

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



**NORMAS Y ESTÁNDARES APLICADOS EN LATINOAMÉRICA
PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN
INFRAESTRUCTURAS HOSPITALARIAS Y SU FACTIBILIDAD DE
APLICACIÓN EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

ANDRÉS HOMAN ESCOLERO LÓPEZ

ELMER JOSÉ CAMPOS COLATO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

MSC. 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:

**NORMAS Y ESTÁNDARES APLICADOS EN LATINOAMÉRICA
PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN
INFRAESTRUCTURAS HOSPITALARIAS Y SU FACTIBILIDAD DE
APLICACIÓN EN EL SALVADOR**

Presentado por

ANDRÉS HOMAN ESCOLERO LÓPEZ
ELMER JOSÉ CAMPOS COLATO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor

ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA

SAN SALVADOR, SEPTIEMBRE 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, agradezco infinitamente a Dios por haberme dado la fuerza, determinación y la sabiduría para poder alcanzar este logro tan importante en mi vida, sin su ayuda escuchada en mis oraciones y las de mi madre nunca hubiese hecho posible lograr este sueño culminar mis estudios universitarios, estaré infinitamente agradecido con él.

Agradezco con mi alma y corazón a mi madre Dolores Marleny Lopez Hernández que no me soltó en todo momento en el camino rumbo a lograr este sueño, ella es igual o más merecedora de este logro tan importante gracias infinitas a mi amada madre que se sacrificó y luchó arduamente para que lograra este sueño.

Agradezco de igual manera a mis hermanos por el apoyo incondicional que me brindaron para lograr este sueño, en especial a mi hermana Mercedes Cristina Escolero Lopez que con su cariño y optimismo siempre me hacía creer que esto sería posible, además agradezco a mi hermano Daniel Alexander Lazo quien de igual manera sus palabras de ánimo y apoyo nunca me faltaron en esta travesía, les agradezco mucho.

Agradezco de igual manera a mi padre Andres Homan Escolero Fernández por haberme animado a salir adelante con este sueño y su consejo en muchas situaciones durante este proceso, le agradeceré siempre, y así también agradecer a mi abuela María Fernández a mis tíos Samuel Escolero y Salvador Fernández que también me brindaron mucho apoyo y amor desde mis inicios siempre les agradeceré con el corazón.

Agradezco a mis compañeros David Eliseo Batres Paiz y Elmer José Campos Calato, por permitirme compartir este viaje juntos, por esa amistad y paciencia que siempre me tuvieron durante todo este proceso, les agradeceré siempre su valiosa amistad y son mis amigos para toda la vida y así también agradecer a todos aquellos amigos y compañeros que en algún momento compartí con ellos alguna taza de café en la bonita FIA fue un placer coincidir en esta aventura.

Agradezco de la manera más especial a Reinita secretaria de la EIE quien siempre está para brindar una mano amiga y una ayuda sincera a todos aquellos que lo hemos necesitado, siempre le agradeceré de la manera más sincera y apreciada su gran ayuda con nosotros, Dios le multiplique su ayuda generosa.

Agradezco mucho a mi asesora de Tesis Ing. Ana María Figueroa, por todo su apoyo y gran esfuerzo dedicación y paciencia hacia nosotros, agradezco el tiempo de calidad que nos regaló en cada una de las reuniones cada uno de sus consejos y también de mucho valor de su gran conocimiento el haberlo compartido y plasmado en nuestro trabajo de graduación siempre le estaré muy agradecido, sin ella no hubiese sido posible culminar este bonito logro, mi admiración y agradecimiento siempre estará para una gran Ingeniera como ella que nos ha aportado cosas invaluable en nuestra formación Dios le multiplique toda su buena voluntad.

También agradezco mucho a cada uno de mis docentes que con su dedicación y pasión por la enseñanza nos brindaron conocimientos invaluable en nuestro camino académico, agradezco a los que se encuentran con nosotros en la EIE y a los que ya no se encuentran, infinitas gracias a todos ellos.

