

Propuesta de adaptación de la norma IEEE std 602-2007 para la implementación de sistemas de alimentación eléctrica general y de emergencia en hospitales de El Salvador

Proposal for the adaptation of the IEEE std 602-2007 standard for the implementation of general and emergency electrical power supply systems in hospitals of El Salvador

Marcelo Antonio Martínez Mejía¹, Manuel Elías Granados Cruz¹, José Miguel Hernández¹.

¹ Universidad de El Salvador

Correspondencia: ✉ jose.hernandez2@ues.edu.sv
Enviado: **30 marzo 2026** Aceptado: **07 agosto 2026**

DOI: <https://doi.org/10.66778/CTI.v02n01.05>

PALABRAS CLAVE

Sistemas eléctricos hospitalarios; IEEE Std 602-2007; Energía de emergencia; Confiabilidad eléctrica; Seguridad del paciente; Normativa eléctrica (NEC 517); Calidad de energía; Infraestructura hospitalaria.

RESUMEN

La operación segura y continua de los hospitales depende en gran medida de la confiabilidad de sus sistemas eléctricos, especialmente en áreas críticas como quirófanos, unidades de cuidados intensivos, salas de emergencia y áreas de soporte vital. La norma IEEE Std 602-2007, conocida como White Book, constituye una referencia técnica especializada para el diseño y evaluación de instalaciones eléctricas en hospitales; sin embargo, su aplicación directa en El Salvador presenta limitaciones debido a diferencias normativas, técnicas y contextuales. En el país, el diseño hospitalario se rige principalmente por el National Electrical Code (NEC), en particular por el artículo 517, así como por criterios regulatorios y condiciones reales de infraestructura, mantenimiento y disponibilidad de recursos. Por ello, la presente investigación propone una adaptación técnica de la IEEE Std 602-2007 a la realidad salvadoreña, mediante un análisis comparativo con el NEC Artículo 517 y los lineamientos aplicables del contexto nacional. El estudio aborda criterios de continuidad del servicio, sistemas esenciales, áreas de atención crítica, puesta a tierra, equipotencialidad, aislamiento eléctrico y seguridad del paciente, con el fin de generar una guía útil para el diseño, evaluación y mejora de instalaciones eléctricas hospitalarias en El Salvador.

KEYWORDS

Hospital electrical systems; IEEE 602-2007 standard; Emergency power; Electrical reliability; Patient safety; Electrical regulations (NEC 517); Power quality; Hospital infrastructure.

ABSTRACT

The safe and continuous operation of hospitals largely depends on the reliability of their electrical systems, especially in critical areas such as operating rooms, intensive care units, emergency rooms, and life-support areas. IEEE Std 602-2007, known as the White Book, is a specialized technical reference for the design and evaluation of hospital electrical installations; however, its direct application in El Salvador presents limitations due to regulatory, technical, and contextual differences. In the country, hospital electrical design is mainly governed by the National Electrical Code (NEC), particularly Article 517, as well as local regulatory criteria and real infrastructure, maintenance, and resource conditions. Therefore, this research proposes a technical adaptation of IEEE Std 602-2007 to the Salvadoran reality through a comparative analysis with NEC Article 517 and applicable national conditions. The study addresses service continuity criteria, essential electrical systems, patient care areas, grounding, equipotential bonding, isolated power systems, and patient safety, in order to develop a practical guide for the design, evaluation, and improvement of hospital electrical systems in El Salvador.



INTRODUCCIÓN

En El Salvador, la infraestructura hospitalaria enfrenta retos que van desde la coexistencia de instalaciones nuevas y antiguas, limitaciones presupuestarias, disponibilidad de repuestos y equipos, hasta variaciones en la calidad del suministro eléctrico y la necesidad de asegurar mantenimientos preventivos y correctivos oportunos. Además, los proyectos y mejoras hospitalarias deben alinearse con normativa y prácticas aplicables en el país, lo cual exige criterios claros y adaptados a la realidad local. En muchos casos se utilizan estándares internacionales como referencia técnica, pero su aplicación literal puede no ser viable o no cubrir completamente las condiciones específicas del entorno salvadoreño (técnicas, operativas, económicas y de gestión).

