

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**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**

PRESENTADO POR:

MARCELO ANTONIO MARTÍNEZ MEJÍA

MANUEL ELÍAS GRANADOS CRUZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**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**

Presentador por:

**MARCELO ANTONIO MARTÍNEZ MEJÍA
MANUEL ELÍAS GRANADOS CRUZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Asesor:

ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ

SAN SALVADOR, MAYO 2026

Trabajo de Graduación Aprobado por:

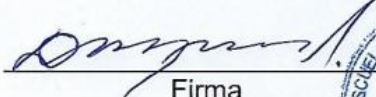
Docente Asesor:

ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ

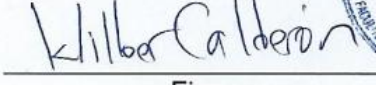
NOTA Y DEFENSA FINAL


En esta fecha, viernes 20 de marzo de 2026, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 2:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle
Director


Firma

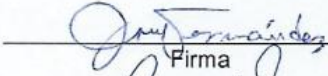
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma

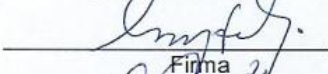


Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ
(Docente Asesor)


Firma

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNÁNDEZ


Firma

- MSC. LUIS ROBERTO CHÉVEZ PAZ


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

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

A cargo de los Bachilleres:

- GRANADOS CRUZ MANUEL ELÍAS
- MARTÍNEZ MEJÍA MARCELO ANTONIO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.4
(NUEVE PUNTO CUATRO)

AGRADECIMIENTOS

MARCELO ANTONIO MARTÍNEZ MEJÍA

A mi abuela, Ana Ericelda Zelaya, por su apoyo incondicional y por su valiosa crianza, siendo un pilar fundamental en mi formación personal.

A mi tío abuelo, Arístides Neftalí Zelaya, a quien considero como mi padre, por su compromiso constante, su amor y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Al asesor de tesis, Ing. José Miguel Hernández, por su orientación, apoyo y conocimientos brindados durante el desarrollo de este trabajo, los cuales fueron esenciales para su culminación.

Al Ing. José Luis Regalado, por su apoyo y sus valiosos consejos a lo largo de este proyecto, contribuyendo de manera significativa a mi desarrollo profesional.

Finalmente, a mis amigos, compañeros y a todas las personas que de una u otra manera fueron parte de este proceso, brindándome motivación, apoyo y acompañamiento hasta alcanzar esta meta. A todos, mi más sincero agradecimiento.

MANUEL ELÍAS GRANADOS CRUZ

A mi padre, José Manuel Granados Ramos, quien me ha inculcado valores, disciplina y el hábito del estudio, guiándome siempre por un buen camino. A mi madre, Saraí de Jesús Cruz de Granados, por su amor, apoyo incondicional y por estar presente en cada etapa de mi vida, brindándome ánimo y fortaleza para seguir adelante. A mi familia, por sus consejos y por acompañarme en este proceso. A mis amigos, quienes han estado conmigo en los momentos difíciles y han sido parte importante de este logro. Todos ustedes han sido un pilar fundamental en mi formación y en la culminación de esta meta.

ÍNDICE

Contenido	
AGRADECIMIENTOS	1
Introducción	8
Glosario	10
CAPÍTULO I. PERFIL DEL PROYECTO	16
1.1 Planteamiento del problema	16
1.2 Antecedentes.....	17
1.3 Justificación	17
1.4 Objetivo general	19
1.5 Objetivos específicos:	19
1.6 Alcances y limitaciones	20
1.7 Metodología.....	21
1.8 Organización del documento	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO	23
2.1 Sistemas eléctricos hospitalarios: visión general	23
2.1.1 Sistema normal	23
2.1.2 Sistema esencial	24
2.1.3 Sistema de emergencia.....	25
2.1.4 Confiabilidad y la redundancia.....	26
2.2 Estándares internacionales aplicables	29
2.2.1 IEEE Std 602-2007 visión general	29
2.2.2 NEC Artículo 517	31
2.3 Normativa nacional aplicable en El Salvador	32
2.4 Conceptos de calidad eléctrica	33
2.4.1 Continuidad del servicio.....	33
2.4.2 Transferencia de energía	33
2.4.3 Variación de voltaje.....	34
2.4.4 Calidad del suministro	34
2.5 Seguridad eléctrica en áreas de atención al paciente	35
2.5.1 Microchoque	35
2.5.2 Corrientes de fuga	38
2.5.3 Sistemas aislados tipo IT	39

2.5.4 Equipotencialidad.....	41
2.5.5 Tomacorrientes grado hospitalario.....	42
2.6 Componentes principales del sistema eléctrico hospitalario.....	44
2.6.1 Transformadores	44
2.6.2 Tableros eléctricos.....	45
2.6.3 Dispositivos de protección e interruptores automáticos	46
2.6.4 Sistemas de alimentación ininterrumpida.....	49
2.6.5 Generadores de emergencia	50
2.6.6 Interruptores de transferencia automática (ATS).....	51
2.6.7 Sistema de puesta a tierra	52
2.7 Configuraciones de distribución eléctrica en instalaciones hospitalarias	52
2.7.1 Sistema radial	53
2.7.2 Sistema radial con redundancia	54
2.7.3 Sistema en anillo	54
2.7.4 Sistema secundario selectivo.....	56
2.8 Puesta a tierra hospitalaria y equipotencialidad.....	57
2.8.1 Objetivos de la puesta a tierra hospitalaria	57
2.8.2 Equipotencialidad en áreas críticas	58
2.8.3 Riesgo de microchoque	59
2.8.4 Sistemas aislados tipo IT	59
2.8.5 Consideraciones normativas y constructivas	60
2.9 Síntesis final del capítulo.....	60
CAPÍTULO III. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS	63
3.1 Evolución de la demanda eléctrica hospitalaria.....	63
3.1.1 Tipos de Sistemas Ininterrumpidos de Energía (UPS)	64
3.1.2 Diversidad de cargas y factores de demanda	65
3.1.3 Sistemas de respaldo: generadores, UPS y supresores de sobretensión (SPD).....	69
3.2 Eficiencia energética en hospitales.....	72
3.3 Corrección del factor de potencia	75
3.4 Recomendaciones para hospitales existentes vs. Nuevos.....	78
3.5 Consideraciones técnicas generales para la planificación del sistema eléctrico hospitalario .	85
3.6 Fundamentos de los sistemas de energía eléctrica en instalaciones hospitalarias	87

3.6.1 Fuentes de energía.....	88
3.6.2 Circuitos y sistemas de distribución.....	89
3.7 Consideraciones técnicas de voltaje y corriente en sistemas eléctricos hospitalarios.....	91
3.8 Puesta a tierra y configuración del neutro en sistemas eléctricos hospitalarios.....	94
3.9 Protección y coordinación del sistema eléctrico.....	98
3.9.1 Fundamentos de protección y coordinación.....	99
3.9.2 Protección contra fallas a tierra.....	100
3.9.3 Coordinación en sistemas con doble fuente de alimentación.....	101
3.9.4 Importancia del diseño coordinado.....	102
3.10 Selección, instalación y verificación de equipos eléctricos.....	103
3.10.1 Criterios técnicos para la selección de equipos.....	103
3.10.2 Consideraciones de instalación eléctrica.....	104
3.6.3 Transformadores y equipos de distribución.....	104
3.6.4 Interruptores de transferencia.....	105
3.6.5 Pruebas y verificación del sistema.....	105
3.7 Configuraciones del sistema de distribución eléctrica.....	106
3.7.1 Criterios técnicos de confiabilidad y continuidad.....	106
3.7.2 Influencia de motores y cargas sensibles.....	107
3.7.3 Configuración radial.....	107
3.7.4 Configuración radial con respaldo.....	108
3.7.5 Configuración de doble acometida y sistemas de mayor confiabilidad.....	110
3.7.6 Consideraciones técnicas de medición y acometidas múltiples.....	111
3.8 Sistemas eléctricos asociados a la atención de pacientes.....	112
3.8.1 Áreas de atención y su relación con el riesgo eléctrico.....	112
3.8.2 Corrientes de fuga: origen, efectos y por qué importan en hospitales.....	113
3.8.3 Riesgos eléctricos relevantes en áreas de atención a pacientes.....	116
3.8.4 Medidas técnicas de mitigación en el diseño y la instalación.....	116
3.8.5 Sistemas de potencia aislados (IPS) en áreas críticas.....	117
3.8.6 Sistema de potencia aislado trifásico.....	118
3.8.7 Monitor de aislamiento de línea: función y criterios de uso.....	118
3.8.8 Pruebas del LIM y verificación del sistema de potencia aislada.....	119
3.8.9 Calidad de energía para equipos médicos sensibles.....	120
3.8.10 Pruebas de aceptación y puesta en servicio del IPS.....	120

3.9 Sistemas de energía eléctrica para la atención de pacientes	121
3.9.1 Panorama general	121
3.9.2 Identificación de tomacorrientes y dispositivos del sistema esencial	122
3.9.3 criterios de ubicación y ergonomía de dispositivos.....	123
3.9.4 Requisitos mínimos de receptáculos en áreas de pacientes	123
3.9.5 Tomas de corriente de grado hospitalario y configuraciones especiales	125
3.9 Grupos electrógenos	126
3.9.1 Definiciones de las Clasificaciones	128
3.10 Interruptor automático del generador.....	132
3.10.1 Reguladores de voltaje	133
3.10.2 Regulador automático de voltaje sin escobillas autoexcitado.	135
3.10.3 Regulador automático de voltaje sin escobillas excitado por separado.	135
3.10.4 Interruptores de transferencia	135
3.10.5 Clasificaciones de voltaje	137
3.10.6 Clasificación de corriente continua	137
3.10.7 Retardos de tiempo	138
3.10.8 Señales de control de entrada/salida	139
3.10.9 Mecanismo principal de conmutación	140
3.10.10 Interruptores de bypass/aislamiento para interruptores de transferencia automática .	140
3.10.11 Interruptores de transferencia no automáticos	142
3.10.12 Múltiples interruptores de transferencia vs. un solo interruptor de transferencia grande.	143
3.10.13 Sistemas de alimentación ininterrumpida	145
3.10.14 Consideraciones de transferencia para tipos de cargas	150
3.10.15 Cargas de motores.....	150
3.10.16 Secuencia de operación de ascensores con energía de emergencia.....	155
3.10.17 Controles de seguridad	156
3.10.18 Monitoreo de fuentes.....	157
3.10.19 Conexión de carga (Load pickup)	158
3.10.20 Carga secuencial del generador.....	159
3.10.21 Tipos de sistemas de control de demanda de carga	160
3.10.22 Establecimiento de prioridades de carga	160
3.10.23 Reparto de carga.....	161

3.10.24 Medios de conmutación de carga	162
3.10.25 Fuentes de energía para la lógica de control	162
3.10.26 Mantenimiento	163
3.11 Iluminación en instalaciones hospitalarias	164
3.11.1 Criterios técnicos de diseño	164
3.11.2 Factores de calidad en la iluminación	164
3.11.3 Aplicaciones típicas en hospitales	165
3.11.4 Integración, eficiencia energética y mantenimiento	167
3.12 Renovaciones en instalaciones de atención de la salud.....	168
3.12.1 Coordinación con otros oficios u disciplinas.....	169
3.12.2 Coordinación con autoridades de código y normativa.....	170
3.12.3 Condiciones existentes Inadecuadas.....	171
3.12.4 Interrupciones a los sistemas existentes	172
3.12.5 Cargas y gestión de energía.....	173
3.13 Sistema de distribución de energía eléctrica	174
3.13.1 Sistema esencial de distribución	174
3.13.2 Sistemas de potencia de emergencia.....	175
3.14 Planificación para la atención del paciente	176
3.14.1 Seguridad y confiabilidad	176
3.14.2 Puesta a tierra del sistema.....	178
3.14.3 Sistemas eléctricos de quirófanos	178
3.15 Sistemas de comunicaciones y señalización	179
3.15.1 Sistemas de alarma contra incendios	179
3.15.2 Sistemas de sonido y perifoneo	182
3.15.3 Sistemas de llamado de enfermería	183
3.15.4 Sistemas de llamada de enfermería basados en bus	183
CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO DEL CONTEXTO SALVADOREÑO	187
4.1 Condiciones actuales de hospitales públicos en El Salvador.....	187
4.1.1 Condiciones actuales de hospitales públicos en El Salvador analizadas desde la normativa y ruta de adecuación para asegurar confiabilidad.....	188
4.1.2 Confiabilidad y continuidad	188
4.1.3 Infraestructura obsoleta	190
4.1.4 Falta de mantenimiento y pruebas: el gran vacío entre cumplimiento de instalación y cumplimiento de desempeño.....	191

4.2	Evaluación de la normativa nacional vigente	192
4.2.1	Mecanismo de cumplimiento: inspección y verificación (OIA) y su impacto en hospitales	192
4.2.2	NEC 517: ¿Qué regula realmente?	193
4.2.3	Clasificación de áreas según NEC 517	195
4.2.4	Requisitos de puesta a tierra y canalización en áreas de atención al paciente (NEC 517.13)	195
4.3.3	Sistemas de emergencia con fallas	209
4.3.4	Falta de pruebas, mantenimiento y estudios (brecha operativa y de gestión técnica)....	211
CAPÍTULO V. NORMA TÉCNICA PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS EN ESTABLECIMIENTOS HOSPITALARIOS DE EL SALVADOR		214
Capítulo I. Disposiciones generales.....		215
Capítulo II. Definiciones, siglas y clasificaciones		216
Capítulo III. Requisitos del sistema de alimentación normal (san).....		218
Capítulo IV. Sistema eléctrico esencial (see)		219
Capítulo V. Sistema de energía de emergencia (seem).....		221
Capítulo VI. Seguridad eléctrica en áreas de atención al paciente.....		223
Capítulo VII. Verificación, pruebas, mantenimiento y evidencia documental		224
Capítulo VIII. Documentación técnica y trazabilidad		226
Capítulo IX. Implementación por fases.....		227
Capítulo X. Disposiciones finales		228
ANEXOS NORMATIVOS.....		230
CONCLUSIONES		237
BIBLIOGRAFIA		239

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.

Por lo anterior se propone una adaptación técnica y metodológica de IEEE Std 602 a la realidad de los hospitales en El Salvador, orientada a fortalecer la seguridad eléctrica, la continuidad operativa y la calidad de energía en áreas críticas. El estudio desarrolla un enfoque comparativo entre los principales criterios de IEEE Std 602 y las exigencias normativas utilizadas como referencia, identificando diferencias, vacíos y puntos de

alineación. A partir de dicho análisis, se plantea una propuesta estructurada de recomendaciones y lineamientos prácticos para apoyar decisiones de diseño, evaluación, modernización y mantenimiento de sistemas eléctricos hospitalarios, con énfasis en la reducción de riesgos y el incremento de confiabilidad.

La investigación se apoya en revisión documental y análisis comparativo normativo, complementado con un diagnóstico de condiciones típicas presentes en instalaciones hospitalarias, por ejemplo: rutas de alimentación, tableros, empalmes, protecciones, respaldo, puesta a tierra y selectividad). Con base en ello, se elaboran criterios de adaptación que permitan convertir recomendaciones internacionales en guías aplicables, verificables y sostenibles en el contexto salvadoreño. El aporte esperado es una herramienta técnica clara que facilite la evaluación de cumplimiento, priorización de mejoras y estandarización de buenas prácticas, contribuyendo a elevar el desempeño y la seguridad de los sistemas eléctricos en entornos hospitalarios.

Glosario

- **Acometida:** Conjunto de conductores y elementos de conexión mediante los cuales una instalación recibe el suministro desde la red de distribución.

- **Aislamiento eléctrico:** Propiedad o material dieléctrico que limita el paso de corriente y evita contactos directos entre partes energizadas y estructuras conductoras.
- **Análisis de coordinación de protecciones:** Estudio para asegurar selectividad y correcta secuencia de operación entre dispositivos de protección, como fusibles, interruptores y relés, minimizando desconexiones innecesarias.
- **Arranque de motor:** Condición transitoria con alta corriente inicial; influye en dimensionamiento y coordinación.
- **ATS:** Equipo de transferencia automática que conmuta la alimentación entre fuente normal y fuente de emergencia conforme a condiciones predefinidas de tensión, frecuencia y temporización.
- **Balance de cargas:** Distribución de cargas entre fases para reducir desequilibrio, pérdidas y corrientes en neutro.
- **Bitácora de pruebas:** Registro formal de pruebas, incluyendo fecha, responsables, condiciones, resultados, hallazgos y acciones correctivas.
- **Caída de tensión:** Disminución del voltaje a lo largo de un conductor debido a su impedancia y a la corriente circulante; se controla por diseño para mantener operación adecuada de equipos.
- **Capacidad de interrupción:** Valor máximo de corriente de falla que un dispositivo puede interrumpir de forma segura sin daño ni riesgo de arco sostenido.
- **Carga:** Demanda eléctrica asociada a equipos, iluminación, tomacorrientes o sistemas, caracterizada por potencia, factor de potencia, perfil de uso y criticidad.

- **Carga, circuito, tablero, fuente:** Relación documentada que conecta cada carga con su circuito, tablero y fuente normal, emergencia y UPS.
- **Cargas esenciales:** Conjunto de cargas cuya continuidad se considera obligatoria por seguridad de vida, continuidad clínica o funcionamiento de sistemas críticos, conforme la clasificación normativa aplicable.
- **Circuito derivado:** Circuito que se origina en un dispositivo de protección en un tablero y alimenta directamente cargas finales o subtableros.
- **Conduit EMT/IMC/RMC:** Tipos de tubería metálica para canalización, con diferentes niveles de robustez y usos.
- **Continuidad del servicio:** Condición de disponibilidad del suministro eléctrico con interrupciones mínimas, particularmente en áreas y cargas de atención al paciente.
- **Cortocircuito:** Condición de falla por conexión de baja impedancia entre conductores de distinto potencial, fase-neutro o fase-tierra, que genera corrientes elevadas.
- **Criterio de criticidad por área:** Clasificación de cargas según impacto clínico y seguridad de vida, como UCI, quirófano y emergencias.
- **Demanda máxima:** Valor máximo esperado de potencia o corriente en un intervalo, utilizado para dimensionamiento de alimentadores, transformadores y fuentes, considerando factores de simultaneidad y diversidad.
- **Dimensionamiento de alimentadores:** Selección de calibre según demanda, caída de tensión, cortocircuito y condiciones de instalación.
- **Disparo instantáneo:** Función que abre el circuito sin retardo cuando la corriente supera un umbral alto, generalmente por cortocircuito.

- **Distribución eléctrica:** Arquitectura de suministro y reparto de potencia, incluyendo transformación, tableros, alimentadores y circuitos, bajo criterios de seguridad, redundancia y mantenibilidad.
- **Energía de emergencia:** Suministro alterno destinado a mantener cargas esenciales durante pérdida de la fuente normal, mediante generadores, UPS u otras fuentes aprobadas.
- **Estudio de cortocircuito:** Cálculo de corrientes de falla disponibles en puntos del sistema para verificar capacidades de interrupción, esfuerzos térmicos y coordinación de protecciones.
- **Estudio de flujo de carga:** Evaluación de niveles de tensión, corrientes y pérdidas bajo condiciones de operación para verificar desempeño y márgenes.
- **Factor de potencia (FP):** Relación entre potencia activa (kW) y aparente (kVA), influye en corrientes, pérdidas y dimensionamiento.
- **Fidedigno y estable:** Calidad de la información o de un indicador que permite confiar en sus datos, ya que son verificables y se mantienen consistentes durante el tiempo.
- **Generador (grupo electrógeno):** Fuente de emergencia basada en motor primario y alternador, capaz de suministrar potencia durante contingencias, con criterios de arranque, estabilidad y capacidad transitoria.
- **Gestión de carga:** Estrategia de desconexión selectiva de cargas no esenciales por prioridad para preservar capacidad de la fuente de emergencia y estabilidad del sistema.

- **IEEE Std 602:** Referencia técnica para diseño, operación y mantenimiento de sistemas eléctricos en instalaciones de salud, con énfasis en confiabilidad, seguridad y continuidad clínica.
- **Interruptor termomagnético:** Dispositivo de protección que interrumpe el circuito ante sobrecargas y cortocircuitos, con capacidad de interrupción definida.
- **Mantenimiento preventivo:** Actividades programadas de inspección, prueba y ajuste para reducir probabilidad de falla.
- **Neutro:** Conductor del sistema referenciado al punto de estrella, cuando aplica; su manejo afecta equilibrio, corrientes de retorno y desempeño frente a armónicos.
- **Protección selectiva:** Coordinación para que opere el dispositivo más próximo a la falla, preservando energización del resto del sistema.
- **Pruebas bajo carga:** Ensayos con carga real o simulada para validar desempeño del respaldo.
- **Pruebas de transferencia:** Ensayos funcionales de conmutación entre fuente normal y emergencia, verificando tiempos, secuencia, estabilidad y retorno a normal.
- **Rama de seguridad de vida:** Subconjunto del EES destinado a cargas vinculadas a evacuación, iluminación de emergencia, alarmas y funciones indispensables para preservar vida ante contingencias.
- **RTIE:** Reglamento o normativa técnica aplicable en el contexto nacional para seguridad eléctrica, criterios de instalación y verificación según la jurisdicción.
- **Sistema de respaldo:** Conjunto de fuentes y dispositivos, como generador, UPS, ATS y tableros esenciales, destinados a sostener cargas definidas durante pérdida de la fuente normal.

- **Tablero esencial / crítico:** Tablero dedicado a una rama del EES, como seguridad de vida, crítica o equipos, con criterios de identificación, segregación y protección.
- **Tiempo de transferencia:** Intervalo entre pérdida de fuente normal y suministro desde emergencia.
- **Tipo de cable THHN/THWN/XHHW:** Clasificaciones por aislamiento, temperatura y humedad.
- **Transformador de aislamiento:** Transformador que proporciona separación galvánica y, en configuraciones médicas, reduce la probabilidad de corrientes peligrosas por fallas a tierra.
- **Unidad de cuidados intensivos (UCI):** Área con alta criticidad de continuidad eléctrica y seguridad del paciente.
- **UPS:** Sistema de alimentación ininterrumpida que entrega energía sin interrupción mediante conversión y almacenamiento, manteniendo continuidad ante microcortes y durante transferencia a generador.

CAPÍTULO I. PERFIL DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del problema

El adecuado funcionamiento de los sistemas eléctricos en instalaciones hospitalarias y o clínicas de atención es un requisito fundamental para garantizar la continuidad de los servicios de salud y la seguridad del paciente. La IEEE Std 602-2007 establece criterios técnicos especializados para garantizar confiabilidad, continuidad y seguridad en instalaciones eléctricas hospitalarias.

En El Salvador la normativa eléctrica vigente es el Código eléctrico Nacional (NEC), adoptado y supervisado por SIGET, siendo el Artículo 517 el único estándar aplicable a instalaciones de salud. Sin embargo, este artículo ofrece lineamientos generales y no desarrolla el nivel de detalle técnico que proporciona la IEEE Std 602-2007, especialmente en áreas críticas como perfiles de carga, sistemas de distribución hospitalaria, seguridad eléctrica del paciente y sistemas de emergencia.

Como resultado, los hospitales del país operan con limitaciones asociadas a infraestructura eléctrica envejecida, insuficiencia de medidas de confiabilidad, falta de sistemas especiales para áreas críticas y restricciones operativas para implementar buenas prácticas internacionales. Tampoco existe una adaptación técnica nacional basada en la IEEE Std 602-2007.

El problema central es por lo tanto la ausencia de una adaptación técnica de la IEEE Std 602-2007 que sea viable y aplicable a la realidad eléctrica de los hospitales y clínicas de salud tomando en cuenta el marco normativo vigente (NEC 517) y las condiciones operativas reales del sistema de salud.

1.2 Antecedentes

Los sistemas eléctricos hospitalarios requieren criterios especializados de diseño y operación debido al riesgo que representan las fallas eléctricas sobre la atención del paciente. Normas internacionales como la IEEE Std 602-2007, y el NEC han establecido lineamientos para mejorar la confiabilidad y seguridad de estas instalaciones.

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.

1.3 Justificación

La operación de los hospitales y centros de salud depende de sistemas eléctricos confiables capaces de garantizar la continuidad del servicio en unidades críticas como quirófanos,

cuidados intensivos y equipos de soporte vital. La IEEE Std 602-2007 constituye una referencia internacional especializada para el diseño y operación de instalaciones eléctricas hospitalarias, al establecer criterios detallados sobre cargas, distribución, seguridad del paciente y sistemas de emergencia.

En El Salvador, la normativa eléctrica vigente se basa en el Código Eléctrico Nacional (NEC), adoptado y supervisado por SIGET, siendo el Artículo 517 el único lineamiento aplicable a instalaciones de salud. Sin embargo, este artículo presenta un alcance general y no desarrolla con profundidad aspectos técnicos que sí contempla la IEEE Std 602-2007, lo que genera vacíos al momento de diseñar, modernizar o evaluar sistemas eléctricos hospitalarios.

La infraestructura de muchos hospitales y centros de salud presentan limitaciones asociadas a antigüedad de equipos, deficiencias en mantenimiento, ausencia de criterios unificados para áreas críticas y sistemas de emergencia que no siempre cumplen tiempos o capacidades adecuadas. Esto evidencia la necesidad de contar con una referencia técnica adaptada al contexto nacional que permita mejorar el diseño y la confiabilidad de las instalaciones eléctricas hospitalarias.

Por ello, esta investigación se justifica en la necesidad de analizar los requisitos de la IEEE Std 602-2007 y proponer una adaptación técnica viable y coherente con la realidad salvadoreña, considerando la normativa vigente, las capacidades institucionales y las restricciones operativas. Además, se requiere generar una guía técnica que sirva como herramienta práctica para ingenieros, instituciones de salud y entidades públicas en procesos de diseño, evaluación y mejora de sistemas eléctricos hospitalarios.

1.4 Objetivo general

1. Proponer la 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.

1.5 Objetivos específicos:

1. Investigar estándares de calidad aplicables al servicio de energía dentro de una instalación hospitalaria.
2. Evaluar la normativa eléctrica nacional vigente en El Salvador en relación con sistemas hospitalarios.
3. Analizar los requisitos técnicos de la IEEE Std 602-2007 aplicables a los sistemas de alimentación eléctrica normal y de emergencia en hospitales.
4. Identificar brechas y limitaciones entre las prácticas actuales en hospitales y lo establecido en la IEEE Std 602-2007.
5. Proponer la adaptación de la norma IEEE Std 602-2007
6. Desarrollar una guía técnica basada en la IEEE Std 602-2007, adaptada al contexto salvadoreño, que sirva como referencia para el diseño de sistemas eléctricos hospitalarios.

1.6 Alcances y limitaciones

Alcances

Este estudio se enfoca en el análisis de los capítulos 2, 3, 4, 5, 6 y 9 de la norma IEEE Std 602-2007, relacionados con cargas eléctricas, sistemas de distribución, áreas de cuidado del paciente y sistemas de emergencia. El trabajo incluye:

- La revisión de estándares eléctricos aplicables al tema, principalmente la IEEE Std 602-2007 y el NEC Art. 517.
- El análisis de la normativa eléctrica vigente en El Salvador, específicamente el NEC adoptado por la SIGET.
- La identificación de brechas técnicas entre la IEEE Std 602-2007 y la realidad eléctrica de los hospitales del país.
- La propuesta de una adaptación técnica de la IEEE Std 602-2007 acorde al contexto salvadoreño.
- El desarrollo de una guía técnica con criterios mínimos aplicables para diseño y mejora de sistemas eléctricos hospitalarios.

Limitaciones

- No se realiza diseño eléctrico detallado ni cálculos específicos (cortocircuito, caída de tensión, coordinación, etc.).
- No se evalúan hospitales mediante inspecciones físicas, el diagnóstico se basa en información técnica general y fuentes disponibles.

- La adaptación no sustituye la normativa vigente del país (NEC adoptado por SIGET), sino que actúa como referencia complementaria.
- El estudio se limita a los capítulos 2, 3, 4, 5, 6 y 9 de la IEEE Std 602-2007.
- Las recomendaciones pueden variar según las condiciones reales de infraestructura y presupuesto en cada institución hospitalaria.

1.7 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 la 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.

1.8 Organización del documento

El documento se estructura en ocho capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, antecedentes, justificación, objetivos y alcances de la investigación. El Capítulo II desarrolla el marco teórico y normativo relacionado con sistemas eléctricos hospitalarios y la normativa vigente en El Salvador. El Capítulo III contiene el análisis técnico de los

capítulos 2, 3, 4, 5, 6 y 9 de la IEEE Std 602-2007. El Capítulo IV describe el diagnóstico del contexto salvadoreño. El Capítulo V presenta la propuesta de adaptación técnica de la IEEE Std 602-2007 y el Capítulo establece las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio. El Capítulo VI describe el diagnóstico de los sistemas de iluminación en instalaciones hospitalarias y por último el capítulo IX describe el tema de la renovación, innovación y mejora constante.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

Los sistemas eléctricos en instalaciones hospitalarias presentan características particulares debido a la naturaleza crítica de los servicios que soportan. A diferencia de edificaciones comunes, los hospitales dependen de una alimentación eléctrica confiable, continua y redundante, ya que cualquier interrupción puede comprometer la vida del paciente, detener procedimientos quirúrgicos, afectar equipos de soporte vital o interrumpir el funcionamiento de laboratorios y sistemas esenciales.

Por esta razón, las prácticas de diseño hospitalario se rigen principalmente por normas internacionales especializadas como la IEEE Std 602-2007 y el Código Eléctrico Nacional (NEC), Artículo 517, y estas constituyen la base normativa de este capítulo.

2.1 Sistemas eléctricos hospitalarios: visión general

Los sistemas eléctricos hospitalarios se estructuran para asegurar continuidad de servicio, seguridad del paciente y funcionamiento ininterrumpido de equipos médicos. De acuerdo con las prácticas recomendadas por la IEEE Std 602-2007 y los requisitos del NEC 517, un hospital debe organizar su sistema eléctrico en tres componentes principales: sistema normal, sistema esencial y sistema de emergencia.

2.1.1 Sistema normal

El sistema normal corresponde a la energía suministrada por la red pública a través de la distribuidora local. Alimenta cargas que, aunque necesarias para la operación del hospital, no generan un riesgo inmediato para el paciente ante una interrupción breve. Entre estas cargas se incluyen:

- Iluminación general

- Climatización no crítica
- Áreas administrativas
- Servicios de apoyo
- Zonas de mantenimiento y logística.

El diseño del sistema normal debe cumplir con criterios de capacidad, caída de tensión, balance de cargas y protección adecuados. Si bien no es un sistema especializado, constituye la base operativa del hospital y su estabilidad afecta la eficiencia global del edificio.

2.1.2 Sistema esencial

El sistema esencial alimenta las cargas que sí pueden comprometer la seguridad del paciente o el funcionamiento clínico en caso de interrupción. Según el NEC 517, se divide en tres ramas:

- **Rama de Seguridad de Vida:** alumbrado de emergencia, señalización, alarmas contra incendios y rutas de evacuación.
- **Rama Crítica:** tomacorrientes de uso médico, bombas de infusión, monitores, ventiladores y equipos de diagnóstico inmediato.
- **Sistema de Equipos:** bombas de vacío, compresores, equipos de gases médicos, HVAC crítico y ascensores de emergencia.

Esta división permite separar físicamente los circuitos y reducir el riesgo de que una falla afecte múltiples funciones críticas.

2.1.3 Sistema de 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:

- **Menor que 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.

2.1.4 Confiabilidad y la redundancia

La confiabilidad y la redundancia son principios fundamentales en el diseño eléctrico hospitalario, debido a la criticidad de los servicios médicos que dependen del suministro eléctrico continuo. La IEEE Std 602-2007 establece que deben evitarse los puntos únicos de falla, ya que un evento aislado puede comprometer simultáneamente múltiples servicios esenciales y poner en riesgo la seguridad del paciente.

La redundancia se logra mediante la incorporación de elementos alternos dentro del sistema eléctrico, permitiendo que, ante la falla de un componente, otro asuma su función sin interrumpir el servicio. Entre las principales formas de redundancia empleadas en instalaciones hospitalarias se encuentran las siguientes:

- 1. Doble acometida o transformadores en paralelo:** la doble acometida o el uso de transformadores en paralelo permite contar con más de una fuente de alimentación para el sistema eléctrico del hospital. Esta configuración reduce la dependencia de una única fuente, de modo que una falla en la red pública o en un transformador no provoque la pérdida total del suministro eléctrico, incrementando la confiabilidad del sistema normal.

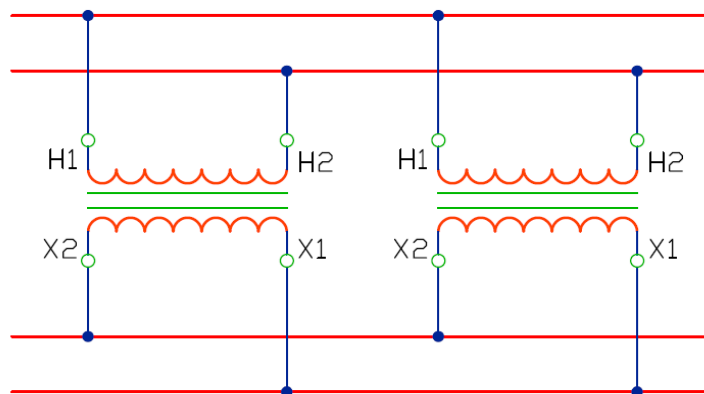


Figura 1. Arreglo de transformadores en paralelo

La Figura 1 muestra un diagrama conceptual de transformadores conectados en paralelo, una práctica recomendada por la IEEE Std 602-2007 para incrementar la confiabilidad del suministro eléctrico en instalaciones hospitalarias. En esta configuración, dos o más transformadores alimentan de una misma red de distribución, permitiendo que ante la falla o mantenimiento de uno de ellos, el transformador restante continúe suministrando energía a las cargas críticas.

2. **Alimentadores duplicados para tableros críticos:** la duplicación de alimentadores hacia tableros críticos permite mantener energizadas áreas esenciales aun cuando uno de los circuitos resulte afectado por una falla eléctrica o requiera mantenimiento. Este esquema es especialmente relevante en áreas clínicas donde una interrupción del suministro puede afectar procedimientos médicos o equipos sensibles.

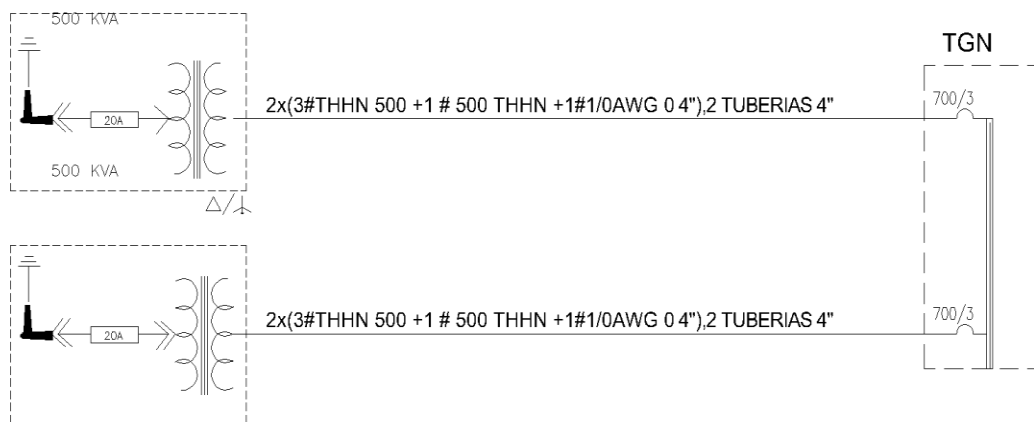


Figura 2. Diagrama Unifilar de dos alimentadores hacia un mismo tablero

3. **Uso combinado de UPS y generador para equipos vitales:** la combinación de sistemas UPS con generadores de emergencia constituye una estrategia clave para garantizar continuidad inmediata y sostenida. Las UPS aseguran energía sin interrupción durante los primeros instantes de una falla, mientras el generador entra

en operación, permitiendo que los equipos de soporte vital continúen funcionando sin afectaciones.

- 4. Rutas independientes de distribución eléctrica:** el empleo de rutas independientes para la distribución eléctrica reduce el riesgo de interrupciones causadas por eventos físicos como incendios, inundaciones o daños estructurales. Al separar físicamente las canalizaciones y trayectorias de los circuitos, se evita que un solo evento afecte simultáneamente todas las líneas de alimentación de un área crítica.

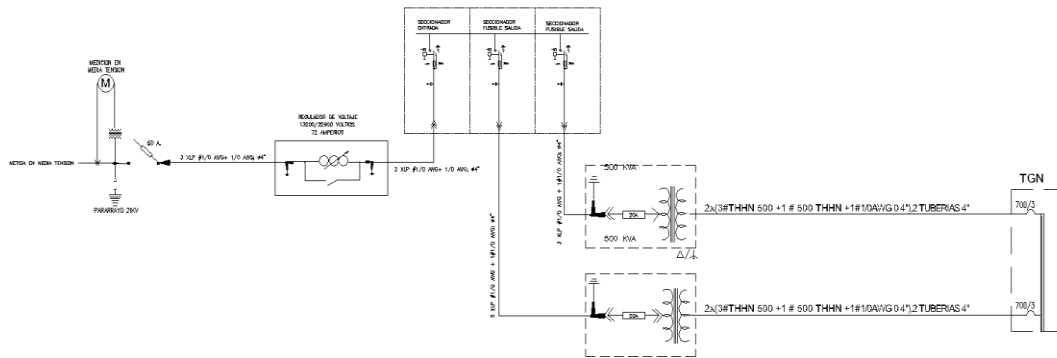


Figura 3. Se muestra Rutas eléctricas

Una instalación hospitalaria que carece de redundancia no puede garantizar un nivel adecuado de seguridad ni continuidad operativa ante fallas imprevistas. Por esta razón, la IEEE Std 602-2007 enfatiza que los sistemas eléctricos hospitalarios deben diseñarse bajo criterios de alta confiabilidad, priorizando esquemas redundantes en áreas donde la interrupción del suministro representa un riesgo directo para la vida del paciente.

2.2 Estándares internacionales aplicables

2.2.1 IEEE Std 602-2007 visión general

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.

Asimismo, la IEEE Std 602 desarrolla criterios detallados para el diseño del sistema de distribución eléctrica, analizando diferentes arquitecturas, niveles de tensión, esquemas de alimentación y configuraciones que incrementan la confiabilidad del suministro. La norma enfatiza la importancia de evitar puntos únicos de falla y de implementar soluciones que

permitan mantener el servicio eléctrico aun durante eventos adversos o mantenimientos programados.

Otro componente relevante del *White Book* es el tratamiento de la seguridad eléctrica en áreas de atención al paciente, donde se analizan riesgos específicos como corrientes de fuga, microchoque y fallas de aislamiento. En este contexto la norma proporciona lineamientos para el uso de sistemas aislados, redes equipotenciales y dispositivos de monitoreo que reduzcan significativamente los riesgos eléctricos en zonas críticas.

La norma también aborda de forma integral los sistemas de energía de emergencia, incluyendo generadores, sistemas de transferencia, UPS y criterios de selección según la criticidad de las cargas. Estos lineamientos permiten asegurar que los servicios esenciales del hospital continúen operando durante fallas del suministro normal, con tiempos de transferencia adecuados y niveles de estabilidad aceptables.

Finalmente, la IEEE Std 602 incorpora recomendaciones sobre coordinación de protecciones y puesta a tierra hospitalaria, aspectos clave para limitar el alcance de fallas eléctricas, proteger equipos sensibles y garantizar la seguridad del personal y los pacientes. Estos criterios van más allá de los requisitos mínimos establecidos por los códigos eléctricos tradicionales, ofreciendo una visión técnica más profunda y orientada a la confiabilidad.

En el contexto salvadoreño, donde no existe una normativa hospitalaria eléctrica especializada, la IEEE Std 602-2007 se convierte en una referencia técnica fundamental para complementar la aplicación del NEC Artículo 517. Su análisis y posterior adaptación permiten incorporar buenas prácticas internacionales ajustadas a la realidad técnica, económica y operativa de los hospitales del país.

2.2.2 NEC Artículo 517

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.

Uno de los aspectos más relevantes del Artículo 517 es la clasificación de las áreas hospitalarias, la cual permite diferenciar los espacios según el nivel de riesgo clínico asociado. Esta clasificación, generalmente organizada en categorías de riesgo, determina los requerimientos mínimos en cuanto a tomacorrientes, circuitos, protecciones y sistemas de respaldo eléctrico. Las áreas de mayor criticidad, como quirófanos y unidades de cuidados intensivos, están sujetas a exigencias más estrictas que aquellas destinadas a funciones administrativas o de apoyo.

Asimismo, el NEC 517 define la estructura del Sistema Eléctrico Esencial, el cual tiene como objetivo asegurar que las cargas críticas del hospital continúen operando aun cuando se produzca una falla en la fuente normal de suministro. Este sistema se divide en tres ramas claramente diferenciadas: la Rama de seguridad humana, destinada a servicios indispensables

para la protección de la vida; la Rama Crítica orientada a la alimentación de equipos médicos directamente relacionados con la atención al paciente y el Sistema de Equipo , encargado de suministrar energía a equipos mecánicos y auxiliares necesarios para la operación hospitalaria. Esta separación permite limitar el impacto de fallas eléctricas y evita que un evento aislado afecte simultáneamente múltiples servicios críticos.

El Artículo 517 también establece requisitos mínimos para los sistemas de emergencia, incluyendo los tiempos máximos de transferencia hacia la fuente de respaldo, el uso de interruptores de transferencia automática, la instalación de tomacorrientes de grado hospitalario y la separación física de los circuitos normales y esenciales. Estos lineamientos buscan garantizar que, ante una interrupción del suministro público, los servicios médicos esenciales continúen funcionando de manera segura y controlada.

