



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



**Elaboración de una guía de lineamientos técnicos
para el diseño de instalaciones eléctricas
hospitalarias enfocados en el área de quirófano.**

AUTOR: ROA TORBELLO, NOHEMI J.

TUTOR: ING. JOSÉ MANUEL NIETO

VALENCIA, JUNIO DE 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS HOSPITALARIAS ENFOCADOS EN EL ÁREA DE QUIRÓFANO.

Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre
Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero
Electricista.

AUTOR: ROA TORBELLO, NOHEMI J.

TUTOR: ING. JOSÉ MANUEL NIETO

VALENCIA, JUNIO DE 2012

Este trabajo de grado fue posible gracias al esfuerzo y desempeño empleado de manera personal durante todo el proceso para cumplir con los objetivos planteados de forma exitosa, lo cual no hubiese sido posible sin el apoyo de esas personas que estuvieron siempre junto a mi apoyándome y orientándome en todo momento, por ello quiero agradecer de manera conjunta

- A los profesores de la Universidad de Carabobo, en especial al Prof. José Manuel Nieto por ofrecerme este tema, además de brindarme todo su apoyo y confianza, ejecutando una excelente tutoría, consejos y enseñanzas. Al igual que la Prof. Eva Monagas, quien además de su participación como jurado del trabajo de grado me oriento de la mejor manera con sus correcciones y recomendaciones.
- Al Ing. Ricardo Vera por su valiosa colaboración y validación de este proyecto a través de la Secretaria Sectorial para el Fortalecimiento del Poder Popular del estado Aragua.
- Al Técnico Rafael Samper, supervisor de CORPOELEC quien con su generosidad dio la oportunidad de recurrir a su experiencia técnica en un marco de afecto y amistad fundamental para concretar este proyecto.
- A la Lic. Saida Campos por su asesoría metodológica durante todo el proceso de la investigación, de la misma forma al Ing. Alfredo Escalona por su destacada e impecable colaboración para la culminación de este proyecto.

Detrás de este triunfo hay muchas personas que de una u otra forma siempre han estado allí dándome su confianza y apoyo, por lo que quiero agradecer y dedicar este éxito:

- Primeramente a Dios todo poderoso, gracias por darme la vida y acompañarme en cada momento de ella, regalándome su amor y fe para seguir adelante aunque el camino se tornara difícil. Solo de tu mano puedo conquistar mis sueños.
- A mis padres, han sido mis guías, ejemplos y fortaleza. Nelly quien ha llenado mi vida de apoyo, comprensión y amor incondicional, se que siempre podre contar contigo madre. José quien me ha orientado y formado bajo los más hermosos valores morales. Gracias por hacer de mí una mujer de bien y alentarme cada segundo de mi vida para seguir mis metas.
- A mis hermanos por estar allí cuando más los necesite David y Willmer, gracias por mis buenos amigos, por creer en mí y compartir este grato momento.
- A mi tía Liliana Torbello, por estar conmigo siempre como mi madre, mi amiga y mi compañera, tu colaboración y apoyo fueron fundamentales para conseguir este éxito.
- A mis familiares, quienes gracias a su apoyo y comprensión logre salir adelante ante toda dificultad, es honor ser parte de ustedes.
- A mis compañeros de clases y más fieles amigos, Duviana Pedraza, Cesar Picón, Wilber Marín, Carlos Pacheco, Félix Guevara, Zoraybeth Peña, Mariela Montañó y demás personas que formaron parte de este proyecto de vida

**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE
INSTALACIONES ELÉCTRICAS HOSPITALARIAS ENFOCADOS EN EL ÁREA DE QUIRÓFANO**

La construcción eléctrica de un quirófano se ha determinado a través de los años como una labor bastante compleja por ello la investigación desarrollada a continuación tiene como objetivo principal, el estudio de los lineamientos para el diseño de los sistemas eléctricos en el área de quirófano, siendo una necesidad la elaboración de una guía técnica para los ingenieros proyectistas de la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua e incluso para cualquier ingeniero que desee implementar un proyecto de esta índole. Esta investigación es de tipo proyectiva, ya que propone soluciones a una situación determinada a partir de un proceso de indagación lo cual implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, por lo cual se desarrollo una exhaustiva revisión y análisis de las diversas normas, reglamentos y estándares emitidos en los últimos años por las instituciones y asociaciones reconocidas a nivel nacional e internacional, orientando los lineamientos a la protección y seguridad eléctrica hospitalaria asentado en las nuevas tendencias tecnológicas de manera tal que los mismos puedan ser utilizado tanto para quirófanos convencionales como para quirófanos inteligentes. La investigación concluye con una herramienta de trabajo llamada checklist la cual permite la implementación de los requerimientos de manera rápida y práctica, además de un programa de recaudación de datos computarizado para llevar un registro periódico de la verificación de resultados.

Tutor:**Ing. José Manuel Nieto****Autor:****Br. Roa Nohemí.**

Índice General

Agradecimientos	III
Dedicatorias	IV
Resumen	V
Índice	VI
Introducción	1
Capítulo I	
Planteamiento del Problema	3
Objetivos	5
Justificación de la Investigación	6
Delimitaciones	8
Capítulo II	
Antecedentes	10
Bases Teóricas	13
Hospital	13
Clasificación de los Hospitales	14
Sala de Operaciones	15
Quirófanos Inteligentes	15
Fallas en el Suministro Eléctrico	16
Riesgo de Electrocutación	21
Normas de Seguridad Hospitalaria	24
Barra Equipotencial	28
Grupos Electrónicos	28
Sistema de Alimentación Ininterrumpida	29
Iluminación	29
Glosario de términos	31

Capítulo III

Marco Metodológico	33
Tipo de Investigación	33
Técnica de Recolección de Datos	35
Fases Metodológicas	37

Capítulo IV

Tipos de Salas de Operaciones	39
Introducción a la Guía de Lineamientos Técnicos	41
Tabla de Contenidos	44
Sistemas Eléctricos	46
Estimación de Carga	46
Selección de Conductores y Canalizaciones	47
Alimentación del Sistema Eléctrico.	52
Tableros.	55
Tomacorrientes.	60
Medidas de Protección	61
Puesta a Tierra.	61
Conexión de Equipotencialidad.	62
Suministro a través de un Transformador de Aislamiento.	62
Protección Diferencial y Contra Sobre Intensidades.	66
Medidas Contra el Riesgo de Incendio.	67
Iluminación	68
Luminaria	68
Lámpara de Quirófano.	69
Rendimiento de Color.	70
Criterios de Iluminación Basados en la IEEE	71

Acondicionamiento de Aires	73
Condiciones mínimas de los Aires Acondicionados	73
Gestiones Operativas	77
Quirófanos Inteligentes	79
Sistema de soporte de equipamiento y suministro (BOOMS).	79
Equipo Biomédico	80
Sistema de Control, Gestión e Integración	81
Checklist	84
Modalidad (1) Formatos de Recolección de Datos Tipo Tablas	85
Modalidad (2) Formato de Recolección de Datos Digitalizados	93
Conclusiones	99
Recomendaciones	101
Referencias	103
Anexos (A,B,C,D)	

Los centros hospitalarios son instituciones que cuentan con instalaciones permanentes donde circula una gran cantidad de personas como médicos, enfermeros, personal administrativo, personal técnico, pacientes, entre otros, ofreciendo diversos servicios de atención para la salud.

Dichos centros poseen áreas asépticas equipadas de aparatos médicos de avanzadas tecnologías, las cuales requieren altos niveles de calidad energética y cumplir con las exigencias de un sistema eléctrico fehaciente y de continuidad.

Se considera el quirófano como una de las áreas de mayor importancia en cuanto a instalaciones eléctricas eficientes y seguras por su alto contenido de equipos médicos tecnológicos, para lograr tal objetivo se necesita el estudio de las normas, criterios y reglamentos, que se deben cumplir para el diseño eléctrico de un área tan compleja como esta.

Actualmente existen muchos estándares y normativas reconocidos a nivel mundial que aplican a la construcción eléctrica de las salas de operaciones, por lo que se hace necesaria la agrupación de un gran compendio de requerimientos para la construcción eléctrica de quirófanos, recaudando la información expuesta en las diferentes normativas de manera tal que se elabore una guía de lineamientos técnicos para el diseño de los mismos, basados en el Código Eléctrico Nacional (CEN-2009), estándares de la IEEE, IEC, Reglamento electrotécnico de baja tensión, entre otros.

Para cumplir con lo antes planteado este trabajo se dividió en cinco capítulos organizados de la siguiente manera:

Capítulo I: En este se introduce la problemática en general, presentando el planteamiento del problema, los objetivos y el alcance del estudio, además se describe los aspectos básicos del problema en estudio.

Capítulo II: Se refiere a las bases teóricas utilizadas en el estudio eléctrico, en este se define los términos que serán empleados durante la redacción de este ejemplar, se explica en que consiste y como está formado el sistema eléctrico enfocado en el área de quirófano, además de los efectos generales de la electricidad sobre el hombre, entre otros detalles técnicos de la instalación.

Capítulo III: En esta sección se describe los diferentes métodos que se utilizaron para cumplir con los objetivos de la investigación aplicando técnicas de recolección de datos y el desarrollo de un flujograma para establecer las etapas bajo la cuales se elabora dicho proyecto.

Capítulo IV: Se presentan los resultados y análisis obtenidos para cada uno de los objetivos a través de la guía de lineamientos técnicos para el diseño de quirófanos y la herramienta de evaluación conocida como checklist desarrollada para facilitar la implementación de las normativas.

Por último se presentan conclusiones y recomendaciones que se desprenden de los estudios planteados, bibliografías consultadas, páginas Web examinadas y los anexos correspondientes.

1.1 Planteamiento del Problema.

El quirófano es una estructura independiente en donde se practican intervenciones quirúrgicas y actuaciones de anestesia-reanimación necesarias para el buen desarrollo de una intervención y de sus consecuencias, que tienen lugar en general en el exterior del mismo [1]. En las últimas décadas, la práctica quirúrgica ha venido evolucionando notablemente con el desarrollo de la tecnología, adquiriéndose de manera progresiva una concepción diferente del entorno quirúrgico mediante la disponibilidad ordenada, cohesionada e integrada de los recursos involucrados en los procedimientos quirúrgicos. En este contexto, se está consolidando en los últimos años un nuevo enfoque para sala de operaciones denominado Quirófano Integrado ó Inteligente.

El quirófano integrado puede definirse como un sistema con infraestructura informática que dispone de la tecnología más avanzada en materia de comunicación quirúrgica, permitiendo controlar algunos o todos los dispositivos y/o funciones de una sala de operaciones de forma centralizada mediante un dispositivo tal como una pantalla táctil o a través de la activación por voz, además posibilita a los cirujanos el trabajo de forma interactiva con otras áreas, permitiendo el acceso en tiempo real a toda la información relativa a los pacientes, como su historia clínica, las pruebas de diagnóstico por imágenes a las que hayan sido sometidos (endoscopia, rayos X, ecografía), entre otros [2].

Cada vez, son más los hospitales a nivel mundial que vienen adquiriendo esta tecnología, sobretodo en los países de Europa, Estados Unidos, Japón, y Australia, mientras que en Latinoamérica, son varios los países que ya disponen de al menos un quirófano integrado (Brasil, Chile, Ecuador, Colombia, México, Costa Rica, Venezuela).

En función a este desarrollo tecnológico en el área quirúrgica, se desea establecer en Venezuela una red interhospitalaria, por lo cual se están instalando quirófanos inteligentes en los hospitales Victorino Santaella de Los Teques, Razzeti de Barcelona, Ruiz y Páez de Ciudad Bolívar, y en el Instituto Autónomo hospital Universitario de los Andes de Mérida [3]. Sin embargo, algunos de estos quirófanos en vista de la configuración y características del equipamiento implementado, presentan limitaciones en su funcionalidad, no cumpliendo a cabalidad con el objetivo inicial que estuvo orientado de ser un quirófano integrado. De esta manera, resulta evidente que no estaba claro para el proyectista los lineamientos necesarios para el diseño de instalaciones eléctricas en las áreas quirúrgicas con este tipo de tecnología de punta, puesto que no se alcanzaron las metas planteadas.

En base a lo antes expuesto, los asesores de proyectos de la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua, por medio del ingeniero proyectista Vera R., consideran que *"si llegásemos a recibir un proyecto de esta magnitud (quirófano o quirófano inteligente) no poseemos un formato que nos dé una orientación apropiada para este tipo de construcciones eléctricas"* haciendo referencia acerca de las condiciones necesarias para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias y las consideraciones básicas para el área de quirófano, ya que tan solo cuenta con la asesoría técnica de CORPOELEC a nivel de distribución.

Esta situación que presentan actualmente los asesores de proyecto de dicho organismo, nos lleva a concebir una problemática con factores de alta incidencia basados en la carencia de unos lineamientos que orienten al proyectista, aunado al posible desarrollo tecnológico interhospitalario planteado por las políticas de gobierno, enfocado en la construcción de quirófanos con un alto contenido de equipos electrónicos de alta tecnología, el cual cabe destacar que junto a las unidades de las oficinas y artefactos eléctricos representan casi el doble del valor económico de la

edificación [4] lo que constituye una gran inversión para el estado, por lo tanto es necesario solventar la situación para lograr la funcionalidad plena de estos quirófanos y concretar de manera firme el desarrollo de esta tecnología en Venezuela. Además, al implementar infraestructuras eléctricas confiables y seguras pueden reducirse los daños a los equipos, pacientes y personal en las zonas quirúrgicas.

Aunque no puede asegurarse un riesgo nulo en una instalación eléctrica la elaboración de una guía de lineamientos técnicos puede ayudar de manera práctica al proyectista en la construcción eléctrica más idónea para las salas de operación, dicha guía estará sustentada por normas, reglamentaciones y bibliografías preexistentes tanto nacionales como internacionales aplicadas en Venezuela. Contribuyendo de esta manera a que el diseño eléctrico de un quirófano deje de ser una labor compleja y solucionar la carencia de un formato que oriente tanto a los organismos referidos como al resto a nivel nacional en dicho ámbito.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivos Generales.

- Elaborar una guía de lineamientos técnicos para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias enfocados al área de quirófanos.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Investigar las normas y reglamentos publicados por las diversas instituciones reconocidas a nivel mundial, para seleccionar los criterios y las exigencias señaladas en estas áreas de centros médicos asistenciales, considerando los estándares de eficiencia energética.
- Diseñar una guía de lineamientos para facilitar al proyectista la creación de instalaciones eléctricas en las salas de operaciones, considerando los criterios de seguridad eléctrica en locales especiales.

- Validar a través de una aprobación por medio de la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua la funcionalidad y aplicabilidad de los lineamientos sugeridos, obteniendo de los mismos una herramienta (checklist) que permita certificar los parámetros técnicos exigidos para futuros proyectos de dicha índole.

1.3 Justificación de la Investigación.

Actualmente, la tecnología en equipos médicos se ha convertido en sinónimo de desarrollo y de bienestar, beneficiando principalmente a los trabajadores y pacientes de los centros asistenciales. Es por esto que en el mundo se ha desarrollado una vertiginosa carrera de tecnologías innovadoras que satisfagan cualquier necesidad presente en la sociedad, a raíz de esta idea, surge el quirófano inteligente el cual es una sala quirúrgica, altamente funcional que conjuga la distribución de los dispositivos médicos e instalaciones de múltiples especialidades, ergonómico, con integración de equipos, manejo digital de la información y conectividad con el exterior. Esta modernización genera grandes costos a los establecimientos hospitalarios, por la tendencia a satisfacer un mayor número de necesidades con la compra de nuevos aparatos eléctricos y electrónicos de alto valor económico.

Debido a esta innovación tecnológica, se hace necesaria la construcción de un sistema eléctrico eficaz, seguro y confiable en estos centros asistenciales que respalde la seguridad eléctrica en el quirófano, no solo por el bienestar de los equipos en caso de fallas eléctricas, sino también la seguridad de los pacientes y el personal que labora en el hospital, ya que los mismos están propensos a riesgos de electrocución. Para ello es necesario cumplir con las normas exigidas, sin embargo Venezuela no cuenta con un reglamento propio, sino que se ha adaptado a los estándares establecidos por las instituciones y asociaciones internacionales como: IEC (International Electrotechnical Commission), IEEE (The Institute of Electrical and

Electronics Engineers), NFPA (National Fire Protection Association), AENOR (Asociación Española de Normalización Y Certificación), entre otros.

Esto nos conlleva a que el diseño de un quirófano se convierta en una labor compleja y, en particular, el diseño de la electrificación, que requiere atenerse a unas normas específicas para salas de hospitales [1]. De esta manera, el ingeniero proyectista de las instalaciones eléctricas, cuando se aboca a la elaboración del proyecto para un hospital debe poseer una noción lo más completa posible de la dinámica hospitalaria, de las actividades a desarrollarse en cada sector y de la interconexión entre las diversas actividades, además de tener un conocimiento generalizado de la seguridad eléctrica [5].

En función a las consideraciones que debe poseer un ingeniero proyectista sobre las instalaciones eléctricas en los centros médicos asistenciales, la complejidad que posee el diseño de un quirófano (sea inteligente o no) y la gran cantidad de criterios existentes, los asesores de proyecto de la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua se ven en la urgencia de tener un instructivo que les proporcione de manera sencilla y eficaz los parámetros técnicos exigidos en este tipo de proyectos.

De allí surge la necesidad de la elaboración de los lineamientos para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias enfocados a quirófanos, el cual puede ser aplicado para salas de operaciones inteligentes o no, de esta manera se facilitará el cumplimiento de las normas y reglamentos de seguridad en la implementación eléctrica, proporcionando además un aporte fundamental a la línea de investigación "*eficiencia energética y calidad de energía*" de la Universidad de Carabobo, partiendo de las investigaciones realizadas con anterioridad por los tesisistas de la escuela de ingeniería eléctrica, los cuales se basaron en el desarrollo de sistemas eléctricos

eficaces, seguros y confiables en el área hospitalaria, orientándose primordialmente en la eficiencia energética de los mismos.

1.4 Delimitaciones.

Los criterios de evaluación de operatividad del sistema eléctrico hospitalario, están actualmente basados en conceptos nacionales e internacionalmente aceptados; de cuya aplicación se derivan modelos de construcción, mantenimiento y remodelación hospitalaria, de esta manera, el objetivo principal de esta guía técnica está enfocado en la construcción de quirófanos de alta eficiencia energética en los centros médicos asistenciales.

Los quirófanos también llamados salas de operaciones, forman parte fundamental de los hospitales y su construcción eléctrica es la más compleja al igual que la unidad de cuidados intensivos (UCI), ya que el resto de las áreas del centro médico forman parte de un sistema eléctrico básico esencial especificado detalladamente en el código eléctrico nacional.

No obstante, se considera pertinente precisar que, a pesar de que las consideraciones del código eléctrico nacional [6] delimitan de manera inequívoca las características técnicas de las instalaciones hospitalarias y de los sistemas de emergencia; no contempla los criterios de clasificación que diferencien un hospital "grande" de un hospital "pequeño", así denominadas por la referida normativa, a pesar de la existencia de una clasificación publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 32650, promulgada el 21 de enero de 1983 que en su Capítulo IV, tipifica los hospitales de acuerdo a un conjunto de características. Este contexto conceptual y normativo, establece los criterios que justifican la importancia de la disponibilidad del sistema de energía de alta calidad en las instalaciones hospitalarias [13].

Por lo tanto, se desea desarrollar estos lineamientos bajo los esquemas planteados por el libro blanco de la IEEE STD 602TM-2007 en sus capítulos 2, 3, 4, 5, 6, el código eléctrico nacional vigente (CEN_2009) capítulo 5 sección 517, la IEC con su norma 60364-710:2002-11, gacetas oficiales de la República Bolivariana de Venezuela número 36574 y 32650, reglamento electrotécnico de baja tensión en su capítulo X destinado a quirófanos. Instaurando un agrupamiento de criterios y normas que permita unificar las mismas, para así obtener un conjunto de pautas mucho más accesibles, de mejor comprensión y factibles en las áreas quirúrgicas del recinto hospitalario.

A los fines de la aplicación de los criterios a desarrollar en la guía de lineamientos técnicos y justificados bajo el marco de la legalidad se podrán contemplar los aportes necesarios para la construcción de un sistema eléctrico que enfocado hacia la sala de operaciones prometa un avance en la línea de investigación de eficiencia energética a nivel hospitalario asentado en las nuevas tendencias de tecnológicas.

2.1 Antecedentes:

BAMBAREN Alatrística, Celso V, ALATRISTA Gutiérrez María Del Socorro. (2007) "Hospitales seguros ante desastres" [4], trabajo de investigación realizado en Perú entre 1982 a 2005 donde se registraron daños en 1.143 establecimientos de salud, generalmente debido a sismos, lluvias e inundaciones. Los daños en los servicios de salud producen la interrupción de la atención de la población y de los programas de salud, así como generan un gran gasto para la rehabilitación y reconstrucción. Esta investigación se orienta a una apreciación económica en materiales y equipos eléctricos que existen en un centro hospitalario, para conocer de esta forma los grandes costos que genera la construcción eléctrica y las grandes pérdidas que pueden existir en caso de no contar con el servicio eléctrico adecuado.

EGUIGUREN Luzuriaga, José F, JIMÉNEZ Espinosa, Ramiro N. (2007) "Elaboración de un manual de procedimientos para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias" [7], trabajo de grado expuesto en la facultad de ingeniería de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, publicado el 4 de agosto de 2010 en su Repositorio Digital. En este trabajo, se pretende dar una visión del problema de la seguridad eléctrica, estudiando los efectos que se pueden presentar en los pacientes y personal del centro de salud, con el propósito de mitigar los eventos en los que accidentalmente miles de personas pierden su vida a mano de equipos con fallas, instalaciones defectuosas, falta de medidas de seguridad entre otros casos. Este proyecto ayuda a definir a través de estadísticas realizadas en el Ecuador la importancia de tener un servicio eléctrico seguro, eficaz y confiable en los centros médicos asistenciales.

FERMIN, Enrique, BALLESTEROS, Manuel. (1971) "Planificación y estudio de un sistema de distribución y canalizaciones eléctricas para un hospital" [5]. Trabajo especial de pre-grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Electricista. El objetivo principal de esta investigación es implementar de manera eficiente la distribución y canalización eléctrica en un hospital y de esta manera poder proporcionar un sistema eléctrico seguro y confiable. A pesar de lo antiguo de la investigación y que no está condicionada a los nuevos reglamentos, la misma posee una idea clara y específica de las actitudes y consideraciones esenciales que debe tener un ingeniero proyectista de las instalaciones eléctricas al ejecutar un proyecto hospitalario.

FLORES, Ángel. (2005) "Diseño de la automatización y control del sistemas de acondicionamiento de aire de los quirófanos ubicados en la torre C de la Clínica la Viña en Valencia" [8]. Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Electricista. A través de este trabajo se pretende automatizar el sistema de aires acondicionados de los quirófanos de la clínica la Viña apegándose a los reglamentos y normas de seguridad hospitalaria con el propósito de mitigar muertes por enfriamiento y generar un mayor confort a los pacientes y trabajadores del centro clínico. Esta investigación proporciona la información básica acerca del servicio eléctrico en los aires acondicionados para los quirófanos, por lo tanto se reconoce el aporte a línea de investigación de la universidad y es base fundamental para la formación de criterios en los lineamientos a desarrollar.

MAURILLO, Erwin, GUZMAN, Nelson, YAPUR, Miguel. (2011) "Criterios para la implementación eléctrica de un quirófano integrado o inteligente" [9]. Trabajo de grado expuesto en la facultad de ingeniería eléctrica y computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral del Ecuador, publicado el 25 de agosto del 2011 en su

Repositorio digital. El presente estudio tiene por objetivo ser una guía técnica, para formar criterios acerca de la seguridad eléctrica en áreas hospitalarias, sobre todo en zonas críticas como los quirófanos. Este trabajo orienta al cumplimiento de reglas y normas de seguridad, en la implementación eléctrica, como también en el mejoramiento y mantenimiento inteligente de los quirófanos proporcionando información fundamental para la eficiencia energética.