Y así también agradecer a todos aquellos que de manera directa o indirecta aportaron a que lograrse este sueño. Gracias.

Andres Lopez

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, agradecer a Dios por cuidarme en todo mi camino, por permitirme culminar mi carrera universitaria y darles la solvencia necesaria a mis padres para poder terminar mis estudios.

Quiero agradecer a mis padres Jose Elmer Campos y Mirna Roxana Colato de Campos, por el apoyo emocional y económico a pesar a de las dificultades del camino, sin ellos no fuera posible culminar mis estudios. Con su cariño y apoyo es que día tras día me prometía cumplir cada meta sin importar las dificultades.

Agradezco a mis hermanos Zary Abigail Campos y Rodrigo Fernando Campos por el apoyo incondicional en mi camino y por siempre estar ahí para mí.

A Scarlen Romero, Dios la puso en mi vida en el momento más importante, me animo a seguir adelante y me apoyó siempre en todo incluso desvelándose conmigo, agradezco por su compañía y nunca dejar de creer en mí.

A mi compañero de tesis Andrés Homan López, por todo ese trabajo y apoyo emocional que siempre me brindo, por todas las veces que nos reunimos y trabajamos hasta tarde, por la paciencia al explicarme cosas que no entendía. A mi compañero David Batres, por trabajar con nosotros en los grupos en las diferentes materias, siempre me apoyo en todas las actividades, es un amigo para toda la vida.

Le agradezco muy profundamente a mi tutora de tesis Ing. Ana María, por el apoyo, dedicación y paciencia, por todas las reuniones que tuvimos y darnos esos conocimientos y corregirnos siempre. De igual manera Agradecer a Reina Vides por el apoyo desde que llegamos a San Salvador en los primeros años de estudio hasta que culminamos nuestro trabajo de graduación, agradecer por los consejos que nos brindó y el seguimiento a nuestro proceso de graduación.

Elmer Campos

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, jueves 17 de julio de 2025, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 8:30 a.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 Interino


Firma



Firma



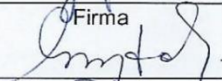
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

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


- ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA
(Docente Asesor)


Firma

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNÁNDEZ


Firma

- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

NORMAS Y ESTÁNDARES APLICADOS EN LATINOAMÉRICA PARA EL DISEÑO DE
INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN INFRAESTRUCTURAS HOSPITALARIAS Y SU
FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN EL SALVADOR

A cargo del Bachilleres:

- CAMPOS COLATO ELMER JOSÉ
- ESCOLERO LÓPEZ ANDRÉS HOMAN

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.0

(Nueve punto cero)

INDICE

Introducción.....	1
Objetivos	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
Alcance	3
Antecedentes	3
Planteamiento del problema	4
Justificación	5
Resultados Esperados.....	5
Documento final de trabajo de graduación	¡Error! Marcador no definido.
Capítulo #1: Riesgos eléctricos por considerar en instalaciones eléctricas hospitalarias.....	6
1.1 Daños a las Personas.....	7
1.1.1 Efectos Fisiológicos de la Corriente Eléctrica.....	7
1.1.2 Concepto de Macroshock	9
1.1.3 Concepto de Microshock.....	11
1.1.4 Equipos con Conexiones Eléctricas al Corazón que Hacen Susceptible al Paciente al Riesgo de Microshock.....	18
1.1.5 Circuitos Eléctricos Equivalentes de los casos anteriores de microshock.....	19
1.1.6 Riesgos de Quemaduras producidas por corriente eléctrica	22
1.1.7 Riesgos de Explosión por chispas o sobre cargas eléctricas.....	25
1.1.7 Riesgo de electrocución general	27
Capítulo #2: Normas y Estándares aplicados en Latinoamérica para el diseño de instalaciones eléctricas en infraestructura hospitalaria.....	29
2. Norma eléctricas para infraestructuras hospitalarias (IEC).....	29
2.1 Norma IEC-60364-7-710.....	29
2.1.1 Términos y Definiciones según norma IEC 60364	30
2.1.2 Definiciones de Grupo según norma IEC603464-7-710.....	31
2.1.3 Sistema IT médico (710.3.10).....	33
2.1.4 Tablero de distribución principal (710.3.11).....	33
2.1.5 Fuente eléctrica para servicios de seguridad (710.3.12).....	33
2.1.6 Sistema de localización de fallas de aislamiento (IFLS) (710.3.14).....	34
2.1.7 Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) (710.3.15).....	35
2.1.8 Evaluación de características generales (710.30).....	36
2.1.9 Tipos de puesta a tierra del sistema (710.312.2).....	36