Si bien el NEC Artículo 517 proporciona un marco normativo obligatorio y adecuado para establecer condiciones básicas de seguridad eléctrica, su enfoque se limita principalmente a requisitos mínimos. No desarrolla en profundidad criterios relacionados con la confiabilidad avanzada, la redundancia del sistema ni la planificación integral de la distribución eléctrica hospitalaria. Por esta razón, resulta necesario complementar su aplicación con normas técnicas especializadas como la IEEE Std 602-2007, la cual permite profundizar en aspectos de diseño, confiabilidad y adaptación técnica al contexto salvadoreño.

2.3 Normativa nacional aplicable en El Salvador

En El Salvador, la normativa técnica aplicable a instalaciones eléctricas es el Código Eléctrico Nacional (NEC), adoptado por la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) como estándar obligatorio. Para instalaciones hospitalarias, el único apartado normativo específico es el Artículo 517, el cual define criterios mínimos para

diseño y operación del sistema esencial, clasificación de áreas y requisitos básicos de los sistemas de emergencia.

2.4 Conceptos de calidad eléctrica

La calidad del suministro eléctrico constituye un elemento fundamental en el entorno hospitalario debido a la sensibilidad de los equipos médicos y a la criticidad de los procesos clínicos. Los hospitales requieren energía estable, continua y libre de perturbaciones para garantizar seguridad, confiabilidad y precisión en el funcionamiento de los equipos utilizados en la atención del paciente. La IEEE Std 602-2007 y el NEC establecen los parámetros básicos que deben considerarse para asegurar un nivel adecuado de calidad eléctrica.

2.4.1 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.

2.4.2 Transferencia de energía

La transferencia de energía consiste en el cambio automático del suministro desde la fuente normal hacia el sistema de emergencia cuando ocurre una falla o interrupción en la red pública. Este proceso debe realizarse en función de la criticidad de las cargas.

Las cargas vitales requieren una transferencia inmediata mediante UPS para evitar interrupciones perceptibles. Las cargas esenciales necesitan una transferencia rápida a través de interruptores de transferencia automática, mientras que otras cargas secundarias pueden ser restauradas con mayor tolerancia al tiempo.

Una transferencia adecuada garantiza que los equipos médicos continúen funcionando sin comprometer la seguridad del paciente.

2.4.3 Variación de voltaje

La variación de voltaje corresponde a cambios no deseados en el nivel de tensión del sistema. Estos cambios pueden ser provocados por el arranque de motores de gran capacidad, deficiencias en transformadores, perturbaciones en la red o sobrecargas en conductores.

Los equipos médicos son particularmente sensibles a estas variaciones. Un voltaje por debajo del nivel adecuado puede generar fallos en monitores, bombas de infusión o ventiladores, mientras que un voltaje por encima del valor nominal puede ocasionar daños en componentes electrónicos y reducir la vida útil de los equipos.

Por ello, el diseño eléctrico hospitalario debe considerar el dimensionamiento correcto de conductores, estudios de caída de tensión, selección adecuada de transformadores y la instalación de reguladores cuando sea necesario.

2.4.4 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.

2.5 Seguridad eléctrica en áreas de atención al paciente

Las áreas de atención al paciente representan los entornos más sensibles dentro de un hospital debido al contacto directo entre personas, equipos médicos y sistemas eléctricos. La IEEE Std 602-2007 dedica un capítulo completo a los criterios de seguridad en estas zonas, enfatizando la necesidad de garantizar protección frente a fallas eléctricas, continuidad operativa y condiciones que eviten riesgos como microchoques o corrientes de fuga.

2.5.1 Microchoque

El microchoque representa uno de los riesgos eléctricos más críticos en las áreas de atención al paciente dentro de las instalaciones hospitalarias. Este fenómeno se produce cuando corrientes eléctricas extremadamente pequeñas, del orden de microamperios, logran alcanzar directamente el corazón a través de vías conductivas internas presentes en el cuerpo del paciente. Estas vías suelen originarse por el uso de dispositivos médicos invasivos, tales

como catéteres intracardiacos, electrodos de monitoreo, sondas o cables conectados a equipos de diagnóstico y soporte vital.

A diferencia del choque eléctrico convencional, donde la corriente atraviesa el cuerpo externamente y requiere magnitudes relativamente altas para provocar daños severos, el microchoque puede generar efectos cardíacos graves con corrientes prácticamente imperceptibles. En particular, la presencia de un camino directo hacia el sistema cardiovascular elimina la resistencia natural del cuerpo humano, permitiendo que pequeñas diferencias de potencial se conviertan en un riesgo significativo de arritmias o fibrilación ventricular.

Este tipo de riesgo se presenta con mayor probabilidad en áreas críticas como quirófanos, unidades de cuidados intensivos, salas de hemodinamia y áreas de procedimientos invasivos, donde los pacientes permanecen conectados de forma continua a múltiples equipos eléctricos. En estos entornos, incluso corrientes de fuga consideradas seguras en instalaciones convencionales pueden resultar peligrosas, debido a la condición clínica del paciente y a la proximidad directa de los dispositivos al corazón.

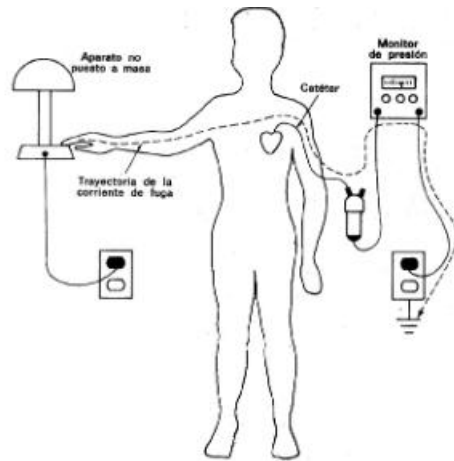


Figura 4. Microchoque

Fuente: EquiposLaboratorio.net (s. f.).

La IEEE Std 602-2007 reconoce el microchoque como uno de los principales factores que justifican la aplicación de criterios de diseño eléctrico más estrictos en instalaciones hospitalarias. Entre las medidas recomendadas para mitigar este riesgo se encuentran la limitación de las corrientes de fuga de los equipos médicos, el uso de dispositivos certificados para uso hospitalario, la implementación de redes equipotenciales y la utilización de sistemas eléctricos aislados en áreas donde la continuidad del servicio y la seguridad del paciente son prioritarias.

La adecuada gestión del riesgo de microchoque no depende de un único componente del sistema eléctrico, sino del diseño integral de la instalación, la correcta selección de equipos, la puesta a tierra apropiada y el mantenimiento periódico de los sistemas. En este sentido, el microchoque se convierte en un elemento central en el análisis de la seguridad eléctrica hospitalaria y en la diferenciación entre instalaciones de salud y edificaciones de uso común.

2.5.2 Corrientes de fuga

La corriente de fuga se define como la corriente eléctrica no intencionada que circula desde una parte energizada de un equipo o instalación hacia tierra hacia masas metálicas accesibles o hacia el cuerpo humano, como consecuencia de imperfecciones en el aislamiento, deterioro de los componentes o condiciones ambientales adversas. Aunque estas corrientes suelen ser de baja magnitud en el entorno hospitalario adquieren especial relevancia debido a la presencia de pacientes vulnerables y equipos médicos conectados directamente al cuerpo.

En instalaciones hospitalarias las corrientes de fuga pueden incrementarse por múltiples factores, entre los que destacan la humedad ambiental el envejecimiento de los equipos médicos el deterioro del aislamiento de conductores la presencia de cables dañados y fallas internas en dispositivos electrónicos. Estas condiciones son frecuentes en hospitales con infraestructura antigua o con mantenimiento limitado, lo que incrementa el riesgo eléctrico si no se implementan medidas de control adecuadas.

Desde el punto de vista de la seguridad del paciente, las corrientes de fuga representan un riesgo significativo, especialmente en áreas de atención crítica donde se utilizan dispositivos invasivos. En estos casos, incluso corrientes muy pequeñas pueden circular a través del cuerpo del paciente, generando efectos fisiológicos peligrosos. Por esta razón, la IEEE Std 602-2007 enfatiza la necesidad de limitar las corrientes de fuga en sistemas eléctricos hospitalarios mediante criterios de diseño más estrictos que los aplicados en edificaciones convencionales.

Para mitigar los efectos de las corrientes de fuga, los sistemas eléctricos hospitalarios deben incorporar una adecuada red de puesta a tierra y equipotencialidad, que permita conducir estas corrientes de forma segura sin que atraviesen al paciente o al personal médico.

Asimismo, el uso de equipos certificados para uso médico, con límites de corriente de fuga controlados desde su fabricación, constituye una medida fundamental para reducir el riesgo eléctrico en áreas clínicas.

Adicionalmente el empleo de dispositivos de protección adecuados como interruptores de falla a tierra seleccionados conforme a la normativa hospitalaria, contribuye a detectar condiciones anormales y a reducir la exposición a corrientes peligrosas. Estas medidas combinadas con programas de mantenimiento preventivo y pruebas periódicas permiten minimizar la probabilidad de incidentes eléctricos asociados a corrientes de fuga fortaleciendo la seguridad y confiabilidad de las instalaciones hospitalarias.

2.5.3 Sistemas aislados tipo IT

2.5.3.1 Monitores de aislamiento en sistemas aislados tipo IT

En los sistemas eléctricos aislados tipo IT utilizados en áreas críticas hospitalarias, el monitor de aislamiento constituye un elemento esencial para la seguridad del paciente y la continuidad del suministro eléctrico. Su función principal es supervisar de manera permanente el nivel de aislamiento del sistema respecto a tierra, permitiendo la detección de la primera falla sin provocar la desconexión automática del servicio eléctrico.

A diferencia de los sistemas convencionalmente puestos a tierra, en los cuales una falla a tierra genera la actuación inmediata de los dispositivos de protección, los sistemas IT hospitalarios están diseñados para que la primera falla no interrumpa el suministro. Esta característica resulta especialmente importante en quirófanos, salas de procedimientos invasivos y unidades de cuidados intensivos, donde una interrupción súbita del suministro puede comprometer procedimientos médicos en curso y la seguridad del paciente.

El monitoreo del aislamiento se realiza comúnmente mediante dispositivos que evalúan la impedancia del sistema con respecto a tierra. Cuando el valor de impedancia desciende por debajo de un umbral seguro, el monitor emite señales visuales y acústicas que alertan al personal técnico sobre la presencia de una falla, permitiendo su localización y corrección sin necesidad de interrumpir la operación del área clínica. Este principio reduce el riesgo asociado al aumento de corrientes de fuga y contribuye a minimizar la probabilidad de microchoques en pacientes con equipos médicos invasivos.

La IEEE Std 602-2007 reconoce el uso de sistemas aislados con monitoreo continuo como una de las medidas más efectivas para incrementar la seguridad eléctrica en áreas de atención al paciente, ya que combina continuidad operativa con detección temprana de fallas. Asimismo, la literatura técnica especializada destaca que los monitores basados en medición de impedancia ofrecen una supervisión más precisa del estado del sistema, facilitando el mantenimiento preventivo y mejorando la confiabilidad global de las instalaciones hospitalarias

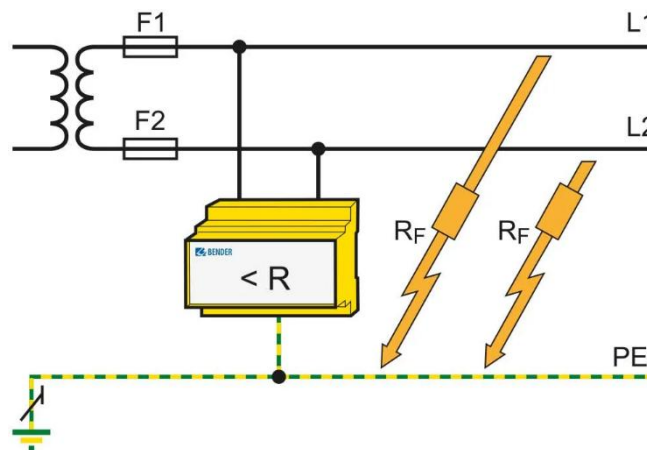


Figura 5. Sistema eléctrico aislado tipo IT

Figura 5. Esquema conceptual de un sistema eléctrico aislado tipo IT con monitor de aislamiento, utilizado en áreas críticas hospitalarias para detectar la primera falla a tierra sin interrumpir el suministro eléctrico.

2.5.4 Equipotencialidad

La equipotencialidad es un principio fundamental de la seguridad eléctrica en instalaciones hospitalarias y consiste en la interconexión intencional de todas las partes metálicas accesibles dentro de un área clínica, con el objetivo de eliminar diferencias de potencial que puedan representar un riesgo para el paciente o el personal médico.

En áreas de atención al paciente, especialmente aquellas donde se utilizan equipos invasivos o de soporte vital, pequeñas diferencias de voltaje entre superficies metálicas pueden generar corrientes indeseadas a través del cuerpo humano. Este riesgo se incrementa cuando el paciente se encuentra conectado simultáneamente a varios equipos eléctricos o presenta vías conductivas internas, como catéteres o electrodos.

La red equipotencial asegura que camillas, estructuras metálicas, equipos médicos, luminarias, soportes, bandejas y elementos conductores se mantengan al mismo potencial eléctrico, reduciendo significativamente la posibilidad de circulación de corrientes de paso. Esta condición es especialmente crítica en quirófanos, unidades de cuidados intensivos, salas de emergencia y áreas destinadas a procedimientos invasivos, donde la seguridad eléctrica debe ser máxima.

Tanto la IEEE Std 602-2007 como el NEC Artículo 517 establecen la necesidad de implementar sistemas de equipotencialidad en áreas críticas, como complemento a la puesta a tierra convencional. Su correcta aplicación contribuye no solo a la protección del paciente

frente a riesgos de microchoque, sino también a la estabilidad del funcionamiento de los equipos médicos y a la reducción de interferencias eléctricas.

En el contexto hospitalario, la equipotencialidad no debe considerarse un elemento accesorio, sino una medida esencial de protección que forma parte integral del diseño eléctrico orientado a la seguridad clínica y a la continuidad de los servicios de salud.

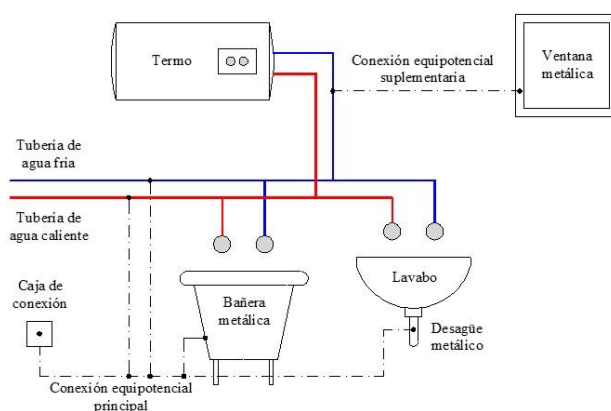


Figura 6

La Figura 6 muestra un esquema representativo del principio de equipotencialidad, donde diferentes elementos metálicos accesibles se encuentran interconectados mediante conductores equipotenciales principales y suplementarios. Este principio, aplicado de manera más estricta en instalaciones hospitalarias, constituye una base esencial para el diseño seguro de los sistemas eléctricos en áreas de atención al paciente.

2.5.5 Tomacorrientes grado hospitalario

Los tomacorrientes de grado hospitalario son un componente fundamental en las infraestructuras eléctricas de las instalaciones de atención médica, ya que funcionan como la conexión directa entre los aparatos médicos y la red eléctrica. A diferencia de los enchufes comunes, estos dispositivos están específicamente elaborados para usarse en ambientes

donde es crucial mantener la continuidad del suministro eléctrico y garantizar la seguridad del paciente.

El Artículo 517 del NEC determina que es obligatorio utilizar enchufes de grado hospitalario en áreas donde se atiende a los pacientes, especialmente en lugares críticos tales como quirófanos, unidades de cuidados intensivos y salas de emergencia. Estos enchufes deben seguir normativas más exigentes respecto a resistencia mecánica, fiabilidad eléctrica y longevidad, para minimizar los riesgos asociados con desconexiones accidentales, falsos contactos o fallas internas.

Entre las características más destacadas, se encuentra una superior capacidad para mantener el enchufe conectado, lo que previene desconexiones accidentales ocasionadas por vibraciones, movimientos del personal o el frecuente manejo de los equipos médicos. Asimismo, los materiales empleados en su fabricación son más resistentes al desgaste, a altas temperaturas y a la propagación del fuego, aumentando así la seguridad en el entorno hospitalario.

Un elemento adicional significativo es el refuerzo de los contactos internos, diseñado para asegurar una conexión eléctrica sólida incluso bajo condiciones de carga continua. Esta propiedad es esencial para aparatos delicados como monitores, respiradores y bombas de infusión, cuya operación no puede sufrir interrupciones o variaciones en el suministro de electricidad.

Además, los enchufes de hospitales cuentan con sistemas de identificación visual, generalmente a través de colores o marcas específicas, que permiten reconocer a qué sección del sistema esencial pertenecen, como el circuito de seguridad de vida o el circuito crítico.

Esta identificación facilita el mantenimiento, garantiza una operación segura del sistema y asegura la correcta conexión de los equipos médicos de acuerdo a su nivel de importancia.



Figura 7. Tomacorriente de grado hospitalario

2.6 Componentes principales del sistema eléctrico hospitalario

Los sistemas eléctricos en instalaciones hospitalarias están conformados por diversos equipos y subsistemas que operan de manera integrada para garantizar continuidad, seguridad y estabilidad del suministro. Cada componente cumple una función específica dentro de la infraestructura eléctrica, y su correcta selección, ubicación y mantenimiento resulta esencial para asegurar la operación ininterrumpida de los servicios médicos.

A continuación, se describen los principales elementos que forman parte de un sistema eléctrico hospitalario, según las prácticas recomendadas por la IEEE Std 602-2007 y los lineamientos del NEC 517.

2.6.1 Transformadores

Los transformadores constituyen el punto inicial de la distribución eléctrica interna del hospital, ya que permiten adaptar los niveles de tensión suministrados por la empresa

distribuidora a valores adecuados para la operación del sistema. En instalaciones hospitalarias, estos equipos deben seleccionarse considerando aspectos como la demanda máxima proyectada, las corrientes de arranque de equipos de gran potencia (chillers, motores, equipos médicos), y los niveles de cortocircuito disponibles.

La ubicación física debe cumplir criterios de ventilación, accesibilidad para mantenimiento y aislamiento respecto a fuentes de humedad. Se recomienda el uso de transformadores secos o encapsulados en resina debido a su mayor seguridad frente a incendios y a la ausencia de aceites dieléctricos.



Figura 8. Transformador seco



Figura 9. Transformador encapsulado en resina

2.6.2 Tableros eléctricos

Los tableros eléctricos son los encargados de distribuir la energía hacia los distintos sectores del hospital. La IEEE Std 602-2007 establece que deben agruparse según la función que desempeñan dentro del sistema:

- **tableros de alimentación normal:** son los suministran energía a áreas administrativas, iluminación general y servicios auxiliares

- **tableros esenciales:** son los que forman parte del sistema regulado por el NEC 517 y se subdividen en seguridad de vida, críticos y equipamiento.
- **tableros de emergencia:** son lo que están alimentados desde el generador para asegurar continuidad en procesos clínicos.

Para garantizar seguridad y confiabilidad estos tableros deben poseer una capacidad de interrupción acorde al nivel de falla disponible barreras internas que separen partes energizadas y espacios suficientes para maniobras y mantenimiento. Su instalación en cuartos eléctricos dedicados constituye una práctica indispensable en hospitales.

2.6.3 Dispositivos de protección e interruptores automáticos

Los dispositivos de protección constituyen uno de los elementos más importantes dentro del sistema eléctrico hospitalario ya que su función principal es limitar los efectos de sobre corrientes y cortocircuitos protegiendo tanto a los equipos como a las personas. En instalaciones de salud donde existen áreas críticas que no pueden quedar sin suministro eléctrico la correcta selección y coordinación de los interruptores automáticos resulta fundamental para garantizar la continuidad del servicio.

A diferencia de otros tipos de edificaciones, en los hospitales la actuación de un interruptor no debe provocar interrupciones innecesarias en zonas ajenas a la falla. Por esta razón, el diseño del sistema de protección debe asegurar coordinación selectiva de manera que ante una condición anormal solo opere el interruptor más cercano al punto de falla manteniendo

energizadas las áreas no afectadas, especialmente aquellas asociadas al sistema esencial definido por el NEC Artículo 517.



Figura 10. Interruptores automáticos

Los interruptores automáticos deben seleccionarse considerando sus curvas tiempo-corriente, las cuales determinan el tiempo de disparo en función de la magnitud de la corriente. En entornos hospitalarios, estas curvas deben ser compatibles con las características de las cargas médicas, muchas de las cuales presentan corrientes de arranque elevadas o comportamientos transitorios que no deben interpretarse como fallas. Una selección inadecuada puede provocar disparos intempestivos que afecten equipos sensibles o interrumpan procedimientos clínicos.

Asimismo, la capacidad de interrupción del interruptor debe ser igual o superior al nivel de cortocircuito disponible en el punto de instalación. Este criterio es esencial para garantizar que el dispositivo pueda abrir el circuito de forma segura durante una falla severa, sin riesgo de daño mecánico o eléctrico. En hospitales, donde suelen existir transformadores de gran

capacidad y sistemas de respaldo, los niveles de corriente de cortocircuito pueden ser elevados, lo que exige un análisis cuidadoso durante la etapa de diseño.

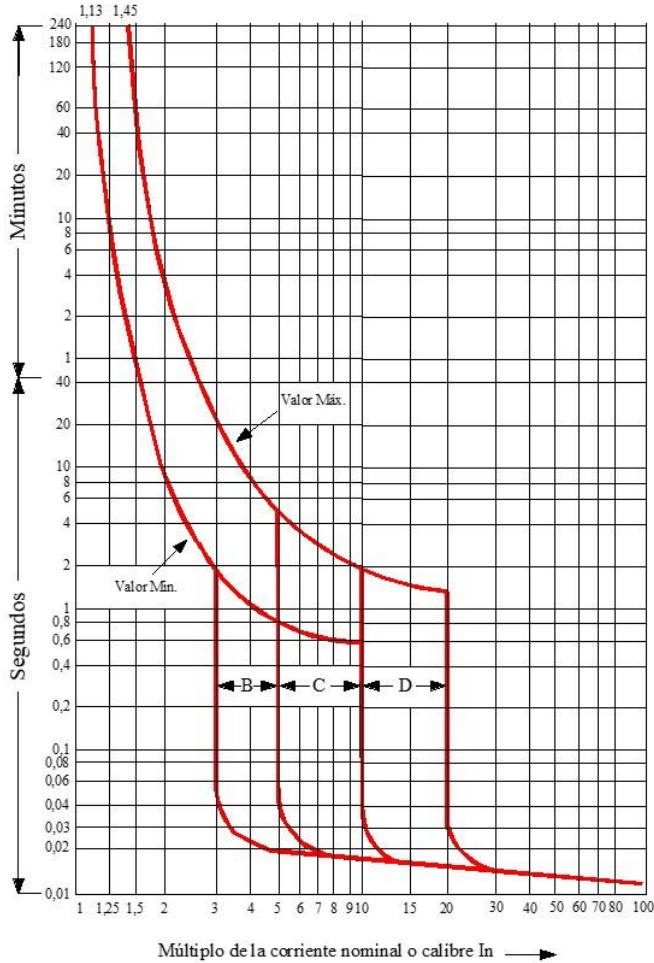


Figura 11. Curva de corriente

La Figura 11 ilustra el comportamiento típico de las curvas de disparo de interruptores automáticos, mostrando la relación entre el múltiplo de la corriente nominal y el tiempo de actuación. Estas curvas permiten visualizar la coordinación entre dispositivos de diferentes calibres y niveles del sistema, aspecto clave para lograr selectividad y confiabilidad en instalaciones hospitalarias.

2.6.4 Sistemas de alimentación ininterrumpida

Los sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) garantizan el suministro continuo de energía a cargas hospitalarias que no toleran interrupciones, como equipos de soporte vital, sistemas de monitoreo, servidores clínicos y sistemas de comunicación. Su función principal es mantener la alimentación eléctrica ante microcortes, variaciones de voltaje o durante el tiempo que transcurre entre la falla de la red pública y la entrada en operación del generador de emergencia.

En instalaciones hospitalarias se emplean principalmente UPS de doble conversión, ya que permiten aislar completamente a las cargas de las perturbaciones provenientes de la red eléctrica. En este esquema, la energía es convertida a corriente continua, almacenada en baterías y posteriormente reconvertida a corriente alterna, entregando una tensión y frecuencia estables a los equipos conectados.

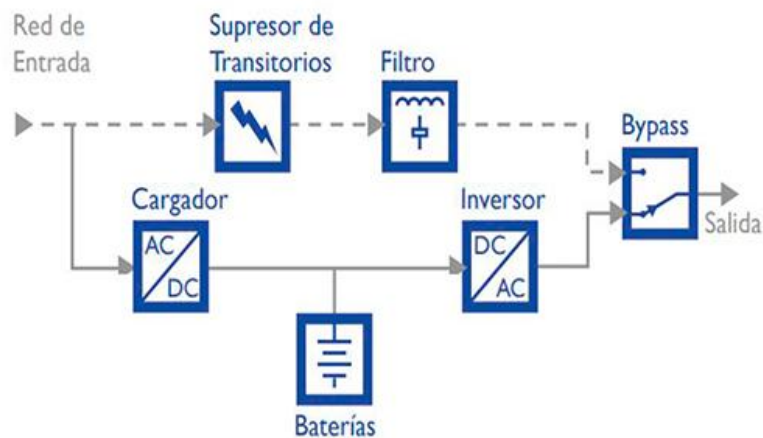


Figura 12. Funcionamiento de doble conversión

La Figura 12 muestra el principio de funcionamiento de un sistema UPS de doble conversión, donde se identifican el rectificador, el banco de baterías, el inversor y el sistema de bypass, el cual permite mantener el suministro durante mantenimientos o fallas internas del equipo.

La capacidad y autonomía del UPS deben definirse en función de la criticidad de las cargas que alimenta. En áreas como quirófanos y unidades de cuidados intensivos el UPS actúa como respaldo inmediato hasta que el sistema de generación de emergencia asume la carga, asegurando la continuidad de los procesos clínicos.

2.6.5 Generadores de emergencia

El generador de emergencia constituye la principal fuente de respaldo del sistema eléctrico hospitalario ante fallas del suministro normal. Su función es garantizar la continuidad del servicio eléctrico en las áreas esenciales del hospital, permitiendo que los procesos clínicos y los equipos médicos continúen operando sin interrupciones prolongadas que puedan comprometer la seguridad del paciente.

En el diseño de sistemas hospitalarios, el generador debe ser capaz de alimentar simultáneamente las distintas ramas del sistema esencial definidas por el NEC Artículo 517, incluyendo la rama de seguridad de vida, la rama crítica y el sistema de equipos. Para ello, es indispensable que el equipo cuente con un sistema de arranque automático confiable, capaz de entrar en operación dentro de los tiempos máximos establecidos por la normativa.

Asimismo, el sistema de generación debe considerar un suministro de combustible adecuado para la duración prevista de las emergencias, así como condiciones apropiadas de ventilación, enfriamiento y evacuación de gases de escape, a fin de garantizar una operación segura y

continua. La regulación del voltaje y la frecuencia también resulta fundamental, ya que las variaciones en estos parámetros pueden afectar el desempeño de equipos médicos sensibles.



Figura 13. Generador eléctrico

2.6.6 Interruptores de transferencia automática (ATS)

Los ATS permiten el cambio automático de la fuente normal hacia el generador cuando ocurre una interrupción en el suministro público. Estos equipos monitorean continuamente parámetros como voltaje y frecuencia, y conmutan la carga hacia la fuente de emergencia cuando detectan condiciones anormales.



Figura 14. Interruptor de transferencia automática (ATS)

En hospitales deben cumplir requisitos estrictos de confiabilidad, permitiendo la transferencia dentro de los tiempos especificados para las cargas esenciales. Además, deben contar con capacidad adecuada a la carga conectada, enclavamientos que eviten retornos de energía hacia la red y facilidades para realizar pruebas periódicas sin afectar la operación.

2.6.7 Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra es uno de los elementos más importantes para la seguridad eléctrica hospitalaria, ya que protege tanto a los pacientes como al personal frente a corrientes de falla y evita diferencias de potencial peligrosas en zonas críticas.

Debe incluir una red equipotencial en áreas como quirófanos salas de procedimientos y unidades de cuidados intensivos, donde la presencia de equipos invasivos incrementa la sensibilidad a corrientes de fuga. Asimismo, debe asegurar una resistencia adecuada de puesta a tierra, barras de distribución correctamente interconectadas y conductores de protección dimensionados según la normativa aplicable.

2.7 Configuraciones de distribución eléctrica en instalaciones hospitalarias

La configuración del sistema de distribución eléctrica define la manera en que la energía se transporta desde la acometida o el transformador principal hacia los distintos tableros, equipos y áreas del hospital. En instalaciones de salud, esta arquitectura adquiere una importancia crítica, ya que debe garantizar continuidad del servicio, reducir la vulnerabilidad ante fallas y permitir labores de mantenimiento sin afectar áreas clínicas sensibles.

A diferencia de edificaciones convencionales, los hospitales requieren sistemas de distribución que consideren la criticidad de las cargas, la necesidad de respaldo eléctrico y la separación adecuada entre áreas esenciales y no esenciales. Por esta razón, la IEEE Std 602-

2007 presenta distintas configuraciones de distribución que pueden aplicarse en función del tamaño del hospital, su complejidad clínica y el nivel de confiabilidad requerido.

Un criterio fundamental en el diseño hospitalario es la eliminación de puntos únicos de falla. Para lograrlo, las configuraciones más utilizadas incorporan redundancias en alimentadores, transformadores, rutas de distribución y fuentes de energía, especialmente en aquellas áreas donde una interrupción del suministro puede comprometer la seguridad del paciente.

2.7.1 Sistema radial

El sistema radial es la configuración de distribución más simple, en la cual una única fuente de alimentación suministra energía a los tableros principales o secundarios mediante un solo alimentador. Esta disposición se caracteriza por su facilidad de diseño, operación y mantenimiento, así como por su menor costo de implementación en comparación con configuraciones más complejas.

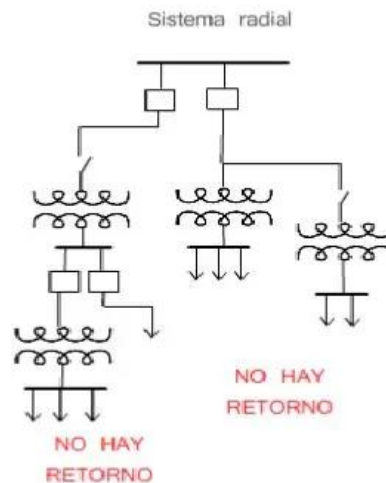


Figura 15 Esquema de sistema de distribución radial sin retorno.

En el contexto hospitalario, el sistema radial se utiliza principalmente para alimentar áreas administrativas, servicios auxiliares y zonas donde una interrupción del suministro eléctrico no representa un riesgo inmediato para la vida del paciente. Su aplicación en estas áreas permite optimizar recursos sin comprometer la operación clínica esencial.

La principal desventaja del sistema radial es la ausencia de redundancia. Cualquier falla en el alimentador o en el punto de alimentación provoca la pérdida total del suministro en la sección servida. Debido a esta limitación, la IEEE Std 602-2007 recomienda restringir su uso dentro de hospitales a cargas no críticas, evitando su aplicación en áreas como quirófanos, unidades de cuidados intensivos o sistemas de soporte vital.

2.7.2 Sistema radial con redundancia

En esta configuración cada tablero recibe energía desde dos alimentadores independientes, aunque normalmente solo uno se encuentra en operación. El segundo alimentador permanece disponible como respaldo y entra en servicio mediante transferencia manual o automática.

Esta arquitectura mejora la confiabilidad sin incurrir en la complejidad de sistemas más avanzados. Es apropiada para hospitales medianos o áreas donde la continuidad es importante, pero no absolutamente crítica como en quirófanos.

2.7.3 Sistema en anillo

El sistema de distribución en anillo se caracteriza por permitir que la energía eléctrica llegue a los distintos tableros del hospital a través de dos trayectorias independientes, formando un circuito cerrado. Esta configuración incrementa significativamente la confiabilidad del suministro, ya que ante una falla en uno de los tramos es posible aislar únicamente la sección afectada sin interrumpir la alimentación del resto del sistema.

Una de las principales ventajas de este esquema es la posibilidad de realizar labores de mantenimiento programado sin provocar la desconexión total de las cargas asociadas. Al contar con rutas alternativas de alimentación, el sistema mantiene energizados los tableros seccionales y las áreas hospitalarias asociadas, reduciendo el impacto operativo de fallas eléctricas o intervenciones técnicas.

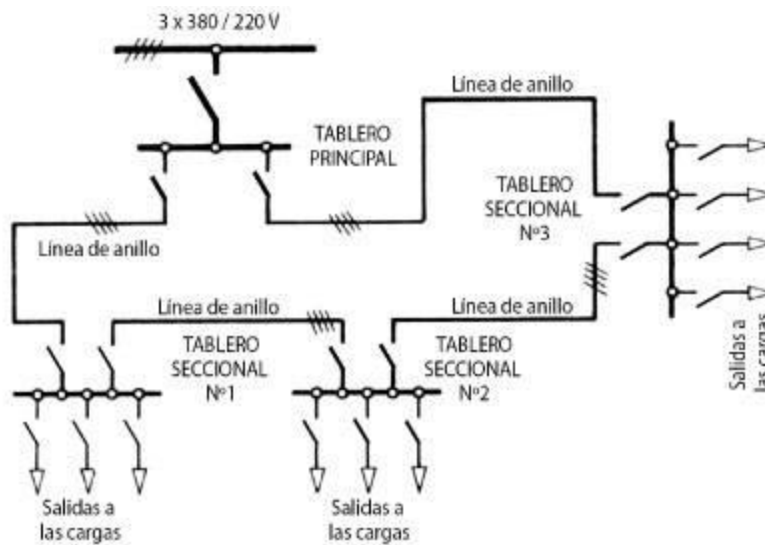


Figura 16. Esquema de sistema de distribución en anillo aplicado a instalaciones hospitalarias, con alimentación redundante entre tableros seccionales.

En instalaciones hospitalarias, esta configuración resulta especialmente adecuada en complejos con múltiples edificios, bloques clínicos interconectados o áreas con requerimientos elevados de continuidad del servicio. La capacidad de aislar fallas localizadas contribuye a minimizar apagones extensos y mejora la disponibilidad del sistema eléctrico, aspecto fundamental para garantizar la operación ininterrumpida de servicios médicos críticos.

2.7.4 Sistema secundario selectivo

El sistema secundario selectivo es considerado una de las configuraciones de distribución eléctrica más confiables empleadas en instalaciones hospitalarias de gran tamaño. Su principio fundamental consiste en la duplicación de transformadores y alimentadores en el nivel secundario, de manera que cada carga crítica pueda ser alimentada desde dos fuentes independientes.

En este esquema, los transformadores y alimentadores operan de forma paralela o alternada, permitiendo que, ante la falla de uno de los elementos del sistema, el otro asuma automáticamente la totalidad de la carga sin provocar interrupciones perceptibles en las áreas atendidas. Esta característica resulta especialmente relevante en hospitales donde existen quirófanos, unidades de cuidados intensivos, laboratorios especializados y servicios de soporte vital que no admiten pérdida de energía.

Otra ventaja importante del sistema secundario selectivo es su flexibilidad operativa. La configuración permite realizar maniobras de mantenimiento, pruebas o ampliaciones en uno de los circuitos sin afectar el suministro de las cargas críticas, lo que mejora significativamente la disponibilidad del sistema eléctrico y reduce el riesgo de paros no programados.

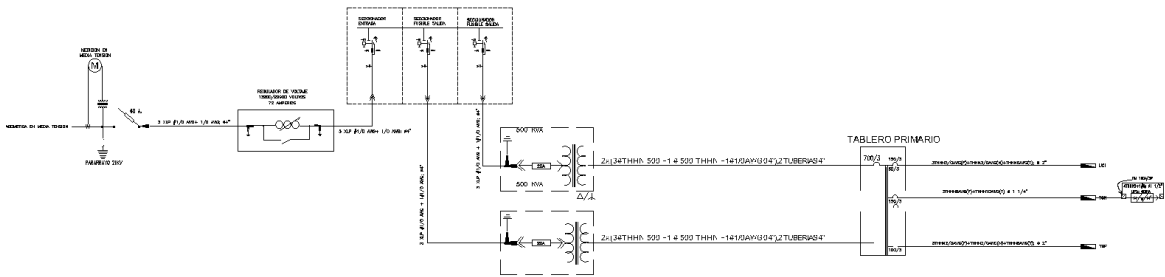


Figura 17 Diagrama Unifilar de sistema secundario selectivo

2.8 Puesta a tierra hospitalaria y equipotencialidad

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.

2.8.1 Objetivos de la puesta a tierra hospitalaria

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.

Estas funciones adquieren especial relevancia en entornos donde los pacientes pueden tener vías conductivas internas, torres de monitorización o dispositivos implantables.

2.8.2 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.

2.8.3 Riesgo de microchoque

El microchoque se presenta cuando corrientes eléctricas extremadamente pequeñas atraviesan el corazón a través de vías invasivas, como catéteres o electrodos intracardiacos. A diferencia del choque eléctrico convencional, donde se requieren corrientes de mayor magnitud para producir daño, el microchoque puede provocar fibrilación ventricular con niveles de corriente prácticamente imperceptibles.

Esta condición convierte a los pacientes con acceso directo al sistema circulatorio en individuos altamente vulnerables desde el punto de vista eléctrico. En consecuencia, el diseño de los sistemas eléctricos hospitalarios debe orientarse a la reducción de corrientes de fuga, a la eliminación de diferencias de potencial entre superficies accesibles, al control de fallas de aislamiento y a la minimización de contactos indirectos entre el equipo eléctrico y el paciente.

2.8.4 Sistemas aislados tipo IT

En áreas hospitalarias donde no se puede tolerar una interrupción súbita del suministro eléctrico, como quirófanos y salas de procedimientos invasivos, se emplean sistemas aislados tipo IT. En este tipo de sistemas, el transformador de aislamiento no se encuentra conectado directamente a tierra, lo que permite que la primera falla a tierra no provoque la desconexión inmediata del suministro.

La detección de esta primera falla se realiza mediante un monitor de aislamiento, el cual emite una señal de alarma al personal técnico sin interrumpir la operación de los equipos conectados. Este esquema proporciona un margen de tiempo para localizar y corregir la falla antes de que se presente una condición de riesgo mayor o una interrupción del servicio.

El NEC Artículo 517 recomienda el uso de sistemas aislados tipo IT en quirófanos y áreas críticas, donde la continuidad del suministro eléctrico resulta prioritaria para la seguridad del paciente y la correcta ejecución de los procedimientos médicos.

2.8.5 Consideraciones normativas y constructivas

Para lograr una puesta a tierra adecuada se requieren:

- Barras principales y secundarias de tierra correctamente interconectadas;
- Conductores de protección dimensionados según las cargas;
- Conexión equipotencial en áreas críticas
- Electrodo y mallas con resistencias dentro de los límites recomendados;
- Uniones mecánicas seguras que eviten corrosión o falsos contactos.

Estas medidas aseguran que tanto las corrientes de falla como las corrientes de fuga encuentren un camino seguro hacia tierra sin afectar equipos o pacientes.

2.9 Síntesis final del capítulo

En este capítulo se desarrolló el marco teórico y normativo que sustenta el análisis de los sistemas eléctricos hospitalarios, abordando los principios fundamentales que rigen su diseño, operación y seguridad. Se estableció la estructura general de los sistemas eléctricos en instalaciones de salud, diferenciando claramente entre el sistema normal, el sistema

esencial y el sistema de emergencia, así como la importancia de la confiabilidad y la redundancia para garantizar la continuidad del servicio en áreas críticas.

Asimismo, se revisaron los principales estándares internacionales aplicables al entorno hospitalario, destacando el alcance técnico de la IEEE Std 602-2007 como guía especializada para instalaciones eléctricas en hospitales, y el papel del NEC Artículo 517 como normativa obligatoria en El Salvador. Este análisis permitió evidenciar que, si bien el NEC establece requisitos mínimos de seguridad, no desarrolla con suficiente profundidad aspectos relacionados con confiabilidad avanzada, planificación del sistema, configuraciones de distribución ni criterios detallados para áreas de atención al paciente.

El capítulo también abordó conceptos clave de calidad eléctrica, seguridad del paciente y control de riesgos eléctricos, incluyendo fenómenos como corrientes de fuga, microchoque, equipotencialidad y sistemas aislados tipo IT, los cuales resultan determinantes en el diseño eléctrico hospitalario. De igual forma, se describieron los principales componentes del sistema eléctrico y las configuraciones de distribución más utilizadas en hospitales, resaltando la necesidad de evitar puntos únicos de falla y de seleccionar arquitecturas acordes a la criticidad de las cargas.

En conjunto, el desarrollo de este marco teórico permitió identificar las bases técnicas sobre las cuales debe evaluarse la realidad de las instalaciones hospitalarias en El Salvador. La ausencia de una norma hospitalaria nacional especializada refuerza la necesidad de analizar en detalle los criterios establecidos por la IEEE Std 602-2007 y contrastarlos con la normativa vigente y las condiciones operativas locales.

Lo expuesto en este capítulo constituye el fundamento conceptual que permitirá, en el siguiente capítulo, realizar un análisis técnico detallado de los capítulos 2, 3, 4 y 5 de la IEEE Std 602-2007. Dicho análisis será esencial para identificar los requisitos aplicables, las brechas existentes y los elementos que deberán ser considerados en la propuesta de adaptación técnica orientada al contexto salvadoreño.