MOGOLLÓN, Ramírez Yrina. (2006) "Evaluación de los sistemas de energía auxiliar y la calidad de la energía. caso: "Dr. Rafael Medina Jiménez", Estado Vargas - Venezuela" [10]. 2º Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad, en Montevideo - Uruguay. En este congreso se desea realizar la formulación de una propuesta de gestión de mantenimiento para los sistemas de energía auxiliar, desarrollada sobre la base de un diseño diagnóstico aplicable a las instalaciones hospitalarias, estudiado a través de casos. Por medio del mismo se permite conocer las condiciones de operación de un sistema eléctrico en un centro hospitalario y los requerimientos de mantenimiento necesarios para garantizar una operación confiable.

MONZON, Jorge E, UTRERA, Jesús A. (2007) "Estudio del sistema eléctrico de la policlínica El Morro" [11]. Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Electricista. El presente trabajo se dedicó a la realización de un estudio en el sistema eléctrico de la Policlínica El Morro C.A, el cual verifica en que estatus se encuentra la misma. Tomando como referencias las normativas y requerimientos de seguridad solicitados por el código eléctrico nacional (CEN-2004) y en los Std. IEEE.

PARRA, Luis E. (2008) "Reestructuración del sistema eléctrico del Centro Médico San Joaquín" [12]. Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Electricista. El presente

estudio nos muestra una reestructuración completa de un sistema eléctrico hospitalario siguiendo las normas venezolanas e internacionales como bases legales del proyectista en el respectivo año. A través del mismo se afianzan las teorías lumínicas del quirófano además de los criterios de puesta a tierra y diseño de sistema eléctrico en baja tensión.

2.1 Bases Teóricas:

Es necesario abordar los principales elementos conceptuales referentes a los centros hospitalarios, así como también los tipos de fallas en las instalaciones eléctricas y riesgos eléctricos en el área de quirófano, además de las principales normas y estándares publicados por las diversas instituciones.

2.2.1 Hospital:

Un hospital es un establecimiento donde se proporciona asistencia médica, ahora bien, según el código eléctrico nacional (CEN-2009) en su capítulo 5 sección 517 se define como "un edificio o parte de éste usado para pacientes de cuidado médico, psiquiátrico, obstétrico y de cirugía con base en 24 horas continuas, para cuatro o más pacientes hospitalizados". El término *hospital*, sea cual sea la manera en la cual se emplee en este código, incluirá hospitales generales, mentales, de tuberculosis, de niños y cualquier otra instalación que proporcione cuidado para pacientes hospitalizados [6].

Por otra parte, la gaceta oficial 32.650 publicada en 1983 declara lo siguiente: *"los hospitales prestan atención médica integral y dentro de su organización contarán con camas de observación y hospitalización estos establecimientos destinados a la prestación de servicios de atención médica del sub-sector público deben ajustarse a las características que les correspondan de acuerdo a su clasificación"* [13].

2.2.2 Clasificación de los Hospitales:

La tipificación de los hospitales está establecida en el capítulo IV de la gaceta oficial N° 32.650 desde el 21 de Enero de 1983 [13] donde los ordena de la siguiente manera:

- Hospitales tipo I: se encuentran ubicados en poblaciones desde 20.000 hasta 60.000 habitantes, tienen entre 20 y 60 camas, además presta los servicios básicos: medicina, cirugía, gineco-obstetricia y pediatría. Cuenta con laboratorio, radiodiagnóstico, farmacia, anestesia, hemoterapia y emergencia.
- Hospitales tipo II: se encuentran ubicados en poblaciones mayores a 20.000 habitantes con área de influencia de hasta 100.000 habitantes, tienen entre 60 y 150 camas, podrán desarrollar actividades docentes asistenciales de pre-grado, post-grado, paramédicas y de investigación. Además presta los servicios básicos: medicina, cirugía, gineco-obstetricia y pediatría como también enfermería, trabajo social, dietética y fisioterapia.
- Hospitales tipo III: se encuentran ubicados en poblaciones mayores a 60.000 habitantes con área de influencia de hasta 400.000 habitantes, tienen entre 150 y 300 camas, poseen servicios de medicina, cirugía, gineco-obstetricia y pediatría, dispone como mínimo de 4 nutricionistas y licenciados en enfermería, además de un licenciado farmacéutico, un licenciado en Bioanálisis y cuenta con ingenieros en el departamento de mantenimiento. Podrán desarrollar actividades docentes asistenciales de pre-grado, post-grado, paramédicas y de investigación
- Hospitales tipo IV: se encuentran ubicados en poblaciones mayores a 100.000 habitantes con área de influencia de hasta 1.000.000 de habitantes, tienen más de 300 camas, cuentan con todas las características de un hospital tipo III

además de unidades de larga estancia y albergues, los servicios de cirugía, medicina y especialidades podrán ir aumentando de acuerdo a la demanda.

2.2.3 Sala de Operaciones (quirófano):

Las salas de operaciones también llamadas quirófanos son lugares en donde se realizan procedimientos quirúrgicos que necesitan anestesia, y los equipos básicos para realizar una intervención de esta índole.

El quirófano permite la atención de los pacientes por medio de un grupo interdisciplinario entre ellos: anestesistas, cirujanos, radiólogos, neumólogos, enfermeras de quirófano, auxiliar de enfermería, camillero y demás personal calificado para todos los actos que se hacen bajo anestesia general o local según el acto que debe efectuarse y el estado de salud del paciente. Sin embargo estas áreas deben ocupar un lugar central debido a una evidente necesidad de estar cerca de algunas estructuras de acogida o de hospitalización así como los servicios médico-técnicos y esto debe guiar su construcción en un nuevo hospital [14].

2.2.4 Quirófanos Inteligentes o Integrados:

El quirófano ha evolucionado de manera tal, que ya no es solo una estructura donde se depende exclusivamente de la habilidad del médico, sino que ahora es un área muy compleja y ergonómica donde se requiere de distintos profesionales para su funcionamiento.

“El quirófano inteligente es una sala quirúrgica, altamente funcional que conjuga la distribución de los equipos médicos e instalaciones; posee múltiples especialidades, ergonómico, con integración de equipos, manejo digital de la información y conectividad con el exterior” Maurillo, Guzman, Yapur (2011) [9].

La concepción de los quirófanos integrados representa un gran potencial para el mejoramiento del nivel resolutivo de las actividades y servicios brindados en el entorno quirúrgico, fundamentalmente porque permite mayor eficiencia en el manejo de los recursos involucrados, mejor adaptación de los equipos al cirujano y mayor optimización del tiempo que demanda una intervención [2].

2.2.5 Fallas en el Suministro Eléctrico:

Las fallas más comunes que se presentan en los centros hospitalarios que afectan de manera directa a las zonas de quirófanos son:

- Corrientes de fuga
- Transientes
- Sobrecargas y Cortocircuitos
- Armónicos y Ruido Eléctrico
- Cortes del Suministro

Corrientes de fuga:

La corriente de fuga se define como aquella que se forma normalmente en los chasis conductivos por efectos capacitivos de los componentes electrónicos, en condiciones normales esta corriente se drena a través de la tierra física [15].

"Al hablar de equipo médicos, estas corrientes pueden circular a través del paciente, como consecuencia de una pérdida de aislamiento de los conductores, por fallo de un conductor activo y el chasis del equipo, o por no estar puesto a tierra de manera efectiva" Ajanel J. (2009) [15], se pueden clasificar en:

- **Corrientes de origen resistivo:** Se producen como consecuencia del contacto eléctrico al ponerse a tierra un conductor activo. Habitualmente, si en un equipo se rompe el cable activo, este deja de funcionar y se detecta la falla, pero si se rompe o desconecta el cable de puesta a tierra de las partes metálicas, el usuario no detecta el cambio por lo tanto al cortarse la continuidad del cable de tierra se corta el camino de las corrientes de fuga, en consecuencia, las corrientes fluirán a tierra pasando a través del paciente. Si en esta ocasión éste está protegido por su propia resistencia y el sistema aislado del bloque quirúrgico en óptimas condiciones solo percibirá una sensación. Por el contrario, de producirse el hecho fuera del quirófano y sin la protección del sistema aislado, es probable que percibiría desde un cosquilleo, a una contracción muscular, fibrilación o electrocución, todo depende de la magnitud de la corriente, el tiempo, frecuencia y condiciones de aislamiento, seco o húmedo [15].
- **Corrientes de origen capacitivo:** Se originan debido a los efectos capacitivos que se producen entre líneas o fases y tierra, y pueden deberse a la capacitancia permanente que presentan los conductores de todo sistema de distribución eléctrica a tierra. Esta capacidad varía enormemente de unos sistemas a otros [15].

Transiente:

Toda conmutación produce un arco voltaico y éste se refleja en la onda sinusoidal, en la forma de un pico de voltaje, obviamente capturado por un instrumento con una resolución capaz de graficarlo. Este evento, también es llamado transiente o transitorio de sobrevoltaje o de sobretensión o simplemente pico de voltaje. El hecho es que es una elevación violenta del nivel de tensión en una o mas fases, en tiempos tan

cortos como un nanosegundo, (Billonésima de segundo) llegando a durar hasta 2000 microsegundos (Millonésimas de segundo) [16].

Los niveles de tensión a los que llegan oscilan entre los 50V a picos de 20,000V, siendo este un nivel considerado y registrado por la IEEE, sin embargo se ha podido determinar mayores niveles de sobretensión [16].

Sobrecargas:

Según el CEN-2009 capítulo 1 sección 100, define la sobrecarga como el "funcionamiento de un equipo por encima de su régimen a plena carga, o de un conductor con exceso de corriente sobre su ampacidad de régimen, que de persistir por tiempo suficientemente largo, podría causar daño o sobrecalentamiento peligroso". Donde alega a su vez que una falla, tal como un cortocircuito o una falla a tierra, no se considera una sobrecarga [6].

Las principales causas son:

- Los cortocircuitos que no son aislados oportunamente.
- Exceso de carga (picos de carga, desconexión de circuitos paralelos, entre otros)

Para que la sobrecarga sea una perturbación del sistema ésta es de hasta dos veces la corriente nominal, ya que por encima de este valor se considera como una falla. Dichas sobrecargas producen solo efectos térmicos los cuales aparecen después de un tiempo dependiendo de las características del calentamiento del equipo considerado y de sus condiciones de refrigeración [17].

Cortocircuito:

Un cortocircuito es toda conexión accidental o intencional, a través de una impedancia o resistencia relativamente baja de dos o más puntos de un circuito, los cuales están normalmente a diferentes tensiones. Las corrientes que circulan durante un corto circuito están normalmente limitadas solo por la impedancia de los elementos del sistema entre las fuentes de energía y el punto de falla, habrá que incluir también la posible impedancia de "contacto" en el punto de falla [17].

Las corrientes de cortocircuito son normalmente altas, con la excepción de sistemas puestos a tierra a través de impedancias elevadas o en sistemas aislados. Los efectos térmicos y mecánicos debido a las corrientes de cortocircuito pueden llegar a ser destructivos por lo que conviene suprimir dichas corrientes tan rápido como sea posible [17].

El cortocircuito puede ser por contacto directo (llamado también cortocircuito metálico), como es el caso de dos conductores que se tocan o pueden ser causados por la ruptura de la aislación, como es el caso de arcos que degeneran en cortocircuitos. Las consecuencias del cortocircuito se deben tanto a los efectos de la sobrecorriente como a los efectos de la caída de tensión originados por éste [17]. Las consecuencias son múltiples entre ellas las más comunes:

- Destrucción física del lugar y los equipos involucrados.
- Solicitación térmica en los equipo.
- Caída de tensión que provoca en el resto del sistema una disminución de la capacidad de transferencia de potencia.
- Sobretensiones.

Armónicos:

Los armónicos son distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, o materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal. La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros [17].

Los armónicos crean problemas sólo cuando interfieren con la operación propia del equipo, incrementando los niveles de corriente a un valor de saturación o sobrecalentamiento del equipo o cuando causan otros problemas similares. De igual forma incrementan las pérdidas eléctricas y los esfuerzos térmicos y eléctricos sobre los equipos.

Generalmente los armónicos originan daños al equipo por sobrecalentamiento de devanados y en los circuitos eléctricos, esta es una acción que destruye los equipos por una pérdida de vida acelerada, los daños se pueden presentar pero no son reconocidos que fueron originados por los armónicos. El nivel de armónicos debe estar justamente abajo del límite en el que pueden causar problemas, ya que el incremento de este valor puede presentarse en cualquier momento y pasar a un estado donde no se puedan tolerar [17].

Ruido eléctrico:

Esta referido a las corrientes o tensiones interferentes e indeseadas en aparatos eléctricos o sistemas. El ruido eléctrico, en general simplemente denominado ruido, tiene un importante efecto en cualquier sistema eléctrico que se utilice para

recoger, transmitir o elaborar o presentar información, se puede originar externamente al aparato, en el cual aparece como estático atmosférico, o intermitente, como el ruido térmico de una resistencia. Pueden deberse a la interferencia de aparatos hechos por el hombre, como motores eléctricos o generadores cercanos [21].

2.2.6 Riesgos de Electrocuación:

El 80% de los tejidos del cuerpo contienen agua por lo que la resistencia eléctrica que presentan es baja y pueden considerarse como un muy buen conductor.

"la impedancia de la piel (epidermis) es bastante elevada (200-500 K Ω) 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"
Maurillo, Guzmán, Yapur (2011) [9].

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

- 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

Macroshock

Se determina como macroshock "cuando una persona entra en contacto con dos o más puntos a diferente potencial y dichos puntos pertenecen a la superficie corporal donde una mínima fracción de corriente pasa al corazón" Maurillo, Guzmán, Yapur (2011). Ejemplo: cuando el chasis de los equipos no está debidamente puesto a tierra se induce potenciales peligrosos, un contacto accidental puede producir macroshock [9], tal como se observa en la figura 2.1:

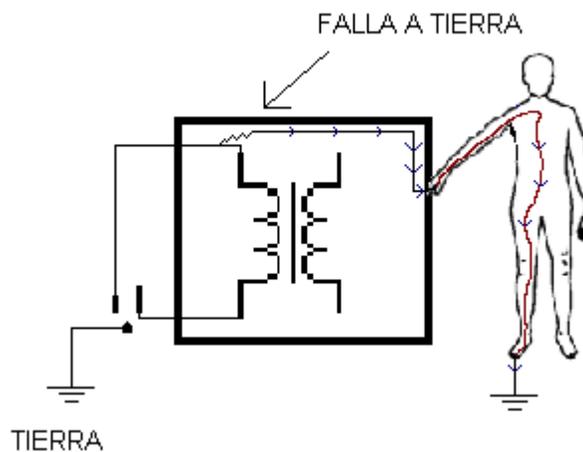


Fig.2.1: Macroshock a consecuencia de un mal aterramiento. Fuente: Ajanel J. (2009). [15]

Los pacientes que se encuentran más recurrente a tener macroshock son los que se encuentran en salas de operaciones y los de cuidados intensivos, ya que estos dependen de la monitorización de sus signos vitales y debido al traslado continuo que reciben como consecuencia de una intervención quirúrgica, los conductores se ven afectados por un trato excedente a lo normal [15].

Microshock

Se determina como microshock a "la descarga eléctrica a través de dos puntos, y uno de ellos corresponde al corazón o sus vecindades" Maurillo, Guzmán, Yapur (2011) [9]. Las principales causas de riesgo son:

- 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

A través de la figura 2.2 podemos observar una de las causas de microshock más comunes en las salas quirúrgicas, como lo son las superficies metálicas cercanas a pacientes no aterradas.

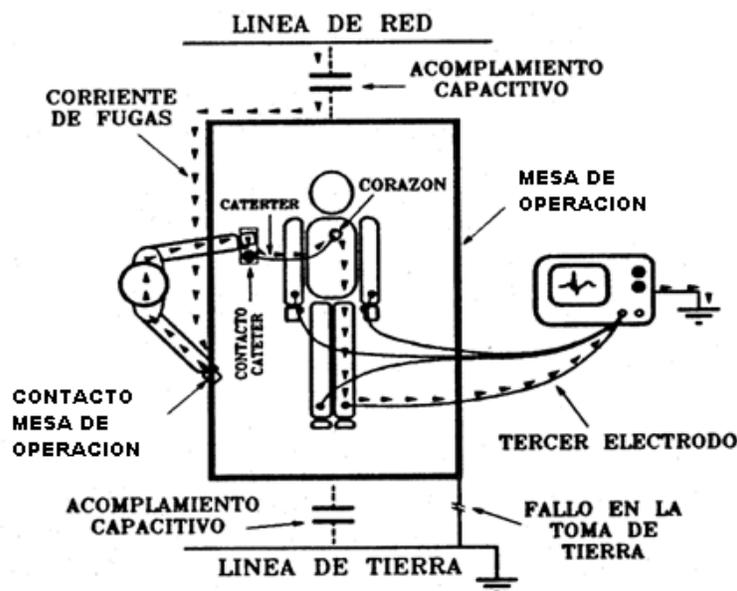


Fig.2.2: Superficie metálica del paciente no conectada a tierra. Fuente: Ajanel J. (2009). [15]

2.2.7 Normas de Seguridad Hospitalaria:

Venezuela se ha adaptado a las normas, reglamentos y criterios internacionales, para la construcción, mantenimiento y remodelación de los sistemas eléctricos. Las instituciones y normas señaladas a continuación son base fundamental en la construcción de sala de operaciones y/o quirófanos inteligentes:

- IEC (International Electrotechnical Commission) [18]
- NEC (National Electrical Code) [6]
- IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) [19]
- REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión) [20]

2.2.7.1 Clasificación de las áreas funcionales:

La norma UNE 20460-7-710 y la comisión internacional de electrotecnia (IEC) 60364-7-710: 2002-11 establecen los criterios para determinar los sistemas de protección en salas hospitalarias, definiendo como grupos de áreas funcionales desde la 0, 1 y 2 donde:

- Grupo 0.- son aquellas en las que no se utilizan equipos de electro-medicina aplicados al paciente [18].
- Grupo 1.- son aquellas en las que se utilizan equipos de electro-medicina aplicados a partes exteriores, pero no al corazón, es decir, corresponde a salas de fisioterapia o hidroterapia, así como salas de diálisis, las cuales requieren sistemas eléctricos tipo TN-S con protección por RCM y sistemas aislados IT con monitoreo [18].

- Grupo 2.- son aquellas en las que se utilizan equipos electro-médicos aplicados al corazón o sus cercanías, es decir, son áreas de tratamiento vital, donde el paciente depende de equipos biomédicos y tratamiento o procedimiento que no puede ser suspendido, corresponde a salas de cirugía, área de anestesia, tratamiento postoperatorio, salas de cuidado intensivo UCI, salas de cateterización y salas de examen angiográfico [18].

2.2.7.2 Normativa eléctrica en salas de grupo 2

- REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN (REBT) capítulo X sección 28.- Establece que en todo centro hospitalario debe existir suministro eléctrico normal y complementario.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA) N° 99.- Uso de sistemas no aterrados, aislados en áreas críticas hospitalarias.
- COMISIÓN INTERNACIONAL ELECTROTÉCNICA (IEC) N° 60364-710:2002-11.- Considera la instalación de un sistema de distribución aislada IT.
- UNA NORMA ESPAÑOLA (UNE) N° 60601-1-1.- Requisitos de seguridad para sistemas electromédicos.
- CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL (CEN) capítulo V sección 517.- Sistema eléctrico esencial para hospitales. Sistema de puesta a tierra equipotencial, y resistencia máxima por cada derivación.

2.2.7.3 Sistemas de Puesta a Tierra en Salas de Grupo 2:

La norma IEC 60364-710:2002-11 considera la instalación de un sistema de distribución aislado IT (neutro del transformador (I) y masa (T)) para áreas de atención a pacientes, donde de ninguna manera puede permitirse interrumpir o aplazar

el procedimiento por una primera falla o caída del suministro eléctrico. Este sistema eléctrico aislado IT, es exigido con monitoreo permanente para alimentar el equipo biomédico y a su vez el mismo es alimentado desde una fuente segura, ya sea por un generador o UPS [18].

La finalidad de este sistema es mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico, a la vez detecta la circulación de corrientes de fuga [18].

El siguiente esquema representado en la figura. 2.3 nos indica una conexión tipo IT:

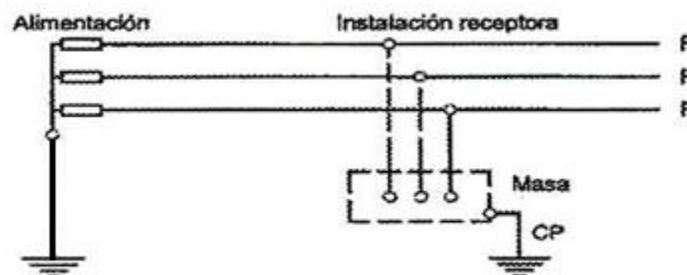


Fig.2.3: Esquema de distribución tipo IT. Fuente: (IEC) Std. N° 60364-710 (2002).

La Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) es una de las más aceptadas a nivel mundial ya que en materia hospitalaria a la fecha tiene las normas más recientes, la cual incluye una mayor seguridad basada principalmente en los adelantos tecnológicos [18].

2.2.7.4 Normativa de protección de equipos médicos:

Existen varios organismos que confirman los niveles de protección y seguridad de equipos electrónicos antes de homologarlos, algunas normativas reconocidas nacional e internacionalmente son las siguientes:

- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR)
- COMISIÓN INTERNACIONAL ELECTROTÉCNICA (IEC)
- INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA (IEEE)

De acuerdo a estos organismos la protección utilizada se clasifica de la siguiente manera:

- **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.

Estas son algunas de las normativas de protección de equipos médicos de acuerdo al nivel [9]:

- **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.

2.2.8 Barra Equipotencial (BE):

Según la IEC norma 60364-710, el CEN-2009 sección 517 y REBT en su sección nº 38 indican que es de gran importancia para los quirófanos la construcción de una barra de equipotencialidad, el cual consiste en una barra que forma parte de una red equipotencial y permite la conexión eléctrica de un número de conductores para fines de eliminación de diferencias de potencial entre partes conductoras, adoptando todos los puntos aproximadamente al mismo potencial.

2.2.9 Grupos Electrónicos:

Un grupo electrónico es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Así mismo, la legislación de los diferentes países puede obligar a instalar un grupo electrónico en lugares en los que haya grandes densidades de personas (centros comerciales, restaurantes, cárceles, edificios administrativos, entre otros.) [22].

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, entre otros, que a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse [22].

2.2.10 UPS:

Un sistema de alimentación ininterrumpida, SAI (en inglés Uninterruptible Power Supply, UPS), es un dispositivo que gracias a sus baterías, puede proporcionar energía eléctrica tras un apagón a todos los dispositivos que tenga conectados. Otra de las funciones de los UPS es la de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red en el caso de usar corriente alterna [23].

Los UPS dan energía eléctrica a equipos llamados cargas críticas, como pueden ser aparatos médicos, industriales o informáticos que, como se ha mencionado anteriormente, requieren tener siempre alimentación y que ésta sea de calidad, debido a la necesidad de estar en todo momento operativos y sin fallos (picos o caídas de tensión) [23].

2.2.11 Iluminación:

Según el CEN-2009 capítulo 1 sección 100 indica que "una unidad completa de alumbrado que consiste de una o conjunto de lámparas con las partes diseñadas para distribuir la luz, colocar en posición y proteger las lámparas y balastos (donde aplique), y conectar las lámparas a la fuente de suministro" [6]. Por lo tanto las luminarias deben cumplir con una serie de requisitos de acuerdo a las funciones que van a cumplir [24].