2.1.10 Suministro General.....	37
2.1.11 Protección para seguridad - Protección contra choque eléctrico (710.41).	38
2.1.12 Otros requisitos para tomas de corriente y para el suministro de equipos móviles para uso en exteriores (710.411.3.3).	38
2.1.13 Sistemas de TI médicos (710.411.6.1.101).	40
2.2 Nomás eléctricas para infraestructuras hospitalarias (NEC).....	41
2.2.1 Artículo 517 para el cuidado de la salud.....	41
2.2.2 Cableado y protecciones en el sistema de salud.....	43
2.2.3 Protección de fallos a tierra en el área hospitalaria.	44
2.2.4 Área de cuidados críticos en el sistema hospitalario.	48
2.2.5 Ubicaciones con presencia de humedad.....	49
2.2.6 Sistema eléctrico esencial.....	50
2.2.7 Alumbrado Ramal Critico	52
2.2.8 Conexión de sistemas de equipos a la fuente alternativa de alimentación	54
2.2.9 Sistema eléctrico esencial de baja demanda.....	56
2.2.10 Ramal de Seguridad para la Vida en área hospitalarias.....	57
2.2.11 Conexión al Ramal Crítico	58
2.2.12 Espacios de seguridad en lugares de Aplicación de Anestesia	58
2.2.13 Sistema de alimentación de puesta a tierra en lugares de aplicación de anestesia.....	61
2.2.14 Rayos X	61
2.3 Nomás eléctricas para infraestructuras hospitalarias (NFPA 99).....	63
2.3.1 NFPA 99 health care facilities code.....	63
2.3.2 Categorías.	64
2.3.3 NFPA 99: sistema eléctrico (capítulo 6).....	64
2.3.4 Puestas a tierra	69
2.3.5 Generadores, transferencias y ramas de seguridad.....	72
2.3.6 Generador y Requisitos de Ubicación.....	74
2.3.7 Dispositivos de Retardo en el Arranque y la Transferencia	75
2.3.8 Enfriamiento del Generador y Pruebas de Transferencia	75
2.3.9 Requisitos para Interruptores de Transferencia Automática.....	76
2.3.10 Rama de Seguridad Vital.....	79
2.3.11 Ramal Crítico.....	80
2.3.12 Rama de Equipos	81
2.3.13 Requisitos de Cableado y Separación de Circuitos	82
2.3.14 Mantenimiento de equipos	84