CAPÍTULO III. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS

3.1 Evolución de la demanda eléctrica hospitalaria

Los patrones de consumo eléctrico en las instalaciones de salud han cambiado drásticamente en las últimas décadas, y no hay indicios de que el ritmo de cambio se reduzca. Varios factores tecnológicos y operativos explican esta evolución. En primer lugar, existe una creciente digitalización y uso intensivo de sistemas de datos en la atención médica moderna. Equipos informáticos, servidores, sistemas de historia clínica electrónica, monitores y dispositivos interconectados han proliferado en hospitales, aumentando las cargas base de TI y requiriendo suministros ininterrumpidos de alta calidad. En paralelo, la tecnología médica ha evolucionado constantemente, a menudo difuminando la línea entre diagnósticos y tratamientos; por ejemplo, equipos de imágenes de alta resolución (TAC, resonancia magnética, angiografía).

Las cargas TI (Tecnologías de la Información) son consumos eléctricos asociados a equipos electrónicos y sistemas digitales que procesan, almacenan, transmiten o visualizan información. En hospitales, estas cargas operan de forma continua y son críticas para la atención médica.

Donde las cargas de Tecnologías de la Información (TI) en hospitales comprenden el consumo eléctrico asociado a servidores, sistemas de almacenamiento de datos, redes de comunicación, estaciones de monitoreo clínico y dispositivos informáticos interconectados. Estas cargas operan de manera continua y son fundamentales para la gestión de la información clínica, el monitoreo de pacientes y la operación segura de los servicios de salud.

por lo que requieren alimentación eléctrica ininterrumpida mediante sistemas de respaldo, tales como sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), que permitan mantener su operación ante interrupciones o perturbaciones del suministro eléctrico.

El UPS actúa como intermediario entre la red eléctrica y los dispositivos conectados. En caso de un corte de energía, la batería interna del UPS entra en funcionamiento de manera automática, garantizando un suministro de energía temporal hasta que se restablezca la electricidad o se apaguen los equipos de forma segura.

3.1.1 Tipos de Sistemas Ininterrumpidos de Energía (UPS)

1. UPS en espera:

Proporciona energía de respaldo en caso de corte de electricidad. Se activa cuando detecta una falla en la red eléctrica. Es una opción económica, recomendada para computadoras personales y pequeños dispositivos electrónicos.

2. UPS Interactivo:

Regula el voltaje de entrada sin necesidad de recurrir a la batería. Brinda una mejor protección contra fluctuaciones de voltaje y pequeños apagones. Ideal para oficinas, pequeñas empresas y entornos comerciales.

3. UPS de Doble Conversión

Ofrece la máxima protección al convertir la energía de CA a CC y luego nuevamente a CA.

Entrega un suministro continuo sin interrupciones, eliminando cualquier anomalía en la red.

Recomendado para centros de datos, hospitales, telecomunicaciones e industrias críticas

3.1.2 Diversidad de cargas y factores de demanda

En ingeniería eléctrica, especialmente en entornos con multitud de cargas como los hospitales, es crucial distinguir entre carga conectada y demanda real simultánea. El término “demanda” se utiliza en dos contextos distintos: la demanda real instantánea, que es la carga efectivamente utilizada en un momento dado, y la demanda utilizada para cálculos normativos, como en el Código Eléctrico, que aplica factores de demanda a las cargas conectadas para dimensionar conductores y equipos. En otras palabras, las normas permiten (y en ciertos casos exigen) reducir la suma de cargas nominales mediante factores de demanda estándar, bajo la premisa de que difícilmente todas las cargas estarán operando al 100% simultáneamente. Sin embargo, es importante señalar que, por ejemplo, el NEC (Código Eléctrico Nacional) al aplicar factores de demanda *no* refleja completamente la diversidad real, ya que sus tablas y porcentajes son conservadores y no consideran explícitamente que ciertas cargas no coincidirán temporalmente. Esto significa que un cálculo apegado estrictamente a los factores de demanda del código suele arrojar valores de demanda mayores a los que luego se medirán en la operación cotidiana del hospital.

La diversidad de cargas se refiere precisamente a esa probabilidad de uso simultáneo. Según la definición del IEEE Std 241 (conocido como Gray Book), la diversidad es la relación entre la suma de las cargas individuales máximas y la demanda máxima concurrente del sistema. En un sistema con muchas cargas heterogéneas, la diversidad tiende a ser alta, porque es menos probable que todas alcancen su pico al mismo tiempo; por ende, la demanda máxima simultánea real es menor que la suma de cargas nominales. Por ejemplo, en un hospital, puede haber decenas de motores (bombas de agua, compresores de aire medicinal, ventiladores de

aire acondicionado) pero cada uno con diferentes ciclos de operación; la probabilidad de que todos arranquen a la vez es muy baja.

A continuación, se incluyen tablas de factores de demanda y factores de carga utilizados en el cálculo normativo de instalaciones hospitalarias, con el propósito de apoyar el análisis de diversidad de cargas descrito anteriormente.

Tipo de Ocupación	Porción de la carga de iluminación a la que se aplica el factor de demanda (voltios-amperios)	Factor de demanda (%)
Unidades de vivienda	Los primeros 3000 en	100
	De 3001 a 120.000 en	35
	Resto superior a 120.000 en	25
Hoteles y moteles, incluidos edificios de apartamentos sin servicios de cocina para los inquilinos*	Los primeros 20.000 o menos en	60
	De 20.001 a 100.000 en	50
	Resto superior a 100.000 en	35
Almacenes (almacenamiento)	Los primeros 12.500 o menos en	100
	Resto sobre 12.500 en	50
Todos los otros	Voltios-amperios totales	100

*Los factores de demanda de esta tabla no se aplicarán a la carga calculada de alimentadores o servicios que abastecen áreas en hoteles y moteles donde es probable que se utilice toda la iluminación a la vez, como en salones de baile o comedores.

Figura 18. Tabla 220.45 Factores de demanda de carga de Iluminación

La tabla muestra cómo el NEC permite reducir la carga de iluminación conectada mediante factores de demanda escalonados, en función del tipo de ocupación y del nivel de carga

instalada (en VA). todo esto debido a que no toda la iluminación instalada operara simultáneamente.

Porción de la carga del receptáculo a la que se aplica el factor de demanda (voltios-amperios)	Factor de demanda (%)
Los primeros 10 kVA o menos en	100
Resto sobre 10 kVA a	50

Figura 19 Tabla 220.47 Cargas recéptales (Distintas de las unidades de vivienda)

Esta tabla permite reducir la carga conectada de receptáculos al aplicar factores de demanda, reflejando que la utilización simultánea de todos los tomacorrientes es poco probable.

Número de secadoras	Factor de demanda (%)
1—4	100
5	85
6	75
7	sesenta y cinco
8	60
9	55
10	50
11	47
12—23	47% menos 1% por cada secadora que exceda de 11
24—42	35% menos 0,5% por cada secadora que exceda los 23
43 y más	25%

Figura 20 Tabla 220.54 Factores de demanda de secadoras de ropa eléctricas para uso doméstico

Esta tabla ilustra la aplicación directa del principio de diversidad, al reducir progresivamente el factor de demanda conforme aumenta el número de equipos instalados.

Number of Appliances	Demand Factor (%) (See Notes)		Column C Maximum Demand (kW) (See Notes) (Not over 12 kW Rating)
	Column A (Less than 3½ kW Rating)	Column B (3½ kW through 8¾ kW Rating)	
1	80	80	8
2	75	65	11
3	70	55	14
4	66	50	17
5	62	45	20
6	59	43	21
7	56	40	22
8	53	36	23
9	51	35	24
10	49	34	25
11	47	32	26
12	45	32	27
13	43	32	28
14	41	32	29
15	40	32	30
16	39	28	31
17	38	28	32
18	37	28	33
19	36	28	34
20	35	28	35
21	34	26	36
22	33	26	37
23	32	26	38
24	31	26	39
25	30	26	40
26-30	30	24	15 kW + 1 kW for each range
31-40	30	22	
41-50	30	20	25 kW + ¾ kW for each range
51-60	30	18	
61 and over	30	16	

Figura 21. Tabla 220.55 Factores de demanda y cargas para cocinas eléctricas domésticas , hornos montados en la pared, unidades de cocción montadas en la encimera y otros electrodomésticos de cocina domesticas con una potencia nominal superior a 1 3/4 kW (La columna C se debe utilizar en todos los casos, excepto que se permita lo contrario en la Nota 3).

Número de unidades de equipo	Factor de demanda (%)
1	100
2	100
3	90
4	80
5	70
6 y más	sesenta y cinco

Figura 22. Tabla 220.56 Factores de demanda de equipos de cocina (distintos de las unidades de vivienda)

Esta tabla incorpora el concepto de simultaneidad reducida en sistemas con múltiples equipos similares, permitiendo ajustar la demanda calculada conforme aumenta el número de unidades instaladas.

3.1.3 Sistemas de respaldo: generadores, UPS y supresores de sobretensión (SPD)

Dada la criticidad de la electricidad en entornos hospitalarios, los sistemas de respaldo eléctrico son indispensables. Estos sistemas abarcan principalmente: plantas eléctricas de emergencia (grupos electrógenos), sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) con bancos de baterías, y dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias entre otros. Cada uno cumple un rol específico para asegurar la con los equipos eléctricos y electrónicos como un supresor de transientes, son parte de las actividades cotidianas de industrias, empresas, comercios y personas en general, porque para realizar cualquier tipo de actividad se requiere una conexión al suministro eléctrico.

La electrónica está presente en prácticamente todos los equipos que se conecten a una red eléctrica, y justamente este componente electrónico es el más susceptible ante perturbaciones o alteraciones en la calidad de la electricidad.

Por lo general estos eventos fortuitos ocurren sin previo aviso en los sistemas eléctricos y no causan daños a los equipos como motores. Sin embargo, causan perturbaciones a equipos sensibles como los que se utilizan en hospitales, centros de datos, maquinaria industrial con controles automatizados.

En la actualidad en un mundo 100% tecnológico es indispensable un suministro eléctrico sin interrupciones o perturbaciones. De acuerdo con la IEEE 1159 existen 7 categorías o problemas que afectan al suministro de electricidad:

- Transitorios
- Interrupciones
- Sobretensiones
- Distorsión de onda
- Fluctuaciones de tensiones
- Variaciones de frecuencia

¿Cómo se deben proteger los equipos?

La solución para proteger a los equipos es el supresor de transientes, que preserva el estado de los equipos sensibles contra eventos transitorios o sobrevoltaje.

El nombre técnico correcto para un supresor de transientes es SPD o Surge Protection Device que de acuerdo con lo recomendado por el IEEE 1100 (Libro Esmeralda), las unidades SPD deberán estar coordinadas en un enfoque tipo cascada, es decir por etapas.

- Una etapa fuerte y robusta en la entrada del servicio eléctrico o Tablero de distribución principal.
- La fase intermedia para protección de circuitos ramales
- Una etapa final como protección directa ubicada junto a las cargas sensibles

Los supresores se fabrican bajo dos tendencias de normativas: UL 1449 – americana e IEC 61643 – europea

Generadores de emergencia: Los hospitales en El Salvador típicamente emplean generadores diésel de emergencia para alimentar las cargas críticas durante fallas de la red pública. Estos generadores se dimensionan para soportar al menos las cargas de vida segura y críticas definidas por NFPA 99/NEC (y en muchos casos también ciertas cargas del ramal de equipos, según lo que el hospital considere imprescindible mantener durante un apagón).

Tabla 1. Área mínima del local del generador en función de la potencia instalada

Potencia (kW)	Área(m²)
10-30	9
35-60	12
80-135	15
150-300	18
350-450	22
500-600	27
700-900	34
1000-1200	40

3.2 Eficiencia energética en hospitales

Los hospitales se caracterizan por un elevado consumo energético debido a su operación continua 24/7 y la necesidad de cumplir estrictos requisitos de climatización, iluminación y soporte a equipos críticos. A continuación, se describen las principales medidas de eficiencia energética aplicables al diseño y operación eléctrica hospitalaria, enfocadas en iluminación, sistemas HVAC, transformadores, motores y otras estrategias operativas, tomando en cuenta buenas prácticas internacionales (ASHRAE, IEEE, NEMA, etc.) y el contexto de hospitales en El Salvador.

- Iluminación LED y Controles Automáticos

La iluminación representa una fracción importante del consumo eléctrico hospitalario, por lo que migrar a sistemas de iluminación LED de alta eficiencia es una medida fundamental. Las lámparas y luminarias LED consumen entre un 50% y 75% menos energía que las tecnologías tradicionales (fluorescentes, incandescentes), manteniendo o mejorando la calidad de la iluminación.

Las LED ofrecen vida útil prolongada ($\geq 50,000$ horas), lo que disminuye la frecuencia de recambio y mantenimiento, y poseen alto índice de reproducción cromática (CRI 80–90) adecuado para entornos clínicos.

Para maximizar los ahorros, la iluminación eficiente debe complementarse con controles automáticos inteligentes

Algunas estrategias técnicas clave incluyen:

- Aprovechamiento de luz natural: instalar sensores de luz diurna que ajusten o apaguen la iluminación artificial en habitaciones de pacientes, pasillos y áreas públicas con ventanas cuando la luz natural es suficiente.

Esto reduce la densidad de potencia lumínica sin comprometer los niveles de iluminación, con casos que reportan reducciones de ~2.2 a 0.88 W/pie² en oficinas usando luz natural más luces eficientes.

- Reguladores de nivel: integrar controles electrónicos que permitan atenuación continua de las luminarias LED entre 100% y 5% de potencia, adaptando la iluminación al requerimiento puntual.

Las lámparas LED son intrínsecamente regulables y mantienen una relación casi lineal entre potencia y nivel de luz al atenuar, pudiendo llegar a 1% de salida sin apagarse.

- Sensores de ocupación: emplear sensores de movimiento/presencia en áreas que permanecen vacías gran parte del tiempo (baños, pasillos, escaleras, depósitos, salas de equipos), de forma que las luces se apaguen automáticamente al desocuparse el espacio.

Esta medida puede recortar el consumo de iluminación en dichas zonas en torno a un 30% o más, sin afectar la seguridad.

- Iluminación exterior eficiente: usar luminarias LED para áreas perimetrales y estacionamientos, equipadas con sensores de movimiento nocturnos. Así, la iluminación exterior se enciende a plena potencia solo cuando se detecta actividad,

manteniéndose atenuada el resto del tiempo, lo que ahorra energía a la vez que mejora la seguridad.

Con estas mejoras, los hospitales pueden lograr reducciones sustanciales en el consumo eléctrico de iluminación (se estima que la combinación de LED + controles inteligentes puede reducir 47% la energía de iluminación respecto a sistemas tradicionales) al tiempo que mantienen o mejoran las condiciones luminosas para la atención médica. Además, al disminuir las cargas de iluminación se reduce también la carga térmica de climatización, generando un doble beneficio energético.

Sistemas HVAC Eficientes

Los sistemas de climatización (calefacción, ventilación y aire acondicionado – HVAC) suelen constituir el mayor consumo energético en un hospital, debido a los elevados caudales de aire exterior requeridos por normas sanitarias y la operación continua de equipos de enfriamiento/calefacción. Se estima que la climatización puede representar cerca de 40 a 50% del consumo total de energía en hospitales.

Por ello, optimizar el diseño y la operación del HVAC es crítico para la eficiencia global sin comprometer el control ambiental estricto que exige un entorno hospitalario.

Estrategias técnicas HVAC:

Equipos de alta eficiencia: Seleccionar chillers, unidades manejadoras de aire, calderas y bombas con los más altos rendimientos disponibles (según ASHRAE 90.1 u otras normas). Por ejemplo, enfriadores con compresores de velocidad variable o tecnología inverter pueden ajustar su capacidad con alta eficiencia a cargas parciales. Igualmente, sistemas de volumen

de refrigerante variable (VRF) o vigas frías activas se han implementado en hospitales modernos para reducir consumo.

Variadores de frecuencia (VFD): Instalar VFDs en los motores de ventiladores y bombas del sistema HVAC para modular el caudal de aire y agua según la demanda real. La conversión de sistemas de volumen de aire constante a volumen de aire variable (VAV) con motores de velocidad variable puede ahorrar una fracción significativa de energía. Por ejemplo, al reducir la velocidad de un ventilador se reducen sus necesidades de potencia aproximadamente con la ley cúbica, de modo que una disminución modesta de flujo puede recortar el consumo eléctrico del ventilador en hasta un 50%.

3.3 Corrección del factor de potencia

El factor de potencia (FP) es un indicador clave de la calidad del uso de la energía en cualquier instalación eléctrica, incluyendo los hospitales. Se define como la relación entre la potencia real utilizada (kW) y la potencia aparente (kVA) total demandada; un FP bajo indica la presencia de una componente significativa de potencia reactiva (kVAR) circulando en el sistema. En términos prácticos, un factor de potencia bajo implica que la instalación está consumiendo corriente adicional que no produce trabajo útil, sino que carga innecesariamente los conductores y equipos de la red. Esto es especialmente relevante para los hospitales porque típicamente gran parte de sus cargas son inductivas: motores de ventilación y bombeo, grandes transformadores internos, balastos de iluminación (en sistemas antiguos o no electrónicos), equipos HVAC, etc., los cuales tienden a desplazar la fase y reducir el FP. El FP de un motor, por ejemplo, varía con su nivel de carga y suele ser peor (más bajo) cuando el motor está sobredimensionado respecto a su tarea y funciona con

carga liviana. En un hospital puede haber motores funcionando a media carga por razones de redundancia o demanda variable...lo que perjudica el FP.

¿Por qué importa corregir el factor de potencia? Primero, por regulación y costos de electricidad: las compañías eléctricas suelen penalizar a los clientes que mantienen un factor de potencia por debajo de un umbral (a menudo 0.90 o 0.95). Esta penalización puede aparecer como un cargo adicional en la factura o como la obligación de pagar por la energía reactiva consumida. En El Salvador, las empresas distribuidoras aplican cargos por bajo factor de potencia a los usuarios de mediana y alta tensión (como serían los hospitales grandes que toman suministro en 415 V trifásico o en 23 kV). Por lo tanto, un hospital con factor de potencia deficiente verá aumentados sus costos operativos sin ningún beneficio. Segundo, un FP bajo sobrecarga la infraestructura: los transformadores, cables y generadores deben manejar corrientes más altas para entregar la misma potencia útil, lo que puede acercarlos a sus límites o aumentar las pérdidas por efecto Joule (calentamiento). Tercero, la normativa (NEC) requiere dimensionar ciertos componentes considerando el peor FP para asegurar que no se sobrepasan capacidades nominales.

La corrección del factor de potencia consiste en minimizar la potencia reactiva demandada de la red. La solución clásica es la instalación de capacitores (condensadores) en derivación, ya sea de forma distribuida (en tableros secundarios, cerca de grupos de motores) o centralizada (banco de capacitores automático en la subestación principal). Los capacitores suministran localmente la potencia reactiva inductiva que requieren los motores, elevando el factor de potencia visto desde la red. Como práctica, se recomienda compensar grandes motores individualmente si funcionan constantemente a bajo FP, colocando capacitores fijos o controlados junto al motor.

Al diseñar la corrección de FP en hospitales se deben tomar precauciones especiales: primero, si existen cargas no lineales (y en un hospital las hay, como UPS, variadores de frecuencia, equipos electrónicos), la adición de capacitores puede provocar fenómenos de resonancia con la inductancia del sistema. Esto puede amplificar ciertas corrientes armónicas y causar sobretensiones o daños. Para mitigarlo, a veces se instalan reactores en serie con los capacitores (bancos sintonizados) para filtrar armónicas específicas, o se usan filtros activos que corrigen FP y eliminan armónicas simultáneamente. Segundo, los capacitores deben dimensionarse e instalarse con protección adecuada, y preverse su ubicación en tableros con espacio suficiente.

Los beneficios de corregir el factor de potencia van más allá de evitar una multa en la factura. Al elevar el FP, un hospital efectivamente libera capacidad en sus transformadores y alimentadores aguas arriba. Por ejemplo, un transformador de 1000 kVA alimentando una carga de 800 kW a FP 0.8 estaría prácticamente al límite (ya que $800 \text{ kW} / 0.8 = 1000 \text{ kVA}$), si se corrige a FP 0.95, esos mismos 800 kW representan ~842 kVA, liberando ~158 kVA de capacidad en el transformador para futuras cargas, además de disminuir la corriente y pérdidas. Asimismo, mejora la regulación de voltaje en la instalación (menos caídas de tensión porque circula menos corriente reactiva). En sistemas de emergencia, un buen FP permite que el generador soporte más carga real sin sobrecarga aparente.

Como recomendación, los hospitales salvadoreños existentes deberían auditar su factor de potencia actual (posiblemente, algunos antiguos con muchos fluorescentes y motores viejos sin compensación podrían tener FP ~0.85 o menos) y analizar la instalación de bancos de capacitores. Los hospitales nuevos deben diseñarse previendo espacios para capacitores y/o filtros desde el inicio, incluso si inicialmente el FP calculado supera 0.9, ya que condiciones

de carga ligera de motores pueden bajar ese promedio. Dado que las penalizaciones por bajo FP pueden ser onerosas, esta es una medida con retorno de inversión muy rápido: en muchos casos la compra de capacitores se recupera en menos de un año vía ahorros en la factura eléctrica.

3.4 Recomendaciones para hospitales existentes vs. Nuevos

Las estrategias y prioridades en la gestión eléctrica y energética de un hospital pueden diferir según se trate de una instalación existente (que quizá ha operado por décadas y enfrenta retos de modernización) o un hospital de nueva construcción (donde se tiene la oportunidad de diseñar desde cero con estándares actuales). A continuación, se presentan recomendaciones diferenciadas para ambos casos, entendiendo que cada uno tiene sus oportunidades y limitaciones particulares.

Hospitales existentes

Evaluación y diagnóstico integral: El primer paso es realizar un diagnóstico exhaustivo del sistema eléctrico actual. Esto incluye análisis de cargas conectadas vs capacidad instalada, medición de la demanda real (idealmente mediante monitores durante días o semanas representativas) y evaluación del estado de equipos (transformadores, tableros, cableado, generadores). Muchas instalaciones antiguas fueron ampliadas de forma incremental y podría haber sobrecargas ocultas o equipos trabajando al límite. Por ejemplo, medir la carga de cada circuito o alimentador principal durante varios días permitirá identificar si algún transformador está cerca de saturarse o si el factor de carga es bajo (indicando potencial sobredimensionamiento aprovechable). Como se mencionó, normativas externas exigen mediciones antes de ampliaciones aun sin exigencia local, conviene hacerlo.

Corrección de deficiencias y riesgos: Con el diagnóstico en mano, se deben corregir problemas de seguridad o confiabilidad de inmediato. Esto incluye reemplazar conexiones o cables deteriorados, actualizar protecciones (breakers) que estén obsoletos o mal calibrados, instalar puesta a tierra donde falte, segmentar circuitos sobrecargados, etc. En muchos hospitales viejos de El Salvador, los sistemas esenciales (emergencia) no estaban segregados apropiadamente según código; se recomienda rediseñar la distribución esencial para cumplir NFPA 70/NFPA 99 en lo posible, por ejemplo, separando circuitos de iluminación de emergencia y tomacorrientes críticos en paneles distintos alimentados desde el generador. También, si el generador existente es insuficiente para la carga esencial actual, planificar la adición o reemplazo del mismo antes de que ocurra una falla crítica.

Mejoras de eficiencia energética: Los hospitales existentes suelen tener un enorme potencial de ahorro al modernizar sus sistemas. Una medida casi siempre rentable es la modernización de la iluminación: reemplazar tubos fluorescentes y bombillos incandescentes/halógenos por lámparas LED de alta eficiencia. Esto típicamente ahorra 30-50% de energía en iluminación y la inversión se recupera en pocos años por el ahorro en la factura. Adicionalmente, instalar sensores de presencia en áreas donde las luces solían quedar encendidas sin necesidad (oficinas administrativas, baños, bodegas) y sistemas sencillos de control horario (por ejemplo, que ciertas luces exteriores se apaguen automáticamente de día) puede reducir consumos ociosos. En sistemas HVAC, considerar retroadaptar variadores de frecuencia en motores grandes existentes (como bombas de agua helada, ventiladores de manejadoras) muchos equipos antiguos funcionan a velocidad fija y colocándoles un VFD se logra modular su consumo. Sustituir equipos antiguos e ineficientes es otra opción, usualmente los chillers de 20 años consumen el doble de electricidad que un modelo moderno de igual capacidad; si

el presupuesto lo permite, renovar esos equipos reduce costos operativos. Igualmente, motores eléctricos estándar deberían cambiarse por eficientes cuando se quemen o lleguen al fin de su vida útil. Un plan de eficiencia puede priorizar “bajas en carbono” rápidas: luces LED, variadores, eliminar fugas de aire comprimido, optimizar setpoints de clima, etc., y luego abordar inversiones mayores.

Corrección del factor de potencia y calidad de energía: Muchos hospitales antiguos no cuentan con bancos de capacitores instalados, lo que significa que pueden estar pagando multas por bajo factor de potencia y sobrecargando su sistema. Es recomendable instalar capacitores para elevar el FP y eliminar ese coste evitable. Asimismo, añadir supresores de sobretensión (SPD) en tableros críticos es una mejora relativamente económica que protege equipos caros, por lo que es una buena práctica (si antes no se tenía). Si se han incorporado muchas cargas no lineales (UPS, equipo computacional), puede ser necesario evaluar armónicas y considerar filtros para evitar problemas a futuro.

Sistemas de respaldo y pruebas periódicas: Revisar el estado de los generadores existentes: ¿Están recibiendo mantenimiento adecuado? ¿Tienen la capacidad suficiente para la carga actual de emergencia? Si un hospital ha crecido en equipamiento y no ha actualizado su generador, corre el riesgo de sobrecargarlo en una contingencia. Puede ser necesario reemplazarlo por uno de mayor capacidad o añadir un segundo generador en paralelo para carga suplementaria o redundancia. Igualmente, en hospitales viejos puede no haber UPS centralizadas; evaluar la instalación de UPS para áreas críticas que sufran incluso microcortes. Todo esto acompañado de la implementación de protocolos de prueba: ensayar el sistema de emergencia bajo carga simulada al menos mensualmente (como indica NFPA 110) y hacer simulacros de corte eléctrico para verificar que todo el personal sepa actuar y

que los sistemas responden (por ejemplo, verificar que todas las luces de emergencia encienden, que los ventiladores de UCI pasan a UPS sin reiniciar, etc.).

Datos y monitoreo continuo: Un hospital existente debería considerar instalar sistemas de monitoreo de energía en las principales áreas o cargas. Esto permite identificar consumos anómalos o tendencias. Por ejemplo, medir separado lo que consume el edificio de imágenes vs. laboratorio vs. aire acondicionado central ayuda a enfocar futuros esfuerzos de ahorro. También, con medidores en tiempo real se puede reaccionar para aplanar picos (manual o automáticamente, si se ve que cierta ala está empujando la demanda a un nuevo máximo, se podrían postergar algunas tareas no urgentes).

Planificación de futuras expansiones: Casi todos los hospitales existentes tendrán algún tipo de ampliación o remodelación en el futuro. Es importante que, como parte del plan maestro eléctrico, se reserven espacios y capacidades. Si se está reestructurando el cuarto eléctrico o se cambia un transformador, poner uno con margen para crecimiento; dejar canalizaciones o bandejas disponibles para tirar cables a futuras áreas; incluir en tableros reserva de interruptores para alimentaciones futuras. Esto evitará improvisaciones costosas luego. Si se sabe que en 5 años se agregará un edificio nuevo, quizá convenga desde ya instalar un tablero y derivar provisiones hacia allá.

Aplicación rigurosa de normativas modernas: Un hospital nuevo tiene la ventaja de poder diseñarse conforme a los códigos y estándares actuales desde el inicio. Se debe asegurar el cumplimiento pleno del NEC (última edición adoptada) en todos los aspectos, así como incorporar NFPA 99 para la división de sistemas esenciales, niveles de aislamiento, etc. Igualmente, adoptar ASHRAE 90.1 para todos los sistemas relevantes garantizando eficiencia energética de diseño. Es más fácil hacer un hospital eficiente desde cero que

intentar corregirlo después. Por tanto, especificar desde un principio iluminación LED, equipos HVAC eficientes, transformadores TP-1, motores premium, etc., es obligado. También prever el cumplimiento de estándares hospitalarios internacionales (IEC 60364-7-710, si se quiere una perspectiva europea, o Joint Commission si aplica a diseño de sistemas críticos, etc.) para lograr un centro de salud de clase mundial.

Dimensionamiento óptimo con proyección de crecimiento: Al diseñar un nuevo hospital, el equipo de ingeniería debe usar datos de programas médicos y experiencias similares para estimar cargas, pero también proyectar crecimiento futuro. Por ejemplo, si el hospital inicia con 200 camas, pero se planea expandir a 300 en 10 años, conviene dimensionar la subestación y el generador pensando en ese crecimiento (o al menos dejar espacio para agregar capacidad). Sin embargo, evitar sobredimensionamiento extremo: diseñar todo al doble “por si acaso” no es buena práctica, se debe encontrar equilibrio. Como se discutió en diversidad, diseñar suponiendo 100% uso simultáneo conlleva sobredimensionamiento costoso, pero por otro lado subestimar la rápida incorporación de tecnología puede dejar corto al sistema. Así, se sugiere diseñar con un margen razonable (por ejemplo, 20 a 30% de capacidad libre en alimentadores principales y transformadores), en lugar del 0% que sería arriesgado o del 100% que sería despilfarro, ajustando esos porcentajes según la expectativa de cambios. También es útil la modularidad: por ejemplo, en lugar de un solo transformador gigante al 50% de carga inicial, quizás instalar dos más pequeños donde uno puede quedarse de reserva o se puedan agregar modulares según demanda crece. Lo mismo con generadores: configurar en paralelo modulares brinda resiliencia y escalabilidad.

Incorporación de sistemas de gestión desde el diseño: Un nuevo hospital debe nacer con un sistema de gestión de energía y automatización (BMS/BAS) integrado. Esto facilita que todas

las funciones de control (iluminación, HVAC, alarmas técnicas, energía de respaldo, etc.) estén supervisadas y optimizadas centralmente. Incluir la instrumentación (sensores, actuadores, comunicación) durante la construcción es mucho más eficiente que añadirla después. Un BAS permitirá implementar estrategias de eficiencia (horarios, sensores) y también de mantenimiento predictivo (por ejemplo, alertas cuando un circuito consume más de lo normal, indicando posible falla incipiente). A nivel eléctrico, se pueden incluir relés inteligentes o medidores en tableros que se integren a sistemas SCADA para monitoreo en tiempo real. En definitiva, diseñar con la inteligencia edificada hará que el hospital opere mejor y detecte problemas rápidamente.

Redundancia y calidad de suministro garantizada: Un hospital nuevo debe incorporar la redundancia necesaria en sistemas críticos. Esto significa considerar, por ejemplo, doble alimentación de la red comercial (si es posible obtener dos circuitos de compañías diferentes o subestaciones distintas, mejor), redundancia en transformadores (N+1 si es un hospital muy crítico), generadores redundantes (N+1 o al menos provisión para conexión de generador móvil externo), dos rutas de cableado para circuitos vitales (en edificios muy grandes, a veces se tiende anillos de media tensión o doble alimentación de ATS en quirófanos, etc.), UPS redundantes para centro de datos y quirófanos, etc. Todo esto debe pensarse en la fase de diseño arquitectónico y estructural para destinar espacios (cuartos eléctricos múltiples, vías de cableado separadas). La calidad de suministro incluye instalar filtros de armónicas, supresores, regulación de voltaje si la zona es propensa a fluctuaciones, todo a priori.

Energías renovables integradas desde diseño: A diferencia de un edificio existente donde agregar paneles solares puede ser una lucha por espacio y estructura, en un hospital nuevo se puede diseñar el techo o estacionamiento integrando paneles solares desde el inicio

(estructura preparada, espacio reservado, orientaciones optimizadas). Igualmente, se puede destinar área para tanques solares de agua caliente, espacio para baterías estacionarias si se planean. Incluir estas consideraciones en la fase de diseño asegura que el hospital esté listo para ser más autosuficiente energéticamente desde su inauguración o en un futuro cercano sin grandes modificaciones. Además, un diseño “solar-ready” puede ganarse puntos en certificaciones ambientales (LEED Healthcare u otras), si se buscara certificación del edificio.

Comisionamiento y pruebas de diseño: Un hospital nuevo debe someterse a un comisionamiento integral de sus sistemas eléctricos y mecánicos. Esto implica probar todos los escenarios: corte de energía para ver arranque de generadores, simulación de fallas para verificar selectividad de protecciones, medición de armónicas con todo operando, etc. Esta fase, a veces pasada por alto, es vital para asegurarse de que el diseño teórico funciona en la realidad y entrega las prestaciones deseadas. Un comisionamiento bien hecho identificará, por ejemplo, si un UPS está sobrecargado, si un motor tiene giro incorrecto, si el factor de potencia no es el esperado y requiere más capacitores, etc., permitiendo corregir antes de la puesta en operación formal.

Capacitación y documentación: Con un nuevo hospital vienen nuevas tecnologías. Es imprescindible capacitar al personal de mantenimiento y operaciones en el manejo de las plantas eléctricas, UPS, sistema de gestión, etc. Igualmente, entregar manuales, planos "as built" eléctricos, y plan de mantenimiento desde el inicio. Esto asegura longevidad en la eficiencia y confiabilidad del sistema. Incluir rutinas de prueba y mantenimiento preventivo en la cultura del hospital desde el día uno (por ejemplo, probar generador semanalmente bajo

carga muerta, inspeccionar termográficamente tableros cada año, etc.) prevendrá muchos problemas

3.5 Consideraciones técnicas generales para la planificación del sistema eléctrico hospitalario

El diseño del sistema eléctrico en instalaciones hospitalarias requiere una planificación técnica cuidadosa, debido a la alta dependencia de equipos eléctricos y electrónicos para la atención médica y el funcionamiento continuo de la institución. A diferencia de otras edificaciones, los hospitales no pueden tolerar interrupciones frecuentes del suministro eléctrico, ya que estas pueden afectar procedimientos clínicos, equipos de soporte vital y servicios esenciales.

Uno de los primeros aspectos técnicos a considerar es la determinación preliminar de las cargas eléctricas y los datos de demanda del sistema. En las etapas iniciales del proyecto, la información disponible suele ser limitada, sin embargo, es necesario realizar estimaciones razonables de carga basadas en el tipo de servicios médicos que se prestarán, la superficie de las áreas funcionales y la experiencia obtenida en instalaciones hospitalarias similares. Estas estimaciones deben incluir tanto las cargas principales de equipos médicos como las cargas generales, considerando además la incorporación de futuras expansiones o nuevas tecnologías.

Desde el punto de vista técnico, es importante diferenciar entre la carga conectada y la demanda real del sistema. La carga conectada corresponde a la suma de las potencias nominales de los equipos instalados, mientras que la demanda representa la potencia que efectivamente se espera que sea suministrada de manera simultánea. Debido a que muchos equipos operan de forma intermitente o a cargas parciales, la demanda suele ser menor que la carga conectada. Esta distinción permite dimensionar adecuadamente transformadores,

alimentadores y equipos de protección, evitando tanto el sobredimensionamiento como la insuficiencia de capacidad.

Asimismo, durante la planificación debe considerarse el impacto térmico de los equipos eléctricos sobre las áreas donde se instalan, como cuartos eléctricos, salas de UPS y centros de datos. Las pérdidas eléctricas generan calor que, si no se toma en cuenta, puede afectar el desempeño y la vida útil de los equipos. Por ello, las cargas térmicas asociadas al sistema eléctrico deben ser evaluadas para asegurar condiciones adecuadas de ventilación y climatización.

Otro aspecto técnico fundamental es la definición de los parámetros del suministro eléctrico proporcionado por la empresa distribuidora. El diseño del sistema hospitalario depende en gran medida del tipo de servicio disponible, el nivel de tensión en el punto de entrega y la estabilidad del voltaje. Además, es indispensable conocer los valores máximos y mínimos esperados de tensión, con el fin de evaluar la necesidad de sistemas de regulación o mitigación de variaciones que puedan afectar equipos médicos sensibles.

De igual forma, la corriente máxima de cortocircuito disponible en el punto de suministro constituye un dato clave para el diseño eléctrico. Este valor permite seleccionar interruptores automáticos con capacidad de interrupción adecuada y realizar una correcta coordinación de protecciones. La información sobre las corrientes de falla, incluyendo las relaciones X/R , es esencial para garantizar que los dispositivos de protección actúen de forma segura y selectiva ante una falla.

En instalaciones hospitalarias donde se prevé el uso de sistemas de generación interna, como plantas eléctricas de emergencia, también debe evaluarse la posibilidad de operación en

paralelo con la red de la empresa distribuidora. En estos casos, el diseño debe considerar los requisitos técnicos de protección y control necesarios para evitar condiciones inseguras, como el funcionamiento en isla no intencional.

La confiabilidad del sistema eléctrico es otro criterio técnico prioritario en hospitales. Las áreas que soportan funciones críticas o de soporte vital pueden requerir configuraciones de distribución con mayor nivel de redundancia, tales como sistemas radiales con transferencia automática o sistemas secundarios selectivos. La elección de estos esquemas debe basarse en un análisis técnico que permita balancear la continuidad del servicio con la complejidad operativa y la facilidad de mantenimiento del sistema.

Finalmente, la planificación del sistema eléctrico hospitalario debe considerar las condiciones propias del entorno donde se ubica la instalación. Factores como la frecuencia de tormentas eléctricas, condiciones sísmicas o ambientes con alta humedad o corrosión influyen directamente en la selección de equipos, el diseño de la puesta a tierra y las medidas de protección contra sobretensiones. Asimismo, el diseño debe alinearse con los criterios técnicos exigidos por las autoridades competentes, de manera que el sistema eléctrico cumpla con los niveles de seguridad y confiabilidad requeridos para una instalación de salud.

3.6 Fundamentos de los sistemas de energía eléctrica en instalaciones hospitalarias

Los sistemas de energía eléctrica en instalaciones hospitalarias deben diseñarse considerando un alto nivel de seguridad, confiabilidad y continuidad operativa, debido a la dependencia directa de los servicios médicos respecto al suministro eléctrico. A diferencia de otros tipos de edificaciones, en los centros de salud se emplea una gran cantidad de equipos médicos complejos y eléctricamente sensibles, lo que exige criterios de diseño más estrictos y específicos.

Además de la complejidad técnica de los equipos, el diseño del sistema eléctrico hospitalario debe priorizar la protección tanto de los pacientes como del personal médico frente a riesgos eléctricos. En muchas áreas clínicas los pacientes se encuentran en condiciones de vulnerabilidad, conectados a dispositivos eléctricos o sometidos a procedimientos invasivos, por lo que incluso pequeñas fallas eléctricas pueden tener consecuencias graves. Por esta razón, los sistemas de energía en hospitales requieren consideraciones adicionales respecto a las prácticas comunes utilizadas en instalaciones industriales o comerciales.

3.6.1 Fuentes de energía

En condiciones normales de operación, la energía eléctrica en un hospital es suministrada por la empresa distribuidora local. No obstante, debido a la criticidad de las funciones que se desarrollan en estas instalaciones, los códigos eléctricos exigen la disponibilidad de al menos una fuente alterna de energía, capaz de abastecer las cargas esenciales en caso de falla del suministro normal.

Las fuentes alternas más utilizadas en instalaciones hospitalarias incluyen los generadores eléctricos de emergencia, los sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) y, en ciertos casos específicos, sistemas de batería–inversor. El generador de emergencia constituye la principal fuente de respaldo para cargas esenciales, mientras que los sistemas UPS se emplean para suministrar energía inmediata y sin interrupción a equipos sensibles o críticos, durante el tiempo que el generador entra en operación.

En algunos tipos de instalaciones de salud, como asilos o centros de cuidado residencial, los sistemas de batería–inversor pueden utilizarse como fuente alterna principal, siempre que cumplan con los requisitos establecidos por la normativa aplicable. Asimismo, muchas instituciones requieren UPS dedicados para centros de cómputo, sistemas de comunicación,

equipos de monitoreo y otras cargas que no toleran interrupciones, ni siquiera de corta duración.

La selección y coordinación entre la fuente normal, la fuente alterna y los sistemas de respaldo inmediato debe realizarse de forma que se garantice una transición segura, ordenada y confiable ante cualquier condición de falla.

3.6.2 Circuitos y sistemas de distribución

Los sistemas de distribución eléctrica en instalaciones hospitalarias se dividen, de manera general, en dos grandes categorías: el sistema eléctrico no esencial y el sistema eléctrico esencial. Ambos son alimentados normalmente desde la fuente principal, pero el sistema esencial debe ser capaz de transferirse automáticamente a la fuente alterna cuando ocurre una interrupción del suministro normal.

El sistema eléctrico no esencial está conformado por los equipos y circuitos que alimentan cargas cuya interrupción no representa un riesgo inmediato para la vida ni para la operación crítica del hospital. Entre estas cargas se incluyen áreas administrativas, iluminación general no crítica y servicios auxiliares.

Por su parte, el sistema eléctrico esencial está destinado a garantizar la continuidad del suministro eléctrico a las cargas indispensables para la seguridad de vida, la atención crítica de pacientes y la operación efectiva del centro de salud. Este sistema incluye el equipo de transferencia, los tableros de distribución y los circuitos asociados a las cargas críticas.

De acuerdo con la normativa aplicable, el sistema eléctrico esencial en hospitales se subdivide en dos grandes sistemas: el sistema de emergencia y el sistema de equipos.

El sistema de emergencia, a su vez, se divide en dos ramas:

Rama de seguridad de vida (Life Safety Branch), que alimenta iluminación de emergencia, señalización, alarmas y otros servicios indispensables para la protección de la vida.

Rama crítica, que suministra energía a tomacorrientes y equipos directamente relacionados con la atención del paciente y procedimientos clínicos.

Para incrementar la confiabilidad del sistema, los circuitos correspondientes a estas ramas deben instalarse de forma independiente entre sí y separados de los circuitos no esenciales. Asimismo, la normativa exige que el sistema de emergencia sea capaz de restablecer automáticamente el suministro eléctrico en un tiempo máximo de 10 segundos después de una interrupción del servicio normal.