En este marco, la norma IEEE Std 602 se reconoce como una guía técnica de alto valor para instalaciones eléctricas en centros de salud, ya que integra recomendaciones de confiabilidad, continuidad del servicio, seguridad, coordinación de protecciones y buenas prácticas para sistemas críticos. Sin embargo, su adopción efectiva en El Salvador requiere un proceso de adaptación que traduzca sus principios a lineamientos aplicables a hospitales locales, considerando el marco normativo equivalente, los criterios de diseño usados en la región y las condiciones reales de operación. Adicionalmente, resulta esencial contrastar dichas recomendaciones con lo establecido en códigos comúnmente utilizados para instalaciones hospitalarias, como las disposiciones de áreas de atención a la salud del NEC (Artículo 517) y normativas técnicas de aplicación local, con el fin de identificar convergencias, brechas y oportunidades de mejora.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación es de carácter documental y analítico, en primer lugar, se realiza una revisión de los capítulos 2, 3, 4, 5, 6 y 9 de la norma IEEE Std 602-2007 para identificar los criterios técnicos aplicables a sistemas eléctricos hospitalarios. Posteriormente, se analiza la normativa vigente en El Salvador, particularmente el NEC adoptado por SIGET en específico el Artículo 517, con el fin de determinar su alcance y limitaciones. Con base en esta revisión, se identifican brechas técnicas entre ambos marcos normativos y la realidad operativa de los hospitales en El Salvador debido al auge que ha tomado en los últimos años la realización de hospitales o clínicas médicas. Finalmente, se elabora una propuesta de adaptación de la IEEE Std 602-2007 y una guía técnica que sintetiza los criterios mínimos aplicables al diseño y mejora de sistemas de alimentación eléctrica general y de emergencia en hospitales del país.

Marco normativo IEEE Std 602

Es una práctica recomendada desarrollada por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) para orientar el diseño, operación y evaluación de los sistemas eléctricos en establecimientos de atención de salud. Su propósito es proporcionar criterios técnicos que contribuyan a garantizar la seguridad del paciente, la continuidad del servicio, la confiabilidad del suministro eléctrico y el adecuado desempeño de los sistemas en áreas críticas hospitalarias. Esta norma aborda aspectos como sistemas esenciales, respaldo eléctrico, puesta a tierra, equipotencialidad, coordinación de protecciones y buenas prácticas de diseño.

La norma IEEE Std 602-2007, conocida comúnmente como White Book, constituye una de las referencias técnicas más importantes a nivel internacional para el diseño de sistemas eléctricos en instalaciones hospitalarias. A diferencia de los códigos eléctricos de cumplimiento obligatorio, esta norma se presenta como una guía de prácticas recomendadas, cuyo objetivo principal es apoyar a ingenieros y diseñadores en la planificación de sistemas eléctricos confiables, seguros y adecuados para el entorno clínico.

La IEEE Std 602 no establece requisitos mínimos legales, sino que desarrolla criterios técnicos orientados a reducir fallas, mejorar la continuidad del servicio y minimizar riesgos eléctricos que puedan afectar la seguridad del paciente y del personal médico. Su enfoque parte del reconocimiento de que los hospitales son instalaciones complejas, con altos niveles de dependencia energética y con procesos que no admiten interrupciones imprevistas.

Entre los aspectos fundamentales que aborda la norma se encuentra la estimación y clasificación de las cargas eléctricas hospitalarias, considerando no solo la potencia instalada, sino también los patrones reales de uso, la simultaneidad de operación y el crecimiento futuro de la demanda. Este enfoque permite diseñar sistemas más realistas y evita tanto el sobredimensionamiento innecesario como la insuficiencia de capacidad.

El Código Eléctrico Nacional (NEC) constituye la base normativa para el diseño y ejecución de instalaciones eléctricas en El Salvador, siendo adoptado oficialmente y supervisado por la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET). Dentro de este código, el Artículo 517 está dedicado específicamente a los hospitales y establecimientos de atención médica, estableciendo los requisitos mínimos que deben cumplirse para garantizar la seguridad eléctrica y la continuidad del servicio.

A diferencia de otras instalaciones eléctricas convencionales, los hospitales presentan condiciones particulares debido a la presencia permanente de pacientes, equipos médicos sensibles y procedimientos que no admiten interrupciones del suministro eléctrico. Por esta razón, el Artículo 517 introduce criterios adicionales orientados a reducir riesgos eléctricos y asegurar un nivel básico de confiabilidad en la alimentación eléctrica.

NEC artículo 517

El NEC Artículo 517 es la parte del National Electrical Code que trata sobre las instalaciones eléctricas en establecimientos de atención de salud. Su alcance indica que aplica a los criterios de construcción e instalación eléctrica en hospitales, clínicas y otros espacios donde se brindan servicios de salud a las personas.

Sistemas esenciales eléctricos

Uno de los ejes principales del análisis es el estudio de los sistemas esenciales eléctricos en hospitales, debido a su importancia para mantener operativas las cargas indispensables durante fallas del suministro normal. En la tesis, este punto se aborda como un elemento clave para garantizar continuidad del servicio en áreas donde una interrupción puede comprometer la atención médica, por lo que resulta necesario revisar cómo la IEEE Std 602 y el NEC Artículo 517 tratan su organización, funcionamiento y prioridad dentro de la infraestructura hospitalaria.

El artículo también debe considerar las áreas críticas hospitalarias, entendidas como aquellos espacios donde la energía eléctrica tiene una relación directa con la seguridad del paciente y la continuidad de procedimientos clínicos. Este aspecto es coherente con la tesis, ya que permite enfocar el análisis en sitios como quirófanos, unidades de cuidados intensivos, emergencia y otras áreas de atención prioritaria, donde los criterios eléctricos deben ser más estrictos y confiables.