2.3.15 Microrredes en Centros de Salud.....	85
2.3.16 EPSS “El Sistema de Suministro Eléctrico de Emergencia”	87
2.3.17 NFPA99: Capítulo 10 de la normativa “Equipo Eléctrico”	89
2. 4 Norma eléctricas para infraestructuras hospitalarias (NFPA 101).....	94
2.4.1 Luces de emergencia y señalización	94
2.4.2 Señalización de salida	96
2.4.3 Sistema de alarma contra incendios.....	99
2.4.4 Sistema de detección contra el humo.....	100
2.5 Norma eléctricas para infraestructuras hospitalarias (IEEE 602).....	102
2.5.1 Estándar IEEE 602 “Sistemas Eléctricos en Cuidado de la salud”.	102
2.5.2 Requerimientos de carga y gestión de energía	103
2.5.3 Demanda de iluminación:.....	105
2.5.4 Cargas de potencia	107
2.5.5 Cargas del edificio	108
2.5.6 Consideraciones de diseño	111
2.5.7 Consideraciones de voltaje.....	115
2.5.8 Conexión a Tierra.....	119
2.5.9 Características de la Fuente de Energía y la Carga.	121
2.5.10 Requerimiento de protecciones.....	123
2.5.11 Conceptos básicos para el diseño de esquema de protecciones.	125
2.5.12 Selección de Transformador.....	127
2.5.13 Switchgear, switchboards, panelboards y centros de carga de motores.	127
2.5.14 Dispositivos de protección.	128
2.5.15 Interruptores de transferencia: automáticos y manuales.	130
2.5.16 Cableado, conductores y canalizaciones especiales.	130
2.5.17 Tableros de distribución PanelBoards.....	131
2.5.18 Disposición del sistema radial.	131
2.5.19 Disposición del sistema de doble extremo.	132
2.5.20 Disposición del sistema de red.	135
2.5.21 Planificación de la atención al paciente.	137
2.5.22 Áreas típicas de atención al paciente.	147
2.5.23 Fuente de corrientes de fuga.....	157
2.5.24 Medidas de protección para la corriente de fuga.....	158
2.5.25 Factores de diseño que afectan la corriente de fuga.	160
2.5.26 Ubicación de la bóveda del transformador y perturbaciones eléctricas.	162

2.5.27 Aislamiento.....	164
2.5.28 Puesta a tierra del sistema.....	164
2.5.29 Energía Aislada.....	167
Capitulo #3: Diferentes etapas de un sistema eléctrico hospitalario en base a normas y estándares latinoamericanos.....	174
3.1 Alimentación primaria de energía eléctrica	174
3.1.1 Subestación Eléctrica.....	175
3.1.2 Alimentadores de Circuitos.....	178
3.1.3 Fuentes de emergencia de energía eléctrica.....	178
3.1.4 Tipos de Generadores Eléctricos Comunes en el Sector de la Salud y sus requerimientos de ingeniería.....	179
3.1.5 Centrales de Transferencia (Automático – Manual).....	182
3.1.6 Tipos de cargas a transferir.....	183
3.1.7 Monitoreo de fuente.....	185
3.1.8 Temporización de Transferencia.....	185
3.2 Circuitos de un sistema eléctrico hospitalario.....	186
3.2.1 Circuito normal no esencial.....	186
3.2.2 Circuito ramal de vida esencial.....	186
3.2.3 Circuito ramal emergencia.....	187
3.2.7 Circuito ramal de equipos.....	187
3.3 Sistemas de Energía Aislados.....	188
3.3.1 Sistema de Potencia Aislado (NFPA 517-160).....	188
3.3.2 Módulos de Aislamiento.....	192
3.3.3 Centro de Carga Aislado.....	193
3.4 Sistemas de puesta a tierra.....	194
3.4.1 Corrientes de fuga y falla en sistemas de tierra.....	196
3.4.2 Requisitos Esenciales para los Sistemas de Puesta a Tierra en Hospitales.....	197
3.4.3 Impacto Negativo de la Carencia de un Sistema de Puesta a Tierra Eficaz.....	200
3.3.4 Eficacia de la Conexión a Tierra en Áreas de Atención Crítica Hospitalaria.....	201
3.5 Cableado eléctrico.....	202
3.5.1 Canalizado y Alambrados de sistemas de equipos esenciales, ramal crítico y ramal de vida.....	202
3.5.2 Cableado eléctrico en áreas de peligro.....	204
3.6 Sistema de iluminación.....	205
3.6.1 El Papel Fundamental de la Iluminación en el Entorno Hospitalario.....	205
3.6.2 Parámetros de iluminación según Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014.....	206