El sistema de equipos está destinado a alimentar cargas eléctricas asociadas al funcionamiento general del hospital, tales como equipos mecánicos, bombas, sistemas de climatización críticos y otros equipos necesarios para la operación efectiva de la instalación. Este sistema puede emplear dispositivos de transferencia automática, retardada o manual, según la criticidad de las cargas y los criterios de diseño adoptados.

En el caso de otros tipos de instalaciones de salud, como hogares de ancianos o centros de cuidado residencial, la estructura del sistema eléctrico esencial puede variar en función de los procedimientos médicos realizados. En estas instalaciones, el sistema esencial suele limitarse a un sistema de emergencia y un sistema crítico, diseñados para garantizar la seguridad de vida y permitir la finalización ordenada de los procedimientos ante una interrupción del suministro.

Finalmente, la fuente de energía de emergencia debe cumplir con los requisitos establecidos para el tipo de instalación de salud correspondiente, especialmente en lo relativo a tiempos

máximos de arranque, capacidad de operación continua y confiabilidad del suministro, asegurando que las cargas esenciales puedan mantenerse operativas durante una falla prolongada del sistema normal.

3.7 Consideraciones técnicas de voltaje y corriente en sistemas eléctricos hospitalarios

La correcta selección y control del voltaje y la corriente en instalaciones hospitalarias es un aspecto técnico crítico, debido al uso extensivo de equipos médicos sensibles y a la necesidad de garantizar un suministro eléctrico estable bajo distintas condiciones de operación. Un voltaje mal aplicado, mal regulado o afectado por perturbaciones puede provocar fallas en equipos médicos, interrupciones en procedimientos clínicos y reducción de la vida útil de los dispositivos eléctricos.

En hospitales, el sistema eléctrico debe diseñarse de forma que suministre voltajes adecuados a todos los equipos de utilización, incluso durante condiciones dinámicas como el arranque de motores de gran potencia o la conmutación entre fuentes de energía. La selección de los niveles de voltaje del sistema depende de factores como el voltaje disponible de la empresa distribuidora, el tamaño de la instalación, el tipo de cargas a alimentar y las necesidades de expansión futura. En instalaciones de gran tamaño es común recibir energía en media tensión y reducirla a niveles de utilización como 480Y/277 V o 208Y/120 V, los cuales permiten alimentar tanto equipos mecánicos como equipos médicos y de apoyo.

El uso de niveles de voltaje más altos, como 480 V, presenta ventajas técnicas para cargas de mayor potencia, ya que permite reducir corrientes, disminuir el tamaño de los conductores y limitar las pérdidas en el sistema. En el caso de la iluminación, la aplicación de 277 V puede ser beneficiosa en instalaciones grandes; sin embargo, su uso en hospitales debe analizarse cuidadosamente debido a la necesidad de mantener la separación entre los distintos sistemas

eléctricos (normal, seguridad de vida, rama crítica y sistema de equipos). Una vez seleccionado un nivel de voltaje, este debe aplicarse de forma consistente para evitar errores de operación y riesgos para el personal.

Desde el punto de vista de la compatibilidad de los equipos, es indispensable verificar que los voltajes nominales de los equipos médicos coincidan con los voltajes del sistema de distribución. Una aplicación incorrecta del voltaje, como alimentar equipos nominales de 230 V desde sistemas de 208 V, puede provocar mal funcionamiento y sobrecorrientes. Este aspecto cobra especial importancia en equipos importados, los cuales pueden estar diseñados para sistemas internacionales con diferentes niveles de tensión y frecuencias.

Las variaciones de voltaje y las perturbaciones eléctricas representan otro factor técnico relevante en hospitales. Sobretensiones transitorias, caídas momentáneas de voltaje y distorsión armónica pueden originarse por descargas atmosféricas, conmutación de cargas inductivas, arranque de motores, equipos de radiología y el uso de cargas no lineales como variadores de velocidad o fuentes conmutadas. Estas condiciones pueden afectar tanto al sistema de distribución como a los equipos médicos sensibles.

Para mitigar estos efectos, pueden emplearse dispositivos de protección y acondicionamiento de energía, tales como supresores de sobretensión transitoria, reguladores de voltaje, transformadores de aislamiento, filtros de armónicos y sistemas UPS. La selección de estos equipos debe basarse en un diagnóstico adecuado del problema eléctrico, ya que una solución mal aplicada puede agravar la condición existente en lugar de mejorarla.

En cuanto a la corriente, los requerimientos del sistema están determinados tanto por las cargas conectadas como por las características de las fuentes de energía. En particular, la

corriente de cortocircuito depende de la impedancia del sistema, la relación X/R y la contribución de las fuentes, las cuales pueden variar significativamente entre la fuente normal (empresa eléctrica) y la fuente alterna (generadores en sitio). En muchos hospitales, la fuente normal puede aportar corrientes de falla elevadas y de decaimiento lento, mientras que la fuente de emergencia suele aportar corrientes menores y de decaimiento más rápido.

Estas diferencias deben considerarse cuidadosamente al seleccionar y ajustar los dispositivos de protección, ya que el sistema eléctrico esencial puede operar alimentado por cualquiera de las dos fuentes. Un diseño adecuado requiere comprender los niveles de corriente de falla, realizar cálculos de cortocircuito y analizar las caídas de voltaje asociadas a cargas de impacto, como el arranque de motores o el funcionamiento de equipos de radiología con altas corrientes transitorias.

En equipos que demandan corrientes elevadas durante intervalos muy cortos, como los sistemas de rayos X, es necesario disponer de fuentes de baja impedancia que mantengan la caída de voltaje dentro de límites aceptables generalmente entre 3 % y 5 %. Para lograrlo, pueden emplearse arrancadores suaves, arrancadores de voltaje reducido o transformadores dedicados, de modo que las fluctuaciones de voltaje no afecten al resto del sistema eléctrico hospitalario.

En conjunto, el control adecuado del voltaje y la corriente constituye un elemento esencial para garantizar la confiabilidad, seguridad y continuidad del suministro eléctrico en instalaciones hospitalarias, especialmente en aquellas áreas donde el desempeño del sistema eléctrico está directamente relacionado con la atención y seguridad del paciente.

3.8 Puesta a tierra y configuración del neutro en sistemas eléctricos hospitalarios

En las instalaciones hospitalarias, la puesta a tierra constituye un aspecto clave del diseño eléctrico, ya que influye directamente en la seguridad de las personas y en la continuidad del servicio. Su función principal es controlar las corrientes de falla, limitar diferencias de potencial peligrosas y asegurar que los dispositivos de protección operen de manera correcta ante condiciones anormales. En este tipo de instalaciones se consideran tanto la puesta a tierra de los equipos como la puesta a tierra del sistema eléctrico.

La puesta a tierra de equipos corresponde a la interconexión de las partes metálicas no energizadas, tales como carcasas, gabinetes, canalizaciones metálicas y estructuras conductoras cercanas a conductores energizados, con el conductor de puesta a tierra de equipos. Esta conexión permite disponer de una trayectoria de baja impedancia para las corrientes de falla a tierra, reduciendo el riesgo de descargas eléctricas para el personal y los pacientes, minimizando daños por sobrecalentamiento y facilitando la actuación oportuna de los dispositivos de protección.

La puesta a tierra del sistema se refiere al método utilizado para conectar a tierra un punto del sistema eléctrico, generalmente el neutro. En hospitales, donde existen cargas fase-neutro y equipos médicos sensibles, los sistemas de baja tensión deben operar con el neutro sólidamente puesto a tierra, ya que configuraciones sin puesta a tierra pueden dar lugar a condiciones inestables, sobretensiones peligrosas y riesgos para la seguridad durante una falla a tierra.

Cuando una instalación hospitalaria dispone de una fuente normal de energía y una fuente alterna, la forma en que ambos sistemas se interconectan determina el tratamiento del neutro y el punto de puesta a tierra del sistema. Este punto resulta especialmente importante, ya que

una configuración inadecuada puede provocar corrientes neutrales no deseadas, circulación de corriente por el conductor de puesta a tierra de equipos y actuaciones no previstas de los dispositivos de protección.

En un primer escenario típico de diseño, cuando la fuente alterna se conecta a la instalación sin conmutar el neutro, por ejemplo, mediante un dispositivo de transferencia de tres polos, el neutro permanece sólidamente interconectado entre la fuente normal y el generador. En esta condición, el sistema alterno no se considera derivado de manera independiente, por lo que únicamente el neutro de la fuente normal debe estar puesto a tierra. En este caso, el neutro del generador debe permanecer aislado del bastidor de la máquina, manteniéndose el conductor de puesta a tierra de equipos como elemento de protección de las partes metálicas.

La figura 23 muestra un esquema simplificado del caso en el que el neutro no es conmutado y permanece interconectado entre ambas fuentes, por lo que la puesta a tierra del sistema se realiza únicamente en la fuente normal.

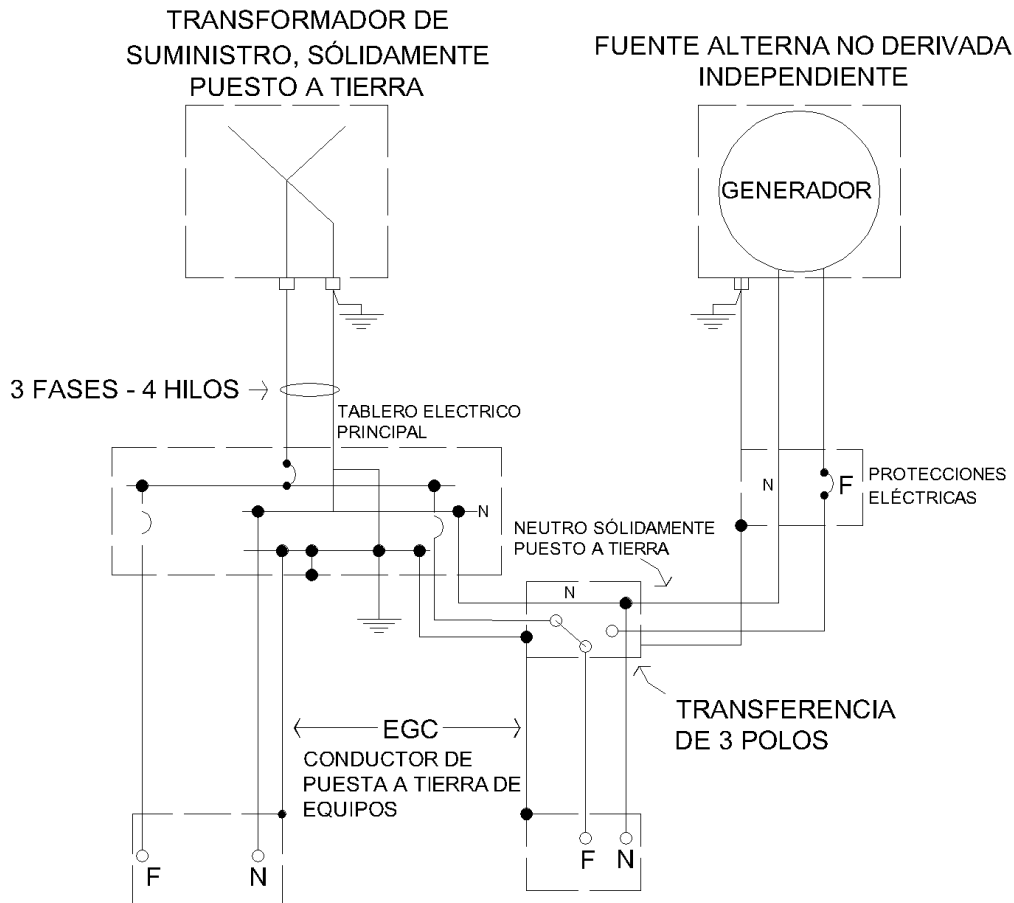


Figura 23. Neutro no conmutado/Transferencia de 3 Polos

En un **segundo escenario**, más común en sistemas donde se busca un mayor control del punto de referencia del neutro, se utiliza un dispositivo de transferencia de **cuatro polos**, el cual conmuta también el conductor neutro. En esta configuración, el neutro de la fuente alterna queda eléctricamente aislado del neutro de la fuente normal durante la transferencia, por lo que el sistema alterno sí se considera derivado de manera independiente. En consecuencia, el neutro del generador debe contar con su propia puesta a tierra efectiva, adicional a la puesta a tierra del neutro de la fuente normal.

La Figura 24 presenta un esquema simplificado del caso en el que el neutro es conmutado mediante un dispositivo de transferencia de cuatro polos, considerándose el sistema alterno como un sistema derivado de manera independiente.

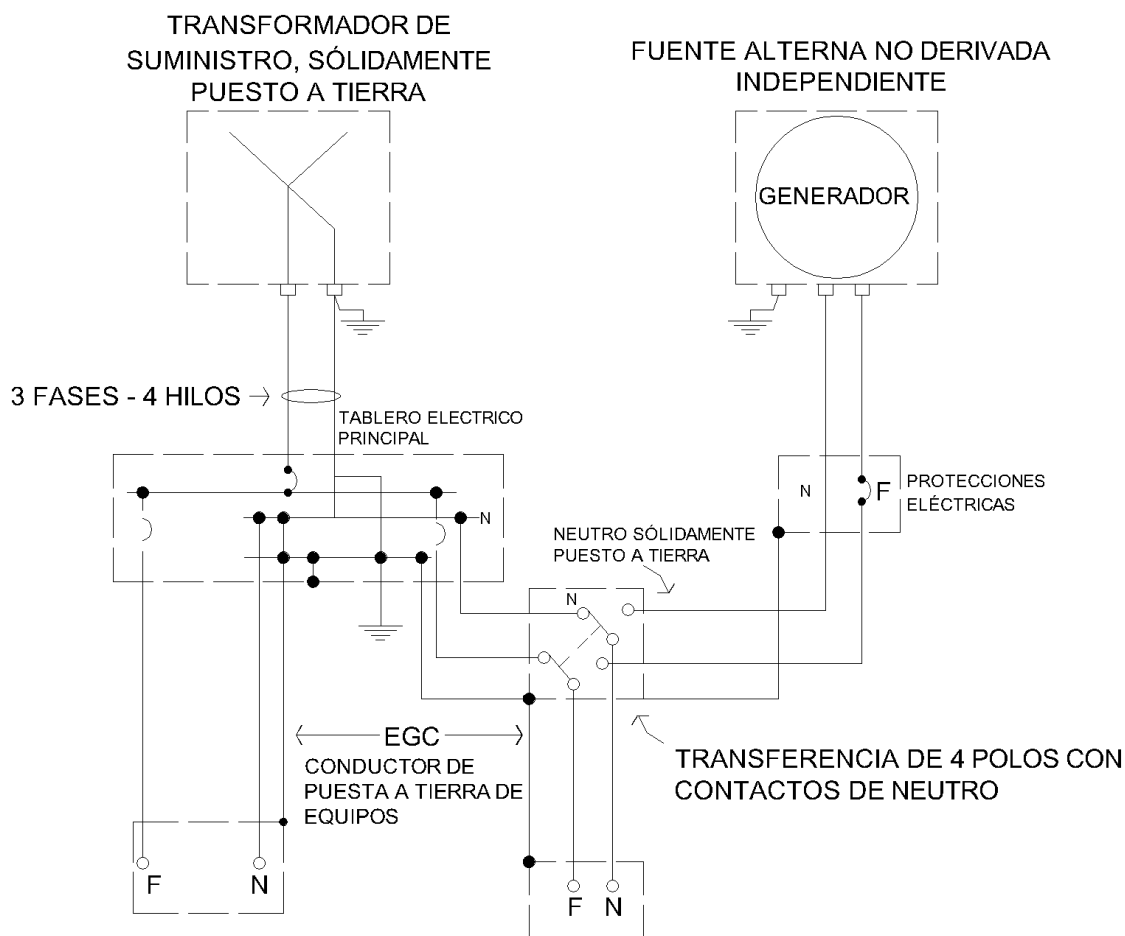


Figura 24. Neutro Conmutado / Sistema derivado independiente /transferencia de 4 polos

Desde el punto de vista del diseño eléctrico hospitalario, la decisión de conmutar o no el neutro en la transferencia entre la fuente normal y la fuente alterna representa un criterio técnico relevante que debe evaluarse cuidadosamente. Esta decisión influye directamente en el comportamiento de las corrientes de falla, en la confiabilidad del sistema eléctrico esencial

y en la seguridad del personal y de los pacientes, por lo que debe adoptarse con base en criterios de ingeniería y en las características específicas de la instalación.

3.9 Protección y coordinación del sistema eléctrico

La protección del sistema eléctrico en instalaciones hospitalarias tiene como objetivo principal limitar los daños causados por condiciones anormales de operación, tales como cortocircuitos y fallas a tierra, que pueden provocar interrupciones del servicio, daños a equipos y riesgos para pacientes y personal. Debido a la naturaleza crítica de estas instalaciones, los dispositivos de protección deben operar de forma confiable, selectiva y coordinada.

Los dispositivos de protección deben aplicarse dentro de sus valores nominales de tensión, corriente y capacidad de interrupción, considerando además las condiciones del entorno donde operan, tales como temperatura, humedad, altitud y posibles efectos sísmicos. Una aplicación incorrecta de estos dispositivos puede comprometer tanto la seguridad como la continuidad del servicio eléctrico.

En un sistema hospitalario no es posible eliminar completamente la ocurrencia de fallas. Con el paso del tiempo, el envejecimiento de los materiales, el deterioro del aislamiento y las condiciones ambientales incrementan la probabilidad de fallas eléctricas. Por esta razón, el diseño del sistema de protección debe considerar el comportamiento de las corrientes y voltajes durante condiciones de falla, con el fin de reducir su impacto y aislar únicamente la parte del sistema afectada.

3.9.1 Fundamentos de protección y coordinación

La protección eléctrica está diseñada para actuar únicamente cuando se presentan corrientes anormales, ignorando las condiciones normales de operación como la corriente a plena carga, sobrecargas permisibles y corrientes de arranque de motores. Ante una falla, los dispositivos de protección deben operar de manera rápida para minimizar los efectos térmicos y mecánicos asociados a la alta energía liberada durante un cortocircuito o una falla a tierra.

La coordinación de protecciones consiste en ajustar y seleccionar los dispositivos de tal forma que, ante una falla, opere primero el dispositivo más cercano al punto defectuoso, evitando desconectar innecesariamente áreas completas de la instalación. En hospitales, este criterio es especialmente importante, ya que una desconexión indebida puede afectar servicios esenciales para la atención de pacientes.

La coordinación no depende únicamente de los ajustes de los dispositivos, sino también de la topología del sistema eléctrico. Sistemas de distribución con múltiples niveles en serie pueden resultar más difíciles de coordinar, mientras que configuraciones más simples facilitan una operación selectiva de las protecciones. Por esta razón, el diseño del sistema eléctrico influye directamente en la efectividad de la coordinación.

El dimensionamiento y ajuste de los dispositivos de protección requiere conocer las corrientes de cortocircuito disponibles en cada punto del sistema, así como las características de los equipos y conductores que se desean proteger. En instalaciones de salud, es una práctica recomendada realizar estudios de cortocircuito y coordinación, los cuales permiten verificar que los dispositivos seleccionados sean capaces de soportar y despejar las fallas esperadas.

3.9.2 Protección contra fallas a tierra

Las fallas a tierra representan una condición particularmente peligrosa en sistemas eléctricos hospitalarios, ya que pueden involucrar corrientes de magnitud relativamente baja que no siempre son detectadas por los dispositivos de sobrecorriente de fase. Por esta razón, se emplean dispositivos específicos para la detección de fallas a tierra, los cuales complementan la protección convencional.

Uno de los métodos más comunes para detectar fallas a tierra es el método residual, el cual se basa en la suma vectorial de las corrientes de fase (y del neutro, cuando está presente). En condiciones normales, esta suma es prácticamente cero, sin embargo cuando ocurre una falla a tierra, aparece una corriente residual que puede ser detectada por el relevador de falla a tierra.

La Figura 25 muestra de forma esquemática el principio de detección de falla a tierra mediante un relevador conectado de manera residual, el cual permite identificar corrientes que no retornan por los conductores normales del sistema.

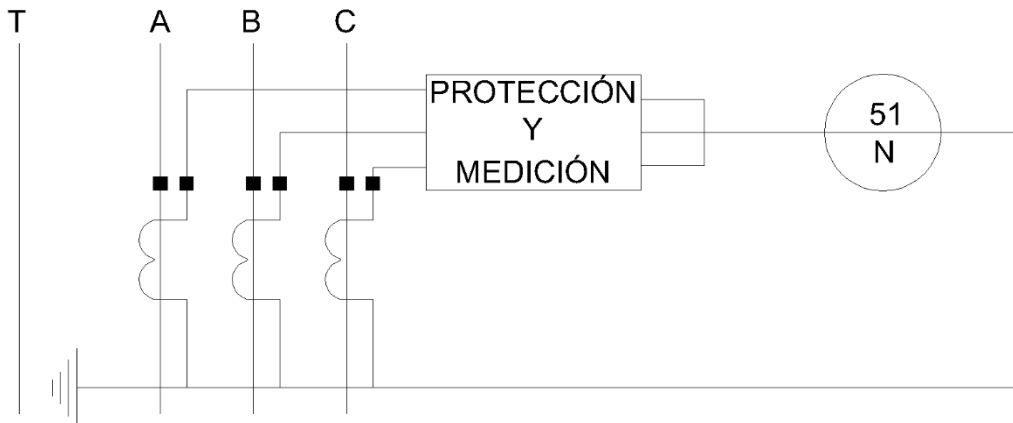


Figura 25. Relevador de falla a tierra conectado residual

La aplicación de la protección contra fallas a tierra requiere especial atención en instalaciones con generación de emergencia, ya que las corrientes de falla suministradas por los generadores suelen ser menores que las provenientes de la empresa eléctrica. Esta diferencia puede afectar la sensibilidad y selectividad de los dispositivos de protección, por lo que los ajustes deben realizarse considerando ambos escenarios de operación.

Existen distintos tipos de corrientes de falla a tierra, que pueden originarse por defectos de aislamiento, conexiones flojas, conductores dañados, suciedad o humedad. En algunos casos, la magnitud de la corriente puede ser suficientemente baja como para no provocar una operación inmediata de los dispositivos de protección, lo que refuerza la necesidad de emplear esquemas adecuados de detección.

3.9.3 Coordinación en sistemas con doble fuente de alimentación

En instalaciones hospitalarias es común la presencia de una fuente normal y una fuente alterna de energía, interconectadas mediante un sistema de transferencia. Esta condición introduce complejidad adicional en la coordinación de protecciones, especialmente cuando existe una interconexión eléctrica del neutro entre ambas fuentes.

Cuando los conductores de energía están interconectados entre la fuente normal y la fuente alterna, las corrientes de falla a tierra pueden dividirse en diferentes trayectorias, lo que dificulta su detección y puede afectar la selectividad del sistema de protección. En estos casos, es necesario analizar cuidadosamente el esquema de puesta a tierra y el método de detección de fallas a tierra utilizado.

La Figura 26 ilustra un esquema típico de doble fuente interconectada eléctricamente, donde se aprecia la relación entre la fuente normal, la fuente alterna y la carga, así como las implicaciones que esta configuración tiene en la detección de fallas a tierra.

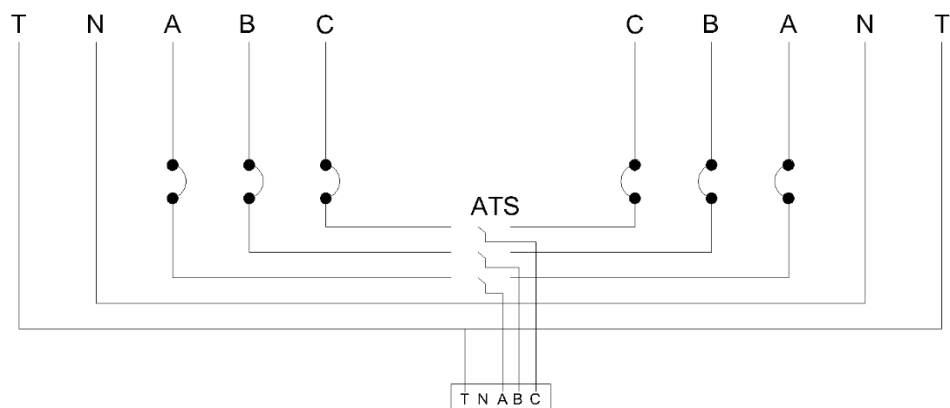


Figura 26. Doble fuentes interconectadas eléctricamente

En este tipo de sistemas, la coordinación adecuada entre los dispositivos de protección del lado de la carga y del lado de la línea es fundamental para evitar disparos innecesarios y garantizar que, ante una falla, se mantenga el suministro eléctrico en las áreas críticas del hospital.

3.9.4 Importancia del diseño coordinado

Un sistema de protección contra fallas a tierra correctamente diseñado y coordinado contribuye de manera significativa a la seguridad, confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico en instalaciones de salud. La selección adecuada de dispositivos, junto con un análisis apropiado de las corrientes de falla y de la topología del sistema, permite reducir el riesgo de daños a equipos y minimizar las interrupciones del servicio.

En hospitales, donde la continuidad del suministro eléctrico está directamente relacionada con la seguridad del paciente, la protección y coordinación del sistema eléctrico debe considerarse un aspecto esencial del diseño, y no únicamente un requisito normativo.

3.10 Selección, instalación y verificación de equipos eléctricos

La selección e instalación de los equipos eléctricos en instalaciones hospitalarias debe realizarse considerando criterios técnicos que garanticen un suministro seguro, confiable y continuo. A diferencia de otras edificaciones, en los centros de atención médica una falla eléctrica no solo implica pérdidas económicas, sino que puede comprometer la seguridad de los pacientes y del personal, por lo que la confiabilidad del sistema adquiere un papel fundamental.

3.10.1 Criterios técnicos para la selección de equipos

La selección de equipos eléctricos debe basarse no únicamente en la capacidad de carga, sino también en su desempeño ante condiciones anormales de operación. Entre los principales criterios técnicos a considerar se encuentran la confiabilidad del equipo, su compatibilidad con los esquemas de protección y coordinación del sistema, y la capacidad de restablecer el servicio eléctrico de forma rápida tras una interrupción.

Asimismo, los equipos deben estar listados y certificados por organismos reconocidos, garantizando que cumplen con estándares mínimos de seguridad eléctrica. En instalaciones hospitalarias, es especialmente importante seleccionar equipos con adecuada disponibilidad de repuestos y facilidad de mantenimiento, de manera que las intervenciones correctivas puedan realizarse con el menor impacto posible en la operación del sistema eléctrico.

La ubicación de los equipos también forma parte del proceso de selección técnica, ya que deben instalarse en áreas que reduzcan su exposición a riesgos ambientales como humedad, inundaciones, incendios o vibraciones, los cuales podrían afectar su funcionamiento.

3.10.2 Consideraciones de instalación eléctrica

La instalación de los equipos eléctricos debe permitir una operación segura durante todas las etapas del ciclo de vida del sistema, incluyendo montaje, operación, mantenimiento y pruebas. Para ello, es necesario proporcionar espacios de trabajo adecuados alrededor de los equipos, que faciliten el acceso del personal y reduzcan los riesgos durante trabajos en condiciones energizadas o des energizadas.

Un aspecto técnico relevante en hospitales es la correcta identificación y etiquetado de los equipos, conductores y tableros. Un sistema de etiquetado claro y consistente permite al personal de operación y mantenimiento identificar rápidamente las fuentes de alimentación, las cargas atendidas y la función de cada equipo, reduciendo el riesgo de errores durante maniobras o intervenciones.

En el sistema eléctrico esencial, los equipos y circuitos deben instalarse de forma físicamente separada del sistema no esencial, con el objetivo de minimizar la probabilidad de fallas simultáneas y garantizar la continuidad del servicio a las cargas críticas. Esta segregación incluye tanto equipos de distribución como canalizaciones y conductores asociados.

3.6.3 Transformadores y equipos de distribución

Los transformadores utilizados en instalaciones hospitalarias deben seleccionarse considerando su confiabilidad, nivel de pérdidas, capacidad de sobrecarga y comportamiento

frente a cargas no lineales. Una selección adecuada contribuye a mejorar la eficiencia del sistema y a reducir problemas asociados a calentamiento, ruido y distorsión armónica.

De manera similar el switchgear, los tableros de distribución y los centros de control de motores deben ubicarse estratégicamente para minimizar caídas de voltaje y facilitar futuras expansiones del sistema. Estos equipos deben contar con espacios adecuados para ventilación y mantenimiento, así como con capacidad interruptiva suficiente para las corrientes de falla esperadas.

3.6.4 Interruptores de transferencia

Los interruptores de transferencia cumplen una función crítica en el sistema eléctrico hospitalario, al permitir el suministro continuo de energía a las cargas esenciales cuando se pierde la fuente normal. Estos dispositivos deben estar adecuadamente dimensionados para las cargas que atienden y ser capaces de soportar corrientes de carga, sobrecarga y cortocircuito sin sufrir daños.

La ubicación de los interruptores de transferencia debe seleccionarse de manera que se reduzca el impacto de una falla aguas abajo y se facilite su operación y mantenimiento. En aplicaciones hospitalarias, resulta conveniente considerar interruptores con funciones de bypass o aislamiento, ya que permiten realizar mantenimiento sin interrumpir el suministro a las cargas críticas.

3.6.5 Pruebas y verificación del sistema

Antes de la puesta en servicio del sistema eléctrico, es necesario realizar una inspección visual detallada para verificar que los equipos estén correctamente instalados y que los ajustes de los dispositivos de protección sean los adecuados. Posteriormente, deben efectuarse

pruebas de aceptación que confirmen el correcto funcionamiento de los equipos, los circuitos de control y los sistemas de protección.

Estas pruebas permiten detectar posibles errores de instalación o configuración antes de energizar el sistema, reduciendo el riesgo de fallas durante la operación normal. En instalaciones hospitalarias, la verificación adecuada del sistema eléctrico es un paso fundamental para garantizar la seguridad, confiabilidad y continuidad del suministro eléctrico.

3.7 Configuraciones del sistema de distribución eléctrica

La disposición del sistema de distribución eléctrica en una instalación hospitalaria influye directamente en la confiabilidad del suministro, la continuidad del servicio y la capacidad de respuesta ante fallas. A diferencia de otros tipos de edificaciones, en hospitales el sistema eléctrico debe diseñarse para minimizar interrupciones, reducir puntos únicos de falla y permitir labores de mantenimiento sin afectar áreas clínicas críticas.

Desde el punto de vista técnico, la selección de la configuración del sistema debe considerar la criticidad de las cargas, la magnitud de la instalación, la disponibilidad de fuentes de energía y la posibilidad de expansión futura. Una adecuada disposición del sistema permite aislar fallas localizadas, restablecer el servicio de forma rápida y mantener operativas las áreas esenciales del hospital.

3.7.1 Criterios técnicos de confiabilidad y continuidad

Para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico hospitalario, es recomendable evitar configuraciones que dependan de un solo alimentador o de una única ruta de distribución. El uso de alimentadores separados, rutas físicas independientes y dispositivos de transferencia

adecuados reduce la probabilidad de que una falla afecte simultáneamente a múltiples áreas del hospital.

Asimismo, el sistema debe estar preparado para responder ante condiciones eléctricas anormales, como pérdidas de fase, variaciones de voltaje, sobrecargas y fallas internas. La disposición del sistema debe permitir una rápida desconexión de la sección afectada y una restauración ordenada del suministro eléctrico hacia las cargas críticas.

3.7.2 Influencia de motores y cargas sensibles

En instalaciones hospitalarias existen equipos con altas corrientes de arranque, como elevadores, bombas, compresores y enfriadoras, que pueden provocar caídas de voltaje y afectar el funcionamiento de equipos sensibles. Desde el punto de vista de la disposición del sistema, es recomendable separar los alimentadores de motores de aquellos que suministran energía a cargas críticas o sensibles al voltaje.

Esta separación permite reducir perturbaciones eléctricas durante el arranque de motores y mejora la estabilidad del sistema. Adicionalmente, el uso de arranques suaves, arranque secuencial de cargas y alimentadores dedicados contribuye a minimizar el impacto de estas corrientes transitorias sobre el resto del sistema eléctrico del hospital.

3.7.3 Configuración radial

La configuración radial es la disposición más simple del sistema de distribución eléctrica, en la cual una única fuente alimenta a los tableros mediante un solo alimentador. Esta configuración se caracteriza por su simplicidad de diseño y operación, así como por su bajo costo relativo.

En instalaciones hospitalarias, el sistema radial se utiliza principalmente para alimentar cargas no críticas o áreas administrativas, donde una interrupción del suministro no representa un riesgo inmediato para la seguridad del paciente. Su principal limitación es la falta de redundancia, ya que una falla en el alimentador provoca la pérdida total del suministro en la sección afectada.

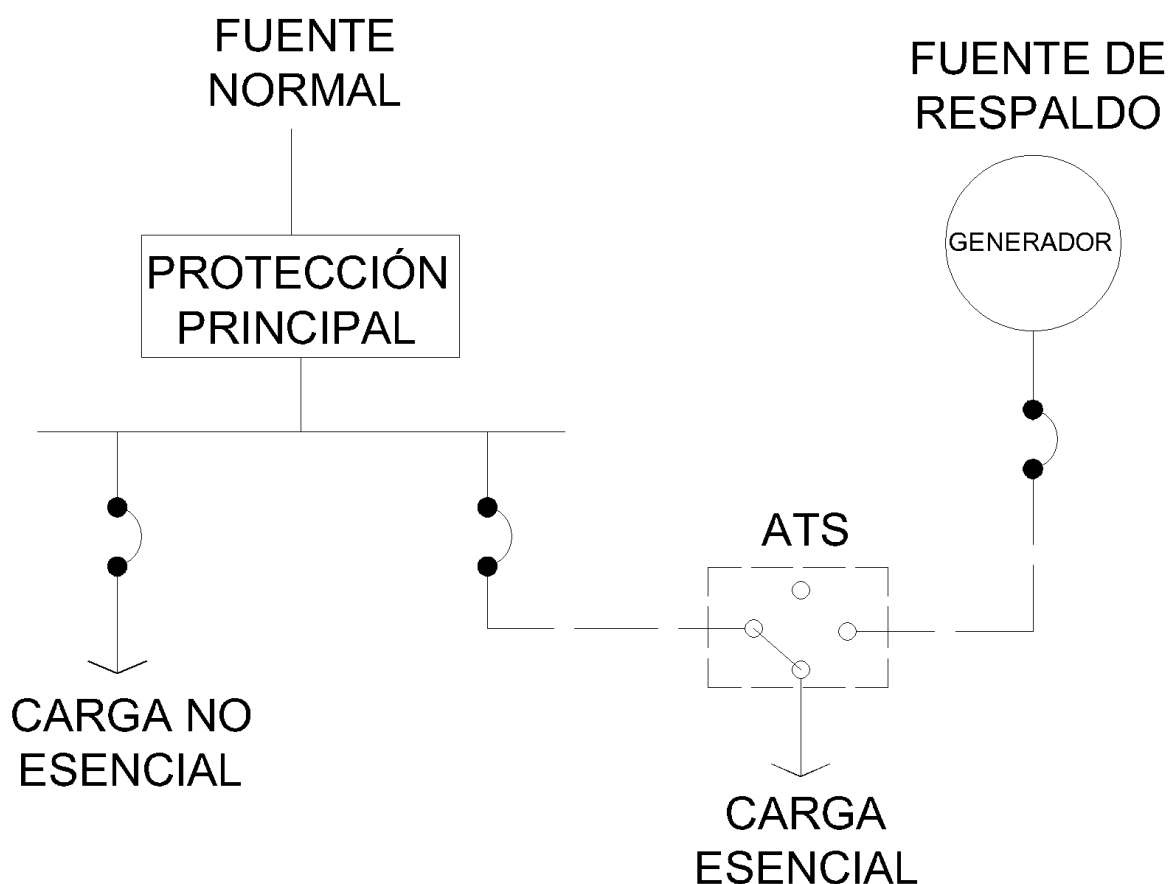


Figura 27. Esquema general de configuración radial aplicado a instalaciones hospitalarias

3.7.4 Configuración radial con respaldo

Una mejora del sistema radial consiste en incorporar alimentadores de respaldo, normalmente mediante interruptores de transferencia. En este caso, cada tablero puede ser alimentado

desde una fuente normal y una fuente alterna, permitiendo la restauración del servicio cuando se pierde el suministro principal.

Esta disposición incrementa la confiabilidad sin llegar a la complejidad de sistemas más avanzados y resulta adecuada para hospitales de tamaño medio o para áreas donde la continuidad del servicio es importante. La ubicación estratégica de los interruptores de transferencia, preferiblemente cerca de la carga, contribuye a mejorar la respuesta del sistema ante fallas.

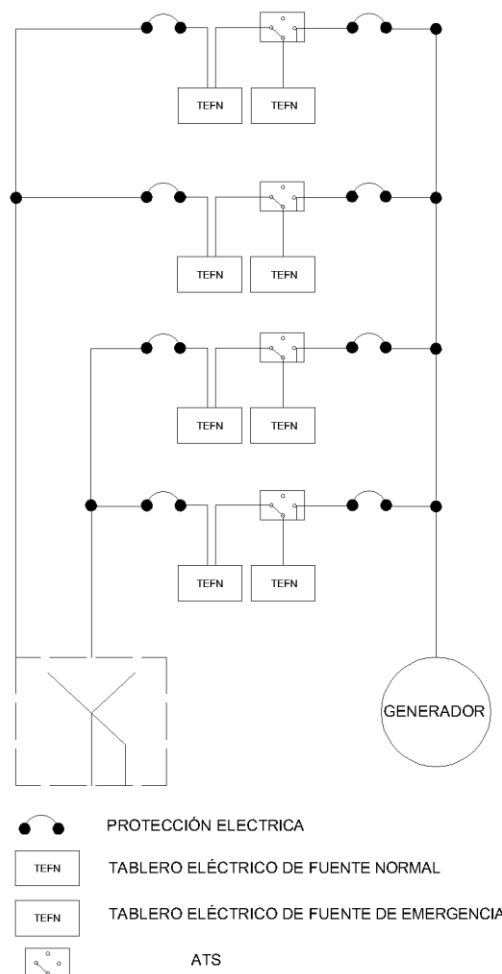


Figura 28 Esquema de distribución radial con respaldo mediante interruptor de transferencia

3.7.5 Configuración de doble acometida y sistemas de mayor confiabilidad

En hospitales de mayor tamaño o con altos requerimientos de continuidad, pueden emplearse configuraciones con doble acometida o sistemas secundarios selectivos. Estas disposiciones permiten que el sistema continúe operando aun cuando uno de los transformadores o alimentadores quede fuera de servicio.

En una configuración de doble acometida, los transformadores y barras de distribución se mantienen normalmente separados mediante un interruptor de enlace, el cual puede cerrarse para transferir la carga en caso de falla. Este esquema mejora la confiabilidad y facilita el mantenimiento, siempre que el sistema esté adecuadamente protegido y coordinado.

Asimismo, los sistemas secundarios selectivos y los esquemas en anillo permiten aislar secciones con falla sin interrumpir el suministro al resto del hospital. Estas configuraciones ofrecen altos niveles de continuidad, aunque implican mayor complejidad de diseño y operación, por lo que su aplicación debe evaluarse cuidadosamente en función de las necesidades reales de la instalación.

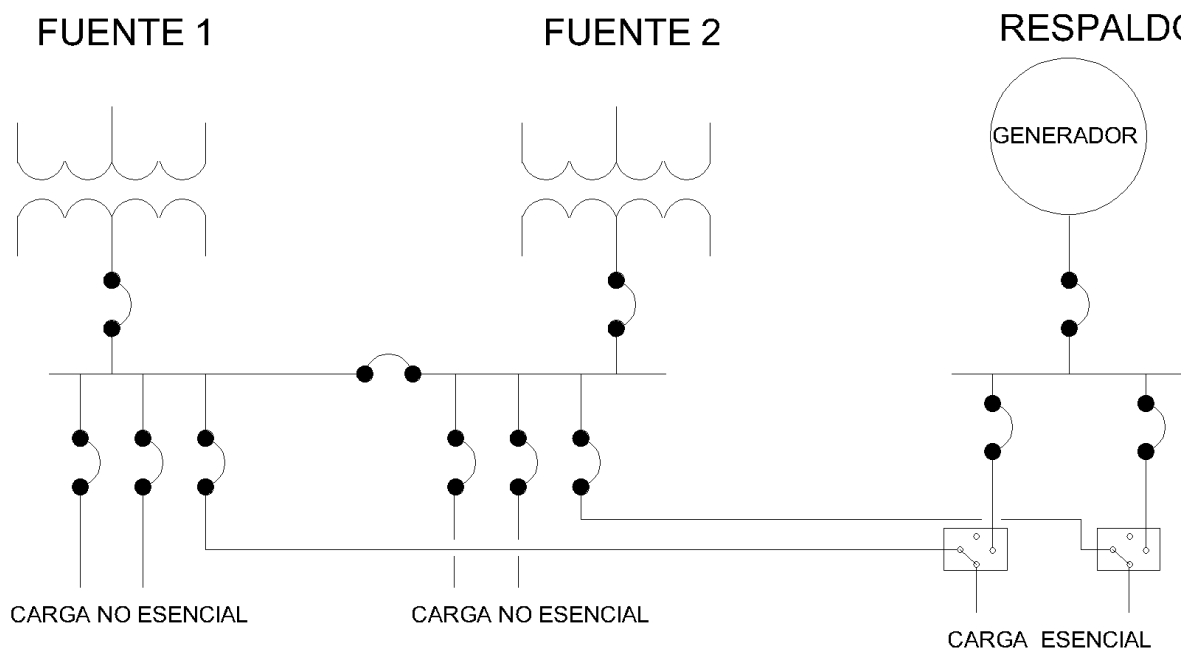


Figura 29 Esquema de sistema con doble acometida y enlace normalmente abierto I, aplicado a instalaciones hospitalarias

3.7.6 Consideraciones técnicas de medición y acometidas múltiples

La disposición del sistema de distribución también influye en la forma en que se supervisa y gestiona el consumo eléctrico del hospital. La existencia de múltiples acometidas o fuentes de suministro incrementa la complejidad operativa del sistema y requiere una adecuada coordinación en la medición y monitoreo de la energía.