Continuidad del servicio

La continuidad del servicio se refiere a la capacidad del sistema eléctrico para operar sin interrupciones. En instalaciones hospitalarias este parámetro es esencial, ya que la interrupción del suministro puede afectar procedimientos quirúrgicos, comprometer la operación de equipos de soporte vital o interrumpir sistemas de monitoreo clínico. Para mantener la continuidad se requiere que el sistema cuente con rutas alternativas de alimentación, sistemas de transferencia confiables, unidades UPS para cargas vitales y una estructura de mantenimiento preventivo que reduzca el riesgo de fallas inesperadas.

Puesta a tierra

La puesta a tierra en instalaciones hospitalarias es un elemento esencial para la seguridad eléctrica, especialmente en áreas donde los pacientes están expuestos a equipos médicos invasivos o monitores conectados directamente al cuerpo. A diferencia de edificaciones convencionales, en un hospital incluso pequeñas corrientes de fuga pueden representar riesgos fisiológicos graves, por lo que los requisitos de diseño y equipotencialidad son más estrictos.

La IEEE Std 602-2007 y el NEC 517 establecen lineamientos específicos para minimizar riesgos de microchoque, estabilizar los niveles de voltaje y garantizar un entorno seguro para pacientes y personal.

Los sistemas de puesta a tierra en hospitales cumplen las siguientes funciones fundamentales:

- Limitar corrientes de falla y permitir la operación adecuada de los dispositivos de protección.
- Estabilizar los niveles de tensión en condiciones normales y de falla.
- Reducir diferencias de potencial entre estructuras metálicas y equipos médicos.
- Evitar que pequeñas corrientes de fuga fluyan a través del cuerpo del paciente.
- Contribuir a la continuidad operativa de sistemas aislados tipo IT utilizados en quirófanos.

Equipotencialidad en áreas críticas

La equipotencialidad consiste en interconectar todos los elementos metálicos accesibles dentro de un área clínica tales como camillas, equipos médicos, bandejas, luminarias, soportes y tuberías mediante conductores que aseguren un potencial eléctrico común.

En áreas críticas como:

- Quirófanos.
- Unidades de cuidados intensivos.
- Salas de procedimientos invasivos.
- Laboratorios de cateterismo.
- Salas de partos.
-

La equipotencialidad es indispensable para evitar corrientes de paso que puedan fluir hacia el paciente por diferencias mínimas de voltaje entre partes metálicas en contacto.

El NEC 517 exige sistemas equipotenciales estrictos en estas zonas debido a la posibilidad de microchoques en pacientes con electrodos, catéteres o equipos conectados al sistema cardiovascular.

Respaldo y emergencia

El sistema de emergencia es la fuente alternativa que garantiza la continuidad del suministro eléctrico ante una falla de la fuente normal. Está conformado por:

- Generador de emergencia, encargado de suministrar energía cuando la red pública falla
- Interruptores de transferencia automática (ATS) que detectan la pérdida del suministro normal y conmutan la carga hacia el generador
- Sistemas UPS que proporcionan energía inmediata y sin interrupciones a equipos de soporte vital mientras el generador entra en operación
- Tableros de emergencia desde los cuales se distribuye la energía hacia las ramas del Sistema Esencial definidas en el NEC 517
- Sistemas de supervisión, control y combustible, necesarios para garantizar arranque confiable y operación continua.

El tiempo de transferencia varía de acuerdo con la criticidad de la carga:

- <1 segundo: cargas alimentadas por UPS (equipos vitales).
- 10 segundos: cargas esenciales transferidas mediante ATS.

Su funcionamiento adecuado es indispensable para garantizar la continuidad operativa en áreas críticas como quirófanos, UCI, laboratorios y salas de parto.

Diagnóstico del sistema eléctrico hospitalario en El Salvador

Condiciones actuales típicas

Los tableros eléctricos saturados o sin capacidad adecuada de segregación dificultan la correcta separación de circuitos correspondientes a las ramas esenciales, especialmente en lo que respecta a las cargas críticas frente a las cargas del sistema normal. A esta problemática se suma la presencia de canalizaciones y empalmes intervenidos sin control técnico, lo que incrementa el riesgo de fallas, complica la trazabilidad de los circuitos y debilita la capacidad de auditar el cumplimiento normativo. Asimismo, la identificación deficiente de los sistemas eléctricos, evidenciada por la ausencia de rotulación, diagramas unifilares actualizados y una adecuada relación entre carga, circuito y tablero, provoca que la separación de sistemas exista únicamente a nivel teórico, mientras que

en la práctica resulta frágil e ineficiente.

En El Salvador, la regulación técnica de instalaciones eléctricas recae en SIGET, posteriormente sujeta a las OIA que son los organismos de inspección acreditados que adopta el Código eléctrico Nacional (NEC) como marco normativo obligatorio. Para instalaciones hospitalarias, el Artículo 517 del NEC es el único referente técnico disponible. No obstante, este artículo ofrece directrices generales y no abarca especificaciones detalladas para aspectos críticos como sistemas de distribución redundantes, perfiles de carga hospitalarios, sistemas aislados y diseño de sistemas de emergencia.