La norma COVENIN 2249 señala que la iluminación en los centros donde se desarrolle una actividad sanitaria y en general en cualquier lugar de trabajo deberá permitir que los trabajadores dispongan de condiciones de visibilidad adecuadas.

Los parámetros de iluminación están en función de la actividad a realizar y al espacio donde se desarrolla:

- Nivel medio de iluminación
- Índice unificado de deslumbramiento
- Índice de reproducción cromática

Nivel medio de iluminación

La iluminancia o nivel de iluminancia, es la cantidad de flujo luminoso (lúmenes) que emitido por una fuente de luz, llega vertical u horizontalmente a una superficie, dividido por dicha superficie, siendo su unidad de medida el lux.

El sistema de iluminación debe ser diseñado de tal forma que los niveles de iluminación se obtengan en el mismo lugar donde se realiza la tarea, es decir los niveles deben ser medidos a la altura del plano de trabajo, así mismo la tarea debe ser iluminada de la forma más uniforme posible [24].

Índice unificado de deslumbramiento

El deslumbramiento se puede producir cuando existen fuentes de luz cuya luminancia es excesiva en relación con la luminancia general existente en el interior del local (deslumbramiento directo, producido por luz solar o artificial), o bien, cuando las fuentes de luz se reflejan sobre superficies pulidas (deslumbramiento por reflejos o deslumbramiento indirecto) [24].

Índice de reproducción cromática

El color de un espacio o local iluminado artificialmente, dependerá de la lámpara seleccionada y concretamente de dos parámetros de la lámpara: índice de reproducción cromática (RA) y su apariencia de color dada por su temperatura de color.

El índice de reproducción cromática, caracteriza la capacidad de la fuente de luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia. Mientras más alto sea este valor mejor será la reproducción del color. Por otra parte, la temperatura de color caracteriza la tonalidad de la luz emitida [24].

Respecto a la temperatura de color, se recomienda utilizar tonos cálidos para la zona de acceso y salas de espera, tonos fríos para las áreas técnicas y tonos neutros para el resto de los espacios.

2.3 Glosario de términos:

Biomédico: proviene del termino biomedicina el cual no se relaciona con la práctica de la medicina, sino aplica todos los principios de las ciencias naturales en la práctica clínica mediante el estudio e investigación de los procesos fisiopatológicos considerando desde las interacciones moleculares hasta el funcionamiento dinámico del organismo a través de las metodologías aplicadas en la biología, química y física.

Combustión: es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de calor y luz.

Conectividad: es la capacidad de un dispositivo (ordenador personal, periférico, PDA, móvil, robot, electrodoméstico, automóvil, etc.) de poder ser conectado (generalmente a un ordenador personal u otro dispositivo electrónico) sin la necesidad de un ordenador, es decir en forma autónoma.

Electrógenos: es una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico.

Electrotecnia: estudio de las aplicaciones técnicas de la electricidad y magnetismo.

Homologación: acción y efecto de equiparar, registrar y poner en relación de igualdad objetos, hechos, organismos, etc., a través de una autoridad y con arreglo a ciertas normas o características

Infraestructura: conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para el funcionamiento de una organización o para el desarrollo de una actividad.

Legislación: se denomina legislación al cuerpo de leyes que regularán determinada materia o ciencia o al conjunto de leyes a través del cual se ordena la vida en un país, es decir, lo que popularmente se llama ordenamiento jurídico y que establece aquellas conductas y acciones aceptables o rechazables de un individuo, institución, empresa, entre otras.

Macroshok: shock producido por una corriente eléctrica de un miliamperio (mA) o mayor.

Microshock: paso de corriente directamente al tejido cardíaco.

Rehabilitaciones: es el término para describir la acción de habilitar de nuevo o restituir a alguien o algo a su antiguo estado.

Resolutivo: que tiene la propiedad de favorecer o resolver con facilidad.

Tensión: voltaje o diferencia de potencial, es una magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado, provocando el flujo de una corriente eléctrica.

3.1 Marco Metodológico:

El objetivo primordial es definir las técnicas a seguir en la realización del proyecto en estudio y de esta manera alcanzar cada uno de los objetivos propuestos a través de una metodología científica. Aunque este método no es el único camino para la obtención de conocimientos científicos es actualmente la vía más factible para la investigación; por lo tanto se le considera como el método general de la ciencia ya que posee una gran variedad de instrumentos indispensables para llevar a cabo un proyecto investigativo.

3.2 Tipo de Investigación:

La investigación científica según Arias F. [25] es un *"proceso metódico y sistemático dirigido a la solución de los problemas o preguntas científicas, mediante la producción de nuevos conocimientos los cuales constituyen la solución o respuestas a tales interrogantes"*, por lo tanto es fundamental en la presente investigación la aplicación del método científico porque sus técnicas facilitarán la elaboración de los lineamientos para el diseño de instalaciones eléctricas en las salas de operaciones.

Ahora bien, basados en las explicaciones realizadas por Hurtado [26], la investigación es de tipo proyectiva, ya que se dice que *"este tipo de investigación propone soluciones a una situación determinada a partir de un proceso de indagación. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio"*. En esta categoría entran los proyectos que involucran el diseño o creación de algo en base a un proceso investigativo.

Por lo tanto, éste se adapta perfectamente al proceso de indagación que precisa este proyecto, enfocado en la necesidad que presenta la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua, la cual carece de una guía de lineamientos técnicos para el diseño de instalaciones eléctricas en el área de

quirófano que proyecte de manera sencilla, práctica, moderna y bajo el marco de la legalidad los procedimientos necesarios para la construcción de un sistema eléctrico seguro y confiable. De allí surge su carácter exploratorio donde amerita conocer los aportes de los trabajos previos, delimitar el tema y crear una herramienta elemental para la implementación de proyectos en estas áreas de salud.

La descripción de la investigación se sustenta en conocer de manera detallada la información mas actualizada acerca de las principales normas, leyes, gacetas oficiales, estándares y criterios que soportan las bases teóricas de la investigación, logrando de esta forma la identificación de las características a estudiar de manera puntualizada.

El carácter explicativo, es definido por Hurtado [26] como aquel donde *"se buscan las razones y los mecanismos por los cuales ocurren los procesos estudiados"* lo que será aplicado al momento de emplear un análisis a los sistemas eléctricos en las áreas de quirófanos propuestos por los diferentes estándares, normas y criterios, considerando los desarrollos tecnológicos, el origen de las diferencias obtenidas entre estas normas y como afecta de manera directa al desarrollo de la investigación.

Una vez superadas las fases anteriores se podrá realizar la propuesta de una serie de lineamientos para el diseño de instalaciones eléctricas en las áreas ya definidas con anterioridad, logrando enmarcar dicha investigación en un diseño documental a partir de estudios secundarios, según Arias F. [25], el diseño documental *"se fundamenta en la utilización de documentos, datos y cifras obtenidos anteriormente por organismos oficiales, archivos, instituciones públicas o privadas, entre otros"*. En este mismo orden de ideas Hurtado J. [26] considera este tipo de investigaciones como un diseño de fuentes mixtas ya que cuenta con fuentes vivas o directas y fuentes documentales, por lo tanto apoyándonos en este concepto se

considera que el proyecto cumple con las características esenciales en este tipo de investigación científica.

3.3 Técnicas de Recolección:

De manera simplificada y ordenada se describen las técnicas e instrumentos de recolección de datos que se ejecutarán para obtener la información necesaria para el desarrollo de los lineamientos y por consiguiente el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos y alcance de la investigación.

3.3.1 Técnica de Observación Documental y Bibliográfica:

La mayoría de las investigaciones deben apoyarse en la técnica de la observación documental o bibliográfica para brindar todo el soporte del marco teórico lo que significa que se percata de lo que esta escrito o relacionado con el tema de investigación, esta técnica se considera indispensable para el estudio de cualquier proyecto.

Existen dos tipos de fuentes primarias y secundarias, se considerará primarias a aquellas escritas por un autor como también artículos, patentes, entrevistas, observación directa o experimental o por cuestionario y secundarias a todas aquellas cuando incluya fragmentos o ideas de otros autores [26]. Se utilizarán como fuentes primarias por ser la investigación de tipo fuentes mixtas los libros, artículos, patentes y entrevistas, entre ellos podemos nombrar el libro blanco de la IEEE, CEN_(2009), la norma IEC, Reglamento electrotécnico de Baja tensión ITC-BT-28, entre otras.

Así mismo se consideran como fuentes secundarias todos aquellos trabajos de investigación que dieron apoyo a las bases teóricas, cada uno de estos fueron elaborados con una gran variedad de referencias entre los cuales se puede nombrar

Ramírez Y., Bambaren, Flores A., Fermín E. y demás trabajos realizados por otros investigadores relacionados con este proyecto en desarrollo.

3.3.2 Entrevistas:

Esta técnica más que un simple interrogatorio consiste en la recolección de información por medio de consultas a personal calificado que pueda brindar aportes a la investigación, ahondando en el área de especialización del entrevistado. De esta forma se podrán realizar entrevistas de manera personal, directa e inmediata a los trabajadores que laboran en las áreas donde se centra el proyecto, en este caso algunos ingenieros proyectistas que laboran en la secretaría sectorial del estado Aragua.

Inicialmente uno de los entrevistados fue el Ing. Ricardo Vera asesor de proyectos de la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua, del cual se obtuvo respuestas importantes que orientaron la investigación, el mismo hizo énfasis en la carencia de los lineamientos y la contribución trascendental que tendría esta guía de ser aplicada en la institución donde labora. Efectuándosele al mismo una entrevista corta y no diversificada; aplicando como instrumento la guía de entrevista recomendada por Hurtado J. [26] en donde el investigador señala los temas o entornos a los cuales va a preguntar tratando de ahondar en aspectos especiales.

Las preguntas realizadas durante el encuentro, han sido previamente analizadas y seleccionadas por su nivel de importancia respecto al tema para guiar la entrevista como lo sugiere Bavaresco A. [27], a continuación se presenta el instrumento de recolección de datos aplicado a la entrevista:

República Bolivariana de Venezuela
Universidad de Carabobo
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica

Por medio de la siguiente entrevista me dirijo a Ud. A fin de recaudar la mayor información posible acerca de los lineamientos técnicos empleados por los proyectistas de la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua respecto a la construcción eléctrica de salas de operaciones en centros médicos asistenciales, a continuación las siguientes interrogantes:

1. ¿Existe algún lineamiento técnico bajo el cual su institución se guía para el diseño y construcción de las instalaciones eléctrica hospitalarias en el área de quirófano?
2. ¿Considera usted importante tener estos lineamientos técnicos para el diseño de instalaciones eléctricas enfocados hacia el área de quirófano en su institución?
3. ¿Que aspectos cree usted que deben considerarse como prioritarios en esta guía de lineamientos técnicos?
4. ¿Bajo que normativas o legalidades se rige esta institución para la elaboración de instalaciones eléctricas en centros médicos asistenciales?
5. ¿Desea agregar alguna otra información acerca del tema planteado?

3.4 Fases Metodológicas:

Esta descripción no solo permitirá verificar que el procedimiento utilizado cumple a cabalidad con los requerimientos científicos sino que hará posible que otros investigadores puedan apoyarse en la información para investigaciones similares en otros contextos. Por lo tanto a través de un flujograma de fases se establecerá las etapas a seguir para la realización de la guía técnica tomando en cuenta todos los objetivos y alcances planteados en este proyecto. La descripción del proceso se presenta a continuación en la figura 3.1.

Recolección de la Información:

Se investigan las normas, reglamentos y criterios necesarios para conocer todas las exigencias señaladas a nivel eléctrico en las áreas quirúrgicas.

En base a esta investigación se deben obtener los mejores y más actualizados estándares y criterios, tanto nacionales como internacionales considerando la eficiencia energética.

Esquema de la Investigación:

Se evaluarán, estudiarán y analizarán las normas, reglamentos y criterios establecidos, a través de los métodos de investigación documental.

Se diseñará una guía de lineamientos para facilitar al proyectista la construcción de instalaciones eléctricas en áreas hospitalarias enfocada a la zona de quirófano, considerando la seguridad eléctrica en los mismos.

Validación la Investigación:

Certificar a través de la aprobación de la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua la funcionalidad y aplicabilidad de los lineamientos sugeridos, como una herramienta que permita certificar los parámetros técnicos exigidos para futuros proyectos de dicha índole.

Conclusiones y Recomendaciones

Fig. 3.1: Fases Metodológicas. Fuente: Roa N. (2012).

Tipos de Salas de Operaciones:

La guía de lineamientos técnicos para el diseño de salas quirúrgicas se basará en dos tipos de quirófanos, uno es el modelo convencional o tradicional y el otro será el quirófano inteligente o integrado, ambos poseen ciertas características que los definen y comparten algunos requerimientos para su construcción, obsérvese las siguientes tablas 4.1 y 4.2 que los determinan:

Tabla 4.1: Características y requerimiento de quirófano convencional, Fuente: Roa N. (2012).

Quirófano Convencional	
Características	Requerimientos
<ul style="list-style-type: none"> • Posee los equipos electrónicos básicos para la realización de una intervención quirúrgica como: mesa, equipo desfibrilador, carro de anestesia, entre otros. • La cirugía dependerá de un grupo interdisciplinario calificado como el siguiente: anestesistas, cirujanos, enfermeras de quirófano, auxiliar de enfermería, camillero, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un sistema eléctrico eficaz, seguro y continuo. • Medidas de protección necesaria para los equipos así como también para el personal y pacientes. • Iluminación adecuada en el área quirúrgica. • Sistema básico de acondicionamiento de aires.

Tabla 4.2: Características y requerimiento de quirófano inteligente, Fuente: Roa N. (2012).

Quirófano Inteligente	
Características	Requerimientos
<ul style="list-style-type: none"> • Posee los equipos electrónicos tanto básicos como de avanzadas tecnologías para la realización de una intervención quirúrgica como: bisturí eléctrico, mesa, equipo desfibrilador, carro de anestesia, brazos con tomas, lámparas móvil, monitor, entre otros. • Esta sala quirúrgica es altamente funcional que conjuga la distribución de los equipos médicos e instalaciones; posee múltiples especialidades, ergonómico, con integración de equipos, manejo digital de la información y conectividad con el exterior. Además distintos profesionales son responsables de su funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un sistema eléctrico eficaz, seguro y continuo. • Medidas de protección necesaria para los equipos tanto básicos como modernos así como también para el personal y pacientes. • Iluminación adecuada en el área quirúrgica basada en las nuevas tendencias tecnológicas. • Sistema básico de acondicionamiento de aires tipo "velo". • Sistema de soporte de las estructuras de montaje para equipos, suministros, monitores y lámparas. • Líneas eléctricas para las estructuras de montaje.

Guía de lineamientos técnicos para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias enfocados al área de quirófano.

El sistema de instalaciones eléctricas para un centro hospitalario debe conceptuarse y desarrollarse de forma diferente a una instalación destinada para otros usos. En efecto hay aspectos técnicos que deben considerarse relevantes, en consecuencia nacen las consideraciones específicas en este tipo de centros.

Actualmente existen grandes avances en materia de ingeniería hospitalaria y se tiene conciencia de los peligros que implica las instalaciones eléctricas defectuosas, mal diseñadas, mal ejecutadas, sin puesta a tierra, ni equipotencialización, entre otras situaciones que ponen en riesgo la vida del personal y pacientes del centro médico, lo que hace necesaria la implementación de lineamientos que cubran las normativas, criterios y estándares actualizados bajo el desempeño de la seguridad eléctrica y eficiencia energética.

Una de las áreas de construcción eléctrica de mayor complejidad es el quirófano el cual ha evolucionado desde una estructura donde se dependía exclusivamente de la habilidad del médico, a un área donde distintos profesionales son responsables de su funcionamiento, acoplado lo mejor de la tecnología con los avances en materia de energía eléctrica y telecomunicaciones.

En base a lo antes expuesto se ha elaborado una guía de lineamientos técnicos para cumplir con todas los reglamentos y normativas necesarias para el diseño de instalaciones eléctricas en el área de quirófanos, haciendo de esta labor una tarea fácil y práctica para el ingeniero proyectista a través de un checklist donde se resaltan los aspectos más importantes de cada capítulo.

En la tabla 4.3 se puede observar la selección previa de las normativas y reglamentos investigados con las cuales se consumará la guía de lineamientos técnicos

para el diseño de quirófanos, la tabla refleja según los componentes del área quirúrgica y sus descripciones eléctricas enfocados al tipo de sala de operación la norma que se le aplica a la misma.

Tabla 4.3: Normativas y reglamentos seleccionados para la creación de la guía de lineamientos según el tipo de quirófano, Fuente: Roa N. (2012).

Tipo de Quirófano	Componentes del área quirúrgica.	Especificaciones Eléctricas	Norma que Aplica
Convencional	Terreno	Resistividad.	CEN-2009 capítulo V sección 517. REBT capítulo X. Norma IEC 60364-710
		Conexión equipotencial.	
		Puesta a tierra	
	Pisos	Antielectrostáticos y resistencia de aislamiento.	REBT capítulo X
	Equipos quirúrgicos.	Suministro eléctrico y canalizaciones.	REBT capítulo X. CEN-2009 capítulo V sección 517 Norma COVENIN 542 tableros. Gaceta oficial 36574
		Conexión y niveles de puesta a tierra.	CEN-2009 capítulo V sección 517. Norma IEC 60364-710
		Transformador de aislamiento.	CEN-2009 capítulo V sección 517. Norma IEC 60364-710
		Protección Diferencial y contra sobre corrientes	REBT capítulo X.
	Luminarias y Lámpara de quirófano.	Suministro de energía.	REBT capítulo X
		Iluminación, calidad de color, campo iluminado.	Norma COVENIN 2249. IEEE Std. 602-2007 capítulo 6.
	Acondicionamiento de Aires y ventilación.	Suministro eléctrico	REBT capítulo X.

Tabla 4.3 (Continuación)

Inteligente	Terreno	Resistividad.	CEN-2009 capítulo V sección 517.
		Conexión equipotencial.	REBT capítulo X.
		Puesta a tierra	Norma IEC 60364-710
	Pisos	Antielectrostáticos y resistencia de aislamiento.	REBT capítulo X
	Equipos quirúrgicos.	Suministro eléctrico y canalizaciones.	REBT capítulo X. CEN-2009 capítulo V sección 517 Norma COVENIN 542 tableros. Gaceta oficial 36574
		Conexión y niveles de puesta a tierra.	CEN-2009 capítulo V sección 517. Norma IEC 60364-710
		Transformador de aislamiento.	CEN-2009 capítulo V sección 517. Norma IEC 60364-710
		Protección diferencial y contra sobrecorrientes	REBT capítulo X.
		Sistema de soportes de estructura móvil.	Guía tecnológica para quirófanos integrados Boltecno n°29
		Suministro de energía.	REBT capítulo X
	Luminarias y Lámpara de quirófano.	Iluminación, calidad de color, campo iluminado.	Norma COVENIN 2249. IEEE Std. 602-2007 capítulo 6.
		Sistema de soportes de estructura móvil.	Guía tecnológica para quirófanos integrados Boltecno n°29
		Suministro de energía.	REBT capítulo X.
	Monitores	Sistema de soportes de estructura. Ductos para video y datos.	Guía tecnológica para quirófanos integrados Boltecno n°29
		Suministro eléctrico.	REBT capítulo X.
	Acondicionamiento de Aires tipo "velo" y ventilación.	Suministro eléctrico.	REBT capítulo X.

Para ambos quirófanos aplica un sistema de alimentación tipo IT especificado en la norma IEC 60364-710. Es evidente que la diferencia entre una sala de intervención convencional y una integrada se basa en los componentes del área quirúrgica, dado que las salas inteligentes poseen un alto contenido de equipos

tecnológicos lo que amerita mayor contenido de canalizaciones, protecciones eléctricas, sistemas de soportes, entre otros detalles que inciden en el campo de especificaciones técnicas, sin embargo las normas, reglamentos y guías técnicas de instalación proporcionan la información necesaria para la construcción eléctrica de estas áreas y sus respectivos componentes. De esta manera considerando las normativas planteadas en la tabla 4.3 se estableció que la elaboración de dichos lineamientos serán desarrollados bajo el siguiente esquema de jerarquización:

Tabla de Contenidos

Capítulo 1: Sistema Eléctrico del Quirófano.

- Estimación de la Carga.
- Selección de Conductores y Canalizaciones.
- Alimentación del Sistema Eléctrico.
- Tableros.
- Tomacorrientes.

Capítulo 2: Medida de Protección.

- Puesta a Tierra.
- Conexión de Equipotencialidad.
- Suministro a través de un Transformador de Aislamiento.
- Protección Diferencial y Contra Sobre Intensidades.
- Medidas Contra el Riesgo de Incendio.

Capítulo 3: Iluminación.

- Luminarias y Lámpara de Quirófano.
- Rendimiento de Color.
- Criterios de Iluminación Basados en la IEEE.

Capítulo 4: Acondicionamiento de Aires.

- Condiciones Mínimas de los Aires Acondicionados.
- Gestiones Operativas.

Capítulo 5: Quirófanos inteligentes.

- Sistema de Soporte de Equipamiento y Suministro (BOOMS).
- Equipamiento Biomédico
- Sistema de Control, Gestión e Integración.

Capítulo 6: Checklist

- Modalidad (1) Formatos de Recolección de Datos Tipo Tablas
- Modalidad (2) Formato de Recolección de Datos Digitalizados

1. Sistema Eléctrico del Quirófano:

Un quirófano debe tener una instalación eléctrica segura con un sistema de tierra y equipotencial adecuado, con corrientes de fuga por debajo del mínimo (2 mA), con sistemas aislados que protejan de cualquier riesgo de macroshock o microshock además de un suministro seguro y sin interrupciones de energía, considerando como técnicas iniciales las siguientes:

- 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.

Para cumplir a cabalidad con estas exigencias técnicas es necesario implementar las siguientes etapas:

I. Estimación de la Carga:

Es necesario para la construcción de un sistema eléctrico en el área quirófanos una estimación de la carga en equipos médicos, según el capítulo 2 Sección 220 del CEN-2009 plantea los parámetros para determinar el número de circuitos ramales necesarios y para calcular las cargas del circuito alimentador, además de los circuitos ramales y de las acometidas. Para ello se recomienda considerar los siguientes puntos:

- Tipo de quirófano (básico / inteligente).
- Listado de los equipos que van a ser instalados en el quirófano.
- Cantidad de equipos.
- Consumo de cada equipo (potencia en VA).

- Voltaje de alimentación.
- Necesidad de conexión, en el sistema normal puesto a tierra o en el sistema aislado.
- Demanda máxima.
- Carga total a instalar.
- Factores de Demanda.
- Factor de carga.

Esto le da una herramienta al planificador para lograr el diseño y desarrollo de un sistema eléctrico integral tanto en lo económico como en lo eficaz y seguro, enfocado en la optimización de las áreas quirúrgicas a través de los criterios de eficiencia energética hospitalaria.

II. Selección de Conductores y Canalizaciones:

Todos los conductores serán seleccionados a través de la tabla 310.16 del Código Eléctrico Nacional vigente (CEN-2009) la cual indica el calibre del conductor en American Wire Gage (AWG) escala utilizada desde hace muchos años en Venezuela, seleccionados según el aislante, temperatura del conductor y material de conductor (cobre, aluminio o aluminio recubierto de cobre). Para comprender lo antes expuesto a continuación obsérvese la figura 4.1 de manera detallada:

Tabla 310.16 Ampacidades Admisibles de los Conductores Aislados para Tensiones Nominales de 0 a 2000 Voltios y 60°C a 90°C (140°F a 194°F) con No Más de Tres Conductores Portadores de Corriente en Una Canalización, Cable o Directamente Enterrados, Basadas en Una Temperatura Ambiente de 30°C (86°F).