Desde el punto de vista técnico, el diseño debe considerar si conviene centralizar o distribuir la medición, de manera que se facilite la supervisión del sistema eléctrico, la detección de condiciones anormales y la operación continua de la instalación. Estas decisiones deben tomarse priorizando la confiabilidad, la continuidad del servicio y la facilidad de operación del sistema eléctrico hospitalario.

3.8 Sistemas eléctricos asociados a la atención de pacientes

La seguridad eléctrica en instalaciones hospitalarias no se limita a “que no se vaya la luz”. En áreas de atención a pacientes, el sistema debe operar de forma que reduzca el riesgo de choque eléctrico, evite fallas que interrumpan procedimientos clínicos y mantenga el desempeño de equipos sensibles (monitoreo, diagnóstico y soporte vital). En comparación con edificaciones convencionales, el entorno hospitalario combina condiciones que aumentan el riesgo: pacientes vulnerables, contacto directo con equipos conectados a red, uso de extensiones/cordones, presencia de líquidos, y altas densidades de carga.

Desde el enfoque de ingeniería, el sistema eléctrico debe cumplir dos objetivos simultáneos:

- a) Controlar la energía de falla y las corrientes no deseadas (especialmente corrientes de fuga y fallas a tierra), y
- b) Asegurar continuidad y calidad de suministro donde una interrupción o perturbación puede afectar la seguridad del paciente.

3.8.1 Áreas de atención y su relación con el riesgo eléctrico

Para fines de diseño, conviene distinguir las áreas según el tipo de atención y la interacción del paciente con equipos eléctricos:

Áreas de cuidado crítico: zonas donde se realizan procedimientos invasivos y/o el paciente está conectado a equipos electro médicos alimentados desde la red. En estas áreas una falla eléctrica puede tener impacto inmediato, por lo que se requieren mayores niveles de confiabilidad, control de fallas a tierra y estrategias que eviten disparos innecesarios.

Áreas de cuidado general: áreas clínicas donde el paciente utiliza equipos eléctricos ordinarios (cama eléctrica, llamada a enfermería, iluminación de examen, etc.). El riesgo existe, pero los requerimientos de continuidad y la sensibilidad a interrupciones suelen ser menores que en áreas críticas.

Esta clasificación es útil porque guía decisiones como: tipo de protección, forma de distribución, segregación de circuitos, y si es necesario implementar sistemas de potencia aislados en puntos específicos.

3.8.2 Corrientes de fuga: origen, efectos y por qué importan en hospitales

En un sistema real, siempre existen corrientes de fuga debido a capacitancias parásitas, aislamiento imperfecto y filtros EMI en equipos electrónicos. Aunque estas corrientes suelen ser pequeñas, en hospitales adquieren relevancia por dos razones:

Vulnerabilidad del paciente: la resistencia del cuerpo puede reducirse por humedad, heridas, catéteres, electrodos o contacto extendido con superficies conductoras.

Trayectorias no previstas: una fuga que en un edificio normal sería “solo un detalle” puede convertirse en una corriente que circula por rutas próximas al paciente o por equipos conectados a él.

En términos prácticos, el diseño busca limitar esas fugas y evitar que se sumen de forma significativa en un mismo punto (por ejemplo, múltiples equipos conectados a un paciente, o muchos dispositivos en un mismo circuito).

Materiales usados	Resultado
Cable TW + Conducto metálico + Compuesto para tracción de cables con conductor de tierra	9.84 μ A por m (3 μ A por pie) de cable
Cable XLP + Conducto metálico + Sin compuesto para tracción de cables con conductor de tierra	3.28 μ A por m (1 μ A por pie) de cable

La tabla anterior permite evidenciar que el tipo de cable y su instalación influyen en la magnitud de fuga por longitud. Esto es relevante para hospitales porque los recorridos pueden ser extensos (riser vertical, bandejas, alimentadores largos), y la fuga total puede acumularse.

Dispositivo	Fuga (μ A)
Luz de mesa de quirófano (una sola luz sin riel)	75 a 175
Luz de mesa de quirófano (montada en riel)	300 a 400
Luz portátil de quirófano	10 a 100
Visor de rayos X (único)	50 a 150
Máquina de electrocirugía	100 a 300
Bomba de vacío	50 a 125
Monitor fisiológico (canal único)	30 a 200
Monitor fisiológico (ocho canales)	275 a 350
Máquina corazón-pulmón	350 a 450
Desfibrilador	50 a 125
Rayos X portátil (carga por capacitor a 120 V)	30 a 50

Fibrilador cardiaco	15 a 50
Respirador	100 a 150
Computadora o terminal de	100 a 500
Sincronizador cardíaco	75 a 125
computadora Unidad de hipertermia (unidad para un solo paciente)	125 a 175
Nota: longitudes excesivas de los cordones de alimentación añadirán de forma apreciable a la fuga total del equipo [es decir, un cordón de alimentación de 18.29 m (60 ft) puede añadir de 60 μ A a 130 μ A de fuga a una máquina de electrocirugía].	

Además del cableado, los equipos aportan fugas propias. En áreas críticas se conectan simultáneamente monitores, bombas, ventiladores, desfibriladores y otros dispositivos, por lo que la suma de fugas debe considerarse en el diseño de circuitos y tomacorrientes clínicos.

Tipo de dispositivo	NFPA 99 (μ A)
Equipo portátil (uso en pacientes)	300
Equipo portátil con entradas de paciente no aisladas	100
Equipo portátil con entradas de paciente aisladas	50
Equipo portátil (uso hospitalario, ej. limpieza, mantenimiento, etc.)	500

Los límites de fuga sirven como referencia técnica para evaluar si un conjunto de equipos y su forma de conexión pueden operar dentro de rangos aceptables. En la práctica, estos

valores justifican estrategias como: circuitos dedicados, segmentación por cargas, y en ciertos casos el uso de potencia aislada.

3.8.3 Riesgos eléctricos relevantes en áreas de atención a pacientes

Desde el punto de vista del sistema eléctrico, los riesgos más importantes a controlar son:

Fallas a tierra: pueden generar niveles de corriente suficientes para dañar equipo, crear riesgo de choque y disparar protecciones afectando continuidad.

Unión neutro y tierra fuera del punto previsto: puede producir corrientes circulantes en el conductor de protección (EGC), interferencia en equipos sensibles y comportamientos no deseados de protecciones de falla a tierra.

Transitorios y perturbaciones: conmutación de grandes cargas, arranque de motores, variadores, UPS y eventos externos pueden introducir sobretensiones/ruido que afectan instrumentación médica.

Ambientes con líquidos: incrementan el riesgo de choque por disminución de resistencia de contacto y mayor probabilidad de trayectorias conductoras accidentales.

Por estas razones, en hospitales no basta con cumplir “funciona y ya”; se requiere que la distribución, puesta a tierra y protección estén pensadas para minimizar la energía de falla y mantener el servicio en las ramas esenciales.

3.8.4 Medidas técnicas de mitigación en el diseño y la instalación

Para gestionar los riesgos anteriores, el diseño eléctrico hospitalario suele apoyarse en un conjunto de medidas:

1. **Selección y coordinación de protecciones:** la coordinación selectiva evita que una falla local saque de servicio zonas mayores a las necesarias.
2. **Segregación y circuitos dedicados:** separar cargas sensibles (monitoreo, TIC, UPS) de cargas con alta distorsión o arranques (motores, VFD) reduce perturbaciones.
3. **Puesta a tierra y equipotencialidad:** asegurar trayectorias de retorno de baja impedancia ayuda a que las protecciones actúen cuando deben y reduce gradientes de tensión peligrosos.
4. **Control de cableado y recorridos:** minimizar longitudes innecesarias y agrupar de forma ordenada disminuye fugas acumuladas y facilita mantenimiento.
5. **Verificación y pruebas:** pruebas de aceptación y mantenimiento preventivo (inspección, ajuste de protecciones, verificación de conexiones) reducen fallas por instalación deficiente y degradación.

3.8.5 Sistemas de potencia aislados (IPS) en áreas críticas

En ciertas áreas de cuidado crítico, una desconexión inmediata ante la primera falla a tierra puede ser indeseable si afecta un procedimiento en curso. Para estos casos se emplean sistemas de potencia aislados, basados en un transformador de aislamiento y un monitor de aislamiento de línea (LIM).

El principio operativo es que, ante la primera falla a tierra, el sistema no necesariamente interrumpe el suministro; en su lugar, el LIM detecta la condición y genera alarma, permitiendo que el personal técnico intervenga sin perder alimentación de forma automática. Esto mejora continuidad del servicio y reduce el riesgo asociado a corrientes de fuga, siempre

que el sistema esté correctamente instalado, mantenido y con personal que responda a las alarmas.

3.8.6 Sistema de potencia aislado trifásico

En algunos quirófanos y ubicaciones de anestesia se ha incrementado el uso de cargas trifásicas. Para estos casos existen sistemas de aislamiento trifásicos no puestos a tierra (listados para uso en este tipo de aplicación). En términos de diseño, no es recomendable intentar alimentar simultáneamente cargas monofásicas y trifásicas desde un solo sistema de aislamiento, ya que se vuelve poco práctico y puede complicar la operación y la supervisión del sistema.

Lo más adecuado es instalar un sistema de aislamiento independiente para las cargas trifásicas, especialmente cuando se trata de equipos de alto consumo o con corrientes de arranque elevadas. Entre las cargas típicas que pueden requerir alimentación trifásica en el quirófano se incluyen unidades de flujo laminar, ciertos equipos láser, sistemas de posicionamiento y mesas quirúrgicas eléctricas. Debido al nivel de potencia y al comportamiento de arranque, estas cargas no deberían compartirse con equipos electrónicos sensibles que puedan verse afectados por caídas de tensión o transitorios.

3.8.7 Monitor de aislamiento de línea: función y criterios de uso

El monitor de aislamiento de línea (LIM) es un dispositivo utilizado en sistemas de potencia aislada para supervisar el estado de aislamiento del sistema respecto a tierra. Su función es activar una alarma audible y una indicación visual cuando la impedancia línea-tierra se degrada hasta un punto en que, ante una falla a tierra, la corriente esperada superaría los límites establecidos por las normas aplicables.

Un punto importante es que el LIM no mide la corriente que está fluyendo en ese momento, sino que indica la corriente que podría circular si ocurriera una falla a tierra. Por eso su lectura se interpreta como una predicción de riesgo basada en el estado del aislamiento del sistema.

Los LIM incorporan una contribución propia al sistema conocida como corriente de peligro del monitor, que representa la degradación mínima que introduce el propio equipo al conectarse al sistema aislado. En la práctica, el valor dependerá del nivel de disparo del LIM y de su diseño interno. Por esta razón, el diseño y la selección deben considerar tanto el ajuste de alarma como el desempeño del equipo en condiciones reales de operación.

Como criterio de instalación, el LIM debe ubicarse en un punto claramente visible dentro del quirófano o área atendida, y debe existir un medio práctico para silenciar la alarma audible sin anular la supervisión visual, evitando interferencias con el trabajo del personal durante procedimientos críticos.

3.8.8 Pruebas del LIM y verificación del sistema de potencia aislada

Los LIM incluyen un medio para prueba funcional mediante un interruptor o modo de prueba. Esta prueba verifica que el LIM y sus alarmas operan dentro del rango permitido por el fabricante; sin embargo, no valida por sí sola el desempeño completo del sistema aislado.

Para verificar integralmente el sistema después de su instalación, es recomendable realizar pruebas controladas desde los receptáculos (puntos de uso) y documentar lecturas base. Como parte de operación y mantenimiento, se deben considerar verificaciones periódicas, por ejemplo:

- Prueba funcional del LIM (mensual) para confirmar alarmas e indicadores.

- Prueba más completa (al menos anual) para validar condiciones del sistema y comparar contra registros base.

Todas las pruebas deben programarse cuando el sistema no esté en uso, y siguiendo procedimientos que eviten generar una condición insegura durante la verificación.

3.8.9 Calidad de energía para equipos médicos sensibles

En áreas con equipos altamente sensibles a la variación de voltaje (por ejemplo, sistemas de imagenología o cargas con electrónica de control), la calidad de energía es un criterio clave.

En términos prácticos, el diseño debe procurar:

- Mínima caída de voltaje
- Reducción de transitorios
- Alimentación lo más directa posible desde la fuente o desde tableros dedicados, cuando aplique

Para instalaciones donde se concentran equipos especiales (por ejemplo, salas con varios sistemas de imagen), el diseño debe basarse en requerimientos del fabricante y en prácticas de ingeniería que reduzcan perturbaciones por conmutación, arranques y variaciones de carga. Cuando se requiera, el uso de transformadores de aislamiento adecuados y medidas de acondicionamiento pueden contribuir a mitigar ruido eléctrico, especialmente en presencia de transitorios de modo común.

3.8.10 Pruebas de aceptación y puesta en servicio del IPS

Además de las pruebas habituales en sistemas eléctricos, los sistemas de potencia aislada requieren verificaciones adicionales debido a su naturaleza y al nivel de riesgo que controlan.

Como criterio técnico, antes de poner el sistema en operación se recomienda ejecutar una verificación de aceptación que incluya:

- a) Verificación operativa del sistema (equipos, alarmas, señalización).
- b) Inspección de instalación para confirmar cumplimiento de criterios aplicables.
- c) Pruebas del IPS, incluyendo:
 - Medición de voltajes
 - Evaluación de impedancia línea-tierra
 - Verificación de alarmas del LIM
 - Registro de lecturas iniciales (línea base) para control histórico
- d) Prueba de la red de puesta a tierra de equipos, incluyendo:
 - Tomacorrientes de energía
 - Puntos de tierra
 - Partes metálicas expuestas permanentemente
 - Equipos fijos instalados.

Estas pruebas deben quedar respaldadas con un registro de resultados, ya que sirven como referencia para mantenimiento, diagnóstico y auditorías internas de la instalación.

3.9 Sistemas de energía eléctrica para la atención de pacientes

3.9.1 Panorama general

En instalaciones hospitalarias, la distribución de energía eléctrica no solo se diseña para “que funcione”, sino para mantener la seguridad del paciente y la continuidad del servicio clínico. Esto obliga a que el sistema eléctrico responda bien ante fallas, maniobras, mantenimientos y ampliaciones, sin generar riesgos adicionales.

Desde el punto de vista técnico, el sistema eléctrico debe cumplir dos objetivos básicos:

1. Seguridad eléctrica: reducir al mínimo la probabilidad de choques eléctricos, fallas a tierra peligrosas, sobre corrientes, arcos eléctricos y condiciones que puedan afectar al paciente o al personal.
2. Disponibilidad del suministro: asegurar energía suficiente y estable donde y cuando se necesite, especialmente en áreas clínicas y durante procedimientos.

Bajo esta lógica, la planificación del sistema debe considerar: clasificación de áreas clínicas, criticidad de cargas, esquemas de alimentación normal y respaldo, selectividad de protecciones, puesta a tierra y equipotencialidad, y condiciones de calidad de energía para equipos médicos sensibles.

3.9.2 Identificación de tomacorrientes y dispositivos del sistema esencial

Para reducir tiempos de respuesta durante interrupciones, los dispositivos de cableado del sistema esencial deben ser fácilmente identificables. En la práctica se emplean dos métodos principales:

- **Color distintivo:** para tomacorrientes y/o controles asociados al suministro esencial.
- **Etiquetado** (placas o rótulos): indicando condición (normal/emergencia) y, cuando aplique, información de circuito.

Como criterio práctico, el marcado por color suele ser más robusto, porque mantiene la distinción aun cuando existan remodelaciones o reemplazo de placas. En áreas donde un apagón pueda dejar baja visibilidad, puede considerarse el uso de tomacorrientes de emergencia iluminados para facilitar su localización.

3.9. 3 criterios de ubicación y ergonomía de dispositivos

La ubicación física de tomacorrientes e interruptores impacta directamente la operación clínica y el mantenimiento. En áreas con alta interacción del personal (camas, cabeceras, equipos móviles) se recomienda:

- Ubicar tomacorrientes a una altura que reduzca esfuerzo repetitivo y permita acceso razonable (incluyendo usuarios en silla de ruedas).
- Evitar posiciones “ocultas” detrás de camas o equipos que obliguen a mover mobiliario para conectar/desconectar.
- Coordinar con arquitectura y con el equipamiento médico la ubicación final de receptáculos en puntos críticos (cabecera, nichos, equipos fijos, etc.).

3.9.4 Requisitos mínimos de receptáculos en áreas de pacientes

Los mínimos de receptáculos por cama o por tipo de sala deben verificarse con normativa vigente (NEC y NFPA 99). Sin embargo, en hospitales es común que las necesidades reales excedan los mínimos debido a la incorporación de nuevos equipos, cambios en procesos y mayor densidad de dispositivos clínicos. Por ello, además de cumplir norma, se recomienda validar cantidades con usuarios (enfermería, biomédica y mantenimiento).

Tipo de sala	Tipo de área	Receptáculos requeridos por NEC y NFPA 99	Receptáculos requeridos por Guías AIA	Fuentes de energía	Comentarios
Habitaciones médico-quirúrgicas	Cuidado general	4	2 dúplex más uno por cama	Energía normal y crítica	
Áreas de recién nacidos	Cuidado general	4	2 dúplex por incubadora	Energía normal y crítica	
Unidades de cuidados intensivos	Cuidados críticos	6	7 dúplex	Energía normal y crítica	Revisar para energía aislada
Salas de trauma	Cuidados críticos	6	8 dúplex	Energía normal y crítica	Revisar para energía aislada
Salas de resucitación	Cuidados críticos	6	8 dúplex	Energía normal y crítica	
Sala de exámenes de urgencias	Cuidados críticos	6	6 dúplex	Energía normal y crítica	
Sala de tratamiento de urgencias	Cuidados críticos	6	6 dúplex	Energía normal y crítica	
Sala de examen o tratamiento general	Cuidado general	4	2 dúplex	Energía normal y crítica	
Unidad de cuidados post-anestesia (PACU)	Cuidados críticos	6	7 dúplex	Energía normal y crítica	
Quirófano	Cuidados críticos	6	16 sencillos o 8 dúplex	Energía normal y crítica	Al menos 6 receptáculos en cabecera, revisar para energía aislada
Diálisis	Cuidado general	4	2 dúplex	Energía normal y crítica	GFI para máquinas de diálisis

Tabla 1 Requisitos mínimos de receptáculos en la cabecera de cama en áreas típicas de pacientes

3.9.5 Tomas de corriente de grado hospitalario y configuraciones especiales

En áreas de atención al paciente, los receptáculos, enchufes y conectores deben ser listados para uso hospitalario (grado hospitalario) por su mayor exigencia en integridad mecánica y continuidad de la puesta a tierra del equipo. Como criterios de aplicación:

Estandarizar (cuando sea viable) a 20 A mejora flexibilidad operativa y repuestos.

La orientación de montaje debe favorecer seguridad, reduciendo la probabilidad de contacto accidental con partes energizadas.

En presencia de equipos sensibles, puede evaluarse el uso de tierra aislada únicamente si el diseño de puesta a tierra lo soporta y si no se compromete la trayectoria de falla de baja impedancia.

En áreas donde puedan estar niños o exista riesgo de manipulación, se recomiendan tomacorrientes resistentes a manipulaciones y tornillería anti manipulación en placas. La protección GFCI debe aplicarse en ubicaciones húmedas o de riesgo, siempre evaluando el impacto operativo: si la interrupción no es tolerable por criticidad clínica, debe analizarse una solución conforme a los requisitos aplicables

Consideraciones por tipo de área

Sin extender el apartado, los puntos técnicos más relevantes por área incluyen:

- **Pasillos:** tomacorrientes robustos, preferiblemente en energía normal para evitar que cargas no críticas afecten circuitos esenciales. Excepción: nichos con equipos críticos (p. ej., desfibriladores), que deben estar dedicados e identificados.

- **Habitaciones de pacientes (cuidado general y crítico):** coordinación de cantidad y ubicación de tomacorrientes con el equipamiento previsto; asegurar disponibilidad de energía normal y de rama crítica según corresponda.
- **Quirófanos y áreas de procedimientos:** alta densidad de tomacorrientes y equipos; priorizar una disposición que reduzca riesgos operativos y facilite continuidad ante fallas, considerando separación de cargas y criterios de suministro apropiados para el área.

3.9 Grupos electrógenos

Clasificaciones

Los grupos de tipo motor tienen capacidades que van desde aproximadamente 5 kW (6.25 kVA) hasta 2000 kW (2500 kVA). Los motores a gas (gas natural o GLP) normalmente se encuentran en los rangos más bajos, mientras que los motores diésel casi todos tienen capacidades de 100 kW (125 kVA) o más. Los códigos generalmente requieren almacenamiento de combustible en sitio, pero pueden, bajo ciertas circunstancias, permitir el suministro de gas natural fuera del sitio para motores de gas de baja presión, cuando existe una baja probabilidad de que tanto la red eléctrica como el suministro de gas natural externo fallen simultáneamente.

Los motores de combustión interna se clasifican en caballos de fuerza o kilovatios, y en función de la salida a una velocidad determinada, temperatura del aire de admisión y presión barométrica o altitud. Aunque las turbinas de gas utilizan una reducción de engranajes para producir una velocidad de generador síncrono, los reductores no han sido ampliamente aceptados en los generadores accionados por motores de gasolina o diésel. Por lo tanto, la

mayoría de los motores de combustión interna funcionan a las velocidades síncronas de 3600 rpm, 1800 rpm, 1200 rpm, 900 rpm, etc., para producir 60 Hz o inferiores para 50 Hz. A medida que la velocidad disminuye, la masa y el costo aumentan en una relación generalmente lineal. Sin embargo, los grupos electrógenos de motores de combustión interna de 3600 rpm están, en general, limitados a 50 kW de salida o menos.

La clasificación en kilovatios del motor no debe confundirse con la clasificación en kilovatios del generador. Como regla general, se requieren 1.5 hp de un motor para producir un kilovatio eléctrico a partir de un grupo electrógeno. Parte de la potencia del motor se requiere para accionar el ventilador de refrigeración del radiador, mientras que la mayor pérdida de potencia se encuentra dentro del propio generador de corriente alterna.

Los motores de gasolina y diésel no turboalimentados tienen un límite inherente en la potencia que pueden producir a una velocidad determinada. El límite se establece esencialmente por la cantidad de aire que puede introducirse en un cilindro para la combustión. Si los motores utilizan un exceso de combustible, la combustión es incompleta y el exceso de combustible sale por el escape en forma de carbono (humo o hollín), monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados.

Los motores turboalimentados funcionan de manera diferente. Con estos motores, a medida que aumenta la carga, el turbocompresor fuerza más aire en cada cilindro, que ahora puede quemar combustible adicional para producir más potencia. Si el combustible o el aire no se limitan de alguna manera, esto puede convertirse en un ciclo autosostenido hasta que los esfuerzos excedan el punto de ruptura o algo se derrita.

Cualquier motor turboalimentado puede ser alimentado con combustible para producir un 10% de potencia adicional, pero la vida útil del motor probablemente se reducirá. Las clasificaciones publicadas por el fabricante de los motores para operación en espera son normalmente las clasificaciones máximas que el fabricante considera, a partir de la experiencia y pruebas, que brindarán un servicio satisfactorio.

3.9.1 Definiciones de las Clasificaciones

Caterpillar usa la norma ISO 8528-1 como base para las clasificaciones de potencia de los grupos electrógenos. El estándar define las categorías de clasificación generales y establece la salida de potencia promedio permitida (factor de carga) para cada una. Caterpillar usa estas definiciones y proporciona clasificaciones adicionales para vincular estrechamente la selección de clasificación para aplicaciones típicas. La tabla que se proporciona en el apéndice resume las clasificaciones Cat y las compara con las clasificaciones ISO. El lector también debe remitirse a la Publicación LEXE0047 para obtener una cobertura completa de las definiciones de clasificación del grupo electrógeno Cat7. Las cinco clasificaciones principales que se ofrecen para los grupos electrógenos Cat son:

- Respaldo de emergencia (ESP): destinada a aplicaciones de respaldo de servicio en edificios de menos de 200 horas al año.
- Respaldo: destinada a las aplicaciones de servicio de respaldo para un uso máximo previsto de 500 horas al año.
- Respaldo de misión crítica: destinada a las aplicaciones de servicio de respaldo para un uso máximo previsto de 500 horas al año, en un factor de carga promedio permitido más alto que el de la clasificación de respaldo.

- Potencia principal: destinada al funcionamiento en horas pico para instalaciones remotas, aplicaciones de neutralización de picos, alquiler y cogeneración con cargas variables.
- Continua: destinada al funcionamiento en el 100 % de la clasificación de la placa de identificación durante períodos prolongados de tiempo en carga básica o el funcionamiento como fuente de servicio público para sitios remotos.

Dadas estas clasificaciones múltiples, sería natural suponer que no hay diferencias significativas en el equipo en sí mismo de una clasificación a otra. En general, en el mundo moderno de los motores con control electrónico, ese no es el caso en absoluto. Básicamente, el software que se muestra en el sistema de control electrónico determina si el motor funciona como una unidad continua, principal o de respaldo. En algunos casos, el equipo puede tener marcada las clasificaciones dobles, por ejemplo, clasificaciones Principal y de Respaldo. Esto puede resultar desconcertante, ya que los factores de carga, en algunas clasificaciones, se limitan al 70 %, en otras al 85 % e incluso el 100 % en función de la clasificación que se esté aplicando. La clave está en cómo se usa el equipo. Por ejemplo, considere una unidad con una clasificación de respaldo de 2.5 MW y compárela con una unidad con clasificación principal de 2.25 MW. La unidad con clasificación Principal tiene una capacidad de sobrecarga del 10 %, la unidad de respaldo no tiene capacidad de sobrecarga, por lo tanto ambas son capaces de ofrecer una potencia máxima de 2.5 MW. Ahora compare la unidad con clasificación principal con una unidad de clasificación Principal de las directrices de administración de carga. La primera puede funcionar con un factor de carga del 70 % durante una cantidad de horas ilimitada al año. La segunda puede funcionar con un factor de carga

del 100 % si las horas de funcionamiento están restringidas a 500 horas al año con cargas variables. Esta limitación en las horas de funcionamiento es la misma que en la unidad de respaldo, pero con un factor de carga del 100 % sobre una base de 2.25 MW (clasificación Principal) que equivale al factor de carga del 90 % de clasificación de Respaldo de 2.5 MW. Por lo tanto, una unidad de respaldo tendría la capacidad de funcionamiento en aproximadamente el 90 % del factor de carga si el tiempo por encima de esa carga es mínimo. En la clasificación de misión crítica se tienen en cuenta todos estos factores, al definir una clasificación que es un agregado de varias otras, pero está destinada a una aplicación específica. En general, la elección de la clasificación correcta surge de realizar los intercambios adecuados entre las horas de funcionamiento, la carga máxima y la carga promedio. Los distribuidores Cat están bien posicionados para ayudar a los clientes con sus necesidades de clasificación de grupo electrógeno.

ISO 8528-1 – Clasificación	Definición (ISO 8528-1)	Caterpillar – Clasificación	Definición (Caterpillar)
Potencia de emergencia en espera (ESP)	La potencia máxima disponible durante una secuencia de potencia eléctrica variable, bajo las condiciones de operación indicadas, que un grupo electrógeno puede suministrar en caso de fallo de la red o en condiciones de prueba, por hasta 200 horas/año, realizando los intervalos y procedimientos de mantenimiento según el fabricante. La potencia promedio permisible durante 24 h de operación no debe exceder el 70% de la clasificación ESP.	Potencia de emergencia en espera (ESP)	Potencia disponible con carga variable durante la interrupción de la fuente normal. La potencia promedio es 70% de la ekW nominal Standby. Operación típica: 50 h/año, con uso máximo esperado de 200 h/año.
—	Sin equivalente en ISO 8528-1.	Standby	Potencia disponible con carga variable durante la interrupción de la fuente normal. La potencia promedio es 70% de la ekW nominal Standby. Operación típica: 200 h/año, con uso máximo esperado de 500 h/año.
—	Sin equivalente en ISO 8528-1.	Mission Critical (Misión crítica)	Potencia disponible con carga variable durante la interrupción de la fuente normal. La potencia promedio es 85% de la ekW nominal Mission Critical. Pico típico hasta 100% de la ekW nominal por hasta 5% del tiempo de operación. Operación típica: 200 h/año, con uso máximo esperado de 500 h/año.
Potencia prime (PRP)	La potencia máxima que un grupo electrógeno puede entregar continuamente alimentando una carga eléctrica variable, operando un número ilimitado de horas al año bajo condiciones acordadas, con mantenimiento según el fabricante. La potencia promedio permisible durante 24 h de operación no debe exceder el 70% de la clasificación PRP.	Prime	Potencia disponible con carga variable por tiempo ilimitado. La potencia promedio es 70% de la ekW nominal Prime. Pico típico: 100% de la ekW Prime, con capacidad de sobrecarga 10% para emergencia por máx. 1 hora cada 12. La sobrecarga no puede exceder 25 h/año. <i>(Sin sobrecarga para grupos a gas).</i>
Potencia de operación por tiempo limitado (LTP)	La potencia máxima disponible, bajo condiciones acordadas, que el grupo electrógeno puede entregar por hasta 500 h/año, con mantenimiento según el fabricante.	Load Management (Prime)	Potencia disponible con carga variable por máximo 500 h/año. La potencia promedio es 100% de la clasificación Prime. Pico típico: 100% de la ekW Prime. Sin operación con sobrecarga.
Potencia para centro de datos (DCP)	Potencia máxima que el grupo electrógeno puede entregar alimentando carga variable o continua y durante horas de operación ilimitadas. Dependiendo del sitio y la disponibilidad de una red confiable, el fabricante del grupo define el nivel de potencia que puede suministrar para cumplir el requerimiento, incluyendo la adaptación del plan de mantenimiento (hardware o software).	Prime-DCP	Solo para aplicaciones de centros de datos. Potencia Prime-DCP con carga variable por tiempo ilimitado. La potencia promedio no debe exceder 100% de la ekW nominal Prime-DCP. Pico típico: 100% de la ekW Prime-DCP, con sobrecarga 10% para emergencia por máx. 1 hora cada 12. La sobrecarga no puede exceder 25 h/año.
Potencia continua (COP)	Potencia máxima que el grupo electrógeno puede entregar continuamente alimentando una carga eléctrica constante, operando un número ilimitado de horas al año bajo condiciones acordadas, con mantenimiento según el fabricante.	Continuous (Continua)	Potencia disponible con carga no variable por tiempo ilimitado. La potencia promedio es 70–100% de la ekW nominal Continuous. Pico típico: 100% de la ekW Continuous durante 100% de las horas de operación.

Figura 30 Comparación de clasificaciones de potencia para grupos electrógenos: ISO 8528-1 vs Caterpillar

En la figura anterior se compara cómo define cada norma/fabricante las categorías de potencia de un grupo indicando para qué tipo de operación aplican (emergencia vs uso continuo), y sus límites típicos (horas por año, potencia promedio permitida y posibilidad de sobrecarga).

En pocas palabras: que el lector entienda qué significa cada rating y cuándo usarlo para seleccionar/dimensionar correctamente un generador.

3.10 Interruptor automático del generador

El interruptor automático de potencia del generador cumple dos funciones. Primero, protege a los generadores excitados de forma separada contra sobrecargas y cortocircuitos (los generadores en derivación auto excitados están protegidos por su diseño inherente). Segundo, funciona como un interruptor para cerrar sobre cargas de irrupción y para abrir tanto corrientes continuas como corrientes de motores bloqueados. El interruptor debe ser capaz de operaciones repetitivas. Los interruptores automáticos de aire y los interruptores automáticos de caja moldeada aislada se utilizan comúnmente como interruptores de circuito del generador.

El interruptor automático del generador debe ser del tipo de cierre de cinco ciclos e incluir disparo por derivación en corriente continua, contactos de alarma y contactos de enclavamiento para la interconexión con el sistema. Se requieren unidades de detección y disparo con el interruptor para una adecuada coordinación de las curvas de disparo dentro del sistema de distribución, para la protección contra sobrecorriente y cortocircuito.

OCPD significa

es el equipo que protege los conductores y equipos cuando hay sobrecorriente (sobrecarga o cortocircuito), abriendo el circuito para evitar daño o incendio.

Ejemplos

- Interruptor termomagnético
- Fusible y su portafusible
- (Dependiendo del contexto) un interruptor con protección ajustable o relé + interruptor que cumple la función de abrir por sobrecorriente

El código requiere que el OCPD esté ubicado en el generador, que es la fuente de suministro de los conductores de emergencia.”

Esto significa:

El primer dispositivo que protege por sobrecorriente los conductores de emergencia debe estar en el generador (o como parte del conjunto del generador, “en el generador” en sentido práctico).

¿Por qué?

Porque si el OCPD estuviera lejos y ocurre un corto en los cables entre el generador y el tablero, esos cables quedarían sin protección adecuada en ese tramo.

3.10.1 Reguladores de voltaje

Regulador de voltaje también conocido como estabilizador de voltaje es un dispositivo de protección eléctrica que se encarga de controlar el voltaje que reciben tus aparatos, impidiendo el paso de variaciones de tensión dañinas y suministrando un voltaje en un rango de operación seguro.

En otras palabras, el regulador recibe el voltaje contaminado y lo transforma en un voltaje constante y limpio, lo que significa que tus equipos estarán protegidos ante múltiples variaciones de voltaje de la red eléctrica.

A diferencia de lo que se cree, el voltaje que recibes en casa está lejos de ser constante. Con frecuencia trae alteraciones que pueden afectar poco a poco tus equipos como voltajes altos y bajos, ruido eléctrico, sobrevoltajes y otras anomalías. Todas estas fallas pueden quemar sus circuitos, haciendo que comiencen a fallar en sus funciones básicas.

Para entender mejor por qué ocurren los daños, debes saber que tus aparatos tienen un cierto rango de operación energético. Es decir, fueron diseñados para trabajar dentro de niveles de voltaje máximos y mínimos que sean seguros. Por ende, la exposición constante a voltajes que sobrepasan estos límites terminan provocando su deterioro.

Para elegir correctamente un regulador de voltaje debes tener claro un par de puntos: Lo primero es decidir cual o cuales equipos deseas proteger, así como conocer su consumo en voltio amperios o vatios (W). El segundo paso será escoger un regulador con capacidad suficiente para manejar la potencia de estos equipos.

Existen dos tipos básicos de sistemas de regulación de voltaje, que incluyen lo siguiente:

- a) El regulador automático de voltaje sin escobillas autoexcitado
- b) El regulador automático de voltaje sin escobillas excitado por separado

Ambos tipos básicos proporcionan una regulación de voltaje típica de 0.25% a 2%. Cualquiera de los dos sistemas pueden funcionar en instalaciones de atención médica, siempre que las cargas conectadas puedan soportar las variaciones de voltaje.

3.10.2 Regulador automático de voltaje sin escobillas autoexcitado.

El regulador automático de voltaje sin escobillas autoexcitado también toma su alimentación de los devanados principales de arranque tanto para la entrada de referencia como para la entrada de potencia. El voltaje de referencia y la parte de control del regulador controlan la potencia de entrada. El sistema rectifica la potencia a corriente continua para crear la salida hacia el excitador de arranque. El regulador se autoexcita a partir del voltaje residual del alternador. Típicamente, los contactos de un relevador normalmente cerrado o un relevador de estado sólido aplican el voltaje residual del alternador directamente a un puente de onda completa y al campo del excitador. A medida que el voltaje de corriente alterna aumenta, el relevador se activa, desconectando el circuito de acumulación

3.10.3 Regulador automático de voltaje sin escobillas excitado por separado.

El regulador automático de voltaje excitado por separado recibe la alimentación de una fuente independiente, pero recibe la entrada de voltaje de referencia de los devanados del alternador. Generalmente, un generador de imanes permanentes montado en el mismo eje que los rotores del excitador y el rotor principal proporciona la alimentación de entrada.

3.10.4 Interruptores de transferencia

Las normas de NEMA definen un interruptor de transferencia automática (ATS) como un equipo autoaccionado para transferir una o más conexiones de carga de una fuente de energía a otra. El interruptor retransfiere automáticamente la carga de regreso a la fuente normal cuando esta se restaura. Debido a su papel crucial en la confiabilidad del sistema eléctrico, el interruptor de transferencia debe ser un dispositivo altamente confiable, de larga vida útil y con requisitos mínimos de mantenimiento.

Los interruptores de transferencia para instalaciones de salud deben ser apropiados en cuanto a lo siguiente:

- a) Tipos de carga a transferir.
- b) Clasificación de voltaje.
- c) Clasificación de corriente continua.
- d) Clasificación de sobrecarga y capacidad de soportar corrientes de falla.
- e) Tipo de OCPD (dispositivo de protección contra sobrecorriente) colocado antes del interruptor.
de transferencia.
- f) Monitoreo de la fuente.
- g) Retardos de tiempo, como en la transferencia o en la retransferencia.
- h) Señales de control de entrada/salida.
- i) Mecanismo principal de conmutación.
- j) Consideraciones de protección contra fallas a tierra.
- k) Operación del sistema.
- l) Interruptores de bypass/aislamiento.
- m) Operación de interruptores de transferencia no automáticos.
- n) Múltiples interruptores de transferencia vs. un interruptor de transferencia grande por sistema.

o) Necesidad de transferir el neutro del sistema.

3.10.5 Clasificaciones de voltaje

Un ATS es único en el sistema de distribución eléctrica ya que conecta dos fuentes de energía no sincronizadas. Esto significa que los voltajes aplicados sobre el aislamiento pueden ser en realidad tan altos como 960 V en un sistema de 480 V ca. Un interruptor de transferencia diseñado adecuadamente debe proporcionar espaciamientos e aislamiento suficientes para soportar estas tensiones de voltaje incrementadas

Las clasificaciones estándar de voltaje de los ATS según NEMA ICS 10 son normalmente 120 V, 208 V, 240 V, 480 V o 600 V, monofásico o polifásico. La frecuencia estándar es 60 Hz. Los ATS también pueden ser suministrados para otros voltajes y frecuencias cuando sean requeridos para aplicaciones de corriente continua (cc) e internacionales.

3.10.6 Clasificación de corriente continua

Los interruptores de transferencia difieren de otros equipos de emergencia en que transportan de manera continua la corriente a las cargas críticas, mientras que los generadores de motor solo suministran energía durante períodos de emergencia. La corriente fluye continuamente a través del interruptor de transferencia, ya sea que el interruptor esté en la posición normal o en la posición de emergencia. Los ATS están disponibles en clasificaciones continuas que van de 30 A a 4000 A.

La mayoría de los interruptores de transferencia son capaces de transportar el 100% de la corriente nominal a una temperatura ambiente de 40 °C. Sin embargo, algunos interruptores de transferencia, como aquellos que incorporan OCPDs integrales, pueden estar limitados a una corriente de carga continua que no exceda el 80% de la clasificación del interruptor.

Los ingenieros deben dimensionar los interruptores de transferencia en función de la corriente máxima continua de carga que el interruptor transportará. Los picos momentáneos, como los que ocurren cuando se energizan cargas de iluminación o motores, pueden ignorarse siempre que el interruptor esté clasificado por UL 1008 para la carga total del sistema. Para proyectos nuevos, el ingeniero puede especificar un interruptor de transferencia que sea capaz de transportar las cargas futuras previstas. En tales casos, el interruptor debe tener una clasificación de corriente continua igual a la carga total anticipada en el futuro.

3.10.7 Retardos de tiempo

Los retardos de tiempo operan para evitar que el ATS inicie y transfiera innecesariamente a la fuente alterna. Un retardo de tiempo ajustable por interrupción momentánea anulará interrupciones momentáneas y reducciones en el voltaje de la fuente normal, pero permitirá el arranque y la transferencia si la reducción o la interrupción persiste. El retardo de tiempo generalmente es de 1 s, pero puede ajustarse a un valor mayor si las disposiciones automáticas de transferencia del lado de la línea y los reconectores en las líneas de alta tensión tardan más en operar, o si se espera que las caídas momentáneas de energía excedan frecuentemente 1 s. Si se usan configuraciones de retardo largas, asegúrese de que quede suficiente tiempo para cumplir con el requisito de restauración de energía en 10 s.

Una vez que la carga se transfiere a la fuente alterna, otro temporizador retrasa la retransferencia a la fuente normal hasta que esa fuente tenga tiempo de estabilizarse. Los monitores de voltaje de la fuente preferida en el control del ATS gobiernan este retardo, que es ajustable de 0 min a 30 min. La mayoría de las instalaciones configuran su retransferencia en 30 min. Otra función importante del

temporizador de retransferencia es permitir que el grupo electrógeno opere bajo carga durante un tiempo mínimo preseleccionado para eliminar la humedad y asegurar un rendimiento continuo del grupo y de su sistema de arranque. Este retardo debe omitirse automáticamente si la fuente alterna falla y la fuente normal está disponible, según lo determinen los monitores de voltaje.

Los fabricantes de grupos electrógenos a menudo recomiendan un período de enfriamiento después de la retransferencia a la fuente normal. Un tercer retardo de tiempo, usualmente de 5 min, proporciona esta operación. El retardo ayuda a prevenir alarmas inadvertidas de alta temperatura del agua y bloqueos cuando el grupo se apaga. Hacer funcionar un motor descargado por más de 5 min puede causar deterioro en el rendimiento del motor.

3.10.8 Señales de control de entrada/salida

Cuando el panel de control del interruptor de transferencia detecta una falla sostenida de la fuente normal, un conjunto de contactos, uno normalmente abierto y uno normalmente cerrado, opera para señalar el arranque del grupo electrógeno de la fuente alterna. Estos contactos deben estar clasificados para manejar los voltajes de cc encontrados en los sistemas de arranque automático de motores.