La realidad nacional refleja limitaciones en mantenimiento eléctrico, ausencia de sistemas especializados para áreas críticas, deficiencias en mecanismos de transferencia automática y falta de criterios técnicos actualizados para modernizar hospitales.

Actualmente no existe una adaptación en El Salvador que armonice la IEEE Std 602-2007 con la normativa vigente ni con las condiciones operativas reales de los hospitales, por lo que se vuelve necesario proponer una adaptación técnica que permita aplicar criterios internacionales de manera viable en el país.

Condiciones típicas de hospitales

La evaluación eléctrica no debe limitarse a verificar existencia de energía o cumplimiento de instalación en términos generales, porque un hospital opera como infraestructura crítica: la energía eléctrica es soporte directo de seguridad de vida, atención clínica y continuidad operativa. Por ello, el análisis normativo se fundamenta en:

- Los requerimientos hospitalarios del NEC 517, que estructuran el concepto de sistema eléctrico esencial y su separación funcional en ramas, así como el desempeño esperado ante pérdida de la fuente normal (transferencia automática para sostener funciones esenciales).
- El marco nacional se respalda en la adopción por referencia del NEC 2008 por SIGET y un esquema de revisión e inspección donde se verifican elementos técnicos típicos como puesta a tierra, tableros, canalizaciones, empalmes, separación de circuitos y polarización de tomacorrientes.

Bajo esta base, el diagnóstico del hospital público salvadoreño suele evidenciarse como una brecha entre lo normativo-funcional (continuidad por criticidad) y lo normativo instalativo (componentes y seguridad básica). Lo anterior no significa que no exista normativa, sino que el cumplimiento tiende a concentrarse en lo verificable por componentes (instalación)

y menos en lo verificable por desempeño (continuidad, segregación y sostenibilidad del sistema esencial).

Variaciones en calidad del suministro

La calidad del suministro eléctrico se refiere al nivel de estabilidad y pureza de la energía entregada a los equipos. Este parámetro incluye diversos aspectos que influyen directamente en la operación del hospital.

Las distorsiones armónicas son generadas por equipos electrónicos y pueden producir sobrecalentamiento en transformadores y fallas en protecciones. Las fluctuaciones rápidas de voltaje afectan la iluminación quirúrgica y las pantallas de monitoreo. Los transitorios de alta energía, ocasionados por descargas atmosféricas o maniobras en la red, pueden dañar equipos de diagnóstico y sistemas de soporte vital. Finalmente, la regulación deficiente del voltaje reduce la precisión y confiabilidad de equipos sensibles.

Una adecuada calidad del suministro contribuye a prolongar la vida útil de los equipos médicos, mejorar la confiabilidad de los diagnósticos y proteger los sistemas electrónicos utilizados en atención al paciente.

Falta de lineamientos específicos adaptados al país

La falta de lineamientos específicos adaptados al país dificulta que los hospitales cuenten con criterios técnicos unificados para diseñar, evaluar y mejorar sus sistemas eléctricos según la realidad salvadoreña. Esto provoca que, en muchos casos, se utilicen referencias internacionales de forma general, sin una adaptación clara a las condiciones locales. Como resultado, pueden surgir diferencias en la forma de diseñar, mantener o modernizar las instalaciones eléctricas hospitalarias.

Además, esta ausencia de criterios nacionales específicos limita la posibilidad de establecer prioridades técnicas comunes para áreas críticas, sistemas de respaldo y medidas de seguridad eléctrica. Por ello, se vuelve necesario contar con lineamientos que traduzcan las buenas prácticas internacionales a un marco más aplicable al contexto hospitalario de El Salvador.

Brechas entre norma ideal y realidad operativa

La IEEE Std 602 se plantea como una práctica recomendada para aplicar ingeniería sólida en el diseño y la operación de sistemas eléctricos en instalaciones de atención a la salud, es decir, orienta a que el sistema se conciba y se gestione “por desempeño” (continuidad, seguridad y confiabilidad), más que solo “por cumplimiento de instalación”. En El Salvador,

aunque existe una base técnica relevante para instalaciones de usuarios finales (adopción por referencia del NEC 2008 como estándar técnico), el entorno hospitalario público suele enfrentar limitaciones de infraestructura, expansión por etapas y recursos, lo que hace que ciertos elementos de desempeño queden incompletos o implementados de forma parcial. Bajo esta comparación, la brecha de “requisitos técnicos no implementados” no debe interpretarse únicamente como ausencia de equipos, sino como ausencia de una arquitectura integral y de prácticas de operación que permitan garantizar continuidad y seguridad de manera verificable.