Calibre de los Conductores AWG/ kcmil	Regimen de Temperatura del Conductor (véase la Tabla 310.13)						Calibre de los Conductores AWG/ kcmil
	60° C (140°F)	75° C (167°F)	90° C (194°F)	60° C (140°F)	75° C (167°F)	90° C (194°F)	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18	....	....	14	....	....	....	....
16	....	....	18	....	....	....	....
14*	20	20	25	....	....	....	....
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000
FACTORES DE CORRECCION							
Temp. Ambiente (°C)	Para Temperaturas Ambiente Distintas de 30°C, (86°F) : se Multiplican las Ampacidades Anteriores por los Factores Apropriados Siguietes:						Temp. Ambiente (°F)
21 - 25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	70-77
26 - 30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	78-86
31 - 35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	87-95
36 - 40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	96-104
41 - 45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	105-113
46 - 50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	114-122
51 - 55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	123-131
56 - 60	....	0,58	0,71	....	0,58	0,71	132-140
61 - 70	....	0,33	0,58	....	0,33	0,58	141-158
71 - 80	....	....	0,41	....	....	0,41	159-176

Nota: * Véase 240.4 (D)

Fig. 4.1: Tabla 310.16 Fuente: CEN-2009

Se debe tomaren cuenta los siguientes criterios de diseño para la elección de los mismos:

- Los cables serán elegidos por ampacidad debido a que las distancias son cortas y la caída de tensión puede ser despreciable.
- Se recomienda conductor de cobre con aislante tipo THHN
- La temperatura ambiente media será de 30°.
- 15% de reserva en el conductor.
- El calibre mínimo a instalar en el sistema de potencia será de 12 AWG.
- No más de tres conductores activos por ducto.

El neutro será seleccionado según la sección 220 del mismo código la cual dicta que para cargas monofásicas el calibre del cable de neutro será igual al calibre de la fase. Los cables a emplear en la instalación interior serán no propagadores de incendios y con emisión de humos y opacidad. (Véase Anexos A)

Estos criterios serán aplicables tanto para sala de operaciones convencionales como para quirófanos inteligentes.

Tomando en cuenta los factores determinantes en el área de quirófanos, entre ellos su constitución, destino y prioridades se plantea como opción principal para las canalizaciones un sistema de tuberías.

La función de dichas tuberías es la protección del cable por lo tanto sus accesorios deben ser resistentes, flexibles y no magnéticos (PVC), de montaje empotrado o superficial, según ITC-BT-21 (obsérvese la fig. 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5) donde

se señalan las características mínimas que deben poseer las tuberías en caso de ser aéreas o empotradas. (Obsérvese Anexos A).

Característica	Código	Grado
Resistencia a la compresión	2	Ligera
Resistencia al impacto	2	Ligera
Temperatura mínima de instalación y servicio	2	-5°C
Temperatura máxima de instalación y servicio	1	+60°C
Resistencia al curvado	1-2-3-4	Cualquiera de las especificadas
Propiedades eléctricas	0	No declaradas
Resistencia a la penetración de objetos sólidos	4	Contra objetos $D \geq 1$ mm
Resistencia a la penetración del agua	2	Contra gotas de agua cayendo verticalmente cuando el sistema de tubos está inclinado 15°
Resistencia a la corrosión de tubos metálicos y compuestos	2	Protección interior y exterior media
Resistencia a la tracción	0	No declarada
Resistencia a la propagación de la llama	1	No propagador
Resistencia a las cargas suspendidas	0	No declarada

Fig. 4.2: Características mínimas para tubos en canalizaciones empotradas ordinarias en obra de fábrica (paredes, techos y falsos techos), huecos de la construcción y canales protectoras de obra. Fuente: ITC-BT-21 (2006). [20]

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	25
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	20	25	32	32	40
25	25	32	40	40	50
35	25	40	40	50	50
50	32	40	50	50	63
70	32	50	63	63	63
95	40	50	63	75	75
120	40	63	75	75	--
150	50	63	75	--	--
185	50	75	--	--	--
240	63	75	--	--	--

Fig. 4.3: Canalizaciones empotradas, diámetros exteriores mínimos de los tubos en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir. Fuente: ITC-BT-21 (2006). [20]

Característica	Código	Grado
Resistencia a la compresión	4	Fuerte
Resistencia al impacto	3	Media
Temperatura mínima de instalación y servicio	2	-5°C
Temperatura máxima de instalación y servicio	1	+60°C
Resistencia al curvado	4	Flexible
Propiedades eléctricas	1/2	Continuidad/aislado
Resistencia a la penetración de objetos sólidos	4	Contra objetos $D \geq 1$ mm
Resistencia a la penetración del agua	2	Protegido contra las gotas de agua cayendo verticalmente cuando el sistema de tubos está inclinado 15°
Resistencia a la corrosión de tubos metálicos y compuestos	2	Protección interior mediana y exterior elevada
Resistencia a la tracción	2	Ligera
Resistencia a la propagación de la llama	1	No propagador
Resistencia a las cargas suspendidas	2	Ligera

Fig. 4.4: Características mínimas para canalizaciones de tuberías al aire o aéreas.

Fuente: ITC-BT-21 (2006). [20]

Sección nominal de los conductores (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	25
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	20	25	32	32	40

Fig. 4.5: Canalizaciones aéreas, diámetros exteriores mínimos de las tuberías en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir. Fuente: ITC-BT-21

(2006). [20]

III. Alimentación del Sistema Eléctrico:

Para comenzar con el diseño de esta sala se debe tener en cuenta un suministro trifásico con neutro y conductor de protección. El neutro (N) y el conductor de protección (CP) también conocido como conductor de Tierra, deben ser de cobre y aislados, así lo define el reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT) y la comisión internacional electrotécnica (IEC).

Indicando que se debe disponer de un suministro complementario para hacer frente a cualquier fallo en la red. Según el REBT debe cumplir con los siguientes criterios para disponer de un servicio complementario eficiente:

- La fuente propia de energía estará constituida por aparatos autónomos automáticos o grupos electrógenos. La puesta en funcionamiento de unos y otros, se realizará al producirse la falta de tensión en los circuitos alimentados por el servicio eléctrico cuando la tensión descienda por debajo del 70% de su valor nominal.
- La fuente propia de energía en ningún caso podrá estar constituida por pilas.
- En los establecimientos sanitarios siendo lugares con gran afluencia de público, las fuentes propias de energía deberán suministrar además de los alumbrados especiales, la potencia necesaria para atender servicios urgentes o indispensables.
- La capacidad mínima de esta fuente propia de energía deberá incluir, como norma general, la precisa para proveer el alumbrado de emergencia por un mínimo de una hora proporcionando una iluminación adecuada.

- Si la energía eléctrica fuera producida permanentemente en el mismo establecimiento, los respectivos generadores se instalarán en locales autorizados por las intendencias municipales y cuerpo de bomberos.

Respecto a los grupos electrógenos, es oportuno recordar que ningún servicio eléctrico puede asegurar la permanencia del suministro de energía en forma absoluta y total, esto se debe a que las distintas clases de instalaciones proporcionan distintos grados de probabilidad de interrupciones. En consecuencia se sugieren como la única precaución razonable que puede y debe adoptar como suministro complementario (Obsérvese con detalle la fig.: 4.6)

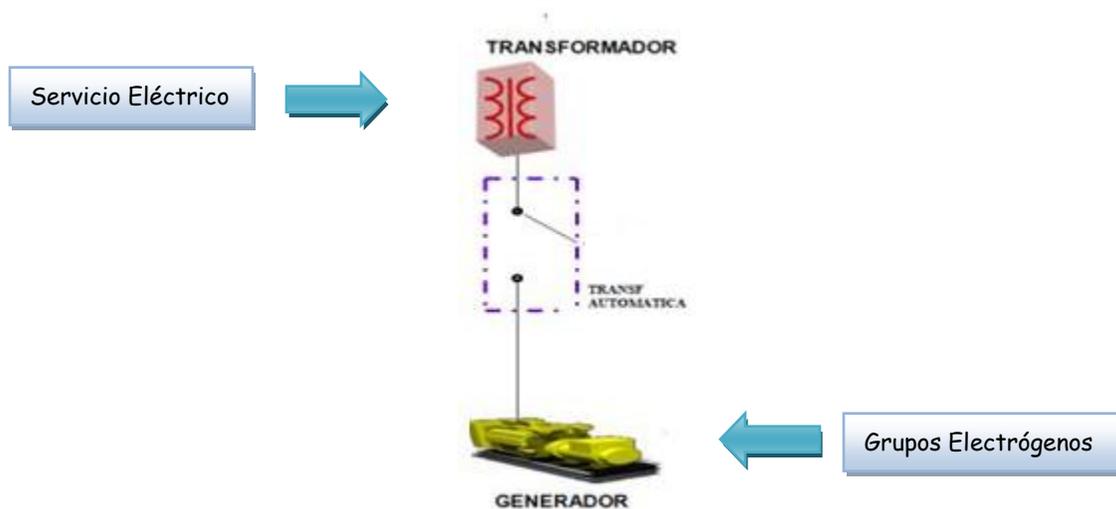


Fig. 4.6: Alimentación del sistema eléctrico hospitalario. Fuente: <http://www.geupssystems.com> (2012).

Además del suministro complementario de reserva requerido será obligatorio disponer de un suministro especial complementario, para hacer frente a los equipos de asistencia vital, los cuales deben entrar en servicio automáticamente en menos de 0,5 s y con una autonomía no inferior a 2 horas. Todo el sistema de protección deberá

funcionar con idéntica fiabilidad tanto si la alimentación es realizada por el suministro normal como por el complementario.

Cabe destacar que los equipos médicos requieren de un suministro complementario especial, sin variaciones y sin interrupciones, por lo tanto se recomienda el UPS doble conversión también conocidos como SAI (sistema de alimentación ininterrumpida) para garantizar un suministro eléctrico de calidad (obsérvese fig. 4.7).



Fig. 4.7: UPS Suministro complementario especial. Fuente: TECNOWERE (2011). [23]

Estos equipos tienen el inversor constantemente en (ON) con lo que no hay ningún tiempo de transferencia al producirse una anomalía en la red eléctrica, eso les hace proveer una alimentación acondicionada y segura, con protección contra ruido eléctrico, estabilidad de frecuencia y tensión a los equipos conectados a ellos.

Disponen de separación galvánica entre la entrada y la salida mediante la doble conversión, este tipo de sistema proporciona a los equipos conectados a ellos la mayor garantía en protección.

La verdadera diferencia entre el SAI ON-LINE de doble conversión y los Off-Line, Línea Interactiva y On-Line de una conversión es que estos últimos están

siempre dependientes de una manera u otra de que la entrada eléctrica al equipo cumpla unas mínimas condiciones para el correcto funcionamiento de estos, cosa que en los equipos de doble conversión no dependen de la línea de entrada para trabajar con una protección de más del 95 % eliminando por completo todos los problemas ocasionados por las líneas eléctricas.

IV. Tableros Eléctricos:

La distribución de los tableros eléctricos está especificada en la norma COVENIN 542, la cual contiene los requisitos básicos de diseño, fabricación, identificación y ensayos para los tableros eléctricos de alumbrados, artefactos y distribución utilizando exclusivamente interruptores automáticos para cada caja moldeada de tipo atornillado hasta 600V, 1600 A y un máximo de 42 circuitos ramales.

Los tableros deben ser elegidos para satisfacer las necesidades de los circuitos ramales por lo que se recomienda que el tablero principal posea tres barras activas y una de neutro esta última debe ser conectada a través de un cable de cobre al sistema de puesta a tierra diseñado para el centro hospitalario.

Se sugiere para las salas de operaciones la siguiente distribución básica de los tableros desde la alimentación principal hasta quirófanos:

- **Tablero principal:** alimenta iluminación, ups, equipo de cómputo, equipos médicos, tableros de bypass, se recomiendan de tipo panel que contiene dispositivos de corte y de protección contra sobrecorriente.
- **Tablero de bypass principal:** permite la selección del suministro eléctrico normal o regulado dado por el ups, dicho tablero puede ser empotrado, superficial o de pedestal, con interruptores automáticos bipolares o tripolares.
- Tablero normal:** alimenta equipos que no influyen en la productividad del

hospital, se recomienda tableros empotrados con interruptores automáticos bipolares o tripolares.

- **Tablero de aislamiento:** allí se ubica el transformador de aislamiento y puede estar dentro o fuera del quirófano, alimenta equipos médicos y lámparas del quirófano los cuales necesitan de energía regulada y sin interrupciones, en este tipo de tableros se recomienda que sean empotrados con interruptores automáticos bipolares.

La designación e identificación de los tableros será mediante la norma COVENIN 542 sección 5.2, la cual indica lo siguiente:

- Clasificación según su utilización: TA (tablero para alumbrado y artefactos) y TD (tablero de distribución).
- Clasificación según su tensión nominal: 2 significa tensión máx. 240V, 3 significa tensión máx. 480V, 4 significa tensión máx. 600V.
- Luego se indica el número de conductores (hilos) del sistema de esta manera: 2 por una fase 2 hilos, 4 por 1 fase 3 hilos o 3 fases 3 hilos, 6 por 3 fases 4 hilos.
- Luego se indica el número de circuitos ramales desde 4 hasta 24 circuitos para tableros monofásicos y desde 6 hasta 42 para tableros trifásicos.
- Si posee interruptor principal se le designan las letras AB y si no lo posee la letra L.
- Las cifras siguientes indican la ampacidad del interruptor principal y de no poseerlo la ampacidad de las barras principales.

Un ejemplo es el siguiente: **TA-2-3-24-L-250** lo que indica que se trata de un tablero de alumbrado de 240 V de una fase/ 3 hilos de 24 circuitos sin interruptor principal con barras de 250 A.

Se denotan en la figura 4.8 las conexiones de los tableros entre sí, de izquierda a derecha se puede detallar desde el sistema de alimentación hasta los tableros ubicados en el cuarto de control de tableros del área quirúrgica, es importante destacar que por seguridad en ningún momento el acceso a esta área ya los tableros debe ser obstruido.

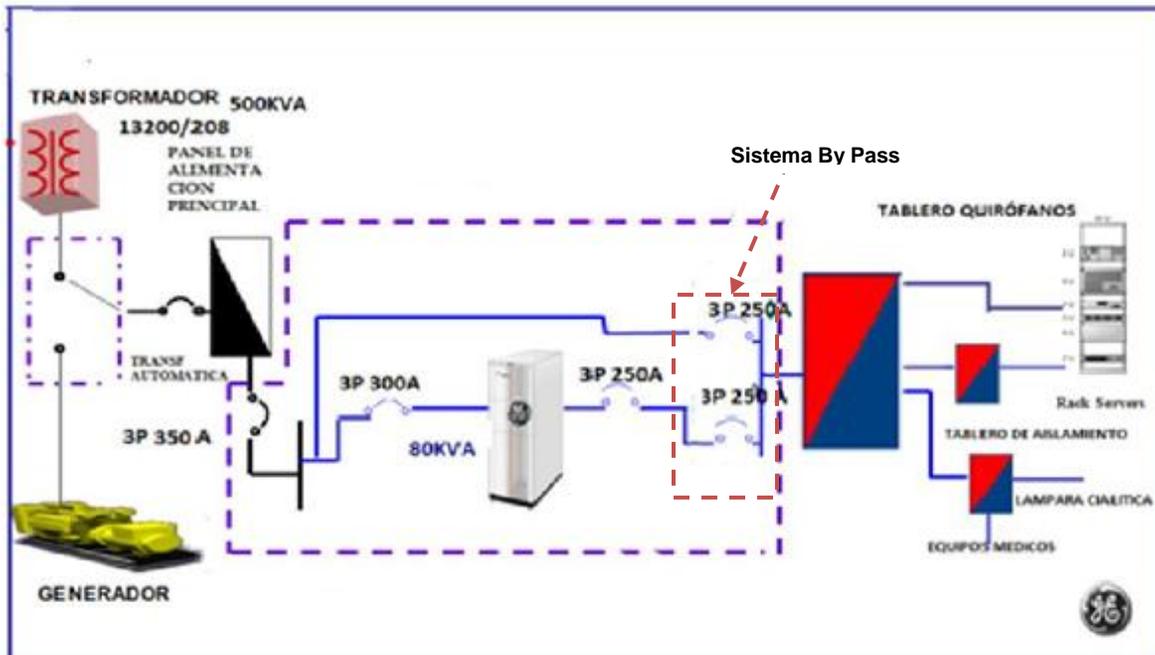


Fig.4.8: Diagrama general de las instalaciones de los tableros en el quirófano. Fuente: <http://www.geupssystems.com> (2012).

La figura 4.8 no cumple con la simbología para la identificación de tableros en los planos según la Norma Venezolana COVENIN 398, sin embargo la misma permite destacar la alimentación complementaria por grupos electrógenos (Generador) en caso de falla del servicio eléctrico sino también nos muestra la conexión básica de los UPS

para el respaldo de aquellos equipos de vital importancia en la salas de operaciones, así mismo se observa el tablero bypass el cual nos permite la selección del suministro normal o regulado, a su vez alimenta los tableros normal, de aislamiento e incluso al Rack Servers de los equipos de alta tecnología en caso de ser un quirófano integrado.

Tablero para salas de operación

Se recomienda el uso de tableros que incorpora el transformador de aislamiento de corrientes de bajas fugas, blindado electrostáticamente. Clase H, con un nivel de ruido bajo un interruptor primario, ocho interruptores secundarios de dos polos y el monitor de aislamiento de línea. No es ventilado y tiene una cubierta de acero inoxidable N° 304 (obsérvese figura 4.9 y Anexos B).



Fig.4.9: Tableros para salas quirúrgicas. Fuente: Máster circuito C.A. (2008). [29]

Monitor de aislamiento de línea:

Usa tecnología de microprocesadores que mejoran su desarrollo, versatilidad y confiabilidad. El monitor exhibe la corriente de peligro y una columna de alarma, que

habilita a la unidad a sonar una alarma a 2mA o de 5mA de corriente peligrosa. Se auto restablece y auto calibra cada 65 minutos. Tiene las siguientes capacidades:

- Voltaje de operación de 85 hasta 265V
- Nivel de alarma de riesgo de corriente de 2mA a 5mA.
- Operación como unidad monofásica o trifásica.
- Ancho de banda de alarma: cero (0)
- Alarma de histéresis (on/ off) = 50 MicroA
- Monitor de corriente de peligro = 50 MicroA
- Frecuencia de operación = 60 Hz.

Los indicadores de corriente de riesgo son análogos y digitales. Tiene un juego extra de contactos secos abiertos y cerrados para usarse con otros sistemas de alarma externa. La alarma remota opera a 12 VAC y no agrega corriente peligrosa al sistema. Puede tener medidores análogos externos tal como el amperímetro, el mismo debe ser compatible con el transformador de aislamiento del hospital (obsérvese Anexos B).

La unidad indicadora de alarma remota se debe localizar en las salas de operaciones y se debe conectar al tablero que alimenta a los circuitos en esa sala. Si la sala maneja gases inflamables, el tablero debe montarse a 1,55 m del nivel de piso.

Construcción del tablero

El gabinete será calibre 12, estará libre de grasa, fosfatizado, con la aplicación de una capa de primer y acabado con una pintura horneada. La cubierta frontal será de

acero inoxidable tipo 304. Será para embutir. Las unidades hasta 5 KVA tendrán de profundidad 8" (203 mm), las unidades de 7,5 hasta 25 KVA tendrán 12" (305 mm).

Debe tener una puerta para acceder a los interruptores, al monitor y poder realizar las pruebas, abisagrada y con cerradura con llave. No debe tener ninguna rejilla de ventilación, la temperatura máxima del frente del tablero no debe exceder 30°C a plena carga continua. Toda la sección detrás de la puerta abisagrada tendrá un diseño de frente muerto.

V. Tomacorrientes:

Según artículo 18 de la gaceta oficial 36574 de la República Bolivariana de Venezuela publicada en Noviembre de 1998, las instalaciones deben dotarse de puntos eléctricos de 120V y 240 V, conectadas al sistema preferencial de emergencia y aterradas de forma independiente, las condiciones mínimas que debe tener una sala de operaciones deben ser las siguientes:

A.-120V: 4 tomas por quirófano.

2 tomas por cama de recuperación.

B.-240V: 2 tomas por quirófano.

1 toma para Rayos X por quirófano

1 toma por cada cuatro camas

Dichas tomas deberán colocarse a una altura mínima de 1,20 metros de altura y poseer tapas protectoras, también aplica para las llamadas clavijas, el sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) alimentará las tomas de corriente del quirófano, excepto la de los equipos de radiodiagnóstico.

Es importante destacar como criterio de ingeniería para las tomas de corriente la independencia de fases por quirófano como medidas de seguridad eléctrica, de manera tal que la distribución de la carga en las salas quirúrgicas sea lo más equilibrada posible. (Véase Anexos C).

2. Medidas de Protección:

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, clasificándola como un sistema IT perteneciente al grupo de áreas funcionales tipo 2, por lo tanto se aplicarán las siguientes normativas:

I. Puesta a Tierra:

- La instalación eléctrica de los edificios con locales para la práctica médica y en concreto para quirófanos o salas de intervención, deberán disponer de un suministro trifásico con neutro y conductor de protección. Tanto el neutro como el conductor de tierra serán conductores de cobre, tipo aislado, a lo largo de toda la instalación.
- La impedancia entre la barra común de puesta a tierra de cada quirófano o sala de intervención y las conexiones a masa, o los contactos de tierra de las bases de toma de corriente, no deberá exceder de 0,1 ohmios.
- Se instalará una conexión de puesta a tierra mediante una unión eléctrica, a través de una toma de tierra formada por un electrodo enterrado. Para ello se debe establecer en el edificio una disposición de cable desnudo de 2 AWG (35mm²) (Detállese las barras en los Anexos D) instalado en las zapatas de hormigón armado, que forma un anillo cerrado que circunda todo el edificio a

una profundidad mínima de 0,5 m (normalizado según la norma UNE 21022, y de acuerdo con el REBT).

II. Conexión de Equipotencialidad.

Este sistema consiste en unir todas las partes metálicas de la canalización y las masas de los equipos eléctricos entre sí y con los elementos conductores ajenos a la instalación que sean accesibles simultáneamente, para que evitar que puedan aparecer tensiones peligrosas entre ellos, de esta manera los lineamientos establecidos según el CEN-2009 capítulo V sección 517, estándar de la IEC 60364-710 y el REBT en su capítulo X, son los siguientes:

- Resistividad del terreno menor a 1Ω .
- Todas las partes metálicas accesibles han de estar unidas a la barra de equipotencialidad (obsérvese fig. 4.10) mediante conductores de cobre aislados e independientes. La impedancia entre estas partes y la barra no deberá exceder de 0,1 ohmios.
- La barra de equipotencialidad estará unida al de puesta a tierra de protección por un conductor aislado con la identificación verde-amarillo, y de sección no inferior a 6 AWG (16 mm^2) de cobre.
- La diferencia de potencial entre las partes metálicas accesibles y a la barra de equipotencialidad no deberá exceder de 10 mV eficaces en condiciones normales.

III. Suministro a través de un Transformador de Aislamiento.

Se establece en el estándar de la IEC 60364-7-710 el uso del transformador de aislamiento es para minimizar los riesgos ante la corriente que puede circular

desde la fuente de energía a tierra, a través del paciente, puesto que vendrá limitada por la impedancia parásita entre primario y secundario si se aplica la instalación de este equipo.

Este sistema se aplica para alimentar a el o los circuitos que se desea proteger a través de un transformador de aislamiento, de razón 1:1, cuyo secundario este aislado a tierra. Se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Su construcción será del tipo de doble aislación.
- El circuito secundario no tendrá ningún punto común con el circuito primario ni con ningún otro circuito distinto.
- No se emplearán conductores ni contactos a tierra de protección en los circuitos conectados al secundario.