Contactos secos adicionales, normalmente abiertos y normalmente cerrados, deben proporcionarse en la unidad de interruptor de transferencia para la anunciación remota de las posiciones del interruptor de transferencia y otras funciones de control.

3.10.9 Mecanismo principal de conmutación

El mecanismo principal de conmutación de un interruptor de transferencia debe tener las siguientes características:

a) Operación eléctrica. El interruptor de transferencia debe obtener la energía de control de la fuente a la cual se va a transferir la carga. Esta disposición asegura una fuente adecuada de energía para la operación del interruptor.

b) Retenido mecánicamente. Los interruptores de transferencia retenidos eléctricamente están limitados en tamaño, se desconectarán y desconectarán la carga si la bobina principal falla, y tienen una muy baja capacidad de soportar corrientes de falla. Los mecanismos retenidos mecánicamente no están limitados en tamaño, no se desconectarán y pueden soportar corrientes de falla más altas.

c) Mecánicamente interbloqueado doble tiro. Normalmente, el mecanismo del interruptor debe ser del tipo de doble tiro interbloqueado mecánicamente, permitiendo solo dos posiciones posibles: cerrado en normal o cerrado en emergencia. Si el interbloqueo permite que ambos juegos de contactos se cierren al mismo tiempo, puede ocurrir un cortocircuito de sistema a sistema. Se hacen excepciones para esquemas de transición cerrado

3.10.10 Interruptores de bypass/aislamiento para interruptores de transferencia automática

En muchas instalaciones de atención médica, es difícil realizar pruebas regulares o inspecciones detalladas en el sistema de emergencia porque algunas o todas las cargas conectadas al sistema son vitales para la vida humana.

Desenergizar estas cargas durante cualquier período de tiempo es complicado. Esta situación resulta en una falta de mantenimiento.

En tales instalaciones, un interruptor de bypass en el ATS puede desviar las cargas críticas directamente a una fuente confiable de energía sin tiempo de inactividad. El interruptor de transferencia puede entonces aislarse para una inspección y mantenimiento seguros.

Estos interruptores pueden realizar las siguientes tres funciones:

- a) Desviar el servicio alrededor del interruptor de transferencia sin interrumpir la energía a la carga.
- b) Permitir que el interruptor de transferencia sea probado sin interrupción de la energía a la carga.
- c) Aislar eléctricamente el interruptor de transferencia de ambas fuentes de energía y de los conductores de carga para permitir la inspección y el mantenimiento de todos los componentes del interruptor de transferencia.

Estas funciones se logran operando dos manijas en una secuencia fácil de seguir. El equipo puede suministrarse como un interruptor de transferencia automática con bypass/aislamiento completo para instalaciones nuevas, o como un reemplazo para equipos existentes.

Algunos arreglos pueden ser suministrados con un mecanismo extraíble para que el interruptor de transferencia pueda ser retirado fácilmente para mantenimiento.

Además de los interruptores de dos vías, los interruptores de una vía solo pueden desviar a una fuente preseleccionada. Los interruptores de bypass/aislamiento de dos vías permiten que cualquiera de las fuentes de energía sea seleccionada para alimentar la carga durante el bypass.

El operador puede elegir la fuente que sea más confiable en ese momento. Además, cuando el interruptor de transferencia está en la posición de prueba o abierta, un interruptor de bypass/aislamiento de dos vías puede usarse para transferir la carga a la fuente alterna si la fuente a la que se ha derivado falla

Los dispositivos de una sola vía no pueden proporcionar estas características

3.10.11 Interruptores de transferencia no automáticos

Las autoridades competentes (AHJs) pueden, en ocasiones, permitir interruptores de transferencia no automáticos para ciertas porciones definidas por el código dentro de la carga del sistema de equipos y para diversas cargas no esenciales. En estas instalaciones, el personal de operación acciona el interruptor, y los ingenieros deben emplearlos únicamente en cargas que no requieran una restauración automática e inmediata de la energía.

El NEC exige que se disponga de una fuente alterna portátil o temporal de energía siempre que el generador de emergencia esté fuera de servicio por mantenimiento mayor o reparación. La manera de lograrlo queda a criterio del diseñador del sistema. Sea cual sea el método utilizado, debe cumplir con las prácticas estándar y con equipos destinados para uso en emergencias. Una sugerencia puede ser emplear un interruptor de transferencia no automático.

Los dispositivos usados como interruptores de transferencia no automáticos deben poseer las mismas características eléctricas, capacidad nominal y funciones que un ATS. Los operadores abren y cierran estos interruptores ya sea mediante una palanca manual de operación externa o a través de un control remoto por pulsadores eléctricos.

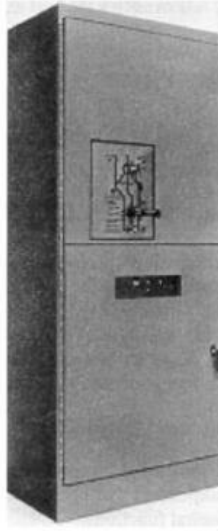


Figura 31 Interruptor típico de transferencia automática y de derivación/aislamiento bidireccional

3.10.12 Múltiples interruptores de transferencia vs. un solo interruptor de transferencia grande.

En hospitales pequeños y hogares de cuidado con una demanda máxima de 150 kVA en el sistema eléctrico esencial, el NEC permite un solo interruptor de transferencia grande en lugar de múltiples interruptores de transferencia por rama. El ingeniero debe considerar lo siguiente para determinar el mejor enfoque:

a) Un único ATS grande, cercano al servicio de acometida y controlando toda la carga de emergencia en lugar de ATS individuales en cada rama del sistema de emergencia, puede reducir la confiabilidad general y la flexibilidad del diseño del sistema.

b) Ubicar los interruptores de transferencia lo más cerca posible de las cargas brinda la máxima protección. Al estar más próximos a las cargas, los ATS no solo supervisan las fuentes de energía de la red pública y del generador, sino también los conductores del circuito de potencia hasta el interruptor.

c) La maximización del aislamiento físico de las ramas y alimentadores separados en el sistema eléctrico esencial puede lograrse mediante el uso de interruptores de transferencia independientes en cada alimentador. Los interruptores de transferencia separados, en cada uno de los alimentadores de carga esencial, incrementan la confiabilidad total del sistema porque se mantiene la separación de conductores hasta los tableros principales de distribución del generador y de la red. Si se utilizara un único interruptor de transferencia grande, podría requerirse una larga trayectoria de conductores aguas abajo del interruptor. Si algo sucediera con ese único conductor o con ese ATS, todo el sistema eléctrico esencial quedaría fuera de servicio; mientras que, con el enfoque de múltiples ATS, solo se afectaría una rama del sistema.

d) Donde se requiere una transferencia secuencial de cargas, un mayor número de interruptores de transferencia más pequeños resulta mucho más favorable para el sistema que unos pocos de mayor tamaño.

El uso de menos interruptores grandes, sin embargo, suele representar un diseño menos costoso. Cuando los circuitos derivados en el lado de carga del interruptor de transferencia necesitan ser especialmente confiables porque sustentan la vida, se deben considerar los relevadores de protección de área. Estos relevadores pueden detectar fallas en el lado de carga de los dispositivos de sobrecorriente de los tableros derivados individuales o directamente en el punto de utilización. Tales relevadores pueden señalar acciones correctivas cuando se produce la apertura de un dispositivo de sobrecorriente (involuntaria, por falla mecánica o disparo por sobrecorriente), falla en el cableado del circuito, falla en el equipo o desconexión no intencional de equipos.

3.10.13 Sistemas de alimentación ininterrumpida

Los sistemas UPS son dispositivos de conversión de energía altamente eficientes (85% a 92%) que proporcionan un voltaje de corriente alterna regulado en sus terminales de salida, independientemente de la calidad de la fuente en sus terminales de entrada.

En caso de una pérdida total de energía en la entrada del UPS, la potencia de salida proviene de un banco de baterías. Un beneficio adicional del UPS es su capacidad de filtrar aberraciones de energía provenientes de la fuente de CA entre los terminales de entrada y salida. Estos problemas de energía pueden deberse a causas naturales o a perturbaciones en la red de la compañía eléctrica, o bien pueden originarse por perturbaciones internas en la instalación, como la conmutación de cargas.

La energía ininterrumpida generalmente no está especificada por los requisitos de los códigos eléctricos para hospitales o centros de atención médica. Sin embargo, los sistemas UPS se están incorporando cada vez más en estos diseños eléctricos. Sus aplicaciones típicas incluyen respaldo para equipos de laboratorio y diagnóstico sensibles, equipos de soporte vital en unidades de cuidados intensivos, sistemas de procesamiento de datos y la iluminación en áreas de soporte vital.

Los sistemas UPS son generalmente dispositivos estáticos (electrónicos de potencia), aunque existen sistemas híbridos que combinan componentes estáticos y mecánicos. Los UPS estáticos son cargas no lineales que causan distorsiones armónicas en el sistema de distribución. Se debe realizar una evaluación cuidadosa para evitar que la distorsión tenga efectos adversos en otras cargas y equipos, incluyendo el sobrecalentamiento de los grupos electrógenos se debe especificar un nivel aceptable de distorsión armónica para garantizar la validez de la garantía.

Un UPS estático consta de un rectificador que convierte la energía de entrada de CA a CC, un banco de baterías, un inversor que reconstituye las ondas senoidales de CA y un interruptor estático.

El interruptor estático forma parte de un sistema de derivación (bypass) que permite transferir la carga crítica nuevamente a la energía de la red sin interrupción, en caso de un cortocircuito o sobrecarga del sistema, una falla del inversor o durante un mantenimiento programado.

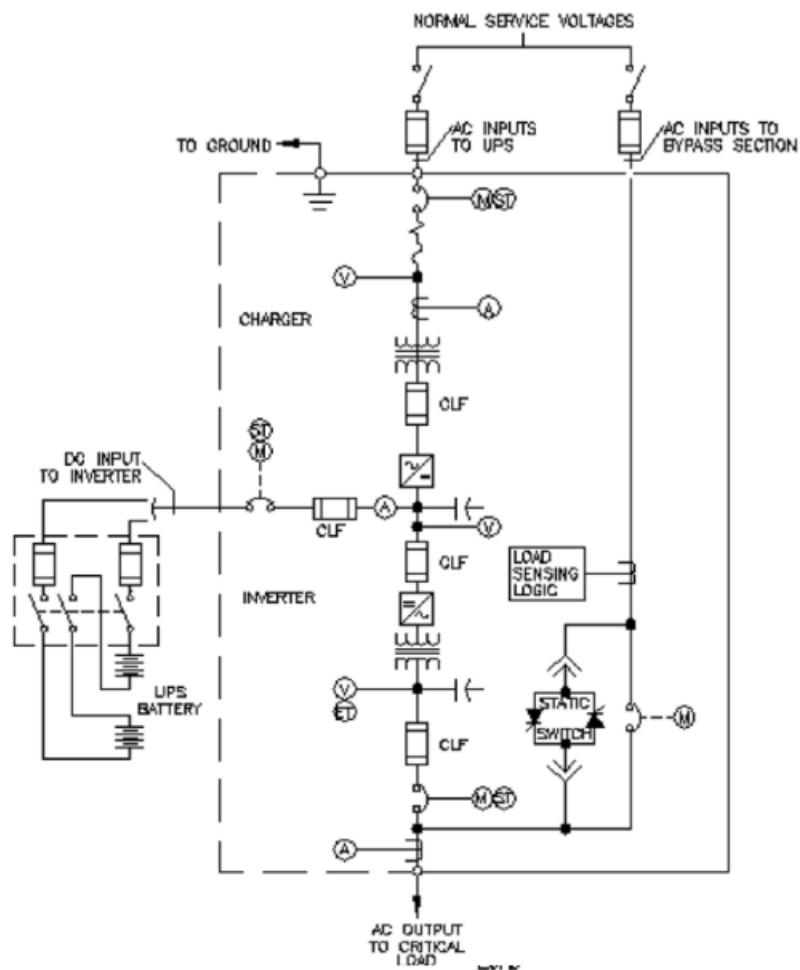
La batería más utilizada en las instalaciones UPS es la celda de plomo-calcio, generalmente elegida por su bajo costo, sus características de descarga, su baja generación de hidrógeno y, en consecuencia, su bajo consumo de agua. Es extremadamente importante poder predecir el número de ciclos de descarga y la profundidad de descarga al especificar las baterías para un sistema UPS.

Otras baterías que permiten mayor número y profundidad de descargas incluyen las de plomo-antimonio y las de plomo puro.

La configuración normal del UPS se denomina transferencia inversa. Este término se utiliza porque la salida del inversor del UPS alimenta la carga crítica durante la operación normal. El sistema transfiere a la red solo en uno de los modos alternos de operación previamente descritos.

Los sistemas UPS se alimentan con frecuencia desde el lado de carga de un interruptor de transferencia para una operación sostenida. Los fabricantes de UPS recomiendan con frecuencia interruptores de transferencia de transición cerrada, para reducir los esfuerzos ocasionados por la breve interrupción experimentada con los interruptores de transición abierta.

El rectificador se alimenta de la red pública y, a su vez, suministra energía de CC a la entrada del inversor. En caso de pérdida de energía de la red, el inversor recibe su energía de la batería. Cuando el voltaje y la frecuencia de entrada regresan al nivel predeterminado, el rectificador comienza a suministrar energía al inversor y, simultáneamente, inicia la recarga del banco de baterías descargado.



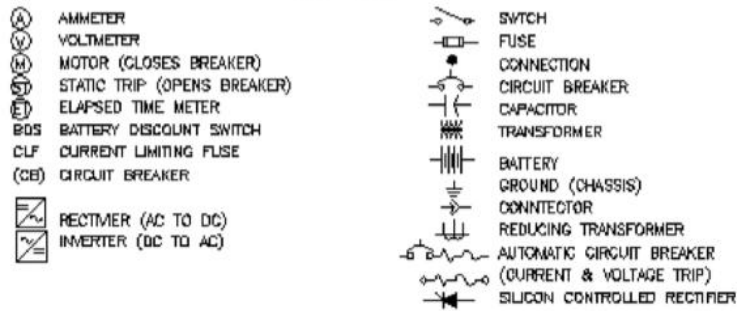


Figura 32 Diagrama Unifilar típico de un UPS

Los UPS de transferencia inversa pueden suministrar salidas monofásicas o trifásicas. Las unidades de salida monofásica pueden tener una entrada ya sea monofásica o trifásica. Las unidades monofásicas típicas se dimensionan para alimentar cargas que van de 0.5 kW a 50 kW, mientras que las unidades trifásicas cubren desde 15 kW hasta 600 kW. Los fabricantes de UPS tienen la capacidad de operar unidades en paralelo para obtener capacidad adicional. También pueden ofrecer una unidad de transferencia directa en el rango de 0.5 kW a 10 kW, que integra el UPS y las baterías en un mismo gabinete.

Las conexiones de potencia a un UPS incluyen el banco de baterías, la entrada al rectificador, el circuito de derivación (bypass) y la salida. Los alimentadores de salida y de bypass deben dimensionarse para soportar la capacidad de salida del módulo UPS. El rectificador debe dimensionarse para manejar la salida del inversor más la recarga de un banco de baterías descargado. El alimentador de entrada y el grupo electrógeno (cuando aplica) deben ser de mayor capacidad que la carga, para manejar la corriente adicional. El alimentador de batería se determina según la máxima corriente de descarga de CC y con el fin de limitar la caída de voltaje a condiciones especificadas. A medida que la batería comienza a descargarse, la corriente de CC aumenta mientras el voltaje disminuye. La máxima corriente de CC ocurre

en el punto de desconexión por bajo voltaje de CC. Una regla práctica es permitir una caída máxima de 2 V en los conductores (calculada a la corriente máxima de descarga de CC).

Debe proporcionarse un dispositivo de desconexión/sobrecorriente independiente tanto para los alimentadores de entrada como para los de derivación. Además, debe incorporarse un dispositivo de desconexión/sobrecorriente en todo el esquema y colocarse cerca del banco de baterías para brindar la protección requerida. En módulos UPS de mayor tamaño, se debe tener cuidado de limitar la tensión de CC a 250 V, tal como lo exige el NEC. Un método conveniente para lograrlo es dividir el banco de baterías en dos segmentos iguales y conectarlos a través del polo central de un interruptor de batería de tres polos

La aislación del módulo UPS puede integrarse en el diseño mediante un esquema de bypass de mantenimiento. Esto se logra colocando primero el UPS en modo de bypass, luego cerrando un dispositivo de bypass de mantenimiento y, finalmente, abriendo un interruptor automático no automático o un dispositivo sin fusible en la salida del UPS. El UPS queda entonces completamente aislado tanto de la carga crítica como del sistema eléctrico del edificio. Esta transición se realiza sin interrupción en el suministro eléctrico a la carga crítica.

Los fabricantes de sistemas UPS pueden suministrar un panel de anunciador remoto, cuando se especifique, para monitorear el estado del sistema UPS. Esta característica es considerada una buena práctica y debe ubicarse en la misma área que los paneles de anunciadores requeridos por los códigos.

Una consideración eléctrica final en el diseño del UPS es la coordinación entre el dimensionamiento de los dispositivos de protección en la salida del inversor del UPS (usualmente un interruptor automático) y aquellos en el lado de la carga. También debe tenerse en cuenta esta misma coordinación para el caso en que el UPS se encuentre en modo de bypass o de bypass de mantenimiento.

3.10.14 Consideraciones de transferencia para tipos de cargas

Clasificación general de cargas

La norma UL 1008 clasifica las cargas de la siguiente manera:

- a) Cargas de todo el sistema
- b) Cargas de motores
- c) Cargas de lámparas de descarga eléctrica
- d) Cargas resistivas
- e) Cargas de lámparas incandescentes

3.10.15 Cargas de motores

La necesidad de evitar disparos intempestivos de los interruptores automáticos o fusibles de protección y posibles daños al motor y equipos asociados cuando el motor conmuta entre dos fuentes de energía no sincronizadas pero energizadas.

- La necesidad de desconectar las cargas de motores antes de la transferencia y retrasar su reconexión para evitar sobrecargar la fuente de energía a la cual se transfiere la carga.

- Los ingenieros pueden diseñar sistemas para manejar estas necesidades. La situación es similar a la de operar en paralelo dos sistemas de energía no sincronizados. Se emplean diversos métodos de control para superar este problema, entre los cuales están los siguientes:

a) Transferencia en fase

Los esquemas de transferencia en fase se han aplicado a las cargas de equipos en instalaciones de atención médica durante muchos años, la transferencia en fase se utiliza a menudo para transferir motores de bajo deslizamiento que accionan cargas de alta inercia en sistemas de distribución secundaria.

Una ventaja principal de la transferencia en fase es que permite que el motor continúe funcionando con poca perturbación al sistema eléctrico y al proceso que está controlando el motor. Algunas cargas de motores no deben interrumpirse ni apagarse. Para los motores que deben permanecer en operación, la transferencia en fase es el mejor enfoque.

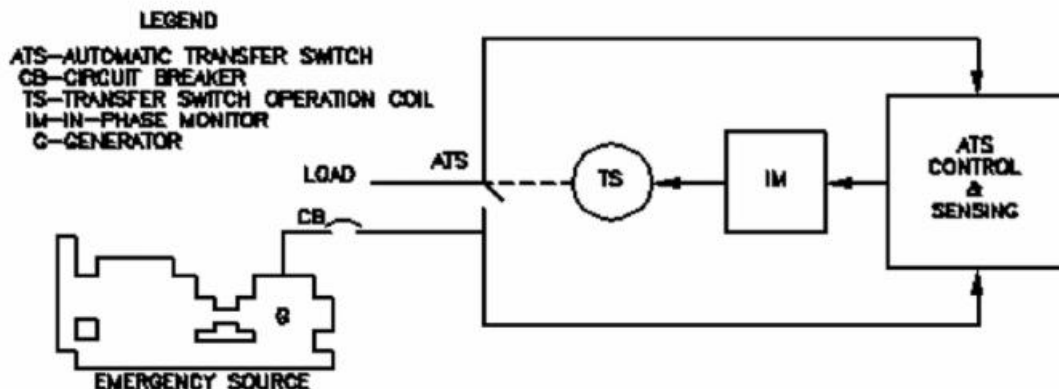


Figura 33 Transferencia en fase de cargas de motor

b) Circuito de control de desconexión de carga.

Los interruptores de transferencia con una posición central temporizada (posición neutra) se han aplicado a las cargas de equipos en instalaciones de atención médica durante muchos años como un medio para conmutar cargas de motores.

Este esquema logra resultados similares al circuito de control de desconexión de carga de motor descrito anteriormente. Una ventaja de este sistema, si no existe necesidad de reconexión temporizada en secuencia y si los controladores son de auto reinicio, es que no se requieren interconexiones entre el interruptor de transferencia y el controlador del motor.

d) Transferencia de transición cerrada

La transferencia de transición cerrada, con el paralelismo momentáneo de las dos fuentes de energía, es una solución ideal, aunque costosa. La transferencia de carga sin interrupción proporciona, evidentemente, la menor perturbación posible al sistema y al proceso.

La transferencia de transición cerrada solo puede lograrse cuando ambas fuentes de energía están presentes y sincronizadas correctamente en voltaje, frecuencia y ángulo de fase. En el caso de una fuente en falla, la transferencia de transición cerrada puede ser extremadamente difícil, si no imposible, de realizar. Este tipo de transferencia únicamente es posible durante una transferencia intencional entre dos fuentes disponibles, como una prueba de transferencia, aplicaciones de reducción de carga máxima de la red, y la retransferencia desde el generador hacia la red cuando ambas fuentes están a pleno voltaje.

Con la transferencia de transición cerrada, el generador local se conecta momentáneamente en paralelo con la fuente de la red. Este diseño generalmente requiere aprobación previa de la compañía eléctrica local. En el pasado, obtener tal aprobación solía ser un problema. Sin embargo, con la creciente aceptación de la cogeneración, la situación ha cambiado

considerablemente. De hecho, hoy en día muchas compañías eléctricas fomentan las interconexiones con fuentes locales de energía como una alternativa frente a la incertidumbre de construir nuevas plantas generadoras.

En la transferencia de transición cerrada, el paralelismo de las fuentes dura un máximo de 100 ms. Por lo tanto, la necesidad de protecciones mediante relevadores, como las que se requieren en un paralelismo extendido, puede no ser necesaria en este tipo de transferencia. La compañía eléctrica será la que determine los requisitos de relevadores de protección.

e) Transferencia de carga suave

Un interruptor de transferencia de carga suave es similar a un interruptor de transferencia de transición cerrada en el sentido de que paraleliza las fuentes durante la transferencia; sin embargo, el interruptor de carga suave proporciona un tiempo extendido de paralelismo para permitir que un control de carga del generador transfiera progresivamente la carga de la red pública al generador.

Los controles de carga suave incluyen la capacidad de controlar el gobernador del motor y el regulador de voltaje del generador, de modo que puedan regular la potencia real y reactiva suministrada por el grupo electrógeno mientras está conectado a la red pública. El suministro de combustible al motor se incrementa, lo que provoca que su salida pase de sin carga a carga total en un tiempo preestablecido.

Una vez lograda la transferencia de carga, la fuente de la red puede ser desconectada, o puede permanecer conectada para permitir que el grupo electrógeno funcione en modo de carga base.

Dado que el grupo electrógeno opera en paralelo con la red pública, será necesario instalar relevadores de protección en el punto de interconexión, tales como:

1. Sobrecorriente direccional de fase (dispositivo 67) para la detección de fallas en el sistema.
2. Potencia inversa (dispositivo 32) para instalaciones donde la compañía eléctrica requiera protección contra retroalimentación.
3. Sobrecorriente de secuencia negativa (dispositivo 46) para detección de corrientes desbalanceadas.
4. Voltaje de secuencia negativa
5. Subfrecuencia/Sobrefrecuencia
6. Subvoltaje/Sobrevoltaje
7. Dispositivo 86 (bloqueo).

f) Decaimiento de voltaje de carga

El decaimiento de voltaje de carga es un método de transferencia de cargas de motor en el que el control del interruptor supervisa el voltaje en la carga. La transferencia ocurre únicamente cuando el voltaje de la carga ha alcanzado un nivel inferior al 30% del voltaje nominal del sistema. Se debe seguir la norma NEMA MG 1 para determinar el porcentaje de voltaje nominal en el cual se debe permitir la transferencia.

3.10.16 Secuencia de operación de ascensores con energía de emergencia

Las siguientes funciones están disponibles como características de emergencia:

a) Selección automática de cabina, expreso al vestíbulo.

En caso de falla de energía normal, los ascensores pueden configurarse para retornar automáticamente, bajo energía de emergencia, a un piso preprogramado, de uno en uno. Después de que todos los ascensores regresen a este piso, un ascensor preseleccionado permanecerá operando con energía de emergencia.

b) Selección manual de cabina, expreso al vestíbulo.

En caso de falla de energía normal, un interruptor selector manual en el panel de control del vestíbulo controla los ascensores. Este interruptor determina qué ascensor recibirá la energía de emergencia. Tras recibir la energía, el ascensor se desplazará automáticamente en modo expreso directamente al piso donde se encuentra el selector manual. Una vez que todos los ascensores hayan retornado, el operador podrá seleccionar un ascensor a la vez para operar. Las funciones operativas, como el servicio independiente, quedan anuladas, permitiendo el retorno del ascensor.

c) Selección automática de cabina, parada en el piso más cercano.

En caso de falla de energía normal, los ascensores pueden configurarse para arrancar automáticamente con energía de emergencia, desplazarse al piso más cercano y detenerse. Una vez que todos los ascensores se hayan detenido en un piso, un ascensor preseleccionado permanecerá operando con energía de emergencia.

3.10.17 Controles de seguridad

a) Apagado del motor en caso de:

1. Sobrevelocidad

2. Baja presión de aceite lubricante
3. Temperatura excesiva del refrigerante del motor

b) Alarmas previas al apagado para:

1. Baja presión de aceite lubricante
2. Temperatura excesiva del motor

c) Luces indicadoras adicionales y/o alarmas para:

1. Sobreintentos de arranque (fallo de encendido)
2. Mal funcionamiento del cargador de baterías
3. Nivel bajo de combustible
4. Baja temperatura del agua (p. ej., calentadores de refrigerante no funcionando)
5. Grupo electrógeno de emergencia en operación
6. Nivel bajo de refrigerante
7. Temperatura excesiva en la sala
8. Falla del ventilador del radiador remoto
9. Otros según lo desee el operador

3.10.18 Monitoreo de fuentes

lo largo de muchos kilómetros hasta el punto de utilización. La lógica de control del interruptor de transferencia supervisa continuamente el voltaje de todas las fases. Dado que

la frecuencia de la red pública es, para fines prácticos, constante, los ATS suelen monitorear únicamente el voltaje.

- En sistemas monofásicos, el ATS supervisa el voltaje línea a línea.
- En sistemas trifásicos, supervisa los tres voltajes línea a línea.

Además de fallas en el alimentador, el monitoreo protege contra la operación con voltaje reducido que pueden dañar las cargas. Dado que la sensibilidad de las cargas al voltaje varía, los ajustes de pickup (voltaje aceptable) y dropout (voltaje inaceptable) del ATS deben ser regulables.

- Rango típico de ajuste para el pickup: 85% a 100% del nominal.
- Rango típico de ajuste para el dropout: 75% a 98% del pickup seleccionado.
- Configuración usual para la mayoría de las cargas: 95% del nominal para pickup y 85% del nominal para dropout.

3.10.19 Conexión de carga (Load pickup)

El arranque de motores es el requisito más severo para el grupo electrógeno en términos de caída de voltaje. Como se indicó anteriormente, la caída inicial de voltaje al arrancar no debe exceder el 35%, con el fin de evitar que los arrancadores de motor se desconecten. Durante la operación, las caídas de voltaje por el ciclo de motores no deben superar el 10%. El ingeniero debe realizar un estudio para garantizar niveles de voltaje adecuados en todos los equipos del edificio.

La potencia del motor requerida durante el arranque es inicialmente relativamente baja, ya que el factor de potencia está entre 0 y 0.4; pero, a medida que el motor acelera hasta alcanzar

aproximadamente el 80% de la velocidad nominal, el factor de potencia y la potencia del motor requerida aumentan hasta un máximo.

La conexión de carga a plena capacidad, con potencia nominal y un factor de potencia de 0.8, ocasionará una caída de voltaje entre 15% y 40%. Sin embargo, esta condición representa un requisito más severo para el motor que para el sistema eléctrico. Dado que la carga real en kW no causa una gran caída de voltaje, el motor debe ser capaz de asumir la carga completa.

Esto normalmente no representa un problema para grupos electrógenos más pequeños de aspiración natural, pero en conjuntos más grandes con turbocargadores, la carga súbita puede hacer que el motor se apague antes de que el turbocargador recupere su velocidad total.

3.10.20 Carga secuencial del generador

El Artículo 517 del NEC exige que los interruptores de transferencia de carga del sistema de equipos (principalmente cargas de motores) en hospitales estén equipados con relevadores de retardo de tiempo que retrasen la transferencia de la carga conectada al grupo electrógeno.

El propósito es garantizar que las cargas del sistema de emergencia más importantes se conecten primero y se establezcan dentro de los 10 segundos posteriores a la falla. Los interruptores de transferencia que alimentan los motores se transfieren luego de forma secuencial al grupo electrógeno.

Otra razón para el deslastre de cargas es la necesidad de “apagar” ciertas cargas, como aquellas que utilizan rectificadores controlados por silicio (SCRs), para evitar daños o fallos de dichos componentes durante la transferencia.

Las soluciones que se emplean actualmente para ayudar a resolver estos problemas mediante la incorporación de características de circuito en los interruptores de transferencia incluyen:

1. Interruptores de transferencia con circuitos individuales de retardo de tiempo al transferir a emergencia.
2. Interruptores de transferencia con circuitos de señal para la desconexión definida de una sola carga antes de la transferencia y su reconexión después de la transferencia.
3. Interruptores de transferencia con posición central temporizada.
4. Interruptores de transferencia como en el inciso b), pero con circuitos de señal múltiples para secuenciar varias cargas en el generador.

3.10.21 Tipos de sistemas de control de demanda de carga

Los ingenieros pueden implementar el control de demanda de carga de dos maneras:

- Operación en paralelo con la red pública.
- Operación independiente de la red pública.

3.10.22 Establecimiento de prioridades de carga

Una vez que se ha determinado el tamaño de los bloques de carga, debe definirse la secuencia de adición de las cargas. Cada bloque de carga tendrá una clasificación de prioridad. Esta clasificación especifica cuántos grupos electrógenos deben estar en el bus antes de que un bloque de carga específico pueda transferirse.

Por ejemplo:

- La primera prioridad serían las cargas del sistema de emergencia.
- La segunda prioridad serían las cargas de equipos de “arranque automático diferido”.

- La tercera prioridad serían las cargas de equipos de conmutación manual (no automática).

3.10.23 Reparto de carga

Para operar dos o más generadores en paralelo, estos deben compartir proporcionalmente la carga reactiva y evitar corrientes circulantes. El reparto proporcional de la carga real en kW se controla mediante la adición de controles de reparto de carga que proporcionan señal de entrada a los gobernadores individuales de los motores.

Tanto los reguladores autoexcitados como los reguladores excitados por separado son capaces de operar en paralelo cuando están equipados con las provisiones adecuadas de paralelismo.

Existen dos métodos para controlar o compartir la carga reactiva al poner generadores en paralelo:

- Método de caída de voltaje
- Método de compensación de corriente cruzada 3.15.24 Deslastre de carga

Al igual que con la conexión de cargas al bus, la capacidad de desconectar cargas (deslastre) también está determinada por el tamaño y número de grupos electrógenos.

El deslastre de carga es necesario cuando la carga conectada excede la capacidad de los grupos electrógenos en línea. Esta situación puede ocurrir en caso de fallo de un grupo electrógeno o cuando se produce una caída en la frecuencia del bus.

La iniciación del deslastre de carga y la consiguiente reducción de la carga conectada permite que los grupos electrógenos sobrevivientes sigan suministrando las cargas de mayor

prioridad (sistema de emergencia) sin interrupciones ni degradación en la calidad de la energía entregada.

3.10.24 Medios de conmutación de carga

Existen varias formas de conectar y desconectar cargas del bus del generador.

- El control apropiado de los ATS puede realizar esta función. Generalmente es una modificación simple hacer que el ATS pueda ser controlado en ambas direcciones, tanto para conexión de carga como para deslastre de carga.
- Los interruptores de transferencia con posiciones de centro-apagado (center-off) también pueden usarse para este propósito, conmutando la carga a la posición off.
- Cuando más de una clase (prioridad) de carga se alimenta desde un ATS determinado, un interruptor de control remoto puede controlar la carga de menor prioridad en el lado de carga del ATS.
- Otro método permite que la conexión de carga sea controlada por el ATS, y que el deslastre de carga se realice mediante disyuntores de disparo por derivación

Sin embargo, se debe tener cuidado en la aplicación del enfoque de disparo por derivación cuando se utilizan interruptores automáticos en caja moldeada, ya que estos solo pueden restablecerse manualmente a menos que estén equipados con operadores eléctricos.

3.10.25 Fuentes de energía para la lógica de control

En el diseño de un sistema de control para el paralelismo de grupos electrógenos, la elección de la fuente de energía se limita a:

- La salida del generador
- Las baterías de arranque del motor

- Las baterías del tablero de control (switchgear).

3.10.26 Mantenimiento

La NFPA 99, generalmente considerada como un mínimo por las autoridades competentes (AHJs), requiere ciertos procedimientos de prueba y mantenimiento. El Apéndice C de la NFPA 99, incluido únicamente con fines informativos, proporciona una guía de mantenimiento para asistir al ingeniero de la instalación.

NEMA, NFPA y los fabricantes de equipos tienen publicaciones que prescriben requisitos mínimos recomendados. El diagnóstico rápido de fallas o del mal funcionamiento del sistema se facilita al realizar las pruebas de aceptación y los procedimientos de mantenimiento establecidos por los fabricantes de equipos.

En las instalaciones nuevas, donde no se hayan establecido previamente programas de prueba y mantenimiento antes de la puesta en marcha, debe prepararse un manual que incluya lo siguiente:

- a) Descripción general de la operación
- b) Manuales técnicos del fabricante
- c) Registro de pruebas
- d) Registro de mantenimiento
- e) Diagramas de tuberías
- f) Diagramas de cableado
- g) Lista de repuestos

h) Herramientas especiales

i) Fuente de asistencia de emergencia

j) Programa de mantenimiento

3.11 Iluminación en instalaciones hospitalarias

La iluminación en hospitales no se limita a ver mejor. Desde el diseño eléctrico debe asegurarse un ambiente visual seguro para el personal y confortable para el paciente, evitando deslumbramientos, reflejos molestos, fatiga visual y errores en tareas clínicas. Además, el sistema debe integrarse con arquitectura, interiores y climatización, considerando operación continua, mantenimiento y eficiencia energética.

3.11.1 Criterios técnicos de diseño

En el entorno hospitalario es común que, dentro de un mismo espacio, se realicen tareas con exigencias visuales muy diferentes (examen, monitoreo, lectura de pantallas, circulación, limpieza). Por ello, el enfoque recomendado es “tarea/ambiente”: proveer iluminación suficiente y de calidad para la tarea específica, manteniendo una relación adecuada de luminancias con el fondo para no generar incomodidad ni pérdida de contraste.

3.11.2 Factores de calidad en la iluminación

a) Control de deslumbramiento (directo y reflejado)

Debe evitarse que luminarias y ventanas se conviertan en fuentes de deslumbramiento. En áreas de pacientes, esto es crítico porque el paciente puede permanecer acostado mirando hacia el techo, por lo que se deben preferir soluciones que reduzcan brillo directo en el campo visual y reflejos en superficies (pisos pulidos, mobiliario, pantallas).

b) Reflectancias recomendadas y relaciones de luminancia

Los acabados interiores influyen directamente en el confort visual y en el aprovechamiento de la luz. Como referencia, se recomiendan rangos de reflectancia por superficie para mantener niveles de brillo controlados y evitar contrastes excesivos.

Tabla 2 Reflectancia superficial recomendada en áreas hospitalarias

Superficie	A Reflectancia equivalente (%)
Acabados de techo	80 a 90
Paredes	50 a 70
Mobiliario y equipo	25 a 45
Pisos	15 a 30
Batas quirúrgicas	<30

Nota. Tabla de referencia para selección de acabados y control de luminancia. Adaptado de la Tabla 6-1 del documento base.

c) Calidad del color (temperatura de color y CRI)

La selección de la fuente de luz debe considerar la reproducción cromática, especialmente por la evaluación clínica de tonos de piel y tejidos. Como criterio general, se recomienda estandarizar la temperatura de color en la instalación (para consistencia y mantenimiento) y usar fuentes con índice de reproducción cromática adecuado en áreas clínicas.

3.11.3 Aplicaciones típicas en hospitales

a) Pasillos de pacientes

Los pasillos no deben generar deslumbramiento para pacientes en camilla ni reflejos molestos en pisos. Se prefieren soluciones lineales o indirectas que reduzcan el “efecto estroboscópico” de luminarias puntuales repetitivas. El objetivo es una circulación segura, con posibilidad de reducir niveles en horario nocturno sin perder orientación.



Figura 35 Pasillo de pacientes con tratamiento de luminancia y control de reflejos

b) Salas de examen y observación

En salas de examen se requiere iluminación suficiente, controlable y con buena reproducción cromática. Debe cuidarse la ubicación de las luminarias para minimizar reflejos veladores en superficies y evitar que el paciente quede expuesto a fuentes directas de alto brillo. La coordinación con el equipo clínico es clave para definir zonas de tarea, niveles y controles.



Figura 36 Sala de exámenes con aporte de luz natural y luz ambiental indirecta

c) Habitaciones de pacientes

La iluminación debe apoyar descanso, orientación del paciente y actividades del personal. Se recomienda que existan controles por escena o niveles (p. ej., ambiente, lectura, examen, noche) y que las luminarias cercanas a la cama eviten riesgos por rotura (protecciones/lentes según aplique).

3.11.4 Integración, eficiencia energética y mantenimiento

a) Integración con otros sistemas del edificio

La iluminación debe coordinarse con HVAC, rociadores, detección de incendios y elementos arquitectónicos (cielos falsos, difusores, altavoces). En áreas exigentes (p. ej., quirófanos), la coordinación es crítica por la alta densidad de servicios en techo.

b) Eficiencia energética y controles

Para reducir consumo sin afectar desempeño, deben aplicarse estrategias como zonificación de circuitos, sensores de ocupación en áreas compatibles (oficinas, baños, cuartos técnicos), atenuación cuando sea viable y aprovechamiento de luz natural considerando el balance térmico del edificio.

c) Mantenimiento y condiciones sanitarias

En hospitales, las luminarias pueden estar expuestas a limpieza frecuente con agentes corrosivos. Por ello, deben preferirse equipos fáciles de limpiar, con diseños que eviten acumulación de suciedad, y soluciones que faciliten recambio y reparación. Además, reducir la variedad de lámparas y equipos simplifica inventarios y mejora la consistencia visual en toda la instalación.

3.12 Renovaciones en instalaciones de atención de la salud

Los hospitales rurales promedian una edad 24% mayor que el promedio de todos los hospitales y 70% mayor que la de una empresa industrial típica de agencia calificadora de riesgo.

Este descuido de la infraestructura ha involucrado:

- Conexiones adicionales/incrementos de demanda sin una adición concurrente de capacidad del sistema.
- Postergación del mantenimiento necesario.
- Remodelaciones/revisiones sucesivas de áreas y sistemas sin el beneficio de un diseño integral de la instalación.
- Falta de reemplazo de sistemas obsoletos.
- Tendencia a minimizar los costos de capital a expensas del aumento de los costos operativos

Expertos de la industria hospitalaria predicen que los hospitales comenzarán a verse obligados a actualizar y modernizar sus infraestructuras, crezcan o no continúen creciendo. De hecho, una pequeña expansión propuesta a menudo precipita una actualización integral de uno o más sistemas.



Figura 37 Condiciones existentes

¿Qué se puede Observar en la imagen?

- Pasillo/circulación estrecha entre una línea de gabinetes/tableros eléctricos
- Uso del cuarto como área de almacenamiento
- Cables o mangueras enrolladas

3.12.1 Coordinación con otros oficios u disciplinas

Tan importante como la coordinación con el usuario es la coordinación del trabajo eléctrico con los demás oficios de la construcción. Esta coordinación puede adoptar muchas formas.

Muchos edificios antiguos, diseñados utilizando sistemas de ventilación con unidades de

inducción de aire, sufren por la falta de espacio sobre cielo falso. El espaciamiento entre columnas puede ser irregular, y diversas estructuras restringen aún más el espacio sobre cielo falso. El edificio puede incluir puntos críticos (cuellos de botella) o situaciones como vigas profundas alrededor de los ductos/shafts en el núcleo, que vuelven un enfoque de diseño particular impracticable o imposible.

De manera inevitable, las cuadrillas de construcción se encuentran con situaciones en las que los ductos entran en conflicto con la bandeja porta cables, que entra en conflicto con la tubería del sistema contra incendios (rociadores), que entra en conflicto con los alimentadores eléctricos, y así sucesivamente. De forma similar, los demás oficios tendrán sus propios montantes que deben reubicarse o alrededor de los cuales se debe construir. Por lo tanto, cualquier diseño de renovación debe coordinarse cuidadosamente con los diseñadores de las otras disciplinas para eliminar o gestionar todas estas áreas de conflicto. A menudo son necesarios compromisos, que pueden incluir alturas de cielo falso reducidas, luminarias montadas en superficie, o el redireccionamiento de líneas. Cada compromiso propuesto debe evaluarse cuidadosamente en términos de costo, flexibilidad futura, integridad del diseño, estética y cumplimiento de códigos. Por ello, el ingeniero debe comunicar a todas las partes involucradas las implicaciones de cada una de estas adecuaciones durante la etapa de diseño del proyecto.