3.6.3 Iluminación Óptima para Salas de Rehabilitación.	210
3.6.4 Iluminación Adecuada para Áreas Administrativas y Oficinas Hospitalarias.....	210
3.6.4 Iluminación Crítica en Quirófanos: Precisión y Adaptación Visual	210
3.6.5 Iluminación Adaptable en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI)	211
CAPITULO #4: “Estudio de Normas y Estándares aplicados por medio de organismos regulatorios del sector eléctrico para instalaciones eléctricas en infraestructuras hospitalarias en El Salvador.	213
4.1 Visibilidad técnica sobre la demanda energética de la red de hospitales en El Salvador.	213
4.1.1 Perfil de demanda eléctrica de El Hospital nacional Benjamín Bloom.....	215
4.1.2 Perfil de demanda eléctrica de El Hospital nacional de Santa Ana.....	216
4.1.4 Perfil de demanda eléctrica de El Hospital nacional de Sonsonate.....	218
4.1.5 Normativas técnicas autorizadas en El Salvador para el diseño de instalaciones electricas en Hospitales.	220
Capitulo #5 Factibilidad de aplicación de las normas de diseño para instalaciones hospitalarias eléctricas de Latinoamérica en El Salvador.	228
5.1 Análisis comparativo de normas aplicabilidad Estratégica de Normativas Eléctricas Internacionales en El Salvador para Infraestructura de Atención Médica.....	228
5.2 Limitaciones y desafíos de aplicación.	233
5.2.1 Aplicabilidad de normas y estándares internacionales en la construcción de instalaciones eléctricas hospitalarias en el salvador.	233
5.2.3 La Brecha por superar: déficit técnico de Recursos Humanos	235
5.2.4. Las Limitaciones de la Cadena de Suministro y la Logística de Componentes Críticos	235
5.2.5 Coherencia Regulatoria y Capacidad de Supervisión e Inspección	236
5.3 Experiencias de éxito en la región.....	237
5.3.1 Normas NOM “Normas Oficiales Mexicanas”	237
5.3.2 Normativas técnicas suramericanas.	239
5.3.3 Aplicabilidad de Buenas Prácticas de normas internacionales en El Salvador.	241
Conclusiones	243
Recomendaciones.....	244
Bibliografía	245

INDICE DE IMÁGENES.

Ilustración 1 Ilustración de los efectos de la corriente.-----	9
Ilustración 2 representa los diferentes tipos de electrocución. -----	10
Ilustración 3 Ejemplo de catéter como fuente de contacto a tierra. -----	14
Ilustración 4 Defecto o rotura del conductor de puesta a tierra. -----	15
Ilustración 5 Superficie no conectada a tierra. -----	16
Ilustración 6 Equipos conectados a diferentes potenciales de tierra -----	17
Ilustración 7 a) Microshock provocado por catéter en el corazón. b) Otra situación de microshock.-----	20
Ilustración 8 a) Riesgo de microshock debido a la existencia de equipos conectados a diferentes fuentes de alimentación. -----	21
Ilustración 9 a) Acople capacitivo del sistema de alimentación sobre el paciente. b) Circuito eq-----	22
Ilustración 10 Sala convencional de fisioterapia. -----	31
Ilustración 11 Sala de recuperación -----	32
Ilustración 12 Ejemplo de sala de cateterismo cardiaca.-----	32
Ilustración 13 Ejemplo de sistema IT medico interfaz hombre máquina.-----	33
Ilustración 14 Ejemplo de circuito de monitoreo de aislamiento. -----	34
Ilustración 15 Representación esquemática de sistema IT con IMD e IFL -----	34
Ilustración 16 Esquema de un SAI online -----	35
Ilustración 17 Sistema de tierra y neutro TN-C.-----	37
Ilustración 18 Sistema Tierra neutro combinado o separado-----	39
Ilustración 19 Sistema de tierra y tierra TT. -----	40
Ilustración 20 Esquema de sistema IT, Tierra Aislada. -----	41
Ilustración 21 Referencia de Microshock y Macroshock -----	42
Ilustración 22 Trayectoria de conductor de tierra. -----	43
Ilustración 23 Cantidad de receptáculos GH encamados.-----	48