Una primera brecha técnica aparece en la arquitectura de distribución y segregación funcional. Un enfoque hospitalario por desempeño requiere que la distribución refleje la criticidad: separación clara entre alimentación normal y esencial/emergencia, tableros diferenciados para cargas críticas y rutas de alimentación consistentes. Cuando la infraestructura ha crecido por etapas, se vuelve frecuente que la segregación sea incompleta: tableros “mixtos”, circuitos críticos compartiendo protecciones con cargas no críticas, o dependencia de ampliaciones “parche” que no respetan una jerarquía de prioridades. En términos de desempeño, esto vuelve frágil la continuidad, porque una falla localizada o una sobrecarga en una parte no crítica puede afectar áreas donde no debería.

Una segunda brecha está relacionada con la selectividad y coordinación de protecciones, que es un componente esencial del desempeño hospitalario: no solo importa que las protecciones disparen, sino que disparen las

correctas, en el orden correcto, para evitar apagones amplios ante fallas puntuales. En hospitales públicos, cuando no se realizan ajustes de coordinación en protecciones o cuando la distribución se modifica sin revalidar curvas y niveles de protección, se incrementa el riesgo de disparos no selectivos (es decir, que se desconecte una zona completa por una falla menor). Este problema es crítico porque convierte fallas comunes (sobrecargas locales, cortocircuitos en tomas, fallas en equipos) en interrupciones con impacto clínico.

Una tercera brecha se observa en la capacidad de expansión sin degradar el sistema. IEEE 602, al ser guía de diseño y operación, empuja a considerar el sistema como un ciclo de vida: crecimiento de carga, redistribución de servicios clínicos, incorporación de equipos biomédicos y cambios de uso de áreas. En la práctica, en hospitales con expansión incremental, la incorporación de nuevas cargas suele resolverse con derivaciones y ampliaciones parciales (más circuitos, más tableros pequeños, empalmes y canalizaciones adicionales) sin que se refuerce de forma proporcional la capacidad de alimentadores principales, la selectividad, la documentación técnica y la estructura de segregación. Esto produce un desequilibrio: el hospital aumenta su dependencia eléctrica (más

equipos y más criticidad), pero el sistema de distribución no madura al mismo ritmo.

Una cuarta brecha técnica relevante es la calidad de energía y protección de equipos sensibles. Un enfoque por desempeño no se limita a evitar apagones; también busca minimizar perturbaciones eléctricas (transitorios, variaciones de tensión, armónicos) que afectan directamente equipos biomédicos y sistemas de control. Cuando no se incorporan medidas sistemáticas de calidad de energía (por ejemplo, criterios de protección contra transitorios, revisión de cargas no lineales y su impacto, control de caídas de tensión en circuitos críticos), el hospital queda expuesto a fallas “silenciosas”: equipos que reinician, alarmas falsas, degradación de fuentes conmutadas, daños repetitivos o comportamiento errático, incluso sin pérdida total del suministro.

Finalmente, una quinta brecha transversal es la ausencia de una estructura integral demostrable: unifilar actualizado, trazabilidad carga-circuito-tablero-fuente, control de cambios, y criterios operativos (qué se respalda, qué se transfiere, qué se prioriza). IEEE 602 se usa como guía justamente para convertir el sistema eléctrico en un sistema “gestionable” y no solo “existente”. En entornos donde la documentación y el control de cambios no acompañan a la expansión, la continuidad puede depender de conocimiento informal (“el electricista sabe qué breaker es”), lo cuál es frágil ante rotación de personal, emergencias y fallas simultáneas.

Propuesta de adaptación de la IEEE Std 602-2007 al contexto salvadoreño

La propuesta de adaptación surge del contexto definido en los primeros artículos de la norma propuesta. Su origen se encuentra, en primer lugar, en el Artículo 1, donde se establece que la norma busca regular el diseño, instalación, operación, verificación, mantenimiento y mejora continua de los sistemas eléctricos en establecimientos hospitalarios y de atención a la salud en El Salvador. Luego, el Artículo 2 da el sentido de la propuesta al plantear como finalidad la continuidad del suministro para cargas críticas, la reducción de interrupciones por fallas localizadas, la mitigación de riesgos eléctricos en áreas de atención al paciente y la trazabilidad técnica y operativa del sistema. A esto se suma el Artículo 3, que delimita el ámbito de aplicación en hospitales, áreas con procedimientos invasivos y proyectos nuevos o de adecuación, mientras que el Artículo 4 define su carácter como una referencia técnica nacional complementaria a la normativa obligatoria vigente. Finalmente, el Artículo 5 aporta el enfoque bajo el cual se desarrolla toda la propuesta, al establecer principios rectores como la prioridad clínica por criticidad, la

continuidad operativa verificable, la gestión eficiente de cargas, la reducción de puntos únicos de falla y la mejora gradual por fases. De esta manera, la propuesta de adaptación no surge de forma aislada, sino de una base normativa interna que justifica su orientación técnica y su adecuación al contexto hospitalario salvadoreño.

Criterios prioritarios para áreas críticas

Uno de los elementos fundamentales de la propuesta es la adopción del principio de prioridad clínica por criticidad, el cual permite clasificar tanto las áreas hospitalarias como las cargas eléctricas según su impacto en la seguridad del paciente y la continuidad de la atención médica.