3.12.2 Coordinación con autoridades de código y normativa

El tercer grupo principal que debería consultarse en un proyecto de renovación son las diversas autoridades de código y normativa que tienen jurisdicción sobre el proyecto. Cuando un proyecto específico requiere, por ejemplo, implementar un sistema por fases, los

inspectores y administradores de códigos deben formar parte del proceso de diseño para asegurar que todas las fases puedan ejecutarse de manera segura y con la menor dificultad posible. Algunas renovaciones y mejoras se realizan, en gran medida, para cumplir códigos actualizados y satisfacer a los distintos inspectores; por ello, su aporte es esencial. A menudo, un conjunto de códigos impone requisitos a un proyecto que son prohibidos por otro conjunto de códigos.

Algunas instalaciones en particular pueden no cumplir literalmente lo establecido por el código debido a condiciones existentes.

3.12.3 Condiciones existentes Inadecuadas

Un sistema importante al que se enfrenta el ingeniero que intenta renovar una instalación de atención de la salud existente es que el espacio actual podría no soportar la renovación propuesta. La estructura del edificio a menudo limita severamente el espacio sobre cielo falso, lo cual hace que la coordinación con otras disciplinas sea especialmente difícil y especialmente importante. Puede haber pocas opciones para el tendido de nuevos alimentadores necesarios. El tendido de canalizaciones y alimentadores a través de espacios existentes puede ser extremadamente difícil. En estos casos, el ingeniero debe tener cuidado de considerar los tipos de canalización especificados, ya que la tubería metálica eléctrica (EMT) con conectores de tornillo de fijación puede ser mucho más práctica de instalar que la tubería metálica intermedia (IMC) o la tubería rígida, que requiere conexiones roscadas. Con frecuencia, pasos/ductos abandonados (*chases*), chimeneas o ductos de ropa pueden ser rutas convenientes hacia espacios que requieren renovación. Sin embargo, más a menudo, los alimentadores deberán rutearse por espacios ocupados; todas las opciones deben

investigarse cuidadosamente, discutirse con todas las partes interesadas y diseñarse con sensibilidad a sus requerimientos.

El equipo de distribución existente puede ser antiguo y requerir reemplazo. Puede tener capacidad insuficiente. Puede no ser capaz de aceptar nuevos interruptores automáticos (interruptores) o seccionadores/interruptores (switches). El sistema puede no contar con suficientes reservas/espacios disponibles, o puede no tener capacidad suficiente para aceptar cargas adicionales. En tales casos, no solo el cableado de circuitos derivados (ramales), sino también el propio sistema de distribución debe renovarse. Si se actualiza la fuente de energía, la corriente de falla disponible puede incrementarse más allá de la capacidad nominal de cortocircuito del equipo.

Un área de coordinación con los sistemas existentes es la especificación del equipo médico. Con mucha frecuencia, el sistema eléctrico existente solo tendrá potencia trifásica de 240 V, o potencia monofásica de 120/240 V. En tales casos, el ingeniero debe coordinar la especificación de cualquier equipo (fuera de la especificación de la disciplina eléctrica) con las características eléctricas disponibles. De manera similar, los sistemas antiguos pueden ser ruidosos (es decir, propensos a picos y sobretensiones como resultado del arranque de motores o de cargas de rayos X), estar sobrecargados, estar divididos incorrectamente en términos de cargas esenciales, o estar deficientemente puestos a tierra; todo ello debe considerarse al especificar otros equipos. Estos requerimientos y la condición del equipo existente deben discutirse entre todos los usuarios, proveedores y demás diseñadores.

3.12.4 Interrupciones a los sistemas existentes

Suponiendo que el ingeniero electricista pueda determinar qué existe en el área de una renovación propuesta, y pueda desarrollar un plan para renovar el área y los sistemas de

soporte de forma adecuada, la implementación real de esos planes probablemente ocasionará interrupciones significativas en el funcionamiento del resto de la instalación. Dichas interrupciones pueden deberse a lo siguiente:

- a) Suspensión temporal (o accidental) de servicios existentes.
- b) Necesidad de reubicar personal; y alteración de los flujos de circulación/tránsito.
- c) Afectación de ambientes estériles; por ruido y vibración.
- d) Necesidad de sacar escombros del espacio afectado o ingresar nuevos materiales al sitio del proyecto.

3.12.5 Cargas y gestión de energía

Las tendencias actuales en el equipo hospitalario y en su consumo de energía avanzan en dos direcciones opuestas: mientras los hospitales utilizan cada vez más equipos, incrementando así las demandas del sistema eléctrico, la tecnología permite que los equipos realicen las mismas tareas con cada vez menos potencia. Los chillers actuales, por ejemplo, usan menos kilovatios por tonelada que los de hace 10 años. Sin embargo, el efecto neto global de una renovación tiende a ser un aumento de las cargas eléctricas. En consecuencia, una ampliación de un hospital añadirá claramente carga al sistema eléctrico, y una renovación impondrá un nuevo perfil de uso sobre el sistema eléctrico existente. La decisión de si se debe ampliar, retribajar o simplemente reutilizar debe considerarse cuidadosamente en función de su impacto en el equilibrio del sistema existente.

El ingeniero que planifica una modificación a un sistema eléctrico existente necesita evaluar cuidadosamente la configuración del sistema de los sistemas esenciales, y si este cuenta con

las tres ramas separadas del sistema esencial requeridas por el Código Eléctrico Nacional (NFPA 70).

Si no es así, el ingeniero debe determinar lo siguiente

- Si debe imponerse dicha división al sistema
- Los tipos de cargas
- Como ciclarán (si encenderán o apagarán) las cargas y como ese perfil de uso afectará el equilibrio del sistema

Además, el ingeniero debe evaluar la capacidad de conducción de corriente de los elementos que se pretenda reutilizar, hasta el tablero de entrada de servicio y debe obtener información de carga medida en campo durante un tiempo suficiente para permitir una aproximación razonable de las cargas existentes (el NEC exige un año de lecturas de carga). Con esta información, el ingeniero puede definir los pasos necesarios para injertar el sistema propuesto en el sistema existente sin interrupciones significativas.

3.13 Sistema de distribución de energía eléctrica

3.13.1 Sistema esencial de distribución

Un enfoque para renovar un sistema esencial que utiliza solo una rama de emergencia, en cierto sentido, es menos complicado que renovar un sistema de múltiples ramas. Los códigos más adoptados (NEC y NFPA 99) requieren que se agreguen como mínimo dos ramas (nótese que para sistemas esenciales con una carga de solo 150 kVA, se requiere solo un interruptor). La adición de ramas al sistema existente puede ayudar a facilitar la ejecución por fases. Si los tableros de distribución y de circuitos derivados del lado de carga, aguas abajo del equipo de distribución existente, están correctamente subdivididos, los alimentadores de distribución

existentes pueden redirigirse y alimentarse desde los nuevos interruptores automáticos de transferencia (ATS), creando las tres ramas distintas. Sin embargo, si la distribución del lado de carga y los tableros de circuitos derivados alimentan una mezcla de cargas de cada tipo de carga esencial, deben añadirse tres ramas, compuestas por mecanismos de transferencia y equipos de distribución. En esencia, este enfoque proporciona una infraestructura adicional, correctamente diseñada, para el soporte eventual de toda la instalación. Este enfoque permite la transferencia futura de cargas desde el sistema existente hacia el sistema nuevo conforme ocurran proyectos de renovación.

Renovar sistemas esenciales con múltiples ramas, cada una sirviendo una variedad de cargas esenciales, potencialmente hace que la ejecución por fases sea mucho más complicada. La solución más efectiva en la mayoría de los casos es crear tres ramas completamente nuevas y ejecutar las renovaciones por fases como se describió previamente. Alternativamente, las ramas existentes podrían designarse para que cada una sirva a un tipo diferente de carga esencial. Luego, a medida que avanzan las renovaciones, las cargas de esas renovaciones pueden dividirse estrictamente entre las distintas ramas hasta que todas las cargas de la instalación estén adecuadamente divididas.

3.13.2 Sistemas de potencia de emergencia

Estudios anteriores de la Asociación Estadounidense de Hospitales indican que la sobrecarga del generador es una de las razones principales de falla del sistema de potencia de emergencia durante una emergencia.

El enfoque más simple para resolver problemas de carga del generador es reemplazar el generador existente por una unidad de mayor capacidad. No obstante, este enfoque está limitado porque puede obligar a reemplazar el equipo de distribución, que presumiblemente

fue dimensionado para el generador más pequeño. Además, depender de un solo generador nunca es tan confiable como alimentar el mismo sistema con dos o más unidades. Por último, reemplazar un generador existente equivale, en la práctica, a desechar la vida útil remanente del generador antiguo. En consecuencia, la adición de un segundo generador a la planta existente suele ser el enfoque preferido.

Un método simple y de costo relativamente bajo para agregar este generador adicional es añadir un conjunto generador y su interruptor de transferencia asociados, remotos respecto a los generadores existentes, pero cercanos a las cargas finales y dedicados a servir esas cargas. Ubicar el nuevo generador cerca de las nuevas cargas reducirá los costos iniciales al eliminar alimentadores de carga largos. Sin embargo, abastecer el nuevo generador desde el tanque principal de almacenamiento de combustible existente podría ser costoso y/o difícil, dependiendo del arreglo del sitio. En segundo lugar, un generador remoto hace que el mantenimiento, la operación y las pruebas consuman más tiempo que en una planta común centralizada. Una tercera desventaja es la falta de redundancia que podría lograrse al paralelizar o interconectar dos o más conjuntos generadores. Finalmente, antes de seleccionar esta opción deben considerarse el costo de construcción del nuevo espacio del generador (si se ubica en interior), el ruido, el escape, la accesibilidad a la unidad y la disipación de calor de la unidad.

3.14 Planificación para la atención del paciente

3.14.1 Seguridad y confiabilidad

Para una instalación de atención de la salud, los dos temas de seguridad del personal y confiabilidad del sistema están inseparablemente ligados, ya que con frecuencia la vida de un paciente puede depender de la confiabilidad del sistema eléctrico del edificio. Los cambios

en los códigos actuales, como la división de las cargas esenciales, representan en gran medida una respuesta a estas preocupaciones. Cualquier construcción involucrada en la renovación de una instalación de salud debe realizarse en estricto cumplimiento de todos los códigos vigentes, para asegurar una instalación sin riesgos inherentes para sus futuros ocupantes. De igual forma, el diseñador debe procurar corregir cualquier defecto de seguridad que se descubra durante el proceso de renovación.

Un aspecto evidente de seguridad en la renovación de una instalación existente es la antigüedad de los diversos componentes del sistema. Por ejemplo, conductores antiguos representan un peligro potencial tanto para las personas que puedan entrar en contacto con ellos como para quienes dependen de ellos para la operación continua de los equipos de utilización. El ingeniero debe examinar el sitio existente para determinar si el switchgear, los tableros o los alimentadores pueden reutilizarse empalmando a conductores existentes; sin embargo, es una práctica que debe evitarse. De igual forma, deben verificarse las capacidades de los componentes y sus características de coordinación para asegurar la operación correcta del sistema propuesto. Los alimentadores y los conductores de circuitos derivados de gran calibre deben probarse, y las conexiones deben revisarse con detectores de temperatura. Cuando se agregan grandes cargas no lineales a sistemas existentes, los conductores neutros podrían no tener el tamaño suficiente.

El ingeniero prudente también dedicará tiempo a examinar el sitio para identificar otros peligros eléctricos.

Alguno de los Peligros incluye lo siguiente:

- Neutro de circuito derivado compartido por circuitos provenientes de dos tableros
- Interruptores automáticos con doble conexión
- Conductores neutros desnudos en alimentadores
- Empalmes deficientes
- Falta de tapas en cajas de paso/derivación
- Conductores no protegidos adecuadamente por dispositivos de sobre corriente

3.14.2 Puesta a tierra del sistema

Para determinar si la puesta a tierra del sistema en el tablero principal es adecuada, el diseñador debe probar la impedancia del trayecto de puesta a tierra utilizando un método equivalente a la prueba Biddle. La impedancia del trayecto de puesta a tierra no debe exceder 10 Ω ; valores de 5 Ω o menos son preferibles para sistemas más grandes. Si la impedancia excede 10 Ω , podría ser necesario instalar (hincar) varillas de puesta a tierra adicionales para reducirla. De igual manera, deben verificarse las puestas a tierra secundarias de transformadores que alimentan áreas a renovar, así como la continuidad de los conductores de puesta a tierra y los puentes de unión electrodo de puesta a tierra hasta el último tablero existente que se pretenda reutilizar.

3.14.3 Sistemas eléctricos de quirófanos

Los quirófanos son áreas de gran preocupación en el proceso de renovación debido a varios factores. Primero, la preocupación principal es la seguridad del paciente durante el tratamiento. Segundo, la disminución del uso de anestésicos inflamables y los cambios en la normativa respecto al uso de potencia aislada en quirófanos siguen generando mucha

confusión. Finalmente, los quirófanos no son inmunes a la proliferación tecnológica, y en particular, a tecnología que requiere tomacorrientes. Un ejemplo claro es la incorporación de un láser trifásico en un quirófano existente actualmente servido por un sistema de aislamiento monofásico.

En términos generales, si un quirófano ya cuenta con un IPS, cualquier adición al sistema eléctrico de ese quirófano debe derivarse de ese IPS. Si el sistema existente está a su máxima capacidad, puede agregarse un segundo sistema, con sus propias alarmas, para atender los nuevos requerimientos. El segundo sistema podría servir a varias salas, como en el caso de un sistema trifásico para láseres en dos o tres quirófanos. En este caso, cada sala servida debe contar con anunciadores remotos ubicados en cada sala, y todos los dispositivos deben rotularse cuidadosamente dentro de la sala para indicar el tablero correcto. En balance, se recomienda firmemente usar IPS en quirófanos que serán renovados, y se recomienda aún más mantener el uso de potencia aislada en una sala que ya posee un IPS.

3.15 Sistemas de comunicaciones y señalización

3.15.1 Sistemas de alarma contra incendios

Los sistemas de alarma contra incendios parecen causar más problemas en la renovación de una instalación de atención de la salud que cualquier otro sistema. Son cruciales para la seguridad de los ocupantes del edificio; sin embargo, suelen estar rodeados por un aura de misterio. El sistema de alarma contra incendios también está altamente integrado con el edificio en su conjunto.

Tanto la tecnología como los códigos de alarma contra incendios han cambiado de manera significativa y rápida, de modo que los edificios antiguos ahora tienden a tener algún tipo de combinación de sistemas de distintas épocas, de alguna manera “armados” entre sí en un

único sistema precario. El mantenimiento es inevitablemente laborioso y costoso, y las fallas en estos sistemas son comunes.

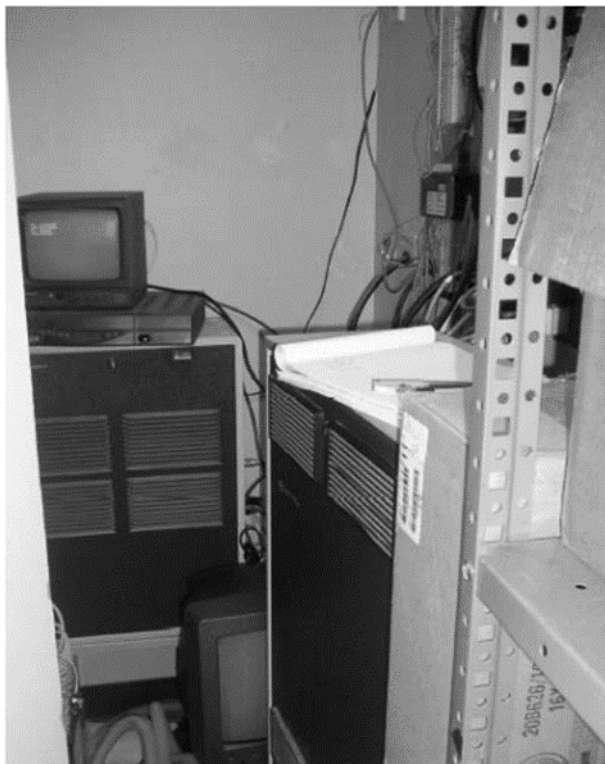


Figura 38 Sistemas de comunicaciones existentes

Al ingeniero que enfrenta el proyecto de renovación de un área hospitalaria le conviene dedicar un tiempo considerable al sistema de alarma contra incendios. Muy a menudo, es engañoso considerar únicamente las necesidades del espacio a renovar; el sistema de alarma contra incendios debe considerarse como un todo. Las soluciones tipo “parche” para espacios definidos tienden a agravar los problemas del sistema existente. Cuando hay sistemas antiguos, puede no haber dispositivos disponibles que funcionen con el sistema. Los paneles de control a menudo están extendidos hasta su límite de capacidad, haciendo imposible añadir

los dispositivos requeridos por los códigos actuales. Algunas funciones de control requeridas pueden ser imposibles de lograr. Los montantes pueden ser antiguos, poco confiables o estar ubicados en lugares inadecuados

El ingeniero que planifica la renovación de un espacio debe primero definir los requisitos del sistema de alarma contra incendios para el proyecto propuesto. Luego debe familiarizarse a fondo con el sistema existente y evaluar con precisión su capacidad para soportar las funciones requeridas sin modificaciones mayores. Cualquier deficiencia que requiera una actualización para soportar la renovación propuesta debe coordinarse cuidadosamente con las autoridades regulatorias. Muy a menudo, una carencia del sistema existente precipitará la actualización de todo el sistema. Los ingenieros deben tener cuidado de que, al ampliar un sistema existente, su adición no sea simplemente un “parche”, sino un diseño funcional y confiable que no cause problemas adicionales al personal del hospital. De igual manera, cuando la renovación de un área requiere retrabajar porciones del sistema existente, debe reemplazarse todo el sistema en esa área (es decir, no deben mezclarse funciones de sistemas antiguos y nuevos en un mismo sector).

Existen dos enfoques posibles para reemplazar un sistema de alarma contra incendios existente. Primero, el sistema puede reemplazarse por completo, y todos los aspectos pueden llevarse al cumplimiento del código en toda la instalación. Aunque este es lógicamente el enfoque más simple, logísticamente puede ser el más difícil, ya que las operaciones en todos los espacios se verán interrumpidas por los trabajos. El costo es otra desventaja de este enfoque.

El segundo enfoque, menos drástico, es reemplazar únicamente el equipo central (y el del espacio a renovar) por la nueva generación de equipos basada en microprocesador. Este

equipo se integrará al sistema existente y permitirá la expansión futura del sistema aprovechando la flexibilidad inherente de este tipo de sistemas. Este enfoque, aunque atractivo tanto por costo como por nivel de interrupción, aún puede presentar muchos problemas operativos. En esencia, repite el montaje de sistemas , con todos los problemas asociados. Tener diferentes áreas del hospital con distintos sistemas de alarma, unidos de forma tenue en el mejor de los casos, puede causar problemas severos. Una solución de compromiso es reemplazar por completo los tableros de control existentes por el sistema nuevo y terminar todos los montantes antiguos directamente en el sistema nuevo. Este enfoque no resolverá todos los problemas de confiabilidad de los dispositivos remotos, ni solucionará de inmediato todas las violaciones de código, pero será relativamente económico y resolverá, en gran medida, el problema de integrar varias generaciones de sistemas de control de alarmas. Todos los aspectos del sistema de alarma contra incendios deben coordinarse cuidadosamente con la administración de la instalación, ingeniería, los departamentos de bomberos y seguridad, así como con los entes reguladores.

3.15.2 Sistemas de sonido y perifoneo

A menudo pasados por alto, los sistemas de megafonía/altoparlantes (**PA**) en instalaciones de salud merecen atención especial en la renovación de un espacio existente. A medida que la tecnología impulsa los sistemas de alarma contra incendios hacia sistemas de voz no codificados, el sistema PA se convierte en un elemento central de los sistemas de seguridad contra incendios de la instalación; por lo tanto, debe tener confiabilidad máxima. Las funciones de código azul a menudo se realizan por el sistema PA, por lo que la vida de los pacientes frecuentemente está en juego. Sin embargo, frente a estas demandas emergentes de desempeño, los amplificadores a menudo están sobrecargados, los circuitos se conectan en puntos desconocidos, el volumen se va perdiendo gradualmente por adiciones continuas, el

cableado se tiende sobre cielos falsos en lugar de ir en canalizaciones o bandejas, y la ubicación y configuración de altavoces es, en el mejor de los casos, aleatoria.

3.15.3 Sistemas de llamada de enfermería

¿Qué es un sistema de llamada a enfermeras??

Un Sistema de llamada de enfermería es una red de comunicación que permite a los pacientes alertar a las enfermeras y cuidadores cuando necesitan ayuda. Típicamente, Los pacientes activan el sistema pulsando un botón, Tirando de una cuerda, o usando un control remoto de cabecera. A continuación, el sistema transmite la solicitud a una estación de enfermería, Un dispositivo de mano, o un sistema de alerta aérea, Permitir que el personal médico responda rápidamente.

- **Mejora de la seguridad del paciente:** Los pacientes pueden llamar rápidamente para pedir ayuda en caso de emergencia.
- **Aumento de la eficiencia:** Las enfermeras pueden priorizar y gestionar las necesidades de los pacientes de forma más eficaz.
- **Mejor comunicación:** Reduce el tiempo de respuesta y mejora el flujo de trabajo del hospital.

Dependiendo de la infraestructura del hospital, presupuesto, y necesidades, Los administradores pueden elegir entre, Basado en IP, o sistemas inalámbricos de llamada a enfermeras.

3.15.4 Sistemas de llamada de enfermería basados en bus

Un Sistema de llamada de enfermería basado en bus Funciona en una unidad de control centralizada con una estructura de red cableada. Todas las estaciones de pacientes, Botones

de llamada, y los indicadores de alarma están conectados a través de un **Línea de autobús**, Una vía de comunicación compartida que transmite señales entre los dispositivos y el controlador central.

Cómo funciona

- Cada habitación o estación de paciente está conectada a una unidad de control a través de un Bus cableado de baja tensión.
- Cuando un paciente presiona el botón de llamada, La señal viaja a través de la red de autobuses hasta una estación de enfermería.
- El sistema muestra el número de habitación, Identificación del paciente, o la ubicación de la cama en el panel de control de la enfermera.

Ventajas

- **Fidedigno & Estable:** Los sistemas cableados ofrecen una conexión constante con interferencias mínimas.
- **Bajo mantenimiento:** Una vez instalado, estos sistemas requieren un mantenimiento mínimo.

Rentable: En comparación con los sistemas basados en IP, Los sistemas basados en bus generalmente tienen costos de instalación más bajos

Desventajas

- **Flexibilidad limitada:** La adición de nuevos dispositivos requiere un nuevo cableado.

- **Desafíos de instalación:** Requiere cableado estructurado, lo que puede ser perjudicial en los hospitales existentes.

Lo mejor para:

- Hospitales que prefieren **estable, Comunicación por cable.**
- Instalaciones que no planean expandir su sistema con frecuencia.
- Ubicaciones con presupuesto limitado para infraestructura de TI.

Elegir el sistema de llamada de enfermería adecuado

Al seleccionar un sistema de llamada de enfermería, Los administradores de atención médica deben considerar varios factores:

Tamaño de la instalación y diseño

- Grandes hospitales Beneficiarse de Sistemas basados en IP debido a su escalabilidad.
- Edificios antiguos o temporales puede encontrar Sistemas inalámbricos Más práctico.

Presupuesto y costos de instalación

- Sistemas basados en bus son rentables, pero requieren cableado.
- Sistemas basados en IP ofrecen funciones avanzadas, pero tienen costos iniciales más altos.
- Sistemas inalámbricos Ahorre en costos de cableado, pero puede requerir mantenimiento regular.

Integración con Sistemas Hospitalarios

- Si un centro desea conectar el sistema de llamada de enfermería con UI, EMR, o dispositivos móviles, un Sistema basado en IP es ideal.
- **Sistemas basados en bus** son autónomos y no se integran fácilmente con las redes digitales de los hospitales.

Fiabilidad y seguridad

- Sistemas basados en bus son Altamente fiable pero limitado en funcionalidad.
- Sistemas basados en IP ofrecer Transferencia segura de datos y monitoreo avanzado.
- Sistemas inalámbricos necesitar Señales de RF o Wi-Fi fuertes para garantizar un rendimiento constante.

CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO DEL CONTEXTO SALVADOREÑO

Este capítulo realiza un diagnóstico del contexto salvadoreño desde el punto de vista normativo aplicado a hospitales públicos: qué exige la normativa, qué mecanismos de cumplimiento existen, y cuáles son las brechas típicas que aparecen cuando se compara lo requerido (o lo recomendado) con lo que normalmente se puede implementar bajo limitaciones reales de presupuesto, infraestructura y mantenimiento.

Donde el diagnóstico normativo se sustenta en dos pilares:

1. Artículo 517 (NEC 517) como base de requisitos de instalación para instalaciones eléctricas.
2. El marco nacional vigente (que en esta tesis se denomina “RTIE” por simplicidad), entendido como el conjunto de disposiciones técnicas aplicables en el país y su práctica de verificación, donde destaca la adopción por referencia del NEC 2008 por parte de la SIGET y el rol de organismos de inspección acreditados.

4.1 Condiciones actuales de hospitales públicos en El Salvador

Esta sección no pretende describir todo hospital público como si fueran iguales, sino identificar dónde la normativa suele volverse crítica en hospitales por la naturaleza del servicio (vida, continuidad, riesgo clínico) y por la forma en que el NEC 517 estructura esas exigencias: clasificación de áreas, requisitos de alimentación normal/emergencia, puesta a tierra y configuración de tomacorrientes y circuitos en áreas de atención al paciente.

4.1.1 Condiciones actuales de hospitales públicos en El Salvador analizadas desde la normativa y ruta de adecuación para asegurar confiabilidad

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).

4.1.2 Confiabilidad y continuidad

El NEC 517 define el enfoque hospitalario a través del Sistema Eléctrico Esencial, el cual se divide en ramas con funciones distintas (por ejemplo, seguridad de vida, crítica y de equipos). Esa separación no es decorativa: busca que una falla o una sobrecarga no “arrastre” funciones de seguridad de vida o atención clínica. Además, en marcos hospitalarios vinculados a este enfoque, se establece que ramas clave (como seguridad de vida y cargas críticas) deben transferirse automáticamente en un intervalo corto ante una interrupción.

Condiciones actuales típicas

En hospitales públicos, la confiabilidad suele degradarse (desde el punto de vista normativo) cuando se observa alguno de estos patrones:

- **Sistema esencial sin segregación real:** existe fuente alterna, pero las cargas esenciales y no esenciales se mezclan en los mismos tableros o en un esquema sin jerarquía clara (la continuidad depende del cómo quedó cableado y no de una arquitectura por ramas).
- **Transferencia que existe, pero no está demostrada como desempeño:** hay ATS/generador, pero el hospital no puede asegurar, con evidencia, qué áreas críticas quedan efectivamente cubiertas en contingencia, ni que la transferencia sea consistente para las funciones esenciales.
- **Crecimiento por etapas sin revalidación de criticidad:** áreas cambian de uso (p. ej., ampliaciones, reubicación de servicios, incremento de equipos) pero el sistema esencial no se ajusta con la misma lógica, generando sobrecarga, disparos indebidos o pérdida de selectividad.

La corrección no debe partir de “cambiar todo”, sino de restaurar la lógica normativa del sistema esencial, el cual constaría de:

- **Clasificar cargas por criticidad** (seguridad de vida / atención crítica / operación soportable) y asociarlas a tableros y circuitos identificables.
- **Separar físicamente y funcionalmente** lo esencial de lo no esencial (tableros y alimentaciones dedicadas para lo crítico).
- **Restringir cargas no permitidas** dentro de ramas críticas, evitando que el sistema esencial se convierta en “respaldo de todo”.
- **Demostrar desempeño** mediante pruebas funcionales documentadas de transferencia (pérdida de fuente normal, transferencia, retorno, observaciones).

4.1.3 Infraestructura obsoleta

Condiciones actuales típicas

- **Tableros saturados o sin capacidad de segregación:** dificulta separar circuitos por rama esencial (Cargas Críticas) vs normal
- **Canalizaciones y empalmes intervenidos sin control:** eleva riesgo de fallas, dificulta trazabilidad del circuito y debilita la capacidad de auditar cumplimiento.
- **Identificación deficiente:** sin rotulación, unifilar actualizado y trazabilidad carga, circuito, tablero, la separación existe”solo en teoría; en práctica es frágil.

Ruta de adecuación

- Unifilar actualizado + rotulación completa por fuente (normal / emergencia) y por criticidad (seguridad de vida / crítica / equipos); inventario de cargas críticas por área clínica (UCI, quirófano, emergencia, hospitalización); identificación del Tablero

General Normal (TGN) y del Tablero General Crítico/Emergencia (TGC/TGE) con su matriz carga, circuito, tablero, fuente

- Segregación efectiva entre TGN y TGC/TGE (tableros y circuitos dedicados, evitando mezclas de cargas no esenciales); liberación o sustitución de tableros en áreas críticas para habilitar circuitos dedicados; corrección de canalizaciones y empalmes que afecten continuidad, trazabilidad y seguridad; sustitución priorizada de tomacorrientes grado hospitalario e identificación visible de tomas normal vs emergencia en áreas de atención al paciente.
- Reorganización de alimentadores y arquitectura para que la criticidad se refleje en la distribución (lo crítico no debe depender de rutas improvisadas); instalación de supresores de transientes (DPS/SPD) en cascada (entrada de servicio / tableros principales / tableros críticos según criticidad); implementación de paneles de aislamiento en áreas donde aplique por nivel de riesgo clínico (por ejemplo, ciertos procedimientos/quirófanos según el criterio normativo y el diseño del hospital); pruebas funcionales documentadas (transferencia a emergencia, verificación de cargas críticas energizadas y registro en bitácora).

4.1.4 Falta de mantenimiento y pruebas: el gran vacío entre cumplimiento de instalación y cumplimiento de desempeño

- **Mantenimiento correctivo predominante:** se atiende la falla cuando ocurre, pero no se cierra el ciclo con pruebas, registro y prevención.
- **Ausencia de evidencia documental:** sin bitácoras y resultados de pruebas, es imposible demostrar confiabilidad normativa; la continuidad queda como expectativa, no como condición comprobada.

- **Protecciones sin verificación de coordinación/funcionalidad:** genera disparos indebidos o cortes amplios ante fallas menores, lo cual contradice la intención normativa de mantener lo esencial operando.

Ruta de adecuación

- Implementar un programa mínimo de pruebas documentadas de transferencia, inspección de tableros, revisión de empalmes críticos, verificación de puesta a tierra, y revisión periódica de cargas críticas.
- Establecer criterios de aceptación: qué se considera apto y cuándo se dispara una corrección.
- Vincular pruebas a criticidad: UCI/quirófano/emergencia primero, expansión después.

4.2 Evaluación de la normativa nacional vigente

4.2.1 Mecanismo de cumplimiento: inspección y verificación (OIA) y su impacto en hospitales

Que exista una normativa aplicable (por ejemplo, basada en el NEC y criterios nacionales) no garantiza automáticamente que un hospital la cumpla, porque el cumplimiento real depende de que haya verificación en campo: inspecciones, mediciones y evidencia documental que confirme que lo instalado corresponde a lo exigido y que funciona como debe. En ese sentido, el mecanismo de cumplimiento mediante inspección y verificación (por ejemplo, a través de Organismos de Inspección Acreditados) es crucial, ya que permite detectar y corregir no conformidades que muchas veces no son visibles a simple vista — como deficiencias en puesta a tierra, polaridad, continuidad, aislamiento, tableros,

canalizaciones, empalmes o separación de circuitos y que en un hospital pueden traducirse en riesgos directos para la seguridad del paciente y en pérdida de continuidad del servicio, especialmente en áreas críticas donde la energía debe estar priorizada, segregada y disponible también durante contingencias.

En la información pública de SIGET sobre Organismos de Inspección Acreditados (OIA), se listan rubros de verificación como:

- Red de puesta a tierra
- Aislamiento de alimentadores
- Tableros de protecciones, canalización, cajas y empalmes
- Código de colores, calibres de conductores, separación de circuitos
- Polarización de tomacorrientes
- Y otras disposiciones aplicadas del NEC vigente, citando acuerdos relevantes.

4.2.2 NEC 517: ¿Qué regula realmente?

El Artículo 517 en NEC 2008 aplica a criterios de construcción e instalación eléctrica para instalaciones que brindan servicios a seres humanos, y define conceptos técnicos claves para clasificar espacios y asignar requisitos.

- **Clasificación de áreas y definiciones.** El NEC 517 parte de definir y clasificar espacios hospitalarios (por ejemplo, áreas de cuidado general, cuidado crítico y ubicaciones de procedimientos húmedos), porque la exigencia eléctrica cambia según el riesgo clínico del área. También delimita el concepto de entorno de atención al

paciente, que sirve como referencia para aplicar requisitos específicos alrededor de la cama/silla/mesa del paciente.

- **Métodos de alambrado y puesta a tierra en áreas de atención al paciente.** En áreas donde se examina o trata a pacientes, el NEC 517 refuerza la necesidad de un trayecto efectivo de falla a tierra y un esquema de puesta a tierra y equipotencialidad que permita la actuación adecuada de protecciones y reduzca riesgos de choque eléctrico y diferencias de potencial en el entorno clínico; esto impacta directamente cómo se seleccionan canalizaciones, conductores de protección y conexiones en zonas de atención.
- **Tomacorrientes y alimentación en ubicaciones de cama y áreas de cuidado.** Para ubicaciones de cama, el NEC exige tomacorrientes grado hospitalario y establece mínimos: en cuidado general se requiere un mínimo de 4 tomacorrientes por ubicación de cama, y en cuidado crítico un mínimo de 6 tomacorrientes por ubicación de cama; además, en salas de operaciones se exige un mínimo de 36 tomacorrientes (también grado hospitalario). La ubicación física de estos tomacorrientes debe quedar disponible dentro de la zona de atención al paciente, definido como el espacio que se extiende 1.8 m (6 ft) alrededor de la ubicación normal de la cama/silla/mesa del paciente y hasta 2.3 m (7 ft 6 in) de altura; dentro de ese entorno, la distribución exacta (cabecera, laterales, columnas, colgantes, etc.) debe ajustarse al equipamiento biomédico real y al flujo clínico del área, sin bajar del mínimo normativo ni sacrificar accesibilidad. Finalmente, la norma busca continuidad mínima en el entorno del paciente, por eso típicamente exige al menos dos circuitos derivados para la ubicación de cama (uno desde el sistema normal y otro desde el sistema esencial/emergencia, según aplique).

- **Sistema Eléctrico Esencial (EES) y sus ramas.** El NEC 517 estructura el Sistema Eléctrico Esencial como la parte del sistema que debe sostener funciones críticas cuando falla la fuente normal, organizándolo en ramas con propósito distinto (por ejemplo, seguridad de vida, crítica y de equipos), con transferencia automática y con límites sobre qué cargas pueden conectarse a cada rama; esto evita mezclas que comprometan la continuidad y permite priorizar la atención clínica y la seguridad.

4.2.3 Clasificación de áreas según NEC 517

NEC 2008 define las áreas de atención al paciente y las clasifica en al menos:

- **Áreas de Atención General:** dormitorios de pacientes, cuartos de examen, tratamiento, clínicas y similares donde el paciente entra en contacto con aparatos ordinarios (cama eléctrica, lámparas de examen.)
- **Áreas de Cuidados Críticos:** unidades especiales, UCI, coronaria, laboratorios de angiografía/cateterismo, sala de parto, quirófanos y áreas similares donde hay procedimientos invasivos y uso de equipos electromédicos conectados a línea.
- **Ubicaciones de procedimientos húmedos:** espacios dentro de áreas de atención donde el procedimiento ocurre bajo condiciones “normalmente húmedas” con el paciente presente (no confundir con limpieza o derrames incidentales).

4.2.4 Requisitos de puesta a tierra y canalización en áreas de atención al paciente (NEC 517.13)

Uno de los aspectos más sensibles del NEC 517 en hospitales es el tratamiento del trayecto efectivo de corriente de falla a tierra en áreas de atención al paciente porque de este depende que, ante una falla, las protecciones operen correctamente y se reduzcan riesgos eléctricos en

el entorno clínico. En este sentido, el NEC 517.13 establece un enfoque que suele describirse como redundancia o doble vía de puesta a tierra: no se limita a exigir un conductor de puesta a tierra de cable, sino que busca asegurar un trayecto de falla robusto y de baja impedancia mediante la combinación de

- Un método de alambrado que proporcione una vía metálica continua
- Un conductor de puesta a tierra aislado instalado junto a los conductores del circuito derivado.

En el componente correspondiente al método de alambrado (NEC 517.13(A)), el requisito se orienta a que los circuitos derivados que sirven áreas de atención al paciente dispongan de un trayecto efectivo de falla a tierra mediante su instalación en un sistema de canalización metálica o en un cable con armadura o chaqueta metálica, de modo que esa envolvente metálica califique como conductor de puesta a tierra del equipo según los criterios del propio NEC (referencias típicas a los requisitos de los conductores de puesta a tierra del equipo). En la práctica hospitalaria, esta exigencia se traduce en que las cajas metálicas, accesorios, uniones y continuidad mecánica del sistema de canalización dejan de ser “detalles de instalación” y pasan a ser elementos funcionales del sistema de seguridad: una canalización metálica interrumpida, una unión deficiente o una sección reemplazada por un método no compatible puede degradar el trayecto de falla y afectar el comportamiento de protecciones, precisamente en áreas donde el riesgo es más crítico.

El segundo componente, correspondiente al conductor de puesta a tierra aislado (NEC 517.13(B)), exige que determinados elementos (por ejemplo, el contacto de puesta a tierra de los tomacorrientes en áreas de atención al paciente, entre otros) estén conectados

directamente a un conductor de cobre aislado, identificado en verde a lo largo de su longitud, e instalado con los conductores del circuito dentro del método de alambrado permitido por 517.13(A). Esta exigencia refuerza la intención del artículo: aun si existiera una deficiencia en la continuidad de la canalización metálica (por error de instalación, intervención posterior o deterioro), se mantiene una vía eléctrica adicional para la falla. Por eso, a nivel conceptual, 517.13 se entiende como una medida para no depender de una sola vía de retorno, sino asegurar dos medios complementarios de puesta a tierra del equipo en el entorno de atención.

Además de lo anterior, el NEC incorpora requisitos de coherencia y equipotencialidad cuando en una misma zona clínica se alimentan cargas desde fuentes distintas (normal y esencial). En particular, existe un requerimiento específico (tratado en NEC 517.14) que exige que las barras de puesta a tierra (terminales/buses de tierra) de los tableros de circuitos derivados normal y esencial que sirven la misma zona de atención al paciente estén bondiadas (interconectadas) entre sí. La intención técnica de esta medida es reducir la posibilidad de diferencias de potencial entre equipos o tomacorrientes que, aunque estén alimentados por fuentes diferentes, se utilizan en el mismo entorno inmediato del paciente; así se favorece una referencia más consistente y se disminuye el riesgo asociado a variaciones de potencial entre masas metálicas accesibles en la zona clínica.

Desde el punto de vista del diagnóstico del contexto hospitalario salvadoreño, estos requisitos suelen presentar brechas por dos razones recurrentes:

intervenciones y ampliaciones por etapas que modifican canalizaciones, cajas o derivaciones sin preservar continuidad metálica o sin mantener el conductor de tierra aislado conforme la intención del artículo

arquitecturas de distribución donde el sistema normal y el sistema esencial existen, pero no se mantiene una trazabilidad y coherencia física/documental que permita confirmar que ambos sistemas, al converger en una misma zona de atención, quedan correctamente bondiados en sus barras de tierra.

El diagnóstico puede estructurarse como verificación de tres evidencias fundamentales:

primero, la evidencia de que los circuitos que sirven áreas de atención al paciente utilizan métodos de alambrado compatibles con un trayecto efectivo de falla (integridad de canalización metálica/armadura, continuidad de cajas y accesorios, y ausencia de sustituciones que degraden esa función).

Segundo, la evidencia de que existe y está correctamente instalado un conductor de cobre aislado para puesta a tierra del equipo conforme al enfoque de 517.13 (es decir, que no se depende únicamente de la canalización como retorno)

Tercero, la evidencia de que, cuando se alimenta una misma zona clínica desde tableros de circuito derivado normal y esencial, las barras de tierra de dichos tableros se encuentran interconectadas conforme al criterio de bonding asociado a 517.14.

Finalmente, es importante dejar claro que el propósito de estos requisitos no es “aumentar materiales” por sí mismo, sino asegurar que el hospital tenga una base de seguridad eléctrica robusta en el entorno de atención: un trayecto de falla efectivo favorece la operación oportuna de las protecciones y limita condiciones peligrosas, mientras que el bonding entre tableros normal y esencial en la misma zona clínica contribuye a mantener referencias de potencial consistentes cuando conviven múltiples fuentes de alimentación dentro del mismo espacio de atención.

4.2.5 Requisitos de tomacorrientes y alimentación en ubicaciones de cama (NEC 517.18 y 517.19)

El NEC 517 aborda de forma explícita el entorno donde más se concentra el uso de equipos biomédicos: la ubicación de cama dentro de áreas de atención al paciente. La intención normativa es doble:

asegurar disponibilidad suficiente de puntos de conexión para equipos clínicos sin depender de extensiones o multitomas como solución permanente

asegurar continuidad y seguridad mediante la separación de alimentación entre sistema normal y sistema de emergencia (en particular, la rama crítica del sistema esencial), de forma que la atención no quede condicionada a una sola fuente. Esta lógica se aplica en el entorno clínico inmediato, definido alrededor de la cama/silla/mesa del paciente (6 ft alrededor y 7 ft 6 in en altura), porque es precisamente allí donde el personal conecta y opera equipos durante el cuidado.

En áreas de cuidado general (NEC 517.18), el código establece que cada ubicación de cama debe ser alimentada por al menos dos circuitos derivados, uno proveniente del sistema de emergencia y otro del sistema normal, para que exista disponibilidad básica desde dos fuentes y se evite que una sola contingencia deje sin energía el entorno de atención. En cuanto a tomacorrientes, la exigencia mínima tradicional del NEC para cuidado general es un mínimo de cuatro receptáculos por ubicación de cama (equivalente a dos dúplex), y deben ser listados como “grado hospitalario” e identificados como tales; además, el terminal de puesta a tierra del receptáculo se vincula a un conductor de puesta a tierra del equipo de cobre aislado (dimensionado según la tabla aplicable de conductores de protección).