Ilustración 24 Toma Corriente para Áreas con humedad tipo GFCI-----	50
Ilustración 25 Requisitos mínimos para subestaciones de (150 kVA o menos) para la disposición de los interruptores de transferencia-----	51
Ilustración 26 Requisitos mínimos para la disposición de los interruptores de transferencia mayor a 150 kVA. -----	52
Ilustración 27 No uso de adaptes en conexiones. -----	60
Ilustración 28 Rayos X portátiles. -----	62
Ilustración 29 Pantalla de control y mando de transferencia hospitalaria marca DWPPON -----	76
Ilustración 30 Corriente de ignición mínima aplicable a circuitos que contienen cadmio, zinc o magnesio. -----	91
Ilustración 31 Señalización de emergencia a nivel de piso -----	97
Ilustración 32 Señal de “no salida” pero que puede confundirse con una salida.-----	98
Ilustración 33 Señales Débiles Sistema de detección de Incendios -----	99
Ilustración 34 Sensor de Humo Calor, SDI -----	101
Ilustración 35 Esquema de Neutro Sólidamente Aterrizado, o Neutros efectivamente aterrizado.-----	122
Ilustración 36 Conductor neutro transferido puesto a tierra en el equipo de servicio-----	123
Ilustración 37 Fuente de alimentación doble interconectada. -----	126
Ilustración 38 Componentes principales del sistema eléctrico. -----	132
Ilustración 39 Protector de corbata normalmente abierto entrelazado-----	133
Ilustración 40 Sistema de Servicio de Red. -----	136
Ilustración 41 Subestación adecuadamente calificada.-----	137
Ilustración 42 Toma doble polarizado grado hospitalario.-----	140
Ilustración 43 Toma doble polarizado con tierra aislada. -----	141
Ilustración 44 Toma corriente aprueba de manipulaciones. -----	142
Ilustración 45 Toma corriente grado hospitalario GFCI -----	143
Ilustración 46 Toma corriente o contacto para estación de rayos x móviles.-----	145

Ilustración 47 Unidad de Cabecera unidad de recuperación ISSS SM -----	146
Ilustración 48 Sistema Estrella con referencia a tierra-neutro en cada una de sus fases-----	176
Ilustración 49 Sistema equivalente sólidamente aterrizado.-----	176
Ilustración 50 Variantes de un sistema estrella. -----	177
Ilustración 51 tabla 430.250.FLA del NEC. -----	181
Ilustración 52 Esquema de circuitos de sistema hospitalarios.-----	188
Ilustración 53 Esquema de panel de aislamiento con transformador.-----	191
Ilustración 54 Polaridad correcta de las fases de un sistema aislado (centro de carga). -----	191
Ilustración 55 Monitor de Aislamiento.-----	193
Ilustración 56 Panel de aislamiento o centro de Carga aislado -----	194
Ilustración 57 Sistema de puesta tierra de sistema médico. -----	195
Ilustración 58 Toma corriente de tres pines. -----	197
Ilustración 59 Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos Según el NEC. -----	199
Ilustración 60 Puestas a tierra e interconexiones en el entorno de pacientes de cuidados críticos. -----	201
Ilustración 61 Modelo de 3D de planos de Luminaria y de trabajo. -----	208
Ilustración 62 Luminaria de cabecera estación de encamillado de paciente. -----	209
Ilustración 63 Quirófano iluminado correctamente. -----	211
Ilustración 64 UCI iluminada correctamente con luz limpia. -----	212
Ilustración 65 Perfil de Demanda Potencia Actica subestación #1 HNBB -----	215
Ilustración 66 Perfil de Demanda Potencia Actica subestación #2 HNBB -----	215
Ilustración 67 Balance energético de Hospital Nacional Benjamín Bloom. -----	216
Ilustración 68 Perfil de Demanda Potencia Actica subestación #1 HNSA -----	216
Ilustración 69 Perfil de Demanda Potencia Actica subestación #2 HNSA -----	217
Ilustración 70 Balance energético de Hospital Nacional de Santa Ana.-----	217
Ilustración 71 Perfil de Demanda Potencia Actica subestación #1 HNS-----	218