En este sentido, se propone una clasificación de áreas en tres niveles: áreas críticas, áreas clínicas generales y áreas de soporte. Las áreas críticas incluyen espacios como quirófanos, unidades de cuidados intensivos y salas de emergencia, donde la interrupción del suministro eléctrico puede comprometer directamente la vida del paciente. Por su parte, las áreas clínicas generales comprenden espacios de hospitalización y consulta, mientras que las áreas de soporte corresponden a servicios auxiliares.

De manera complementaria, se establece una clasificación de cargas eléctricas en diferentes niveles de prioridad, permitiendo definir cuáles deben mantenerse en operación durante fallas del suministro normal. Este enfoque facilita la toma de decisiones en el diseño del sistema eléctrico esencial y en la asignación de recursos de respaldo.

Organización del sistema eléctrico esencial y respaldo

La propuesta plantea la necesidad de estructurar el sistema eléctrico hospitalario de acuerdo con la criticidad de las cargas, garantizando una separación clara entre el sistema normal y el sistema esencial o de emergencia.

Para ello, se recomienda la implementación de una arquitectura de distribución que contemple tableros diferenciados para cada tipo de carga, tales como el Tablero General Normal (TGN) y el Tablero General Crítico o de Emergencia (TGC/TGE). Esta segregación permite evitar la interdependencia entre cargas críticas y no críticas, reduciendo el riesgo de interrupciones innecesarias.

En cuanto al sistema de respaldo, se establece la incorporación de una fuente alterna principal, generalmente mediante generadores eléctricos, complementada con sistemas de transferencia automática (ATS) que permitan la conmutación

oportuna ante fallas del suministro normal. Asimismo, se recomienda el uso de sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) para cargas de alta criticidad que requieren continuidad inmediata.

Adicionalmente, se deben considerar criterios de estabilidad posterior a la transferencia, secuenciamiento de cargas y estrategias de deslastre, con el fin de garantizar una operación segura y eficiente del sistema durante condiciones de emergencia.

Puesta a tierra y equipotencialidad

La seguridad eléctrica del paciente constituye un eje central de la propuesta, por lo que se enfatiza la necesidad de fortalecer los sistemas de puesta a tierra y equipotencialidad en instalaciones hospitalarias.

Se propone asegurar la continuidad del conductor de protección, así como la correcta implementación de sistemas de puesta a tierra que permitan limitar corrientes de falla y estabilizar los niveles de tensión. Asimismo, se recomienda la aplicación de equipotencialidad suplementaria en áreas críticas, mediante la interconexión de todos los elementos metálicos accesibles, con el objetivo de reducir diferencias de potencial que puedan generar corrientes de paso peligrosas para el paciente.

Estas medidas son especialmente relevantes en espacios donde se realizan procedimientos invasivos o donde los pacientes se encuentran conectados a equipos médicos.

Mantenimiento preventivo

La propuesta incluye la implementación de un programa institucional de mantenimiento preventivo, orientado a garantizar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico hospitalario a lo largo del tiempo.

Este programa debe contemplar la definición de frecuencias mínimas de inspección y prueba, la elaboración de bitácoras técnicas obligatorias y la verificación periódica de equipos críticos como generadores, sistemas de transferencia automática y UPS. Asimismo, se recomienda la realización de auditorías internas que permitan identificar fallas, evaluar el desempeño del sistema y establecer acciones de mejora continua.

La documentación de estas actividades resulta fundamental para asegurar la trazabilidad del sistema y reducir la dependencia de conocimiento informal.

Lineamientos prácticos para hospitales existentes

Considerando las limitaciones técnicas y económicas del sistema hospitalario salvadoreño, la propuesta incorpora un enfoque de adecuación progresiva basado en fases.

En una primera fase, se prioriza el cumplimiento de condiciones mínimas de seguridad y continuidad para cargas críticas. Posteriormente, se plantea una segunda fase orientada a mejorar la confiabilidad del sistema mediante la reorganización de la distribución eléctrica y la corrección de deficiencias técnicas. Finalmente, una tercera fase contempla la modernización y la incorporación de redundancia en aquellos casos donde sea técnica y económicamente viable.

Este enfoque permite adaptar los sistemas eléctricos hospitalarios sin requerir intervenciones inmediatas de gran escala, facilitando su implementación en el contexto nacional.

Mayor Continuidad del servicio

Las tablas presentadas apoyan este resultado, ya que permiten registrar y verificar el desempeño del ATS durante una prueba, comprobar la respuesta del sistema de emergencia, confirmar la operación de las cargas críticas y documentar hallazgos, acciones correctivas y cierre. En conjunto, estos formatos contribuyen a evaluar si el sistema eléctrico mantiene la continuidad del servicio ante una pérdida de la fuente normal.(Figuras de la 1 a la 9 de elaboración propia)

Figura 1

Formato de bitácora de prueba ATS(transferencia automática).