Figura 39 Cama en zona de cuidado general alimentada por dos circuitos derivados, sistema de emergencia y sistema normal

En áreas de cuidado crítico (NEC 517.19), la norma eleva el estándar porque la densidad de equipos y la criticidad clínica son mayores (UCI, recuperación, emergencias críticas, etc.). En esta condición, la ubicación de cama debe contar igualmente con alimentación desde sistema normal y sistema de emergencia, pero con un enfoque más exigente en continuidad. Respecto a tomacorrientes, el requisito mínimo histórico del NEC (en el marco de referencia tradicional previo a incrementos posteriores en ediciones más recientes) establece un mínimo de seis receptáculos por ubicación de cama, todos grado hospitalario e identificados; adicionalmente, el criterio normativo incorpora la idea de diversidad de suministro (por ejemplo, que al menos un punto quede asociado al normal o a una transferencia distinta), para evitar que una única condición de falla o una sola transferencia concentre todo el riesgo operativo en el mismo entorno del paciente.

La norma fija mínimos, pero la ubicación exacta y la cantidad final de tomacorrientes en la cabecera o en el entorno de cama deben responder al equipamiento clínico real y al flujo de trabajo del personal médico: no se distribuye igual una cama de hospitalización general que una cama en UCI con monitores, bombas de infusión, ventilación mecánica y equipos auxiliares. Esto significa que el diseño debe partir del mínimo exigido por el NEC y luego ajustarse a las necesidades específicas del servicio (y, en algunos casos, del equipamiento especializado que utilizará el área), manteniendo accesibilidad, orden y una clara identificación entre tomas de sistema normal y tomas asociadas al sistema esencial/emergencia cuando aplique.

Desde el punto de vista del diagnóstico normativo en campo, este apartado se documenta contrastando tres evidencias:

cantidad real de receptáculos por ubicación de cama y su correspondencia con el mínimo aplicable (cuidado general vs crítico), verificando además si la solución operativa del hospital depende de extensiones/multicontactos por insuficiencia de puntos

tipo y condición del receptáculo, confirmando que los puntos requeridos están listados como grado hospitalario y que se mantienen identificados, ya que esta condición no es estética, sino parte de la confiabilidad del punto de conexión en un entorno de uso intensivo

estructura de alimentación, verificando en tableros/unifilares que la ubicación de cama está efectivamente soportada por circuitos desde normal y emergencia, y que la identificación de tomas (normal vs emergencia) es clara y consistente para el personal, reduciendo errores operativos durante contingencias.

En síntesis, el aporte del NEC 517.18 y 517.19 al diagnóstico del contexto hospitalario salvadoreño es que convierte una necesidad clínica (“que siempre haya dónde conectar y que no se caiga lo esencial”) en requisitos verificables: mínimos de tomacorrientes, grado hospitalario, puesta a tierra del equipo asociada a conductor aislado, e independencia mínima de alimentación entre sistema normal y sistema de emergencia. Cuando estas condiciones no se cumplen, el hospital no solo incumple una referencia normativa adoptada, sino que incrementa su vulnerabilidad operativa en el punto más sensible del sistema: el entorno inmediato donde se sostiene la atención del paciente.

4.2.6 Sistema eléctrico esencial y ramas (Seguridad Humana, Equipos Críticos): qué exige NEC 517

En el NEC 2008, el Sistema Eléctrico Esencial se concibe como la parte del sistema de distribución que debe sostener funciones indispensables del hospital cuando se interrumpe la fuente normal, y por eso se organiza en ramas con propósitos distintos y con restricciones explícitas de carga. La lógica normativa es que la continuidad no se garantice por tener respaldo, sino por una arquitectura segregada (por tableros, circuitos y/o transferencias) que mantenga operativas primero las funciones de seguridad y atención clínica, evitando que cargas no autorizadas comprometan la capacidad disponible o provoquen fallas en cascada.

La Rama de Seguridad de Vida está diseñada para sostener condiciones mínimas de evacuación y respuesta a emergencias, y el NEC 2008 es muy estricto:

Indica que debe estar conectada a la fuente alterna de modo que todas las funciones especificadas se restauren automáticamente dentro de 10 segundos tras la interrupción de la fuente normal, y además establece que no puede conectarse ninguna función distinta a las

listadas en el propio artículo. En esa lista se incluyen, entre otras, la iluminación de medios de egreso (corredores, pasillos, escaleras y accesos a salidas), señales de salida, sistemas de alarma y alerta (incluyendo alarmas de incendio y alarmas asociadas a sistemas de gases médicos no inflamables), sistemas de comunicación para instrucciones en emergencia, iluminación de tarea y receptáculos seleccionados en salas de generador y transferencias esenciales, accesorios del generador necesarios para su desempeño, iluminación/control/comunicaciones de cabina de ascensor, y puertas automáticas usadas para egreso.

De forma complementaria, el NEC 2008 refuerza que esta rama debe mantenerse enteramente independiente del resto del cableado y equipos, con excepciones muy específicas (por ejemplo, dentro de transfer switches o luminarias alimentadas por dos fuentes), y exige además que los receptáculos alimentados por el sistema de emergencia sean fácilmente identificables mediante color distintivo o marcación. Este punto es importante para hospitales porque vincula la continuidad con la operación segura: no basta que el receptáculo tenga energía, también debe ser reconocible por el personal en condiciones de contingencia.

La Rama Crítica está orientada directamente a la atención al paciente y, por tanto, el NEC 2008 define que debe suministrar energía para iluminación de tarea, equipos fijos, receptáculos seleccionados y circuitos especiales relacionados con funciones clínicas. El texto del código lista de forma muy concreta los entornos y funciones que deben cubrirse, incluyendo (por ejemplo) áreas críticas con uso de gases anestésicos (iluminación, receptáculos seleccionados y equipo fijo), sistemas de potencia aislada en ambientes especiales, y un conjunto de áreas de atención como cuneros, preparación de medicamentos, dispensación de farmacia, estaciones de enfermería, salas de tratamiento de sala, entre otras;

además incorpora elementos como sistemas de llamado de enfermería, bancos de sangre/hueso/tejidos, cuartos de equipos telefónicos, y extiende cobertura a circuitos seleccionados para camas de cuidado general (al menos un dúplex por habitación), laboratorios de angiografía, hemodiálisis, áreas seleccionadas de emergencia, unidades de cuidados intensivos y recuperación postoperatoria, entre otros. El NEC también permite subdividir esta rama y advierte (mediante nota informativa) que debe analizarse el riesgo de alimentar un área solo con rama crítica si ocurre una falla entre el área y el transfer switch, sugiriendo que a veces conviene una proporción de normal + crítica o incluso crítica desde transferencias separadas.

La Rama de Equipos se orienta a sostener equipos e infraestructura de soporte necesarios para mantener funciones hospitalarias durante la contingencia, pero con una prioridad posterior a seguridad de vida y rama crítica. El NEC 2008 establece que esta rama debe conectarse a la fuente alterna para que el equipo definido se restaure automáticamente con intervalos de retardo apropiados después de energizar el sistema de emergencia (es decir, admite transferencia diferida), e incluye listas de cargas permitidas para conexión automática diferida (por ejemplo, succión central, aire comprimido para funciones médicas y quirúrgicas, bombas y equipos necesarios para seguridad de aparatos mayores, sistemas de control de humo y presurización de escaleras, y una variedad de sistemas de ventilación/extracción para salas de aislamiento, ambientes de protección, campanas de laboratorio, áreas de medicina nuclear, evacuación de óxido de etileno y evacuación de anestesia, así como ventilación para salas de operaciones y parto). También contempla excepciones y secuenciación para evitar sobrecarga del generador cuando estudios de ingeniería lo justifiquen.

En cuanto a la fuente de energía, el NEC 2008 establece como requisito estructural que los sistemas eléctricos esenciales tengan al menos dos fuentes independientes: una fuente normal que generalmente alimenta la totalidad del sistema, y una o más fuentes alternas para uso cuando la normal se interrumpe. Esto amarra el concepto de “respaldo” a un criterio normativo de continuidad: la presencia de una fuente alterna debe estar integrada en un esquema de distribución esencial, no como un agregado desconectado del diseño por ramas.

4.3 Brechas entre IEEE 602 y la realidad salvadoreña

4.3.1 Requisitos técnicos no implementados (brecha de arquitectura y desempeño)

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 cual es frágil ante rotación de personal, emergencias y fallas simultáneas.

4.3.2 Brechas por presupuesto y modelo de inversión pública

En hospitales públicos, el presupuesto no actúa únicamente como límite de recursos, sino como un mecanismo que define el tipo de solución que se puede ejecutar. La normativa hospitalaria (por ejemplo, el enfoque del NEC 517) estructura exigencias según función clínica y criticidad: separar lo esencial de lo no esencial, sostener continuidad en áreas críticas, asegurar condiciones específicas de puesta a tierra y canalización en entornos de atención, y garantizar que el sistema esencial opere de forma confiable. Sin embargo, el modelo de inversión pública, en términos generales, se organiza con frecuencia por partidas y proyectos (obra civil, reposición de equipos, mantenimiento correctivo) y por ciclos presupuestarios anuales, lo cual tiende a priorizar intervenciones que son rápidas, visibles y justificables como reparación. Esta estructura empuja a soluciones parciales: se reemplaza un tablero dañado, se cambia un interruptor, se “extiende” un circuito, se instala un equipo puntual; pero se posterga la inversión que realmente cierra la brecha normativa hospitalaria, porque esa inversión es sistémica, menos visible y requiere planificación integral (por ejemplo, segregación completa del sistema esencial por ramas, reorganización de alimentadores, rutas de canalización compatibles con áreas clínicas, fortalecimiento global de la puesta a tierra, coordinación/selectividad de protecciones y actualización documental).

La brecha se vuelve estructural cuando el hospital crece por etapas y la inversión se ejecuta como una suma de parches técnicos sin un rediseño de arquitectura. En un hospital, el problema no es solo agregar carga, sino agregar carga en entornos donde la continuidad es parte del requisito clínico. Cuando el financiamiento se concentra en atender fallas (mantenimiento correctivo) o en ampliar servicios sin reconfigurar la distribución, el sistema termina acumulando condiciones típicas: tableros saturados, circuitos críticos mezclados con

no críticos, ausencia de separación clara normal/emergencia, dependencia de rutas improvisadas, y aumento de vulnerabilidad a fallas internas (disparos no selectivos, caídas por sobrecarga en respaldo, interrupciones amplias por fallas locales). En ese escenario, el cumplimiento se vuelve por componentes (se cambió tal tablero, se instaló tal generador, se reparó tal circuito), pero el desempeño hospitalario queda débil, porque lo que define la continuidad no es un componente aislado sino la coherencia del sistema.

Además, el esquema de ejecución por proyectos suele traer una consecuencia técnica silenciosa: la documentación y el control de cambios no maduran al ritmo de las intervenciones. En instalaciones críticas, cada ampliación o reparación debería reflejarse en unifilares actualizados, rotulación consistente, trazabilidad carga–circuito–tablero–fuente y criterios claros de qué pertenece al sistema esencial. Cuando la inversión está fragmentada, es común que cada intervención cierre “su” alcance (lo que se contrató) sin garantizar que el hospital conserve una visión integral del sistema eléctrico. Esto incrementa el riesgo operativo: ante una emergencia real, la continuidad puede depender del conocimiento informal del personal (sabemos qué breaker es) en vez de una arquitectura verificable, lo cual es frágil ante rotación de personal, auditorías, o eventos simultáneos.

4.3.3 Sistemas de emergencia con fallas

En el enfoque hospitalario, la continuidad eléctrica no se garantiza únicamente por la existencia de un generador, sino por el funcionamiento integral del sistema esencial como un conjunto organizado y verificable: debe estar claramente definido qué cargas respalda, cómo se priorizan según su impacto clínico, cómo se realiza la transferencia ante la pérdida de la fuente normal y qué cargas quedan restringidas para no comprometer la capacidad disponible durante una contingencia. En la práctica, esta brecha se evidencia cuando el sistema de

emergencia existe “como instalación” (generador, transferencias, tableros), pero falla “como desempeño”: cargas críticas pueden quedar fuera del respaldo por conexiones incorrectas o por falta de segregación; se incorporan cargas no esenciales al sistema de emergencia, provocando sobrecargas y caídas del generador; la transferencia puede ser incompleta o inestable (energiza parcialmente o dispara protecciones); no existe secuenciación de cargas para controlar picos de arranque; y, especialmente, no hay una verificación funcional periódica que confirme que el sistema responde con estabilidad y prioridad bajo condiciones reales de operación. Como resultado, el sistema esencial puede cumplir con “estar presente”, pero no necesariamente con sostener la continuidad clínica cuando más se necesita.

En estos casos, se puede utilizar o implementar una estrategia de respaldo por criticidad para convertir el sistema de emergencia en un sistema controlado y demostrable, mediante:

- La elaboración de un listado formal de cargas esenciales permitidas por rama y por área (seguridad de vida, crítica y de equipos), con trazabilidad carga/circuito/tablero/fuente.
- La segregación efectiva del respaldo mediante tableros y circuitos críticos dedicados, evitando mezclas con cargas no esenciales
- El control de cargas no esenciales mediante reglas operativas claras y, cuando aplique, desconexión por prioridad para proteger la capacidad del generador.
- La ejecución de pruebas funcionales documentadas de transferencia y operación bajo carga (arranque, transferencia, estabilidad, secuenciación y retorno), con bitácoras y cierre de hallazgos, de modo que la continuidad deje de depender del “supuesto” de que el generador responderá y pase a ser una condición priorizada, verificable y auditable.

4.3.4 Falta de pruebas, mantenimiento y estudios (brecha operativa y de gestión técnica)

Esta brecha se manifiesta, primero, por la ausencia de pruebas funcionales planificadas del sistema esencial: puede existir generador y ATS, pero no se comprueba periódicamente si la transferencia ocurre de forma completa, estable y con las cargas críticas realmente energizadas. En eventos reales, esto se traduce en fallas típicas como transferencias incompletas, tableros críticos que no quedan respaldados, disparos de protecciones durante la transición o caída del generador por sobrecarga al conectarse cargas no esenciales sin control. En segundo lugar, la falta de mantenimiento preventivo favorece la acumulación de degradación silenciosa: conexiones flojas en tableros, recalentamientos, deterioro de contactos en transferencias, fallas en baterías/cargadores, intervenciones en canalizaciones y empalmes sin control, o pérdida de selectividad (una falla menor provoca apagones extensos). Finalmente, la ausencia de documentación técnica actualizada, rotulación por fuente y criticidad, listas de cargas respaldadas y bitácoras) vuelve al sistema poco gestionable y poco auditable: la continuidad depende del conocimiento informal del personal, lo que es frágil ante cambios de personal y ante emergencias.

A lo anterior se suma la falta de estudios técnicos que acompañen la evolución real del hospital. Las cargas crecen por incorporación de equipos biomédicos, ampliaciones y cambios de uso de áreas; si no se revisa periódicamente la relación demanda–capacidad, la coordinación/selectividad de protecciones, caídas de tensión y condiciones que afectan desempeño (picos, transitorios, cargas no lineales), el sistema opera con márgenes desconocidos. Esto incrementa la probabilidad de disparos repetitivos, interrupciones amplias por fallas puntuales y perturbaciones que afectan equipos sensibles, comprometiendo continuidad clínica.

En estos casos se puede implementar un Programa Mínimo de Gestión de Confiabilidad Eléctrica Hospitalaria compuesto por:

- Pruebas funcionales periódicas del sistema esencial (arranque, transferencia, estabilidad bajo carga, secuenciación y retorno)
- Mantenimiento preventivo documentado para generador, transferencias, tableros y conexiones (listas de verificación, corrección y seguimiento de hallazgos)
- Estudios técnicos básicos y recurrentes (inventario de cargas, crecimiento y capacidad, coordinación/selectividad en puntos críticos y verificación de condiciones eléctricas en alimentadores clave), complementado con un control de cambios que obligue a actualizar unifilares, rotulación y la lista de cargas respaldadas ante cualquier modificación.

Indicadores verificables sugeridos (para evidenciar cumplimiento y avance):

1. Existencia de bitácoras de pruebas de transferencia y operación bajo carga (con fechas, resultados y acciones correctivas).
2. Porcentaje de tableros y circuitos críticos rotulados por fuente (normal/emergencia) y por criticidad (seguridad de vida/crítica/equipos).
3. Unifilar actualizado y firmado, con matriz carga–circuito–tablero–fuente para cargas críticas.
4. Registro de mantenimiento preventivo del generador, ATS y tableros críticos
5. Evidencia de al menos un estudio técnico básico anual (capacidad vs demanda, revisión de crecimiento de carga y revisión de selectividad/coordinación en puntos críticos).

6. Registro de eventos: reducción de interrupciones no planificadas en áreas críticas y disminución de fallas repetitivas asociadas a transferencia o protecciones.

CAPÍTULO V. NORMA TÉCNICA PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS EN ESTABLECIMIENTOS HOSPITALARIOS DE EL SALVADOR

En los establecimientos hospitalarios, la continuidad y estabilidad del suministro eléctrico constituye un factor crítico para la seguridad del paciente y la operación clínica, debido a la alta dependencia de equipos biomédicos y procesos asistenciales sensibles a interrupciones, microcortes, variaciones de tensión y fallas de transferencia. En este contexto, una falla eléctrica trasciende la afectación material y puede comprometer funciones asociadas a soporte vital, monitoreo continuo, procedimientos invasivos y sistemas de seguridad de vida, lo que exige criterios superiores de confiabilidad, coordinación operativa y control del riesgo.

Si bien el marco normativo aplicable se apoya en códigos y normas reconocidas, en la práctica persisten brechas entre el cumplimiento mínimo de instalación y el desempeño real del sistema durante contingencias, particularmente en el mantenimiento preventivo de grupos electrógenos, la verificación funcional de la transferencia automática (ATS), la disponibilidad y condición operativa de UPS para cargas sensibles, y la trazabilidad documental de cargas críticas y circuitos esenciales. Por ello, se propone una adaptación técnica al contexto salvadoreño basada en lineamientos esenciales de la IEEE Std 602-2007 (White Book), priorizando áreas críticas y estableciendo requisitos verificables orientados a desempeño (pruebas, bitácoras y mantenimiento documentado), como instrumento complementario para fortalecer la continuidad y seguridad eléctrica hospitalaria mediante una implementación gradual.

Capítulo I. Disposiciones generales

Artículo 1. Objeto: la presente Norma Técnica establece los requisitos técnicos mínimos y los criterios de desempeño para 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, con énfasis en:

- a) Sistema de alimentación normal.
- b) Sistema eléctrico esencial.
- c) Sistema de energía de emergencia.
- d) Verificación funcional por pruebas y evidencias documentales.

Artículo 2. Finalidad:

- a) Continuidad del suministro eléctrico para cargas críticas asociadas a seguridad del paciente y soporte vital.
- b) Reducción de interrupciones eléctricas por fallas localizadas.
- c) Mitigación de riesgos eléctricos en áreas de atención al paciente.
- d) Trazabilidad técnica y operativa del sistema.

Artículo 3. Ámbito de aplicación:

- a) Hospitales nacionales, regionales, departamentales, especializados y privados.
- b) Establecimientos con procedimientos invasivos, cirugía, UCI/UCIN, emergencias, recuperación post anestesia, hemodinamia, diálisis u otros servicios con cargas críticas.
- c) Proyectos nuevos, ampliaciones, remodelaciones y adecuaciones.

Artículo 4. Carácter y jerarquía técnica:

La presente Norma es una propuesta técnica de referencia nacional para elevar el desempeño y confiabilidad de instalaciones hospitalarias.

Su aplicación se entiende complementaria a los códigos y normas eléctricas vigentes adoptadas en el país.

En caso de conflicto, prevalecerá la normativa obligatoria aplicable, esta norma se empleará como criterio de mejora y verificación de desempeño.

Artículo 5. Principios rectores

La implementación de esta Norma se regirá por:

- a) Prioridad clínica por criticidad.
- b) Continuidad operativa verificable.
- c) Gestión eficiente de cargas.
- d) Reducción de punto único de falla en áreas críticas.
- e) Mejora gradual por fases conforme capacidad del establecimiento.

Capítulo II. Definiciones, siglas y clasificaciones

Artículo 6. Definiciones mínimas

Para efectos de esta Norma, se entenderá por:

Sistema de Alimentación Normal (SAN): suministro principal proveniente de la red o fuente primaria autorizada.

Sistema Eléctrico Esencial (SEE): subconjunto del sistema hospitalario destinado a alimentar cargas críticas y de seguridad durante contingencias.

Sistema de Energía de Emergencia (SEEm): conjunto de fuentes alternas (generador, UPS, bancos) y transferencia que suministra energía al SEE cuando falla el SAN.

ATS: interruptor de transferencia automática que conmuta Sistema esencial y sistema de emergencia.

UPS: sistema de alimentación ininterrumpida para continuidad instantánea.

Cargas críticas: cargas cuyo fallo puede comprometer vida, seguridad del paciente o continuidad clínica.

Prueba funcional: ensayo controlado que verifica comportamiento real del sistema.

Bitácora: registro formal de pruebas, hallazgos y acciones correctivas.

Artículo 7. Clasificación de áreas por criticidad

Todo establecimiento deberá clasificar sus áreas, como mínimo, en:

- 1. Áreas Críticas (AC):** quirófanos, UCI/UCIN, emergencias con reanimación, recuperación post anestesia, procedimientos invasivos, hemodinamia y áreas análogas.
- 2. Áreas Clínicas Generales (AG):** hospitalización general, consulta, observación no crítica, curaciones.
- 3. Áreas de Soporte (AS):** cocina, lavandería, administración, bodegas, talleres, parqueos, etc.

Artículo 8. Clasificación de cargas

Las cargas deberán clasificarse en:

- a) **Clase 1 No tolera interrupción:** soporte vital, monitoreo crítico, TIC clínica crítica, equipos que no admiten microcorte.
- b) **Clase 2 Tolerancia limitada:** cargas clínicas críticas que admiten transferencia automática dentro del tiempo definido.
- c) **Clase 3 Seguridad de vida:** iluminación de emergencia, alarmas, señalización de evacuación, sistemas de comunicación de emergencia.
- d) **Clase 4 Equipos y soporte clínico:** bombas, sistemas esenciales de HVAC clínico, compresores esenciales, gases médicos asociados, según criticidad.
- e) **Clase 5 No esencial:** cargas diferibles o desconectables en emergencia.

Capítulo III. Requisitos del sistema de alimentación normal (san)

Artículo 9. Requisitos de capacidad y estabilidad:

1. El SAN deberá dimensionarse para la demanda real y crecimiento razonable, evitando operación permanente en sobrecarga.
2. Se deberá procurar balance de cargas por fase y distribución adecuada por tableros/áreas.

3. Se deberá promover coordinación funcional de protecciones a fin de minimizar salidas generales por fallas locales, buscando que actúe el dispositivo más cercano al punto de falla, según el diseño de ingeniería aplicable.

Artículo 10. Segregación y ordenamiento:

1. Se recomienda segregación física/funcional entre tableros del SAN y tableros del SEE/SEEm, de modo que mantenimientos o fallas en el SAN no comprometan la continuidad del sistema esencial.
2. Se deberá implementar identificación y rotulación duradera de tableros, alimentadores, circuitos y tomacorrientes esenciales, asegurando que el personal técnico y clínico pueda reconocer con claridad las fuentes disponibles en contingencia.

Artículo 11. Protección contra sobretensiones y disturbios:

1. Para áreas con equipos sensibles, se recomienda protección contra sobretensiones transitorias (SPD) en niveles: principal–distribución–carga sensible, seleccionada por el diseño de ingeniería correspondiente.
2. Se recomienda evaluar disturbios asociados a cargas no lineales (UPS de gran capacidad, variadores) cuando existan indicios de calentamiento, disparos atípicos o fallas repetitivas, a fin de aplicar mitigaciones compatibles con el sistema existente.

Capítulo IV. Sistema eléctrico esencial (see)

Artículo 12. Conformación mínima del SEE:

El SEE deberá estructurarse en ramas o subsistemas que permitan:

- a) Mantener cargas de seguridad de vida.
- b) Mantener cargas clínicas críticas.
- c) Alimentar equipos esenciales para continuidad del servicio.

Artículo 13. Distribución del SEE por criticidad:

- 1. Se deberán establecer tableros del SEE con prioridad para Áreas Críticas (AC).
- 2. Se recomienda que cada AC cuente con circuitos dedicados o tableros por sector, cuando sea viable, con el fin de limitar el impacto de fallas y facilitar mantenimiento sin interrumpir otras áreas críticas.

Artículo 14. Tomacorrientes esenciales y codificación:

- 1. Se deberá identificar tomacorrientes del SEE en áreas clínicas con marcación visible y permanente.
- 2. Se recomienda codificación por color o placa identificadora consistente en todo el hospital, evitando criterios improvisados por área, a fin de disminuir errores durante contingencias.

Artículo 15. Continuidad para cargas Clase 1:

Las cargas Clase 1 deberán contar con continuidad instantánea mediante UPS, o solución técnica equivalente, garantizando operación sin interrupción perceptible durante transferencia, siempre que el diseño y operación del equipo lo requiera.

Capítulo V. Sistema de energía de emergencia (seem)

Artículo 16. Fuente alterna principal:

1. El establecimiento deberá disponer de fuente alterna capaz de abastecer el SEE durante pérdida del SAN.
2. La fuente alterna principal estará compuesta, preferentemente, por:
 - a) Generador del grupo electrógeno con capacidad para las cargas priorizadas.
 - b) UPS para cargas Clase 1 o cargas sensibles que no admiten interrupción.

Artículo 17. Requisitos mínimos del generador:

El generador deberá contar con:

- a) Sistema de arranque automático.
- b) Tablero de control con monitoreo de alarmas críticas.
- c) Sistema de carga de baterías operativo.
- d) Capacidad y autonomía de combustible conforme al plan del establecimiento y su nivel de criticidad clínica.
- e) Plan de mantenimiento preventivo documentado.

Artículo 18. Transferencia automática (ATS):

1. Toda rama del SEE deberá transferirse mediante ATS, salvo cargas UPS dedicadas con continuidad propia.
2. Los ATS deberán estar accesibles para inspección, contar con identificación y permitir verificación del estado de operación (normal-emergencia), conforme a las condiciones del equipo.

Artículo 19. Estabilidad post transferencia:

Tras la transferencia a SEEm, el sistema deberá mantener condiciones operativas que permitan alimentar cargas esenciales priorizadas, procurando:

- a) Tensión estable para operación clínica,
- b) Frecuencia adecuada,
- c) Disminución de disparos masivos recurrentes, mediante diseño, coordinación y gestión de cargas.

Artículo 20. Secuencia miento y deslastre

1. Se recomienda implementar carga secuencial de motores esenciales para evitar colapso por arranques simultáneos.
2. Se recomienda deslastre de cargas Clase 5 durante contingencia, mediante lógica de control, tableros dedicados o procedimientos operativos documentados, para asegurar prioridad a cargas clínicas.

Artículo 21. UPS

1. La UPS deberá dimensionarse para cargas Clase 1 y continuidad durante transferencia, con margen operativo acorde al nivel de criticidad.
2. Se deberá disponer de bypass funcional, monitoreo de baterías y alarmas, procedimiento de prueba de autonomía y registro de cambios de baterías, de forma que la UPS mantenga confiabilidad durante su ciclo de vida.

Capítulo VI. Seguridad eléctrica en áreas de atención al paciente

Artículo 22. Principio de protección del paciente:

En áreas clínicas y principalmente en AC, los sistemas deberán minimizar riesgos asociados a corrientes de fuga, fallas a tierra, equipotencialidad deficiente y conexiones deterioradas, estableciendo medidas de verificación y mantenimiento que aseguren condiciones de operación seguras.

Artículo 23. Puesta a tierra y continuidad del conductor de protección

1. Se deberá asegurar continuidad del conductor de protección (PE) en circuitos del SEE y circuitos clínicos relevantes.
2. Se deberá implementar verificación periódica documentada de continuidad y puntos críticos, vinculando hallazgos con acciones correctivas cerradas.

Artículo 24. Equipotencialidad suplementaria en áreas críticas

Se recomienda equipotencialidad suplementaria en AC mediante conexión de elementos metálicos accesibles, masas de equipos fijos, canalizaciones metálicas pertinentes y puntos designados de equipotencialidad, de acuerdo con el diseño y prácticas hospitalarias aplicables.

Artículo 25. Sistemas aislados tipo IT

1. Se recomienda evaluar la implementación de sistemas de potencia aislada con monitor de aislamiento (LIM) en quirófanos, salas de procedimientos invasivos y áreas con riesgo elevado donde se requiera continuidad adicional.

2. El establecimiento deberá definir protocolo de respuesta ante alarmas de aislamiento, de modo que la alarma se convierta en acción técnica efectiva y no en una señal ignorada.

Capítulo VII. Verificación, pruebas, mantenimiento y evidencia documental

Artículo 26. Programa institucional de pruebas (PIP)

Todo establecimiento deberá contar con un Programa Institucional de Pruebas que incluya, como mínimo:

- a) Prueba funcional de ATS.
- b) Prueba de arranque y operación de generador.
- c) Prueba bajo carga (real o banco de carga).
- d) Verificación de UPS (alarmas, baterías, autonomía).
- e) Verificación de rotulación e identificación de circuitos esenciales.

Artículo 27. Frecuencias recomendadas mínimas

Sin perjuicio de la política interna del hospital, se recomiendan frecuencias mínimas:

- a) ATS: mensual.
- b) Generador: semanal o quincenal según criticidad.
- c) Generador bajo carga: trimestral o semestral.
- d) UPS: mensual y trimestral.
- e) Inspección visual de tableros esenciales: mensual.

Artículo 28. Bitácoras obligatorias:

1. Se deberán mantener bitácoras para pruebas ATS, pruebas de generador, pruebas UPS, eventos reales de transferencia de fallas y mantenimientos preventivos/correctivos.
2. Cada bitácora deberá incluir: fecha/hora, responsable, condiciones de prueba, resultados, hallazgos, acciones correctivas y evidencia, con trazabilidad hasta el cierre de la acción.

Artículo 29. Criterios de aceptación del SEEm:

Se considerará que el sistema de emergencia cumple desempeño mínimo cuando:

- a) transfiere y sostiene cargas esenciales priorizadas sin colapsos,
- b) no presenta disparos masivos recurrentes,
- c) existen bitácoras y mantenimiento al día,
- d) hay trazabilidad de cargas críticas (qué alimenta qué),
- e) los hallazgos de pruebas generan acciones correctivas cerradas y verificadas.

Art. 30. Mantenimiento preventivo mínimo del generador

Se deberá contar con plan mínimo que incluya inspección de baterías y cargador, revisión de fugas y niveles, cambio de filtros según horas de tiempo, revisión del

sistema de escape o ventilación por seguridad y prueba bajo carga programada, dejando evidencia documentada.

Artículo 31. Gestión de repuestos críticos

Se recomienda disponibilidad mínima de repuestos críticos asociados a continuidad: filtros, correas, sensores críticos, baterías de arranque, consumibles y elementos de control de ATS/UPS según disponibilidad local, evitando que una falla menor inmovilice el respaldo por tiempos prolongados.

Capítulo VIII. Documentación técnica y trazabilidad

Artículo 32. Planos y unifilares

El establecimiento deberá disponer de:

- a) unifilar general actualizado,
- b) unifilar del SEE/SEEm,
- c) diagrama de transferencia (ATS),
- d) identificación de tableros y rutas principales.

Artículo 33. Matriz de cargas críticas

Se deberá construir y mantener una **Matriz de Cargas Críticas**, que contenga:

- a) área, equipo, potencia estimada, clase de carga

- b) circuito, tablero, rama
- c) fuente (SAN/ATS/Generador/UPS)
- d) prioridad y condiciones de operación en emergencia.

Artículo 34. Procedimientos operativos

Se deberán contar con procedimientos documentados para pruebas ATS y generador, respuesta ante alarmas, operación en contingencia, deslastre manual si aplica y comunicación interna durante fallas, de modo que el desempeño del sistema no dependa únicamente de experiencia informal del personal.

Capítulo IX. Implementación por fases

Artículo 35. Enfoque de adecuación:

Los establecimientos existentes podrán adecuarse en fases para asegurar mejoras inmediatas en seguridad y continuidad, sin afectar la prestación del servicio clínico.

Artículo 36. Fase 1 Cumplimiento crítico mínimo:

Priorizar obligatoriamente:

- a) clasificación de áreas y cargas,
- b) Verificación de ATS (prueba funcional),
- c) Mantenimiento básico y prueba de generador
- d) UPS para cargas Clase 1 críticas identificadas.

e) Bitácoras y unifilar actualizado del SEE/SEEm.

Artículo 37. Fase 2 Confiabilidad y ordenamiento:

Implementar:

- a) Segregación y rotulación integral
- b) Reducción de puntos únicos de falla en AC (sectorización),
- c) Gestión de arranques y deslastre,
- d) SPD por niveles en áreas sensibles,
- e) Fortalecimiento de equipotencialidad en AC.

Artículo 38. Fase 3 Redundancia y modernización:

Recomendado:

- a) Redundancia de alimentaciones críticas donde sea viable,
- b) Mejora de rutas y canalizaciones,
- c) Sistemas aislados IT en quirófanos
- d) Monitoreo y registro de parámetros eléctricos en áreas críticas.

Capítulo X. Disposiciones finales

Art. 39. Responsables institucionales

El establecimiento deberá designar:

- a) responsable técnico eléctrico del SEE/SEEm,
- b) equipo de mantenimiento y respaldo,

c) responsable de bitácoras y documentación.

Art. 40. Auditoría interna y mejora continua

Se recomienda auditoría interna semestral del cumplimiento de pruebas, bitácoras, estado de equipos, trazabilidad de cargas críticas y cierre de acciones correctivas, generando un plan de mejora continua con responsables y fechas.

Art. 41. Vigencia y transición

Para fines de propuesta académica, se recomienda que la adopción institucional considere aplicación inmediata en proyectos nuevos y transición por fases en hospitales existentes conforme Art. 36–38.

ANEXOS NORMATIVOS

ANEXO A. FORMATO DE BITÁCORA DE PRUEBA ATS (TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA)

Código del formato: NT-SEH/ES-ATS-BIT-01

Establecimiento	_____
Ubicación / Área	_____
Fecha	___/___/___
Hora inicio	_____
Hora fin	_____
Responsable de prueba (Nombre / Cargo)	_____
Personal de apoyo (si aplica)	_____

A. DATOS DE LA PRUEBA

Área / Rama	<input type="checkbox"/> Seguridad de vida <input type="checkbox"/> Crítica <input type="checkbox"/> Equipos
ATS identificado como	_____
Fuente normal (SAN)	_____
Fuente de emergencia (SEEm)	<input type="checkbox"/> Generador <input type="checkbox"/> UPS <input type="checkbox"/> Mixto
Condición de prueba	<input type="checkbox"/> Simulación pérdida SAN <input type="checkbox"/> Prueba programada <input type="checkbox"/> Evento real (describir):
Tipo de transferencia	<input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Manual controlada (si aplica)

B. TIEMPOS REGISTRADOS (MEDICIONES)

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

C. COMPORTAMIENTO OBSERVADO

Parámetros durante operación en emergencia (si aplica):

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

Alarmas / disparos / ruidos / calentamiento (describir):

D. VERIFICACIÓN DE CARGAS CRÍTICAS

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

1)

2)

3)

4)

5)

Cargas operaron correctamente: Sí No

E. HALLAZGOS Y ACCIONES CORRECTIVAS

Hallazgos identificados:

Acción correctiva requerida:

F. CIERRE

Responsable de ejecutar acción correctiva	
Fecha compromiso de cierre	___/___/___
Fecha de cierre	___/___/___
Evidencia adjunta (foto/lecturas)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Descripción:
Firma responsable de prueba	
Firma responsable de mantenimiento	

ANEXO B. CHECKLIST MENSUAL DEL GENERADOR (INSPECCIÓN Y PRUEBA)

Código del formato: NT-SEH/ES-GEN-CHK-01

Establecimiento	
Ubicación del generador	
ID/Modelo	_____
Fecha	___/___/___
Hora	
Responsable (Nombre / Cargo)	

LISTA DE VERIFICACIÓN

Ítem	Cumple (Sí/No)	Lectura / Observación	Acción correctiva (si aplica)
Baterías (estado/voltaje)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Cargador de baterías (operativo)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Nivel de aceite	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Nivel de coolant (refrigerante)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Fugas (combustible/aceite/coolant)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Alarmas activas en tablero de control	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Arranque automático	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Operación 10-15 min (sin carga o según política)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		

Registro de parámetros (V/Hz)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Estado de combustible (nivel/horas estimadas)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Estado de correas/mangueras (visual)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Sistema de escape/ventilación (visual)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
Limpieza general del área (sin obstrucciones)	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		

OBSERVACIONES GENERALES

Firma responsable	
Firma supervisor (si aplica)	

ANEXO C. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE ENERGÍA DE EMERGENCIA (SEEm)

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).
- Mantener operación en emergencia por el tiempo definido por el establecimiento (mínimo recomendado: 10-15 min).

3. RETORNO A OPERACIÓN NORMAL

- Retornar a SAN y verificar retransferencia controlada.
- Confirmar que no queden alarmas activas y que las cargas operen normalmente.
- Registrar cualquier disparo, alarma, comportamiento anómalo o carga que no restableció.

4. REGISTRO Y ACCIONES CORRECTIVAS

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

Evidencia adjunta	<input type="checkbox"/> Bitácora ATS <input type="checkbox"/> Checklist generador <input type="checkbox"/> Lecturas V/Hz <input type="checkbox"/> Fotos <input type="checkbox"/> Otros:
Firma responsable de prueba	
Firma responsable de mantenimiento	

CONCLUSIONES

- La continuidad del servicio eléctrico en hospitales no puede evaluarse únicamente por el cumplimiento de instalación, sino por el desempeño clínico asociado a la seguridad del paciente, ya que la criticidad de las cargas es la que realmente define la arquitectura del sistema y su forma de operar. Esto se sustenta en el enfoque desarrollado en el marco técnico comparativo (IEEE Std 602 como guía de confiabilidad y continuidad, y NEC 517 como requisitos funcionales del sistema esencial), y en la metodología aplicada de clasificación de cargas y áreas, donde se establece que las cargas con impacto directo en vida/atención no pueden depender del servicio general, sino de soluciones con continuidad verificable (ramas esenciales y respaldo inmediato mediante UPS). En consecuencia, las prioridades de inversión deben responder a esa criticidad: primero asegurar continuidad donde un fallo afecta al paciente, y luego escalar mejoras en cargas menos críticas, consolidando un sistema que se evalúa por resultados medibles (transferencia, autonomía, operación estable) y no solo por presencia de equipos o canalizaciones.
- En hospitales del contexto salvadoreño, el riesgo principal no es la ausencia de equipos como generador o ATS, sino la falta de ingeniería de integración del sistema, ya que un hospital puede contar con planta y aun así presentar fallas operativas (disparos masivos, sobrecargas, transferencias inestables o pérdida de cargas críticas) debido a la ausencia de segmentación por criticidad, la falta de coordinación entre protecciones y la inexistencia de una secuencia funcional bien definida entre ATS, generador, UPS. En este sentido, la continuidad y la confiabilidad dependen, principalmente, de la selectividad y coordinación de protecciones, la segregación de

cargas por ramas y por criticidad, el control de caídas de tensión en alimentadores críticos y la correcta coordinación de los equipos de respaldo, de manera que cualquier evento permanezca contenido y no se convierta en una interrupción general del hospital; además, la implementación de pruebas periódicas y criterios de verificación documentados registro de tiempos de arranque y transferencia, alarmas o eventos anómalos, cargas que no operaron según lo esperado y seguimiento de acciones correctivas confirma que el problema real en la práctica no radica en la disponibilidad de componentes, sino en su integración, operación y mantenimiento bajo un esquema estandarizado y verificable.

BIBLIOGRAFIA

- [1] IEEE. (2007). *IEEE recommended practice for electric systems in health care facilities (IEEE Std 602-2007)*. IEEE.
- [2] National Fire Protection Association. (2017). *National Electrical Code (NFPA 70)*. NFPA.
- [3] Farina, A. (2017, agosto). Distribución de la energía eléctrica en instalaciones de potencia. *Revista Ingeniería Eléctrica*, (323).
- [4] Editores. (2022). *Por qué elegir un monitor por impedancia en líneas aisladas hospitalarias*.
https://www.editores.com.ar/empresa/servelec/20220425_por_que_elegir_un_monitor_por_impedancia_en_lineas_aisladas_hospitalarias
- [5] AmcareMed. (s. f.). *Sistemas de llamada de enfermería: BUS/SCS, IP, y inalámbrico*.
<https://amcaremed.com/comprehensive-guide-medical-nurse-call-systems/?lang=es>
- [6] Casalima Group. (s. f.). *¿Qué es un tomacorriente hospitalario?*
<https://grupocasalima.com/blog/electricidad/que-es-un-tomacorriente-hospitalario/>
- [7] Circuito Eléctrico. (s. f.). *Conexión equipotencial: Qué es y normativa en baños*.
<https://circuitoelectrico.com/instalaciones-puesta-tierra/conductores-equipotencialidad/>
- [8] Circuito Eléctrico. (s. f.). *Interruptor automático (breaker): Curvas, tipos y selectividad*. <https://circuitoelectrico.com/elementos-proteccion-electrica/interruptor-automatico/>
- [9] 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/>
- [10] Ensys. (s. f.). *Conectores y puesta a tierra en sistemas eléctricos*.
https://ensys.pe/articulos/conector/conectores_1_tierra.html
- [11] Equipos y Laboratorio. (s. f.). *Seguridad eléctrica*.
<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/seguridad-elEctrica>