Ilustración 72 Perfil de Demanda Potencia Actica subestación #2 HNS-----	218
Ilustración 73 Balance energético de Hospital Nacional de Sonsonate.-----	219
Ilustración 74 Listado de requerimiento técnicos que se requieren en instalaciones eléctricas según MINSAL.-----	221
Ilustración 75 Normativas de referencia para materiales y criterios constructivos según MINSAL. ----	221
Ilustración 76 Línea de Media tensión Aéreo-Sub terraza.-----	222
Ilustración 77 Fuente principal de energía en proyecto RM en hospital san juan de Dios. -----	223
Ilustración 78 Fuente de energía de emergencia en proyecto RM en hospital san juan de Dios -----	224
Ilustración 79 Fuente de energía ininterrumpida en proyecto RM en hospital san juan de Dios.-----	225
Ilustración 80 Fuente de energía ininterrumpida en proyecto RM en hospital san juan de Dios.-----	225
Ilustración 81 Transferencia automática en proyecto RM en hospital san juan de Dios.-----	226
Ilustración 82 Resonancia Magnética en hospital san juan de Dios.-----	227
Ilustración 83 Apartado 517 Norma NOM 001-----	238

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla 250.122 del NEC.....	47
Tabla 2 Periodo de Mantenimiento de Plantas de emergencia que alimentan un sistema crítico.....	85
Tabla 3 Tabla de clasificación según la clase fuentes de emergencia, NFPA 99.....	87
Tabla 4 clasificación según el tipo de fuentes de emergencia, NFPA 99	88
Tabla 5 Factores para el dimensionamiento de componentes del sistema de distribución.....	106
Tabla 6 Factores utilizados para establecer los elementos principales del sistema eléctrico que sirve a los sistemas HVAC&R	109
Tabla 7 Tabla de fugas aportadas por elementos.	158
Tabla 8 Comparativa de normas técnicas NEC, IEC, NFPA99, IEEE 602	232

ACRONIMOS

NEC: Código Nacional eléctrico.

IEC: Comisión electrotécnica internacional.

NFPA: Asociación Nacional de protección Contra el Fuego.

IFLS: Sistema de Localización de Fallas de Aislamiento.

SAI: Sistema Ininterrumpido de Alimentación.

ME: Medical Equipment.

RCDS: Sistema Diferencial de Corriente Residual.

EGS: Conductor de Puesta a Tierra de Equipos.

OSHA: Administración de Seguridad y Salud Ocupacional.

IMD: Dispositivo Especifico de Monitoreo de Aislamiento.

LIM : Monitor de Baja Impedancia.

EPSS: Sistema Electrico de Emergencia.

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

UL: Underwriter Laboratories.

HVACR: Heating Air Condition Ventilation and Refrigeration.

ATS: Interruptor Automatico de Transferencia.

AnSI: Instituto Nacional Estadunidence de Estandares.

Introducción

La presente investigación se fundamentará en el estudio minucioso de las diferentes normas para el diseño y formulación de instalaciones eléctricas hospitalarias. Haciendo énfasis en que el diseño de instalaciones eléctricas en infraestructuras hospitalarias es un campo crítico que requiere la adherencia a estrictas normas y estándares para garantizar la seguridad del paciente, la fiabilidad operativa y la eficiencia energética. Dada la naturaleza vital de los servicios de salud, cualquier fallo en el suministro eléctrico o en la calidad de la energía puede tener consecuencias devastadoras por eso el énfasis especial que se debe aplicar en el diseño de estas. En América Latina, la diversidad regulatoria y la variabilidad en la adopción de estándares internacionales representan un desafío significativo para la uniformidad y la excelencia en el diseño eléctrico hospitalario. Este documento explorará a fondo las principales normas y estándares internacionales y regionales que se aplican actualmente en el diseño de instalaciones eléctricas para infraestructuras hospitalarias en América Latina. Se analizará la influencia de organizaciones como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) con su norma IEC- 60364-7-710, la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) con su Código Eléctrico Nacional (NEC) y su norma técnica NFPA 99, y las normativas específicas de países con un desarrollo avanzado en este ámbito como lo son México con su norma NOM y Perú con su norma técnica. El objetivo de todo esto es identificar las mejores prácticas y los requisitos técnicos fundamentales que garantizan un suministro eléctrico ininterrumpido, seguro y de calidad, esencial para la operación de equipos médicos de alta tecnología y para la protección de vidas. Finalmente, se abordará la factibilidad de aplicación de estas normas y estándares en El Salvador. Se analizarán los desafíos y oportunidades que presenta el contexto regulatorio, económico y técnico salvadoreño para la adopción e implementación de estas directrices internacionales y regionales. Este análisis buscará ofrecer una perspectiva realista sobre cómo El Salvador puede avanzar hacia un diseño eléctrico hospitalario más robusto y seguro, que no solo cumpla con los requisitos mínimos, sino que también eleve el nivel de las instalaciones de salud a estándares de clase mundial, beneficiando directamente la calidad de la atención médica para sus ciudadanos.