Establecimiento	_____
Ubicación / Área	_____
Fecha	___/___/___
Hora inicio	_____
Hora fin	_____
Responsable de prueba (Nombre / Cargo)	_____
Personal de apoyo (si aplica)	_____
Área / Rama	☐ Seguridad de vida ☐ Crítica ☐ Equipos
ATS identificado como	_____
Fuente normal (SAN)	_____
Fuente de emergencia (SEEm)	☐ Generador ☐ UPS ☐ Mixto
Condición de prueba	☐ Simulación pérdida SAN ☐ Prueba programada ☐ Evento real (describir): _____
Tipo de transferencia	☐ Automática ☐ Manual controlada (si aplica)

Tiempo de arranque del generador (s)	_____ s
Tiempo de transferencia ATS (s)	_____ s
Tiempo de estabilización (si aplica) (s)	_____ s
Tiempo de retransferencia a SAN (s)	_____ s

Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	Corriente (A) (si aplica)	Observaciones breves
_____	_____	_____	_____

Alarmas / disparos / ruidos / calentamiento (describir):

Cargas que NO operaron como se esperaba (equipo / ubicación):

- 1) _____
- 2) _____
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____

Cargas operaron correctamente: ☐ Sí ☐ No

Hallazgos identificados:

I

/

Acción correctiva requerida:

Responsable de ejecutar acción correctiva	_____
Fecha compromiso de cierre	___/___/___
Fecha de cierre	___/___/___
Evidencia adjunta (foto/lecturas)	☐ Sí ☐ No Descripción: _____
Firma responsable de prueba	_____
Firma responsable de mantenimiento	_____

Código del formato: NT-SEH/ES-SEEm-PRO-01

Establecimiento	_____
Fecha	___/___/___
Ventana de prueba (inicio-fin)	_____ a _____
Responsable (Nombre / Cargo)	_____
Áreas afectadas	_____

1. PREPARACIÓN

- Notificar a jefaturas clínicas y mantenimiento, confirmar autorización para prueba.
- Confirmar identificación de cargas críticas (Clase 1 y Clase 2) y presencia de personal clínico informado.
- Verificar combustible, alarmas activas, estado de baterías y cargador del generador.
- Asegurar disponibilidad de EPP, señalización y herramientas básicas, definir punto seguro para simular pérdida de SAN.

2. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA

- Simular pérdida de SAN según el punto definido (sin comprometer la seguridad del paciente).
- Registrar tiempos: arranque del generador, transferencia ATS y estabilización.
- Verificar operación de cargas críticas por área (checklist por servicio).

Hallazgos y acciones correctivas (adjuntar bitácoras ATS, registro del generador y evidencia):

Evidencia adjunta	☐ Bitácora ATS ☐ Checklist generador ☐ Lecturas V/Hz ☐ Fotos ☐ Otros: _____
Firma responsable de prueba	_____
Firma responsable de mantenimiento	_____

Ruta de adecuación del sistema eléctrico hospitalario

Se requiere contar con un diagrama unifilar actualizado y una rotulación completa de los sistemas eléctricos, diferenciando claramente las fuentes de alimentación (normal y de emer-

gencia) y los niveles de criticidad (seguridad de vida, cargas críticas y equipos). Asimismo, es indispensable disponer de un inventario detallado de cargas críticas por área clínica, como UCI, quirófanos, emergencias y hospitalización, junto con la correcta identificación del Tablero General Normal (TGN) y del Tablero General Crítico o de Emergencia (TGC/TGE), incluyendo su respectiva matriz de relación entre carga, circuito, tablero y fuente.

De igual forma, se debe garantizar una segregación efectiva entre el TGN y el TGC/TGE mediante el uso de tableros y circuitos dedicados, evitando la mezcla de cargas no esenciales con cargas críticas. Esto implica la liberación o sustitución de tableros en áreas críticas para habilitar circuitos exclusivos, así como la corrección de canalizaciones y empalmes que comprometan la continuidad, la trazabilidad y la seguridad del sistema. También es fundamental la sustitución priorizada de tomacorrientes por dispositivos de grado hospitalario, junto con una identificación visible que distinga claramente entre tomas de energía normal y de emergencia en las áreas de atención al paciente.

Adicionalmente, es necesario reorganizar los alimentadores y la arquitectura del sistema eléctrico de manera que la criticidad de las cargas se refleje en la distribución, evitando que los sistemas esenciales dependan de rutas improvisadas. Se recomienda la instalación de supresores de transientes (DPS/SPD) en configuración en cascada, ubicados en la entrada de servicio, tableros principales y tableros críticos según el nivel de criticidad. En áreas donde el riesgo clínico lo requiera, como quirófanos o espacios de procedimientos específicos, debe considerarse la implementación de paneles de aislamiento conforme a los criterios normativos y de diseño hospitalario. Finalmente, se deben realizar pruebas funcionales documentadas, incluyendo la transferencia a sistemas de emergencia, la verificación de energización de cargas críticas y el registro sistemático de estos procesos en bitácoras técnicas, con el fin de asegurar la confiabilidad y el cumplimiento del sistema eléctrico hospitalario.

