](http://www.stryker.com, chile) 2009.

[2] Soler Carlos Oscar, Resumen " Instalaciones Eléctricas para uso Hospitalario",  
<http://es.scribd.com/doc/23638772/1-Premio-Seguridad-Eléctrica>, Fecha de consulta abril 2011

[3] Calzada Sáez Sara, Universidad Pontificia Comillas , Instalación Eléctrica en Quirófanos y Paritorios de un Hospital de 182 camas,  
<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4a4499d563b74.pdf>  
Fecha de consulta Abril del 2011

[4] Ing. Bozzano Erardo, Transformador de Aislación de Uso Hospitalario,  
SERVELEC Sistemas de Energía, consulta abril 2011.

[5] Universidad de Alcalá, seguridad eléctrica,  
<http://www.ate.uniovi.es/14005/documentos/mas/seguridad.pdf>

[6] Universidad Carlos 3 de Madrid, Pinedo Daniel, Instalación eléctrica del Hospital de Continuidad de Discapitados Físicos de Toledo, publicación 2009.

[7] AENOR, Reglamento electro-técnico en baja tensión, artículo ITC-BT-38, consulta abril 2011.

[8] NFPA, Código eléctrico nacional (NEC), artículo 517, consultado en abril 2011.