Por ello se recomienda aplicar las siguientes consideraciones dictaminadas por la IEC y el REBT:

- Es obligatorio el empleo de transformadores de aislamiento o de separación de circuitos, como mínimo uno por cada quirófano o sala de intervención, para aumentar la fiabilidad de la alimentación eléctrica a aquellos equipos en los que una interrupción del suministro puede poner en peligro, directa o indirectamente, al paciente o al personal implicado y para limitar las corrientes de fuga que pudieran producirse (ver figura 4.10).
- Se debe realizar una adecuada protección contra sobrecorrientes del propio transformador y de los circuitos por él alimentados. Es de gran importancia la coordinación de las protecciones contra sobrecorrientes de todos los circuitos y equipos alimentados a través de un transformador de aislamiento, con objeto

de evitar que una falta en uno de los circuitos pueda dejar fuera de servicio la totalidad de los sistemas alimentados a través del citado transformador.

- Se debe disponer de un cuadro de mando y protección por quirófano o sala de intervención, situado fuera del mismo, fácilmente accesible y en sus inmediaciones. Éste deberá incluir la protección contra sobrecorrientes, el transformador de aislamiento y el dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento. Es importante que en el cuadro de mando y panel indicador del estado del aislamiento, todos los mandos queden perfectamente identificados y sean de fácil acceso. El cuadro de alarma del dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento deberá estar en el interior del quirófano o sala de intervención y ser fácilmente visible y accesible, con posibilidad de sustitución fácil de sus elementos.

En la figura 4.10 se observa el esquema general de la conexión eléctrica en un quirófano, desde los sistemas alimentación por servicio continuo hasta los suministros complementarios e incluso se denotan equipos de gran importancia como el transformador de aislamiento y los interruptores de protección diferencial.

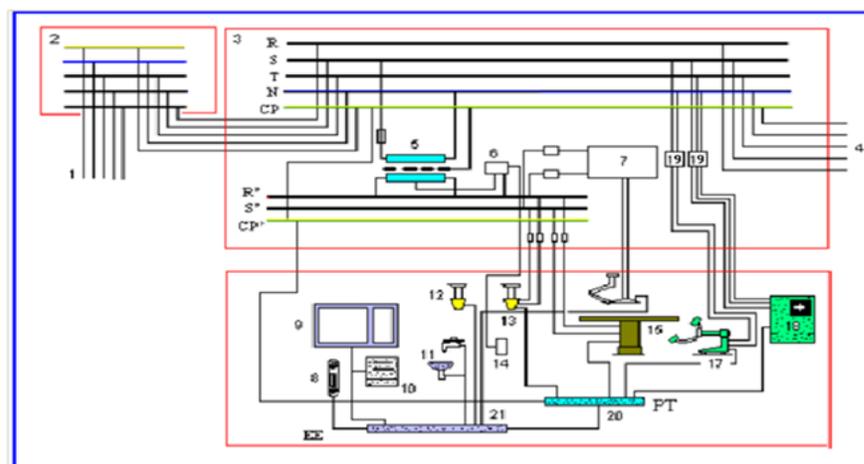


Fig. 4.10: Ejemplo de un esquema general de la instalación eléctrica de un quirófano, Fuente: REBT sección ITC-BT-38 (2006). [23]

Descripción

1. Alimentación general o línea general de alimentación.
2. Distribución en la planta o derivación individual.
3. Cuadro de distribución en la sala de operaciones.
4. Suministro complementario.
5. Transformador de aislamiento tipo médico.
6. Dispositivo de vigilancia de aislamiento o monitor de detección de fugas.
7. Suministro normal y especial complementario para alumbrado de lámparas de quirófano.
8. Radiadores de calefacción central.
9. Marco metálico de ventanas.
10. Armario metálico para instrumentos.
11. Partes metálicas de lavabos y suministro de agua.
12. Torreta aérea de tomas de suministro de gas.
13. Torreta aérea de tomas de corriente (Con terminales para conexión equipotencial envolvente conectada al embarrado conductor de protección).
14. Cuadro de alarmas del dispositivo de vigilancia de aislamiento.
15. Mesa de operaciones (De mando eléctrico).
16. Lámpara de quirófano.

17. Equipos de rayos X.
18. Esterilizador.
19. Interruptor de protección diferencial.
20. Barra de puesta a tierra.
21. Barra de equipotencialidad (EE).

IV. Protección diferencial y contra sobrecorrientes.

Los protectores diferenciales cortan el circuito eléctrico a la carga cuando la corriente de fuga a tierra excede de un valor predeterminado, por lo tanto se deben emplear dispositivos de protección diferencial de alta sensibilidad (≤ 30 mA) para la protección individual de aquellos equipos que no estén alimentados a través de un transformador de aislamiento, aunque el empleo de los mismos no exime de la necesidad de puesta a tierra y equipotencialidad.

Se recomienda supervisar el nivel de aislamiento de los circuitos alimentados a través del transformador de aislamiento, por medio de un monitor detector de fugas de tipo resistivos, estos son equipos instalados para la detección de corrientes de fuga sin interrumpir la alimentación del circuito, los mismos activan una alarma acústica cuando la resistencia de aislamiento desciende por debajo de 50.000Ω , encendiendo un piloto rojo al mismo tiempo.

El único equipo de fuerza que no pasa por el transformador de aislamiento es el aparato de Rayos X, el cual está protegido individualmente contra sobrecorrientes y con un dispositivo de protección diferencial de alta sensibilidad.

V. Medidas contra el riesgo de incendio o explosión

Para los quirófanos o salas de intervención en los que se empleen mezclas anestésicas gaseosas o agentes inflamables, existen ciertas zonas que deberán ser consideradas como las siguientes:

- La zonas G (sistema de gases) de tipo Clase I; Zona 1 (véase fig. 4.11)
- La zona M (ambiente médico) de tipo Clase I; Zona 2, (véase fig. 4.11)

Conforme a lo establecido en la ITC-BT-29, se indica que la zona G situada debajo de la mesa de operaciones, podrá considerarse como zona sin riesgo de incendio o explosión cuando se asegure una ventilación de 15 renovaciones de aire /hora (la ventilación ha sido especificada en el capítulo 4 de esta guía de lineamientos).

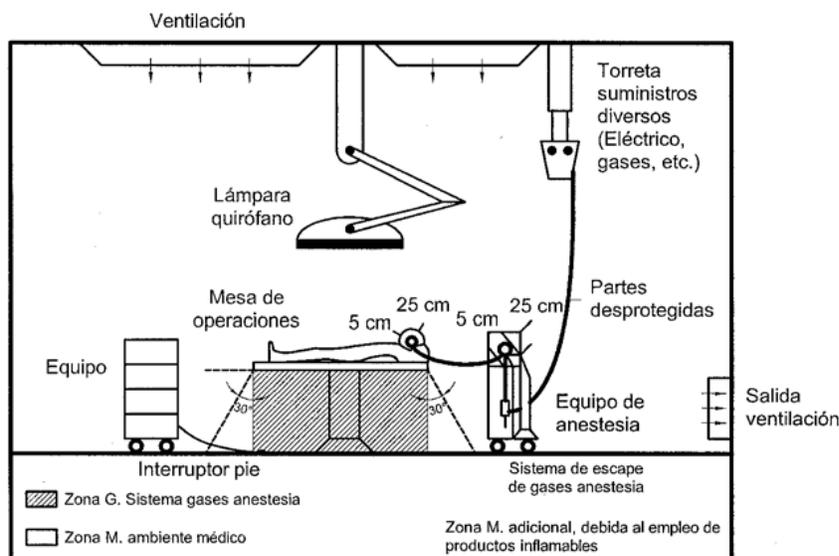


Fig. 4.11: Zonas con riesgo de incendio y explosión en el quirófano, cuando se empleen mezclas anestésicas gaseosas o agentes desinfectantes inflamables Fuente: REBT sección

ITC-BT-38 (2006). [23]

Los suelos de los quirófanos o salas de intervención serán del tipo antielectrostático y su resistencia de aislamiento no deberá exceder de $1\text{ M}\Omega$, salvo que se asegure que en un valor superior, pero siempre inferior a $100\text{ M}\Omega$, no favorezca la acumulación de cargas electrostáticas peligrosas.

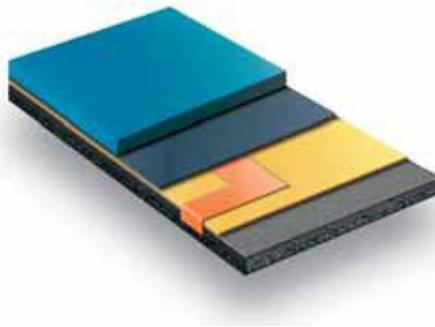


Fig. 4.12: Revestimiento para suelos de quirófanos. Fuente: BASF The Chemical Company (2009). [30]

Estos suelos tipo antielectrostáticos se pueden obtener a través de revestimientos autonivelantes hechos a base de poliuretano o epoxi, conductivos y antiestáticos, los mismos poseen una malla de cinta de cobre la cual debe ser conectada a tierra y de esta manera disminuir la concentración de cargas electrostáticas en la sala de intervención (obsérvese con detalle anexos E).

3. Iluminación:

El alumbrado de las salas de operaciones debe estar estrechamente ligado con el alumbrado de las mesas de operaciones con el fin de evitar dificultades fisiológicas y psicológicas durante la adaptación. En vista de que la iluminación requerida en la mesa de operaciones es muy alta, sería necesario un gran incremento en el alumbrado general lo que traerá como consecuencia una gran disipación de calor por lo tanto se recomienda mantener las relaciones de contraste recomendadas.

I. Luminaria:

Las luminarias de quirófanos deben poseer un grado de estanqueidad elevado, con radiación infrarroja reducida para evitar la proliferación de gérmenes además deben ser accesibles para facilitar su limpieza y no producir sombra. Existe una gran variedad de modelos según el tipo de lámpara por lo cual se recomienda instalar la más ergonómica y adaptada a las características planteadas con anterioridad.

II. Lámpara de quirófano.

Las lámparas se encuentran en uno o varios brazos portalámparas que les permiten una rotación ilimitada y movimiento vertical.

Los factores a considerar en una lámpara de quirófano son:

- **Iluminación:** Las lámparas de quirófano deben de generar una iluminancia sobre el campo quirúrgico entre 20,000 y 100,000 lux.
- **Calidad del color:** Expresada por medio de la temperatura de color y del índice de reproducción de color (excelente 90-100) para actividad visual muy alta 1A.
- **Diámetro de campo iluminado:** El campo iluminado debe de tener un diámetro de campo mínimo de 20 cm y una profundidad de campo de trabajo de 70 cm como mínimo.
- **Calor:** Para prevenir calentamiento de los tejidos expuestos en el sitio de operación, la eficacia luminosa o rendimiento de iluminación en el campo quirúrgico debe de ser de cuando menos 170 lm/W, lo cual nos daría una radiación menor de 600 W/m² para una iluminancia de 100000 lux.

Es necesario destacar algunas pautas importantes sobre la iluminación hospitalaria publicadas en la *"Guía técnica de eficiencia energética en iluminación para hospitales y centros de atención primaria"* por el instituto para la diversificación y ahorro de la energía IDAE y el comité español de iluminación CEI [28]. (Obsérvese con detalle en el Anexo F los diferentes tipos de lámparas)

III. Rendimiento de color:

Para validar la idoneidad de las luminarias para la actividad a desarrollar, utilizaremos el criterio CEI, este sistema tiene clasificada las tareas o actividades en cinco grupos que definen otras tantas clases de calidad. Cada grado de calidad tiene asignado un índice de deslumbramiento surgido de la evaluación subjetiva del deslumbramiento, a continuación su clasificación:

- La clase de calidad "A" será para una actividad visual muy alta, índice de deslumbramiento 1'15.
- La clase de calidad "B" será para una actividad visual alta, índice de deslumbramiento 1'50.
- La clase de calidad "C" será para una actividad visual media, índice de deslumbramiento 1'85.
- La clase de calidad "D" será para una actividad visual baja, índice de deslumbramiento 2'20.
- La clase de calidad "E" será para una actividad visual muy baja (donde los trabajadores no están confinados en un puesto concreto), índice de deslumbramiento 2'55.

Para seleccionar una lámpara según los criterios de color recomendados para un espacio local se utiliza la tabla de la Fig. 4.13 donde se recomienda en el área de quirófanos un índice de reproducción cromática de tipo excelente con sus respectivas características como lo indica en el siguiente cuadro:

Índice de reproducción cromática, (Ra)	Grupo de Rendimiento de color	Temperatura de color		
		Cálido < 3300 K	Neutro 3300-5000 K	Frío > 5000 K
Excelente 90-100	1A	Halógenas. Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta
Buena 80-90	2A	Fluorescencia lineal y compacta. Sodio Blanco	Fluorescencia lineal y compacta. Halógenos e Inducción	
Razonable 70-80	1B	Halógenos metálicos	Halógenos metálicos	Halógenos metálicos
Mala < 70	2B	Mercurio. Sodio	Mercurio	

Fig. 4.13: Tabla de rendimiento del color Fuente: Comité de Iluminación Española (2010). [28]

La CEI representa en la siguiente tabla los parámetros de iluminación recomendado para las salas de operaciones, estos rangos son aceptados por los estándares de la IEC, obsérvese con detalle en la figura 4.14:

Parámetros recomendados para quirófanos					
Tipo de estancia	Tipo de iluminación o actividad	Iluminancia media Em (lux)	Tono de luz	Grupo de rendimiento de color	Clase de calidad al deslumbramiento directo
Quirófanos	Iluminación general	1000	Neutro	1A	A
	Iluminación zona operación	20000 a 100000	Neutro	1A	A
	Iluminación alrededores	2000	Neutro	1A	A

Fig. 4.14: Parámetros recomendados para la iluminación de la sala de operaciones. Fuente: Comité de Iluminación Española (2010). [28]

IV. Criterios de Iluminación Basados en la IEEE:

Algunos lineamientos emitidos por la IEEE en el estándar 602-2007 capítulo 6 que se deben tomar en cuenta son los siguientes:

- La lámpara de quirófano estará alimentada por un sistema complementario de alimentación eléctrica, como el sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) que garantice el suministro de la potencia durante dos horas a plena carga. La lámpara deberá contar con equipos autónomos para iluminación de emergencia.
- Un mínimo de dos lámparas quirúrgicas capaces, cada una de ellas, de proporcionar un nivel mínimo de 2.000 lux de luz fría en un área de 500 cm² sobre una superficie horizontal situada a 1 metro del suelo.
- El resto de la iluminación del quirófano se realizará mediante luminarias cerradas. En el caso de que se utilicen lámparas fluorescentes para este fin deberán tomarse las medidas necesarias para evitar interferencias entre los equipos de encendido y los aparatos de electromedicina, las mismas deben ser empotradas para mitigar la proliferación de bacterias.

Se puede observar en la figura 4.15 la implementación de los criterios emitidos con anterioridad por la IEEE para el desarrollo de un quirófano inteligente de alta tecnología.



Fig. 4.15: Parámetros recomendados para la iluminación de la sala de operaciones inteligentes. Fuente: www.medicasmarty.com

4. Acondicionamiento de Aires:

Se debe implementar un sistema de climatización independiente por cada bloque de salas de operaciones, ya que existen horarios diferentes de utilización durante, todo el año.

I. Condiciones mínimas de los Aires Acondicionados:

Cada quirófano contará con un equipo terminal de tratamiento de aire independiente. El sistema de climatización del quirófano podrá ser del tipo todo aire exterior o con recirculación parcial. En el primer supuesto el sistema deberá garantizar un mínimo de 15 renovaciones/hora, mientras que en el segundo caso se garantizará un mínimo de 5 renovaciones/hora, con 25 recirculaciones/hora.

El sistema deberá permitir la regulación de temperatura en el quirófano entre los 17 y los 27 °C, y la humedad relativa se mantendrá entre el 45% y el 55%. Esta regulación se realizará mediante un termostato. El nivel sonoro producido por la

unidad de tratamiento del aire no será superior a los 20 decibelios (dB), medidos en los elementos de difusión de aire del quirófano.

El quirófano dispondrá de un extractor independiente para los gases anestésicos. Si la conexión de evacuación de gases se realiza a través del circuito de vacío habrá un vacío exclusivo para gases, independiente del general. Si la evacuación se realiza a través del circuito de aire acondicionado o climatización, este deberá ser individual para cada quirófano.

La unidad de tratamiento de aire incorporará los siguientes elementos de filtración:

- Un pre filtro de eficacia 25%.
- Un filtro de eficacia 90%. El aire se impulsará por el techo y se extraerá por tres niveles, mediante rejillas situadas a una altura mínima de 15 centímetros del suelo terminado, a nivel medio y a nivel alto. Los conductos del sistema de climatización serán de chapa, con una rugosidad máxima de 0,3 milímetros y dispondrán de un registro lateral, como mínimo, cada 5 metros, para permitir su limpieza.
- Las tomas de aire exterior para la unidad de tratamiento de aire del área estarán alejadas por lo menos 8 metros de extracciones, torres de enfriamiento y chimeneas. Si se sitúan en fachadas, estarán, al menos, a 2,5 metros de altura respecto del nivel de la calle.

Se recomienda el uso de los aires acondicionados con "velo" Clase I, los quirófanos Clase I son necesarios en operaciones quirúrgicas complicadas. Además de la protección al paciente, el área de instrumentación también es protegida con flujo laminar vertical y ello ha conducido a una reducción drástica del número de

infecciones postoperatorias debidas al aire de los quirófanos, como el que se muestra en la figura 4.16.

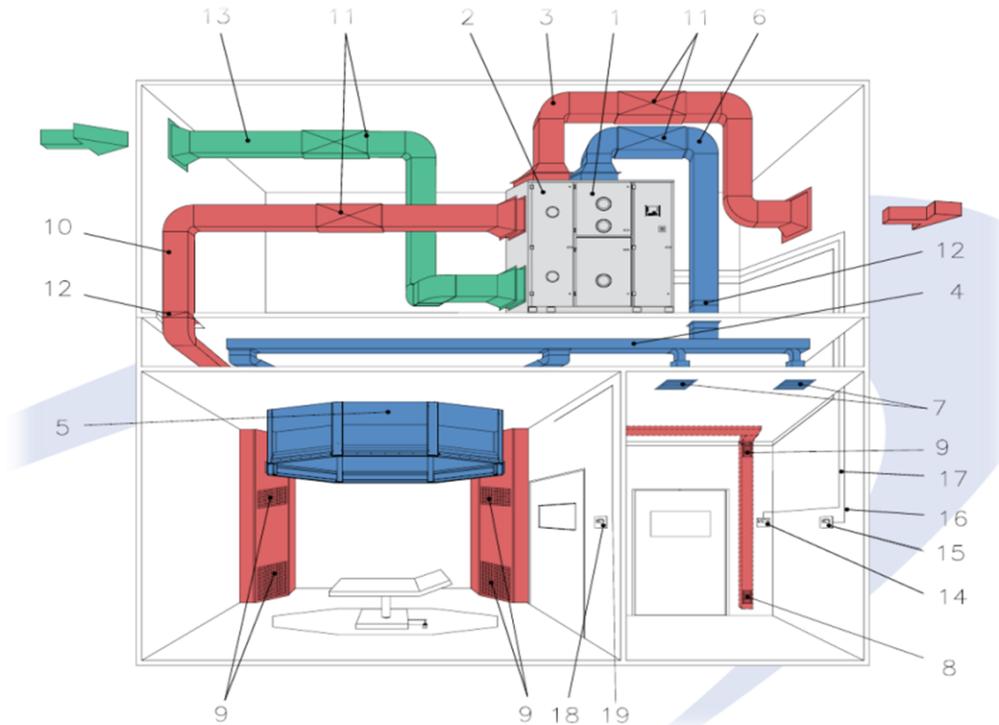


Fig. 4.16: Especificaciones técnicas del sistema de Acondicionamiento de Aire. Fuente: TECNAIR LB (2010). [31]

Descripción:

1. Ventilador de impulsión: Está compuesta por uno o dos electroventiladores sin cóclea, de alto nivel de impulsión para garantizar un caudal de aire constante, incluso si los filtros están saturados.
2. Ventilador de retorno: También está compuesta por uno o dos ventiladores sin cóclea de alta presión, para garantizar los niveles de sobrepresión o depresión.
3. Conducto salida aire: Saldrá del ambiente, por al menos dos rejillas de extracción montadas en la parte baja de la pared.

4. Batería eléctrica o por agua de post-calefacción: El microprocesador activa la bomba cuando las temperaturas favorecen el ahorro de energía.
5. Techo filtrante unidireccional: el aire limpio es enviado hacia abajo a alta velocidad, que va disminuyendo progresivamente a medida que el flujo se abre radialmente.
6. Conducto entrada aire (aislado exteriormente): La impulsión se realizará desde el techo y saldrá del ambiente.
7. Rejilla con filtro absoluto: 90% de eficacia.
8. Toma inferior con filtro (G4): Las rejillas de extracción deben poseer un cierre hermético, para ser cerradas encaso de inactividad en el local y parada del sistema de climatización.
9. Toma superior con filtro (G4): Las rejillas de extracción deben poseer un cierre hermético, para ser cerradas encaso de inactividad en el local y parada del sistema de climatización.
10. Conducto de retorno: Deben ser siempre metálicos, otro material de conducto colmataría más rápidamente los filtros.
11. Silenciador (tipo hospitalario): la unidad de aire no excederá de 20 dB.
12. Compuerta cortafuegos: Debe instalarse siempre que se atraviese la pared con un conducto.
13. Conducto de toma de aire exterior: Para la unidad de tratamiento de aire del área estarán alejadas por lo menos 8 m de las extracciones.
14. Presóstato diferencial (opcional)
15. Terminal para mando a distancia (opcional)
16. Cable telefónico 6 hilos para terminal remoto (Max100 m)

17. Cable apantallado para conexión a presóstato diferencial (3 x 0,5 Max 50 m)
18. Sonda temperatura y humedad (opcional); puede instalar la sonda de temperatura en el compartimento del ventilador de impulsión y la sonda de humedad en el de admisión. Las sondas también se suministran con el equipo para que el cliente pueda instalarlas dentro del quirófano controlado o en los canales de admisión
19. Cable para conexión de sonda temperatura y humedad

II. **Gestiones Operativas:**

Actualmente los acondicionadores se han proyectado para ser instalados tanto en exteriores como en interiores, de manera tal que sus dimensiones son extremadamente compactas junto con su reducido nivel sonoro y diseño, lo que hace posible la instalación de estos equipos cerca de los quirófanos que se desean acondicionar, evitando así largos y costosos tramos de canalización.

Se observa en la figura 4.15 que el equipo ha sido diseñado y fabricado con el objetivo de facilitar su instalación. Una vez ubicado en el punto de instalación, se han de montar los conductos y accesorios remotos, y realizar las conexiones eléctricas, hidráulicas y de refrigeración. La alimentación del sistema de acondicionamiento de aires se realizará de la siguiente manera:

- En el cuarto de tablero del área de quirófano se colocará un tablero específico para aires acondicionados con conexión directa al tablero principal cumpliendo con las normas COVENIN 542 y el CEN-2009 capítulo 5 sección 517 se asignará un interruptor automático bipolar para cada aire acondicionado por quirófano claramente identificados, este tablero puede ser de tipo empotrado.

La gestión de todas las funciones operativas y de seguridad de los acondicionadores recomendados se realiza desde el microprocesador estándar, el cual se encarga de controlar la temperatura y la humedad relativa de forma proporcional. Asimismo, el microprocesador controla la sobrepresión o la depresión del ambiente y se conecta fácilmente a los sistemas de los fabricantes más importantes del mercado.