RESULTADOS ESPERADOS

Como resultado, se espera contar con una referencia técnica más clara para el análisis de los sistemas eléctricos hospitalarios en El Salvador, tomando como base la comparación entre la IEEE Std 602 y los criterios aplicables del entorno nacional. La propuesta busca fortalecer la continuidad del suministro para cargas críticas, reducir interrupciones localizadas y mitigar riesgos eléctricos en áreas de atención al paciente, que justamente son finalidades centrales de la norma propuesta.

Asimismo, se espera facilitar la organización técnica de los

hospitales mediante la clasificación de áreas y cargas, la definición del sistema eléctrico esencial y del sistema de energía de emergencia, así como la incorporación de pruebas funcionales, bitácoras, mantenimiento preventivo y trazabilidad documental. Esto permitiría que el desempeño del sistema no dependa solo de la experiencia informal del personal, sino de criterios verificables y procedimientos documentados.

Finalmente, se espera que la propuesta sirva como apoyo para la adecuación progresiva de hospitales existentes, ya que plantea mejoras por fases: primero el cumplimiento crítico mínimo, luego la confiabilidad y el ordenamiento, y posteriormente la modernización y redundancia donde sea viable. En términos prácticos, esto puede traducirse en mejor seguridad del paciente, mayor continuidad del servicio y mejores bases para el diseño, evaluación y mejora continua de las instalaciones hospitalarias.

CONCLUSIÓN

La continuidad del servicio eléctrico en hospitales no debe evaluarse solo por el cumplimiento de instalación, sino por su capacidad real de sostener las cargas críticas asociadas a la seguridad del paciente. La arquitectura del sistema debe responder a la criticidad de las cargas, priorizando aquellas vinculadas con soporte vital, atención clínica y seguridad de vida, mediante soluciones de respaldo verificables y medibles. En el contexto salvadoreño, el problema principal no es únicamente la existencia o ausencia de equipos de respaldo, sino la falta de integración técnica del sistema eléctrico hospitalario. La confiabilidad depende de la correcta segregación de cargas, la coordinación entre protecciones, la secuencia funcional entre ATS, generador y UPS, y la aplicación de pruebas y registros documentados que permitan verificar su desempeño real.

La adaptación de la IEEE Std 602-2007 al contexto hospitalario salvadoreño constituye una respuesta técnica viable frente a las brechas identificadas entre la referencia internacional y las condiciones reales de operación de los hospitales. Su principal aporte es orientar el diseño, la verificación y la mejora progresiva de los sistemas eléctricos hospitalarios mediante criterios de criticidad, continuidad, trazabilidad y desempeño comprobable.

La implementación de esta ruta de adecuación permite transformar progresivamente los sistemas eléctricos hospitalarios desde un enfoque basado en cumplimiento de instalación hacia un enfoque basado en desempeño, alineado con los principios establecidos en la IEEE Std 602-2007

Equipos y Laboratorio. (s. f.). Seguridad eléctrica. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/seguridad-electrica>

REFERENCIAS

IEEE, "IEEE Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities (IEEE Std 602-2007)," IEEE, 2007.

NFPA, "National Electrical Code (NFPA 70)," National Fire Protection Association, 2017.

A. Farina, "Distribución de la energía eléctrica en instalaciones de potencia," Revista Ingeniería Eléctrica, no. 323, ago. 2017.

Editores, "Por qué elegir un monitor por impedancia en líneas aisladas hospitalarias," 2022. [En línea]. Disponible: https://www.editores.com.ar/empresa/servelec/20220425_por_que_elegir_un_monitor_por_impedancia_en_lineas_aisladas_hospitalarias.

AmcareMed, "Sistemas de llamada de enfermería: BUS/SCS, IP, y inalámbrico." [En línea]. Disponible: <https://amcaremed.com/comprehensive-guide-medical-nurse-call-systems/?lang=es>.

Casalima Group. (s. f.). ¿Qué es un tomacorriente hospitalario? <https://grupocasalima.com/blog/electricidad/que-es-un-tomacorriente-hospitalario/>

Circuito Eléctrico. (s. f.). Conexión equipotencial: Qué es y normativa en baños. <https://circuitoelectrico.com/instalaciones-puesta-tierral/conductores-equipotencialidad/>

Circuito Eléctrico. (s. f.). Interruptor automático (breaker): Curvas, tipos y selectividad. <https://circuitoelectrico.com/elementos-proteccion-electrica/interruptor-automatico/>

Eléctrica Aplicada. (s. f.). Qué significan los grados y tipos en los tomacorrientes eléctricos. <https://electricaplicada.com/que-significan-los-grados-y-tipos-en-los-tomacorrientes-electricos-generales-hospitalarios-federales-etc/>

Ensys. (s. f.). Conectores y puesta a tierra en sistemas eléctricos. <https://ensys.pe/articulos/conector/conectores-11tierra.html>