El ciclo de esterilización funciona a través de un software estándar del equipo, el cual prevé un ciclo que se puede activar de forma manual si la válvula de recirculación opcional está instalada. Durante un tiempo predefinido, la unidad detiene el ventilador de expulsión, cierra la válvula y abre la válvula de recirculación para que el esterilizante sature todos los componentes del circuito. Seguidamente, la unidad se detiene para que el esterilizante actúe. Por último, la unidad activa ambos ventiladores al 100% y cierra completamente la válvula de recirculación. De esta forma entra gran cantidad de aire limpio y es posible expulsar el esterilizante por completo. Al finalizar el ciclo de esterilización, la unidad regresa al modo de funcionamiento normal.

El cuadro eléctrico posee un interruptor general que bloquea la puerta y dispone de todos los componentes necesarios para la regulación del funcionamiento del equipo. Así mismo, posee bornes para gestionar a distancia una señal de alarma acumulativa y el comando de encendido y apagado.

Dos de los bornes del cuadro eléctrico se han de conectar a un contacto directo del grupo de continuidad o del generador para que el microprocesador interrumpa el funcionamiento de los componentes no indispensables como, por ejemplo, los compresores, los humidificadores y las baterías eléctricas si se produce una caída de corriente, dejando en funcionamiento los ventiladores de impulsión, admisión y expulsión, y la regulación.

5. Quirófanos Inteligentes:

Todos los capítulos anteriores aplican para la construcción y diseño de un quirófano integrado, sin embargo se deben tomar en cuenta ciertas características para la instalación, alimentación y protección de los equipos de alta tecnología.

Los fabricantes ofrecen una gama de alternativas para la configuración de los quirófanos; teniendo por lo general un modelo básico y a partir del mismo es factible incrementar la capacidad del sistema según los requerimientos específicos de cada cliente. Incluso los fabricantes ofrecen como alternativa un modelo móvil, es decir los componentes y dispositivos de su sistema se ensambla en un carro rodable.

Si bien cada fabricante utiliza una denominación en particular para cada uno de los componentes y recursos que constituyen sus sistemas, en general, la configuración de un quirófano integrado se compone básicamente de:

I. Sistema de soporte de equipamiento y suministro (BOOMS).

Estos sistemas están constituidos por un determinado número de unidades de soporte aéreas, básicamente son brazos montados en el techo diseñados específicamente para darles la siguiente utilidad:

- 1) El ubicación tanto del equipamiento biomédico así como de los equipos y dispositivos del sistema de control, gestión e integración es decir el montaje de equipos como pantallas, monitores, cámaras de vídeo y demás recursos e instrumental necesarios para atención del paciente.
- 2) El suministro de energía eléctrica, gases medicinales, vacío, evacuación de gases residuales y puntos o tomas para data y comunicación de manera que la ergonomía predomine en el sistema.

II. Equipamiento Biomédico.

Todos los quirófanos disponen de un conjunto de equipos biomédicos, los cuales pueden agruparse en: equipos biomédicos de uso general y equipos biomédicos de aplicación funcional específica de acuerdo a la especialidad quirúrgica.

Los equipos de uso general son:

- Unidad de anestesia con sistema de monitoreo.
- Mesa de operaciones eléctrica.
- Lámpara quirúrgica de techo.
- Electrobisturí.
- Bomba de infusión.
- Aspirador de secreciones para sala de operaciones.
- Desfibrilador con monitor y paletas externas

El equipamiento específico es de aquellos equipos de aplicación funcional como los siguientes:

- Cirugía: Equipo de Cirugía laparoscópica
- Ortopedia -Traumatología: Vídeo Artroscopio, Perforador para Traumatología.
- Urología: Vídeo Cistoresectoscopio
- Ginecología: Histeroscopio
- Entre otros.

III. Sistema de control, gestión e integración.

Este sistema permite disponer de un control centralizado de: los equipos biomédicos básicamente de equipo de endoscopia, electrobisturí, lámpara quirúrgica, mesa de operaciones así como también los equipos y dispositivos periféricos entre ellos: cámaras, pantallas, altavoces, reproductores de CD/DVD, entre otros. Además de todas las demás funciones y recursos disponibles relacionados a la gestión de la documentación y telemedicina que se hayan integrado en la configuración del quirófano. Incluso, es posible el control de otros detalles del entorno quirúrgico tales como la iluminación y música ambiental, por citar algunos.

La gestión se encarga del manejo y administración en tiempo real de toda la información, funciones y recursos involucrados en el proceso quirúrgico.

Principales características:

- Registro y grabación digital de: imágenes fijas, secuencias de audio y vídeo, comentarios hablados.
- Almacenamiento y acceso a las historias clínicas electrónicas de los pacientes.
- Medios de almacenamiento: CDROM, DVD, Disco Duro, Circuito de Red.
- Formatos de Imágenes: BMP, JPG, TIFF.
- Formatos de Vídeo: MPEG1, MPEG2, MJPEG.

El sistema de integración está constituido de un hardware y un software utilizado para la conexión, compatibilidad y comunicación de los dispositivos y otros recursos permitiendo la funcionalidad de los sistemas de control y gestión.

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.

La implementación de estos equipos contempla varias fases que involucran el nivel eléctrico:

1. Instalación y configuración del equipamiento.
2. Desarrollar inspecciones y chequeos de calidad. Entre las actividades a desarrollarse se incluye el control de:

Tabla 4.4: Requerimiento de quirófano inteligente en los sistemas BOOMS y los sistemas control, gestión e integración, Fuente: Roa N. (2012).

Sistemas BOOMS	Sistema de control, gestión e integración.
<ul style="list-style-type: none"> • Estructura de montaje del sistema de soporte de equipamientos y suministro. • Estructura de montaje de lámparas quirúrgicas. • Estructura de montaje de monitores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas eléctricas para el Sistema de Soporte de equipamiento y suministro (BOOMS). • Líneas eléctricas para lámparas quirúrgicas. • Líneas eléctricas para monitores. • Ductos para vídeo. • Ductos para datos. • Pruebas de instalaciones eléctricas (polaridad de las tomas, voltaje y tierra física).

Para complementar los requerimientos de manera correcta es necesario tomar en cuenta ciertos lineamientos técnicos presentados a continuación:

- El sistema de comunicación se conecta directo a un tablero de alimentación sistema en estrella con puesta a tierra.
- 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.

Es necesaria la participación de un equipo multidisciplinario de profesionales para la validación del diseño, el mismo debe tener la flexibilidad de adaptarse tal que la infraestructura del mismo sea acorde con los actuales conceptos y se asegure la compatibilidad con los requerimientos estructurales, funcionales y conectividad garantizando la ergonomía, seguridad y eficiencia del sistema (obsérvese fig. 4.17).



Fig. 4.17: Quirófano integrado. Fuente: Annel Mejías Guiza (2011). [3]

6. Checklist:

A continuación se presenta una herramienta de trabajo que podrá facilitar la verificación de la aplicación de los requerimientos planteados en la guía de lineamientos técnicos para el diseño de quirófanos ya sean convencionales o inteligentes.

El checklist se presenta en dos modalidades, las mismas están estructuradas en base a la jerarquización dada en cada capítulo de la guía técnica y las respuestas del mismo son de campo cerrado y adicionalmente posee campos de observaciones. La primera modalidad es a través del sistema clásico de recolección de datos por medio de tablas las cuales presentan a continuación:

Nombre del Proyecto:				
		Fecha:		
Proyectista:		Tipo de Quirófano:		
Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirófanos				
Requerimientos para el Sistema Eléctrico de la Carga				
Estimación de Carga				Observaciones
Cantidad de Equipos.				
Consumo total de los equipos (VA)				
Voltajes de Alimentación (V).				
Cantidad de equipos con necesidad de conexión a tierra.				
Demanda máxima				
Carga total por Quirófano.				
Factor de Demanda				
Factor de Carga				
Selección de Conductores y Canalizaciones				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Canalizaciones	Las tuberías y sus accesorios son resistentes, flexibles y no metálicos, de montaje empotrado.			
Conductores	Los cables son no propagadores de incendios y con emisión de humos y opacidad reducida, tipo (AS).			
Alimentación del Sistema Eléctrico				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Servicio Eléctrico	Posee un suministro trifásico con neutro y conductor de tierra.			
Planta de Emergencia	Posee un suministro complementario (cumpliendo las condiciones mínimas requeridas).			
SAI (UPS)	Existe un Suministro Especial Complementario (cumpliendo con los requerimientos establecidos por la guía)			

Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirófanos				
Tableros				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Tablero principal	Posee tres barras activas y una de neutro esta última esta conectada a través de un conductor de cobre al sistema de puesta a tierra del centro hospitalario.			
Tablero de bypass principal	Permite la selección del suministro eléctrico normal o regulado dado por el ups. Interruptores automáticos.			
Tablero normal	Alimenta equipos que no influyen en la productividad del hospital, son de tipo empotrados con interruptores automáticos.			
Tablero de Aislamiento	Alimenta equipos médicos y lámparas del quirófano debe haber uno por cada quirófano, son de tipo empotrados con interruptores automáticos bipolares.			
Tablero de AA	Alimenta equipos de aires acondicionados de cada quirófano son empotrados con interruptores automáticos bipolares.			
Toma corrientes				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
120 V	Existen como mínimo 4 tomas por quirófano alimentadas por SAI a una altura 1.20 m			
240 V	Existen 2 tomas por quirófano y 1 toma para Rayos X por quirófano alimentadas por SAI a una altura 1.20 m			

Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirófanos

Requerimientos de medidas de protección

Puesta a Tierra

Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Impedancia	La impedancia entre la barra común de puesta a tierra de cada quirófano y las conexiones a masa de las bases de toma de corriente, no deberá exceder de 0,1 Ω .			
Conexión de puesta a tierra	Se instaló una conexión de puesta a tierra mediante una unión eléctrica, a través de una toma de tierra formada por un electrodo enterrado bajo los parámetros establecidos en los lineamientos.			
Conexión de Equipotencialidad				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Resistividad del terreno	Debe ser menor a 1 Ω .			
Barra de Equipotencialidad	Todas las partes metálicas accesibles han de estar unidas la barra de equipotencialidad mediante conductores de cobre aislados e independientes. La impedancia entre estas partes y la BE no deberá exceder de 0,1 Ω .			
	La BE esta unida a la de puesta a tierra de protección por un conductor aislado con las dimensiones y características indicadas en la guía.			
Diferencia de Potencial	La diferencia de potencial entre las partes metálicas accesibles y la BE no debe exceder de 10 mV eficaces en condiciones normales.			

Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirófanos				
Transformador de Aislamiento				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Suministro	Cumple con el uso obligatorio de al menos 1 transformador de aislamiento por cada quirófano			
Monitor de aislamiento	El monitor exhibe las corriente de peligro y una posee una columna de alarma, ante la presencia de corriente peligrosa en el rango exigido por la norma.			
Cuadro de mandos	Se dispone de un cuadro de mando y protección por quirófano fácil de visualizar, con las características especificadas en la guía.			
Protección Diferencial y Contra Sobrecorrientes				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Protección Diferencial	Se emplearán dispositivos de protección diferencial de alta sensibilidad (≤ 30 mA) para la protección individual de aquellos equipos que no estén alimentados a través de un transformador de aislamiento.			
Protección contra Sobrecorrientes	Se dispone de un detector de fugas tipo resistivo, cumpliendo con las condiciones dadas en la norma.			
Protección de Rayos X	Esta protegido individualmente contra sobrecorrientes y con un dispositivo de protección diferencial de alta sensibilidad.			
Medidas contra riesgos de incendio o explosión				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Suelos	Los suelos de los quirófanos son del tipo antielectrostático y su resistencia de aislamiento no excede de $1 \text{ M}\Omega$.			

Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirófanos

Requerimientos para la iluminación				
Lámparas de quirófanos				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Iluminación	Genera una iluminancia sobre el campo quirúrgico entre 20000 y 100000 lux.			
Diámetro del campo iluminado	Tiene un diámetro de campo de 20 cm y una profundidad de campo de trabajo de 70 cm como mínimo.			
Calor	La eficacia luminosa en el campo quirúrgico es de cuando menos una radiación de 600 W/m ² para una iluminancia de 100000 lux.			
Criterio de Iluminación de la IEEE				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Lámpara de Quirófano	Esta alimentada por el sistema complementario de alimentación eléctrica (SAI) garantizando la iluminación en caso de emergencia.			
Cantidad de lámparas	Cumple con un mínimo de dos lámparas quirúrgicas capaces, cada una de ellas, de proporcionar un nivel mínimo de 20.000 lux de luz fría en un área de 500 cm ² sobre una superficie horizontal situada a 1 metro del suelo.			
Luminarias Empotradas	El resto de la iluminación del quirófano se realizó mediante luminarias cerradas cumpliendo con las exigencias de la guía técnica.			

Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirófanos				
Requerimientos para Acondicionamiento de Aires				
Condiciones mínimas para AA				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Equipo	Cada quirófano tiene un sistema independiente de climatización			
Renovaciones de Aire	El sistema debe garantizar un mínimo de 15 renovaciones/hora, en un segundo caso debe garantizar un mínimo de 5 renovaciones/hora, con 25 recirculaciones/hora.			
Termostato	El sistema debe permitir la regulación de temperatura en el quirófano entre los 17 y los 27 °C, y la humedad relativa se mantendrá entre el 45% y el 55% mediante un termostato.			
Nivel de Ruido	El nivel producido por la unidad de tratamiento del aire no será superior a los 20 decibelios (dB), medidos en los elementos de difusión de aire del quirófano.			
Tratamiento de aire	El sistema cuenta con dos filtros, un pre-filtro de 25% de eficacia y un filtro de 90% de eficacia como mínimo			
Conductos	Son de chapa, con una rugosidad máxima de 0,3 milímetros y dispondrán de un registro lateral, como mínimo, cada 5 m, para permitir su limpieza.			
Torres de Aire	La unidad de tratamiento de aire del área estarán alejadas por lo menos 8 m de extracciones, torres de enfriamiento y chimeneas. Si se sitúan en fachadas, estarán, al menos, a 2,5 m de altura respecto del nivel de la calle.			

Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirófanos				
Gestiones Operativas				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Cuadro eléctrico de sistema	Posee un interruptor general que bloquea la puerta y dispone de todos los componentes necesarios para la regulación del funcionamiento del equipo.			
Sistema de Emergencia	El sistema de AA tiene dos bornes del cuadro eléctrico disponibles para conectar a un contacto directo del generador y que el microprocesador interrumpa el funcionamiento de los componentes no indispensables.			

Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirófanos Inteligentes					
Requerimientos para Quirófanos Integrados					
	Equipos				
Datos dados por el fabricante					
Capacidad de soporte de la loza o cielo raso para la colocación de brazos mecánicos (Kg)					
Rango de temperatura (°C)					
Voltaje (V)					
Frecuencia (Hz)					
Potencia (VA)					
Sistema de tierra (mA)					
Humedad Relativa (%)					
Protección Adicional Recomendada					
Corriente de Fuga (mA)					

Checklist para Construcción e Instalación de Sistemas Eléctricos para Quirofanos

Inspección y chequeo antes de la instalación de equipos				
Lineamientos establecidos por la guía técnica		Cumple con las Condiciones		Observaciones
		si	no	
Pruebas de instalaciones eléctricas	Verificación de las polaridad de las tomas 120 V y 240 V			
	Niveles de voltajes adecuados			
	Verificación la puesta a tierra de las tomas.			
Revisión de estructuras de montaje	Sistema de soporte de equipamiento y suministro (Kg) verificar que la loza del techo soporte el sistema.			
	Sistema de soporte de monitores (Kg) verificar que la loza del techo soporte el sistema.			
	Sistema de soporte de lámparas (Kg) verificar que la loza del techo soporte el sistema.			
Chequeo de líneas eléctricas	Líneas eléctricas para lámparas			
	Líneas eléctricas para el sistema de soportes y equipamiento			
	Líneas eléctricas para monitores			
	Líneas eléctricas para la estación de documentación			
Revisión de ductos	Posee ductos para video			
	Posee ductos para datos			

La segunda modalidad es a través de un sistema de registro computarizado por medio del programa Google Docs, a continuación guía práctica de utilización:

A través de la siguiente dirección electrónica creada por el administrador quiروفano.ing.electrica.uc2012@gmail.com se desarrolló el checklist de lineamientos técnicos, el cual es de servicio público no modificable es decir cualquier usuario podrá observarlo y utilizarlo.

El usuario desde su cuenta gmail introducirá el nombre del checklist en el buscador ("*Checklist para instalaciones eléctricas en el área de quirófano*") y descargará a través del hipervínculo la presentación, obsérvese la fig. 4.18 la cual muestra la página principal del checklist:

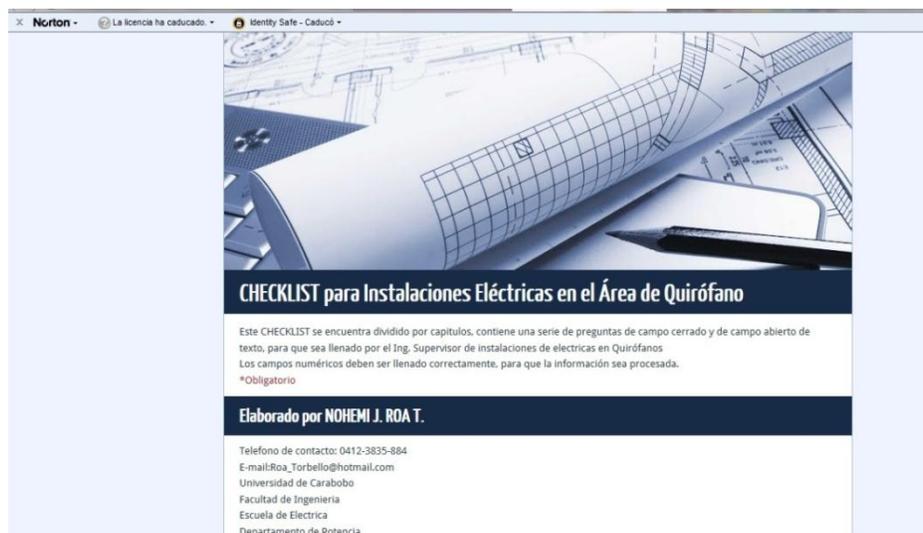


Fig. 4.18: Página principal del checklist. Fuente: Roa N. (2012).

El mismo debe ser completado bajo los parámetros indicados, ciertas preguntas son obligatorias de no ser respondidas no podrá seguir avanzando a las próximas páginas y le generará una alerta ante su error o datos omitidos, obsérvese el siguiente ejemplo de las fig. 4.19 y 4.20:

Fig. 4.19: Celdas de carácter obligatorio, Fuente: Roa N. (2012).

Fig. 4.20: Error generado al no responder las celdas de carácter obligatorio. Fuente: Roa N. (2012).

Al contestar de forma correcta y cumpliendo con los parámetros establecidos se abrirán las diversas páginas del modelo Checklist Google Docs obsérvese fig. 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 a continuación:

Norton - La licencia ha caducado. Identity Safe - Caducó

Selección de Conductores y Canalizaciones

Canalización: Las tuberías protectoras y sus accesorios serán rígidos, flexibles y no metálicos *

Montaje empotrado

SI

NO

Otro:

Conductores: Cables no propagadores de incendio y con emisión de humos y opacidad reducida (AS) *

SI

NO

Otro:

Alimentación del Sistema Eléctrico

Servicio Eléctrico: Suministro trifásico con neutro y conductor de protección *

SI

NO

Otro:

Fig. 4.21: Página 2 basada en el capítulo 1 de la guía técnica. Fuente: Roa N. (2012).

Norton - La licencia ha caducado. Identity Safe - Caducó

CHECKLIST para Instalaciones Eléctricas en el Área de Quirófano

*Obligatorio

Medidas de Protección

Capítulo II: Requerimientos de Medidas de Protección

Puesta a Tierra

Impedancia: La impedancia entre el embarrado común de puesta a tierra y las conexiones a masa de las bases de las tomas no debe exceder de 0,1 ohmios *

SI

NO

Otro:

Conexión de puesta tierra: Se realizará mediante una unión eléctrica a través de una toma por un electrodo enterrado *

Bajo los parámetros establecidos en los lineamientos

SI

NO

Otro:

Conexión de Equipotencialidad

Fig. 4.22: Página 3 basada en el capítulo 2 de la guía técnica. Fuente: Roa N. (2012).

Norton La licencia ha caducado. Identity Safe - Caducó

CHECKLIST para Instalaciones Eléctricas en el Área de Quirófano

Iluminacion

Capitulo III: Requerimientos para la Iluminación

Lamparas de quirófano

Iluminacion: Parametro de iluminación sobre el campo quirúrgico entre 20.000 lux y 100.000 lux

SI
 NO
 Otro:

Diámetro del campo iluminado: Diámetro 20 cm y profundidad de 70 cm como minimo

SI
 NO
 Otro:

Fig. 4.23: Página 4 basada en el capítulo 3 de la guía técnica. Fuente: Roa N. (2012).

Norton La licencia ha caducado. Identity Safe - Caducó

CHECKLIST para Instalaciones Eléctricas en el Área de Quirófano

Aires Acondicionados

Capitulo IV: Requerimientos para Aires Acondicionados

Condiciones mínimas para A/A

Equipo: Cada quirófano tiene un sistema independiente de climatización

SI
 NO
 Otro:

Renovaciones de Aire: El sistema debe garantizar un mínimo de 15 renovaciones
En segundo casa un mínimo de 5 renovaciones/horas con 25 recirculaciones/hora

SI
 NO
 Otro:

Fig. 4.24: Página 5 basada en el capítulo 4 de la guía técnica. Fuente: Roa N. (2012).

El capítulo V solo será llenado en caso de que la obra evaluada o diseñada sea un quirófano inteligente (véase fig. 4.25) en caso de no ser así puede obviar el siguiente capítulo.

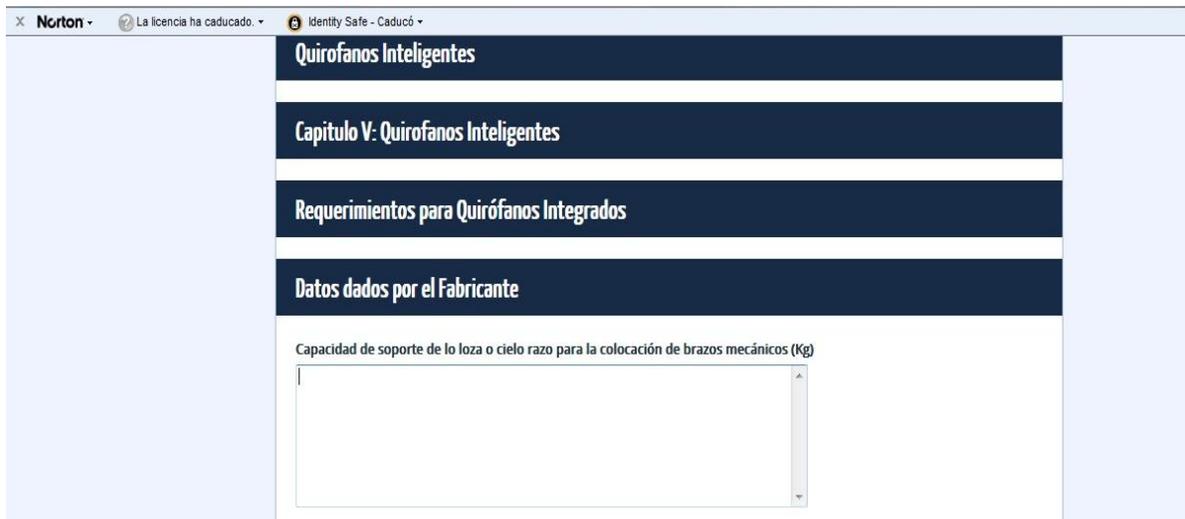


Fig. 4.25: Página 6 basada en el capítulo 5 de la guía técnica. Fuente: Roa N. (2012).

Al culminar el proceso y dar click en enviar se emitirán los datos suministrados al administrador y el usuario recibe la siguiente respuesta como lo muestra la fig. 4.26:

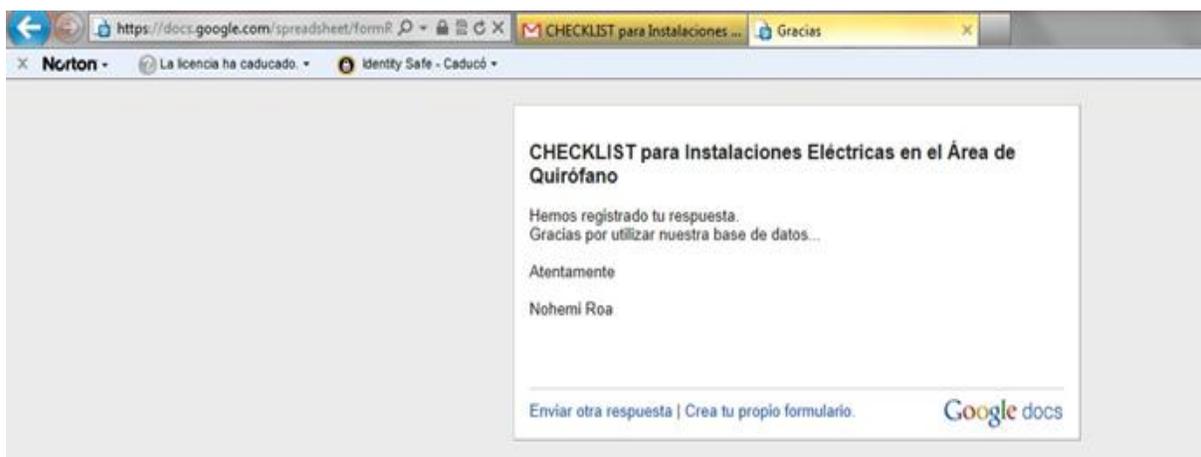
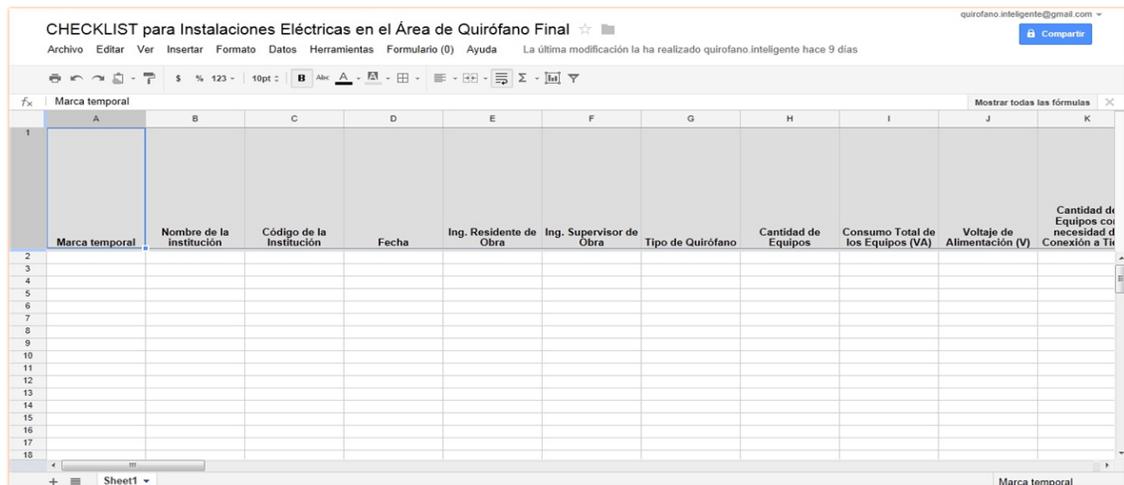


Fig. 4.26: Respuesta al enviar los datos correctamente. Fuente: Roa N. (2012).

El administrador recibe los datos enviados por el usuario generándose automáticamente una matriz que puede ser descargada en diversos formatos y de esta manera llevar un registro continuo con fecha y hora de los informes emitidos por los diversos usuarios (véase fig. 4.27).



1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	Marca temporal	Nombre de la Institución	Código de la Institución	Fecha	Ing. Residente de Obra	Ing. Supervisor de Obra	Tipo de Quirófano	Cantidad de Equipos	Consumo Total de los Equipos (VA)	Voltaje de Alimentación (V)	Cantidad de Equipos con necesidad de Conexión a Tierra
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											

Fig. 4.27: Matriz de recepción de datos. Fuente: Roa N. (2012).

Si el administrador lleva el registro de diferentes construcciones eléctricas de quirófanos tendrá la posibilidad de filtrar la información y clasificarla de forma rápida y eficiente, gracias a las facilidades de trabajo que contiene Google Docs, además podrá observar los resultados obtenidos a través de gráficos de manera tal que visualizará los porcentajes de lineamientos cumplidos o no cumplidos.

La utilización de la guía de lineamientos técnicos para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias enfocadas al área de quirófanos, permite al ingeniero implementar los criterios precisos en la ejecución de proyectos de esta índole de forma rápida y efectiva. Para desarrollar estos lineamientos fue necesario analizar los estándares de las diferentes instituciones, reglamentos y normativas tanto nacionales como internacionales. Entre las conclusiones obtenidas se encuentran:

- Para la realización de la guía de lineamientos técnicos fue necesario el estudio de las normas, códigos, reglamentos y estándares reconocidos nacional e internacionalmente, fundamentados en los criterios de avanzadas tecnologías y rigurosas exigencias en materia de seguridad eléctrica hospitalaria. Basado en lo antes expuesto y enfocados en la eficiencia energética, las instituciones seleccionadas fueron las siguientes: IEC, IDEA, CEI y la IEEE, en conjunto con las normas y reglamentos más actuales: REBT, CEN-2009, UNE e incluso gacetas oficiales de la República Bolivariana de Venezuela.
- Todos los lineamientos indicados en la guía han sido seleccionados bajo las condiciones mínimas que debe tener un quirófano convencional o integrado basados en el concepto de un sistema eléctrico eficiente, seguro y confiable.
- La jerarquización de la guía técnica se elaboró en base a cinco capítulos considerados como fundamentales para el diseño de quirófanos según el estudio realizado, además de un sexto capítulo donde se plantea una herramienta de trabajo para la implementación de los lineamientos.
- Se obtuvo de los lineamientos planteados una herramienta de trabajo (checklist) el cual se encuentra desglosados por capítulo para especificar de manera minuciosa cada uno de los detalles técnicos a elaborarse en la obra.

- La metodología del checklist se desarrollo con la intención de facilitar al ingeniero proyectista la verificación y el cumplimiento de los requerimientos básicos en el proceso de diseño y construcción de los quirófanos convencionales e inteligentes.
- Se logro diseñar y aplicar dos modalidades de checklist, la primera es el método clásico a través de un formato de tablas que permite recaudar información de mediciones, observaciones y verificación del cumplimiento de los requerimientos. La segunda modalidad es a través de un programa computarizado abierto a la red conocido con el nombre de Google Docs, el cual permite llevar una base de datos que registre los lineamientos de la obra
- Google Docs permite llevar una base de datos digitalizada de los chequeos realizados a los diseños de las salas de intervención basado en requerimientos establecidos por la guía de lineamientos técnicos, obteniendo del mismo un registro continuo de los datos cargados al sistema. El administrador podrá clasificar la información necesaria del sistema e incluso imprimir en diferentes formatos.
- Se presentó la guía de lineamientos técnicos en conjunto con la herramienta de trabajo Checklist en sus dos modalidades ante la Secretaria Sectorial para el Fortalecimiento del Poder Popular del estado Aragua, donde se obtuvo la validación del proyecto como un aporte fundamental para el ente gubernamental y la línea de investigación "Eficiencia Energética y Calidad de Energía" de la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo.

La realización de la guía de lineamientos técnicos determinada para el área de quirófanos fue elaborada bajo ciertas limitaciones regidas por esta investigación, sin embargo existen algunos parámetros que pueden ser tomados en cuenta en otras oportunidades para desarrollo de la línea de investigación en torno al ámbito del diseño y remodelación de los sistemas eléctricos en los espacios médico-quirúrgicos. Por lo tanto se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Se recomienda el desarrollo de otras guías de lineamientos técnicos que nos permita crear un sistema eléctrico de alta eficiencia energética en ciertas áreas hospitalarias. Debido que al igual que en el quirófano existen otros espacios que poseen cierta complejidad en sus instalaciones eléctricas, además de una gran variedad de normativas y reglamentos. Algunas de estas áreas que necesitan de guías son las siguientes: unidad de cuidados intensivos (UCI), actualización de Hospitalización (pediátrica, adultos y neonatología), salas de radioterapia, entre otras.
- Analizar la identificación de costos y beneficios de la implementación de los quirófanos inteligentes en los centros médicos asistenciales enfocados hacia el ahorro energético.
- El aumento del consumo energético, derivado del crecimiento económico y de la tendencia a satisfacer un mayor número de necesidades, hace cada vez más urgente la integración de aspectos medioambientales y sostenibles en la gestión de infraestructuras públicas. Por esta razón se sugiere el análisis del potencial del ahorro energético en los centros de salud.
- Estudiar la posible integración de los sistemas fotovoltaicos como fuente energía a los sistemas eléctricos hospitalarios.

- Complementar la guía de lineamientos técnicos enfocados a quirófanos con el desarrollo de los sistemas de alarmas en caso de emergencia y los sistemas contra incendios.
- Basados en las nuevas tendencias tecnológicas se recomienda iniciar estudio para los modelos de comunicación interna en los centros médicos asistenciales.
- Se recomienda desarrollar un estudio para estar al tanto de las condiciones en las que se encuentran las instalaciones eléctricas de las salas de intervención en los estados Aragua y Carabobo.
- La herramienta desarrollada en este proyecto de grado fue realizada con el fin de orientar al proyectista y facilitar la verificación del cumplimiento de los requerimientos por ello se invita a la divulgación de la misma con el fin de que sea accesible para todos.
- Se invita para estudios posteriores realizar una herramienta similar enfocada hacia el área de mantenimiento de manera tal que cumpla con las normativas establecidas por los organismos pertinentes.

- [1] Seguridad Eléctrica de un quirófano (2009). Consultado el 10 de Enero de 2011, de <http://www.ate.uniovi.es//8695documentos/trabajos.pdf>.
- [2] Espada Víctor (2009). "*Boletín tecnológico evaluaciones de tecnología en salud. Boletín 29*". Consultado 15 de Enero de 2012, de <http://essalud.gob.pe/downloads/empresarial/salud/boltecono29.pdf>.
- [3] Annel Mejías Guiza (2011). "*Fue instalado un quirófano inteligente en hospital universitario de los andes*". Consultado el Miércoles 25 de enero de 2012, de <http://www.Correoelorinoco.com>.
- [4] Bambaren, C. & Alatrística, M. (2007). "*Hospitales seguros ante desastres*". Tesis doctoral publicada, Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, Perú.
- [5] Fermín, E. & Ballesteros, M. (1971). "*Planificación y estudio de un sistema de distribución y canalizaciones eléctricas para un hospital*". Tesis de pregrado publicada, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- [6] COVENIN. (2009). "*Código Eléctrico Nacional (CEN)*". Caracas, Venezuela.
- [7] Eguiguren, J. & Jiménez, R. (2010). "*Elaboración de un manual de Procedimientos para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias*". Tesis de pregrado no publicada, Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- [8] Flores A. (2005). "*Diseño de la automatización y control del sistema de acondicionamiento de aire de los quirófanos ubicados en la torre C de la clínica la Viña en Valencia*". Tesis de Grado publicada, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- [9] Yapur, M. Murillo, E. & Guzmán, N. (2011). "*Criterios para la implementación eléctrica de un quirófano integrado o inteligente*". Tesis de pregrado no publicada, Escuela superior politécnica de litoral, Ecuador.
- [10] Ramírez Y. (2006). "*Evaluación de los sistemas de energía auxiliar y la calidad de la energía. Caso: Dr. Rafael Medina Jiménez, estado Vargas-Venezuela*". 2º Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad. Montevideo - Uruguay.
- [11] Monzón, J. & Utrera, J. (2007). "*Estudio del sistema eléctrico de la policlínica El Morro*". Tesis de grado publicada, Universidad de Carabobo, Venezuela.

- [12] Parra, L. (2008). *"Reestructuración del sistema eléctrico del centro médico San Joaquín"*. Tesis de grado publicada, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- [13] Gaceta Oficial (1983) Decreto N° 1798 "Clasificación del sistema hospitalario". Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 32650. Caracas, Venezuela.
- [14] Gispert C. (1997) *"Enciclopedia Temática Océano"*. Tomo 7 pág. 1375 Grupo Editorial Océano impreso en España.
- [15] Ajanel J. (2009). *"Manual de seguridad eléctrica y metrología para equipos médicos, usados en los quirófanos de adultos del hospital general san Juan de Dios"*. Tesis de pregrado publicada, Universidad de en Carlos de Guatemala.
- [16] Sinetamer energy control system (2009). *"Los transientes"*. Consultado en Enero de 2012, de <http://www.ecsintl.com/sinetamer>.
- [17] Lukostchuk A. (2007) *"Fallas en Sistema de Potencia"*. Universidad de Carabobo Facultad de Ingeniería Eléctrica Pág. 69, 71, 72. Valencia- Venezuela.
- [18] Comisión Internacional Electrotecnia (IEC) Std. N° 60364-710:2002-11. *"La instalación de un sistema de distribución aislada IT"*
- [19] The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2007) Std. 602™ White book *"Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities"*
- [20] Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). (2006) Capítulo X sección IT-BT-38. *"Instalaciones con fines especiales requisitos particulares para la instalación eléctrica en quirófanos y salas de intervención"*
- [21] Raberón, C. (2009). *"El ruido eléctrico"*. Documento informativo publicado, Universidad de Zaragoza, España. Consultado en Enero de 2012, de http://www.cps.unizar.es/~te/Docencia_archivos/eatclc_archivos/ruido2.
- [22] TAIGUER. Grupo electrógeno. (2012). *"Grupos electrógenos Venezuela"*. Consultado en Enero de 2012, de <http://www.grupoelectrogeno.net>.
- [23] TECNOWERE, servicios de informática (2011). *"Sistema de alimentación ininterrumpidd"*. Consultado en enero de 2012 de <http://www.helppc.com/T2app/pdf/sai-T2.pdf>.

- [24] Naveira F. (2010). "*Sistemas de Distribución*" Universidad de Carabobo Facultad de Ingeniería Eléctrica capítulo IV. Valencia
- [25] Arias, F. (2006). "*El proyecto de Investigación, introducción a la metodología científica*". (5ª ed.). Caracas, Venezuela: Episteme.
- [26] Hurtado, J. (2007). "*El proyecto de investigación, comprensión holística de la metodología y la investigación*". (6ª ed.). Caracas, Venezuela: Quiron-Sypal.
- [27] Bavaresco, A. (2006). "*Proceso Metodológico de la Investigación*".(5ª ed.). Maracaibo, Venezuela: La Universidad del Zulia.
- [28] Comité de Iluminación Española (CIE) y el Instituto para la Diversificación y ahorro de Energía (IDAE). (2010). "*Guía técnica de eficiencia energética en iluminación para hospitales y centros de atención primaria*"
- [29] Master Circuito C.A. (2008). "*Tablero de Aislamiento para quirófanos*" Lara, Venezuela.
- [30] BASF The Chemical Company (2009). "*La necesidad de controlar la electricidad estática*"
- [31] TECNAIR LB (2010). "*Acondicionadores de aires para quirófano*". Consultado en Marzo de 2012 de www.tecnairlb.it.

Respuestas Emitidas en la Entrevista:

Por medio de la siguiente entrevista me dirijo a Ud. A fin de recaudar la mayor información posible acerca de los lineamientos técnicos empleados por los proyectistas de la secretaria sectorial para el fortalecimiento del poder popular del estado Aragua respecto a la construcción eléctrica de salas de operaciones en centros médicos asistenciales, a continuación las siguientes interrogantes:

6. ¿Existe algún lineamiento técnico bajo el cual su institución se guie para el diseño y construcción de las instalaciones eléctrica hospitalarias en el área de quirófano?

Rs: "No, solo se posee la asesoría técnica de CORPOELEC a nivel de distribución"

7. ¿Considera usted importante tener estos lineamientos técnicos para el diseño de instalaciones eléctricas enfocados hacia el área de quirófano en su institución?

Rs: "Si por supuesto, a nuestra institución llegan una gran variedad de proyectos enfocados hacia el área de salud y estos lineamientos serán de gran ayuda"

8. ¿Que aspectos cree usted que deben considerarse como prioritarios en esta guía de lineamientos técnicos?

Rs: "Para nosotros es importante que estas instalaciones sean lo mas factibles posibles, es decir que su sistema eléctrico sea de calidad"

9. ¿Bajo que normativas o legalidades se rige esta institución para la elaboración de instalaciones eléctricas en centros médicos asistenciales?

Rs: "Básicamente bajo el Código Eléctrico Nacional, también las normas COVENIN, no hemos manejado otros por ahora o por lo menos no estoy informado"

10. ¿Desea agregar alguna otra información acerca del tema planteado?

Rs: "Nos parece interesante y de gran productividad el tema para la secretaria sectorial, seria bueno que se extendiera hacia otras áreas hospitalarias"

Identificación del cable exigido por la guía de lineamientos técnicos:

La instalación de cables no propagadores del incendio y con emisión de humo y opacidad reducida es exigida a los conductores en el REBT en los puntos de la instalación que reflejan las siguientes instrucciones técnicas complementarias:

1. ITC-BT-014. Línea General de Alimentación (LGA).
2. ITC-BT-015. Derivaciones Individuales (DI).
3. ITC-BT-016. Centralización de Contadores (CC).
4. ITC-BT-28. Locales de Pública Concurrencia (LPC).

Cabe mencionar que los beneficios de la instalación de dichos conductores son incuestionables, en tanto en cuanto reducen la propagación del incendio, no emiten vapores tóxicos que podrían hacer que las personas se viesan indispuestas en casos de evacuación en incendios y los humos no son opacos, con lo que la percepción visual de dichas personas de la señalización y los medios de evacuación no se ve demasiado comprometida.

La duda que motiva esta entrada surge cuando hay que comprobar que los conductores instalados son los correctos. Por norma general, la mayoría de los cables tienen inscrito en su aislamiento un código alfanumérico que los identifica. En la imagen puede verse un cable ES07Z1-K (AS).



Cabe destacar que existe un "sufijo", AS, que indica que el cable es el adecuado para este tipo de instalaciones que comentamos. Dicha información ya se desprende del código en concreto, pero AS, entre paréntesis, está establecido como una indicación de tal hecho.

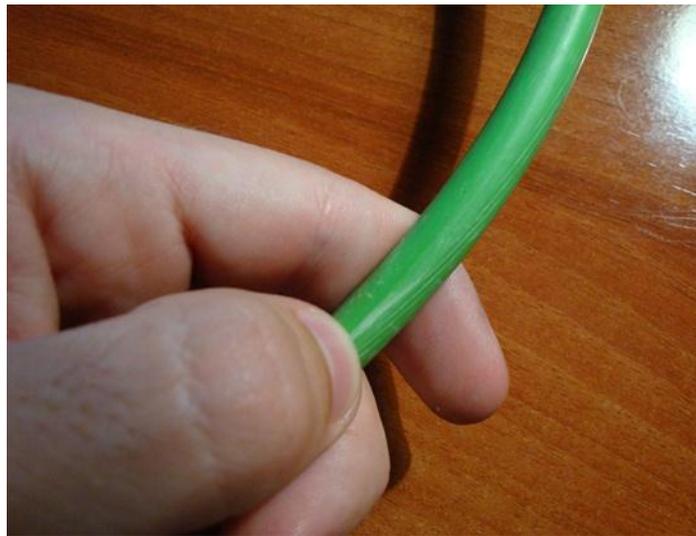
¿Qué ocurre si los cables no llevan impreso dicho código, o si la zona donde estaba se ha cortado o ha quedado en una zona oculta de la instalación?

Se pueden establecer las siguientes premisas mediante las cuales, puede indagar si los conductores son "libres de halógenos".

- **El tacto del cable "libre de halógenos" es más suave y deslizante que el de los cables convencionales:** En efecto, al palpar ambos cables se nota la diferencia de suavidad, aunque es más sencillo cuando se tienen ambos tipos de cable en las manos. Si toda la instalación está compuesta de un único tipo, no

tenemos elemento de comparación, por lo que hace falta mucha experiencia para identificar un tipo u otro.

- El cable "libre de halógenos" tiene una especie de recubrimiento de polvo blanquecino que se raya al rasparlo y/o presenta rayitas blancas: Efectivamente, si raspamos con algún objeto punzante o con la uña misma un cable de este tipo, se queda en su recubrimiento una señal blanquecina. Por este hecho, debido a la manipulación del cable en fábrica y en el envasado, puede ocurrir que el recubrimiento presente una serie de rayitas blancas longitudinales, que no es más que ese polvo blanquecino rayado. En la siguiente imagen puede verse una manguera RZ1-K (AS) rayado con una uña y con las características líneas que comentábamos.



- El cable "libre de halógenos" a penas arde cuando se le acerca una llama, y la emisión de humos es muy baja, además de no desprender mal olor. Si se trata de un cable "libre de halógenos" apenas arderá, sólo observaremos la llama del mechero utilizado, casi no desprenderá humo y el leve olor que percibiremos será similar al de la combustión de una vela. Si se trata de un cable convencional, la llama del mechero se propagará en los alrededores del

punto de aplicación, desprendiendo humo tóxico de muy mal olor (lo que conocemos comúnmente como goma quemada), y al retirar la llama todo el recubrimiento estará chamuscado y embotado, con el aspecto propio de haber sufrido un incendio.



Cables no propagadores del incendio y con emisión de humo y opacidad reducida (AS).



Cable convencional.

Características de las canalizaciones:

Según normas especificadas en la sección II del capítulo 1 las canalizaciones deben tener las siguientes características:

- Composición: PVC
- Resistencia a la compresión: 750N a 20°C
- Temperatura de utilización: -5°C hasta 60°C
- Aislante curvable. Debido a su superficie de ondulación se obtiene una máxima flexibilidad, incluso a baja temperatura.
- Rigidez Dieléctrica: 2Kv - 60Hz
- Resistencia de Aislamiento: 100 M Ω bajo 500V en c.c.
- No es propagador de la llama
- Color verde - Telefonía
- Color blanco - Informática
- Color negro - Electricidad
- Color azul - Video-portero
- Color violeta - Salidas de emergencias
- Color marrón - Sonido
- Aplicaciones: Paso de cables eléctricos en paredes, falsos techos, tabiques, entre otros.

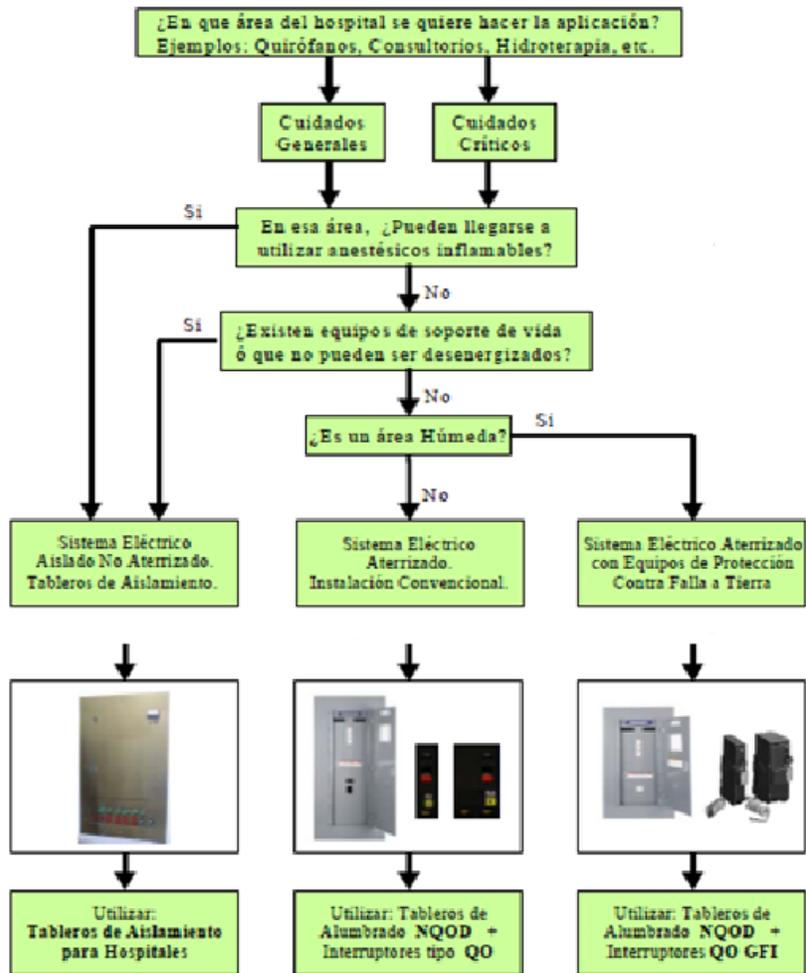


Tableros de Aislamiento para Quirofanos

En un quirófano siempre se utilizan equipos de soporte de vida, es decir equipos que no pueden dejar de ser alimentados eléctricamente, además con frecuencia es un área húmeda por el tipo de trabajo que ahí se realiza, y también, puede ser explosiva por los anestésicos o gases utilizados. Todo ello conlleva a que el diseño de la instalación eléctrica deba ser con equipos que protejan ante falla a tierra sin interrumpir el suministro y que además no produzcan chispa, esto se logra con los tableros de Aislamiento para Hospitales, que ofrecen los siguientes beneficios:

- Evitar que corriente eléctrica fluya de manera accidental por el paciente durante la operación o tratamiento
 - Evitar que equipo electromédico de Soporte de Vida sea desenergizado al presentarse una falla a tierra.
 - Evitar la aparición de chispas en un ambiente que puede ser explosivo debido a los gases médicos utilizados para anestesia, tratamientos, así como los gases generados durante el proceso quirúrgico.
 - Dar protección de falla a tierra en un local que puede volverse húmedo por los procedimientos quirúrgicos a realizar.
 - Monitorear el aislamiento del sistema eléctrico en una sala de operación para evitar corrientes de fuga peligrosas al paciente y cuerpo médico.
-

Diagrama de flujo para definir si se requiere este tipo de tableros :



Tablero de Aislamiento DUAL

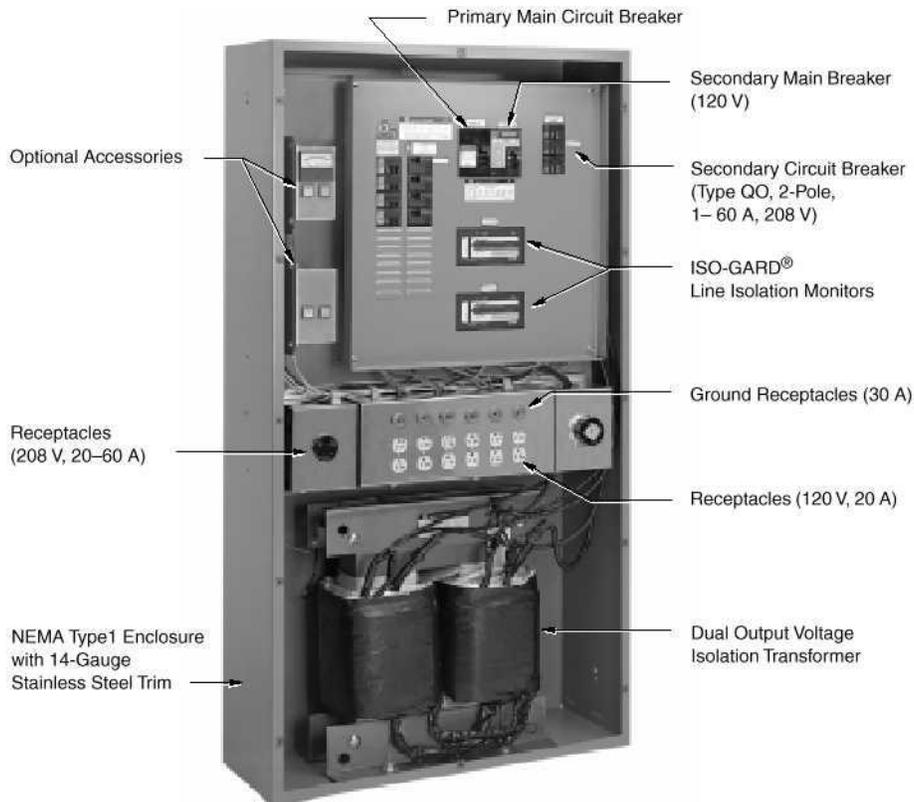
CARACTERISTICAS



- Un Transformador de 5, 7.5 ó 10, kVA
- Tensión primaria: 208, 240, 277 ó 480 Vca
- Interruptor primario según la capacidad
- Tensión secundaria: 120/208 ó 120/240 Vca
- Interruptores secundarios según cargas
- Dos ISO-GARD. Monitor de Aislamiento de Línea
- Barra de Tierras
- Montaje: empotrar ó sobreponer

Equipo Opcional

- Receptáculo de Rayos X
- Receptáculo para cirugías con Láser
- Hasta 6 receptáculos dúplex de fuerza
- Hasta 6 receptáculos de tierra
- Dos indicadores de alarma



Tablero de Aislamiento DUPLEX

CARACTERISTICAS



- Dos Transformadores de 5 ó 7.5 kVA
- Tensión primaria: 120 a 480 Vca
- Interruptor primario según la capacidad
- Tensión secundaria: 120 Vca
- 16 Interruptores secundarios 2P-20A
- Dos ISO-GARD. Monitor de Aislamiento de Línea
- Dos Barras de Tierras
- Montaje: empotrar ó sobreponer

Consideraciones

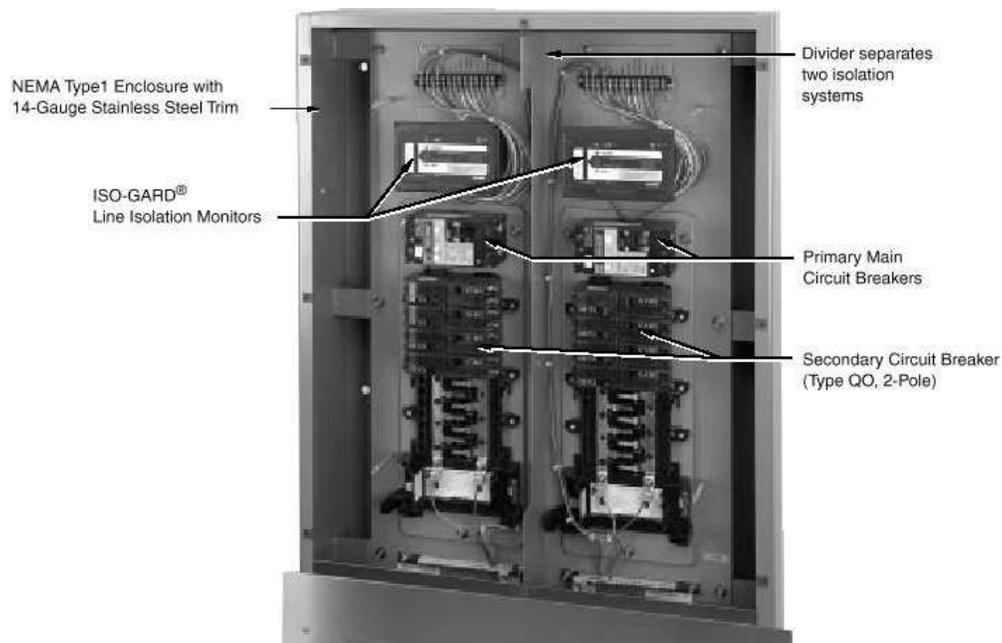
Número máximo de circuitos:

36 si se instala dentro de sala de operación

24 si se instala en pasillo.



SQUARE D
Schneider Electric



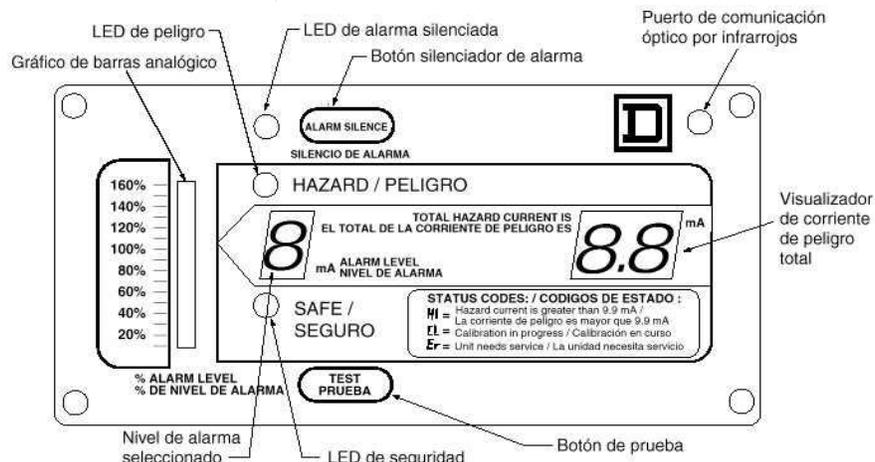
Monitor de Aislamiento de Línea (LIM):

Para que un sistema eléctrico aislado no puesto a tierra como el de los hospitales funcione correctamente, es de gran importancia monitorear el aislamiento del sistema. Esta es la función que tiene el Monitor de Aislamiento de Línea, comercialmente conocido como ISO-GARD. Es Digital y Microprocesado, con monitoreo continuo del sistema eléctrico aislado.

ISO-GARD, Características



- Control por Microprocesadores
- Componente Estandar en Tableros
- Mide la Impedancia entre Línea y Tierra
- Predice Falla a Tierra (Ground Fault)
- Hazard Current (5.0 mA)
- Se Autorestablece y autocalibra cada 65 minutos
- Tono audible de Alarma en 2 intensidades
- Puerto Optico para recolectar datos
- Artículo 517-160 NEC 1999
- Reconocido por UL1022
- Corriente de Fuga = 25 MicroAmperes



Modulos de Fuerza y Tierra Serie 120



Modelo **RMDR-120-4NI**
Solicitar caja 53007BB



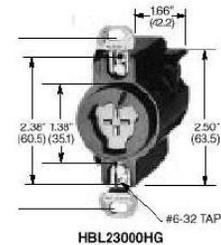
SQUARE D
Schneider Electric

Los módulos de Fuerza y Tierra son dispositivos utilizados como terminales de salida del Sistema de Aislamiento, a partir de ellos se alimentan los equipos electromédicos y se conectan a tierra las partes metálicas no energizadas de elementos en la vecindad del paciente.

RECEPTACULOS



8200R



HBL23000HG



HBL23014HGB

Receptáculos de fuerza. Deben ser:
Grado Hospital, Aterrizados NO Aislados





- Barras Cooper, elemento utilizado para generar tierra de protección y garantizar efectividad de choque eléctrico.

Las conexiones eléctricas por soldado exotérmico es un proceso en el que se hace un empalme eléctrico al verter una aleación súper calentada de cobre fundido en el interior de un recinto en el cual se encuentran alojados los conductores a ser unidos. Esta aleación de cobre fundido, contenida y controlada dentro de un molde de grafito especialmente diseñado para este fin, hace que los conductores se fundan. Una vez enfriados, los conductores se encuentran empalmados mediante una soldadura de fusión.



MASTERTOP 1270 AS

Revestimiento autonivelante en base epoxi, coloreado, conductivo y antiestático.

MASTERTOP P 601/611
 Imprimación epoxi en 2 componentes, sin disolventes, incolora (sin espolvoreo de arido)

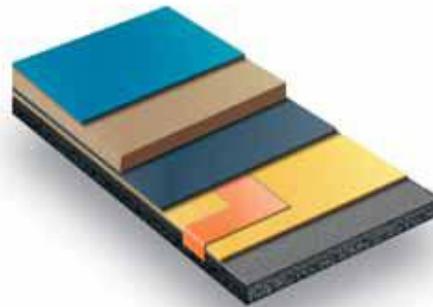
Cintas de cobre
 Cintas adhesivas conectadas a toma de tierra (distancia máxima 10 m)

MASTERTOP CP 687 W-AS
 Imprimación conductiva epoxi en 2 componentes, en base agua

MASTERTOP BC 370 AS
 Capa base antiestática epoxi en 2 componentes, sin disolventes, pigmentada

Resistencia a tierra:
 $10^4 - 10^6 \Omega$ (EN 1081)
 $< 10^9 \Omega$ (UNE-EN 61340-5-1)

Aplicaciones típicas:
 Industria electrónica, salas de ordenadores, laboratorios, quirófanos



MASTERTOP 1328 AS

Revestimiento autonivelante en base poliuretano, coloreado, antiestático para sistemas de pavimentos industriales que soportan cargas medias, en los que se requiere una ligera deformabilidad.

MASTERTOP P 601
 Imprimación epoxi en 2 componentes, sin disolventes, incolora (sin espolvoreo de arido)

Cintas de cobre
 Cintas adhesivas conectadas a toma de tierra (distancia máxima 10 m)

MASTERTOP CP 687 W-AS
 Imprimación conductiva epoxi en 2 componentes, en base agua

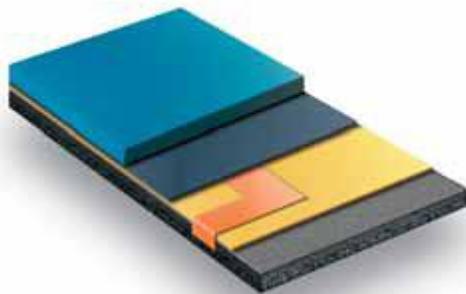
MASTERTOP BC 375 AS
 Capa base de poliuretano en 2 componentes antiestática, sin disolventes, autonivelante, deformable, pigmentada

(opcional)

MASTERTOP TC 409 W-ESD
 Capa de acabado de poliuretano en 2 componentes, sin disolventes, pigmentada

Resistencia a tierra:
 $10^4 - 10^6 \Omega$ (EN 1081)
 $< 10^9 \Omega$ (IEC 61340-5-1)

Aplicaciones típicas:
 Salas de ordenadores, laboratorios, salas blancas, quirófanos e industria electrónica (EPA)



Características de luminarias para quirófanos:

- Grado estanqueidad elevado
- Radiación infrarroja reducida favorece la no incubación y multiplicación de gérmenes
- Fácil limpieza
- Exentas de cantos vivos y aristas
- No producir sombras

Características de lámparas quirófanos:

- Alumbrado general Fluorescencia
 - Alumbrado Localizado Halogenuros metálicos, Halógenas, Fluorescentes compactas
 - Balastos Electrónicos
 - Ahorro económico (vida, consumo, factor de potencia)
 - Confort (encendido instantáneo, sin destellos, sin ruidos)
 - Seguridad (desconexión, lámparas defectuosas, menor temperatura, posibilidad emergencia)
 - Regulación (ajuste nivel de luz, menor consumo)
 - Innovación Lámparas con tecnología LED
-

Ventajas y desventajas de las lámparas:

Lámparas Halógenas.

- **Ventajas:** La más utilizada, encendido instantáneo. Buen rendimiento de color.
- **Desventajas:** Vida corta (1000 horas), generan más calor.

Características del producto

La conmutación totalmente automática por mesor a la iluminación de reserva en caso de un fallo de la fuente de iluminación principal garantiza en cualquier situación un 100 % de potencia luminica.

Cámara CCD para fines de documentación integrable opcionalmente en el asa estéril de la luminaria. Disponible opcionalmente para una transferencia WLAN o por cable.




Comutación a la luz de reserva Cámara CCD integrada en el asa (opcional)

Ejemplos de configuración



Luminaria individual.
Altura mínima del techo 288 cm.



Luminaria doble.
Altura mínima del techo 299 cm.



Luminaria individual con monitor.
Altura mínima del techo 288 cm.



Luminaria doble con monitor.
Altura mínima del techo 299 cm.

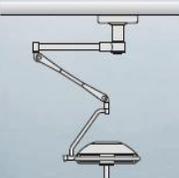
Datos técnicos de las luminarias

	Aurilio H 100--	Aurilio H 120--	Aurilio H 140--	Aurilio H 160--
Illuminancia a una distancia de 1 m	100.000 lx	120.000 lx	140.000 lx	160.000 lx
Temperatura del color	4300 K (blanco neutral) Ra = 93	4300 K (blanco neutral) Ra = 93	4300 K (blanco neutral) Ra = 93	4300 K (blanco neutral) Ra = 93
Índice de reproducción cromática	Ra = 93	Ra = 93	Ra = 93	Ra = 93
Diámetro ajustable del campo de luz a una distancia de 1 m	140 - 200 mm	150 - 240 mm	160 - 250 mm	180 - 300 mm
Profundidad de iluminación L1 + L2	980 mm	980 mm	1060 mm	1060 mm
Diámetro del cuerpo de luminaria	560 mm	560 mm	720 mm	720 mm
Regulabilidad	40.000 - 100.000 lx en 8 niveles	50.000 - 120.000 lx en 8 niveles	60.000 - 140.000 lx en 8 niveles	70.000 - 160.000 lx en 8 niveles
Potencia nominal de la lámpara	120 W	150 W	150 W	150 W
Vida útil de la lámpara	400 - 1000 h	400 - 1000 h	600 - 1000 h	600 - 1000 h
Conmutación totalmente automática a la iluminación de reserva con 100 % de potencia luminica, sin calentamiento	si	si	si	si

Datos técnicos de la cámara

Receptor de imágenes	1/4-type Super HAD CCD*
Puntos de imagen	460800
Zoom	72x (15x óptico, 4x digital)
Illuminación mínima	1.0 lux
Sinal/ruído	50 db
Obturador automático	1/1 a 1/10000 s, 22 niveles

Tipos de montaje



Versión para techo - D



Versión para pared - W



Versión móvil - M

La luminaria halógena para quirófanos se distingue siempre por su iluminancia extremadamente alta. La luz sin sombras y la iluminación profunda garantizan al cirujano una visibilidad óptima en la zona de operación



Lámparas de Halogenuros metálicos:

- Ventajas: Mayor estabilidad de campo. Mayor duración (5000 horas)
- Desventajas: Encendido más progresivo



Lámpara LED.

- **Ventajas:** Regulación de Temperatura de color de 3600K a 5000K, sin radiación infrarroja, 250000 horas de duración.
- **Desventajas:** Varios LED de diferente color para conseguir la luz deseada



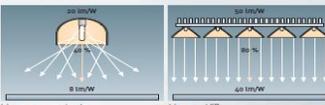
LEDs - la tecnología del futuro en el quirófano

Las LEDs disponen de una vida útil unas 20 veces mayor que la de las bombillas halógenas. En caso de un período de utilización de 10 horas diarias por media, el cambio de la lámpara será necesario solamente cada 7 a 8 años y no cada 4 a 5 meses.



Comparación de la vida útil de lámparas

Debido al tamaño pequeño de las lámparas y al desacoplamiento directo de la luz sin necesidad de un reflector, las lámparas con tecnología LED pueden utilizarse de manera más eficaz. Su rendimiento en servicio es el doble de alto que en el caso de las lámparas con bombillas.



Lámparas convencionales vs Lámparas LED

A través de la combinación de lentes LFL diseñada por TSI/LLK, una óptica primaria orienta la luz de forma paralela, mientras que una óptica secundaria realiza la concentración de los rayos de luz. El resultado es una iluminación excelente de la zona de operación en el plano y la profundidad.



Ópticas primarias de la combinación de lentes LFL

Iluminación óptima para la cirugía

Temperatura de color y valor de reproducción cromática (CRI)

La lámpara LED para quirófanos consigue una luminosidad como si medida de un día soleado de verano. Es decir, 100.000-160.000 lux a una temperatura de color de 4.700 kelvin. El valor de reproducción de color es de 95 en todo el margen de regulación.

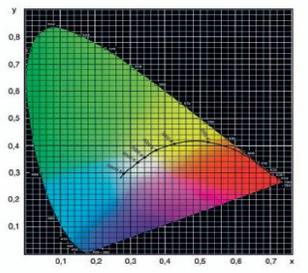


Tabla de colores normalizados según CIE



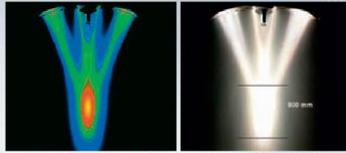
Zona de operación a 4.700 kelvin vs Zona de operación a 3.500 kelvin

El ojo humano está adaptado perfectamente a la luz natural del sol. Una temperatura de color de la luz percibida a la luz diurna permite la adaptación de las imágenes guardadas en la memoria del cirujano al estado real en la zona de operación y, por consiguiente, forma la impresión más importante para el cirujano para poder tomar las decisiones correctas durante la intervención quirúrgica. Una zona de operación iluminada a 4.700 kelvin permite aquí mejores condiciones de vista que una iluminación a 2.500 kelvin.

Además, las altas temperaturas del color reducen la liberación de melanina en el cuerpo humano y permiten al cirujano trabajar durante más tiempo sin fatiga.

LEDs en el quirófano – tecnología moderna sin compromisos

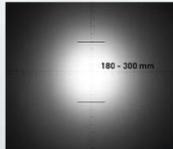
La iluminancia central Ec a 1 metro de distancia es de 160.000 lux a una profundidad de iluminación L1 = 1,2 de 300 mm.



Luminancia Luminaria LED para quirófanos

Luz profunda Luminaria LED para quirófanos

El diámetro del campo de luz es ajustable entre 180 y 300 mm para una iluminación ideal de los campos de operación de diferentes tamaños.



Diámetro del campo de luz

La luz verde reduce el cansancio de los ojos en intervenciones endoscópicas y los reflejos en los monitores TFT. Y el personal de quirófano dispone de una iluminación suficiente del quirófano para poder realizar su trabajo.



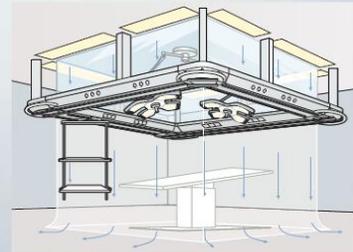
Modo endoscópico con luz verde

LEDs – simbiosis entre la tecnología y la higiene

La carcasa de la luminaria LED para quirófanos está optimizada para el flujo. Estudios demuestran que los diseños esféricos con una superficie reducida reducen las turbulencias. Un inteligente sistema de gestión térmica minimiza la temperatura en la superficie. Estas características, así como el grado de protección IP 64 convierten la luminaria LED para quirófanos en un producto ideal para el uso en quirófanos con techos Laminar-Flow y bajo estrictas condiciones de higiene.



La carcasa de la luminaria para quirófanos es aerodinámica



La luminaria LED para quirófanos en colaboración con la IS 500 DP

Recomendación para el alumbrado en la sala de quirófano

- Tanto para quirófanos inteligentes como convencionales se les recomienda luminarias móviles de tecnología LED'S sin radiación infrarroja, ideal para áreas quirúrgicas las cuales requieren altos niveles de iluminación.
- Las lámparas LED'S poseen grandes ventajas entre ellas se destacan su eficiencia, bajo consumo energético y una larga vida útil.
- Para el alumbrado general se invita al uso de lámparas fluorescentes compactas para mitigar la proliferación de bacterias.