Objetivos

Objetivo General.

Evaluar las normas y estándares aplicados en Latinoamérica para el diseño de instalaciones eléctricas en infraestructuras hospitalarias y su factibilidad de aplicación en El Salvador.

Objetivos Específicos.

1. Investigar las normas y estándares aplicados en Latinoamérica para el diseño de instalaciones eléctricas en infraestructuras hospitalarias.
2. Revisar la existencia de normas y estándares aplicados en El Salvador por medio de El Organismo de Inspección y Acreditación (OIA)
3. Detallar los diferentes riesgos eléctricos que se pueden presentar en una instalación eléctrica Hospitalaria.
4. Explicar las diferentes etapas de un sistema eléctrico hospitalario ejecutado con base en normativas y estándares latinoamericanos.
5. Evaluar la aplicación de las normas Latinoamericanas en EL Salvador

Alcance

- Investigar el diseño de un sistema eléctrico para una infraestructura hospitalaria, fundamentado en las diferentes normas y estándares que influyen en el buen diseño de este mismo, tomando como base la infraestructura de un hospital de tercer nivel.
- Determinar la diferencia de los tipos de cargas, en un sistema eléctrico hospitalario, según la jerarquía de estas misma a base de criterios normados en el diseño.
- Definir cada uno de los riesgos que deben ser considerados en los diferentes ambientes de una instalación eléctrica hospitalaria.
- Evaluar las diferentes normas que podrían ser aplicados en El Salvador.

Antecedentes

En El Salvador no existe un Manual fundamentado en normas para el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias, el cual toma relevancia, ya que en nuestro país se está realizando una apuesta histórica en lo que es la reconstrucción y modernización de antiguos hospitales históricos y de igual manera la industria medica privada que crecientemente apuesta con la construcción de centros hospitalarios de vanguardia con mucha tecnología esencial para el desarrollo de hospitales modernos, todo esto nos empuja tener fundamentos y criterios de ingeniería solidos en lo que son el diseño y construcción de instalaciones eléctricas en infraestructuras médicas.

Planteamiento del problema

Actualmente, existe la necesidad de tener instalaciones eléctricas mejores, eficientes y más seguras en áreas tan importantes del desarrollo como lo son Hospitales que forman parte de uno de los sectores más esenciales en el país. Además, se tiene una constante evolución de las tecnologías que modernizan los procesos médicos en Hospitales, lo que conlleva a la necesidad de crear lineamientos o demandando instalaciones eléctricas optimizadas y modernas para el buen funcionamiento de todos los sistemas que demandan energía eléctrica para operar los sistemas eléctricos en un hospital. Por lo consiguiente es necesario la creación de un manual para el diseño y construcción de instalaciones eléctricas hospitalarias para contribuir con el desarrollo en los que son procesos constructivos de lo que son las instalaciones eléctricas hospitalarias que podría ser considerado por el ente regulador que emite normas para promover las mejores prácticas en las instalaciones eléctricas como lo es SIGET.

Justificación

Como se ha expuesto en el planteamiento del problema el desarrollo e innovación que está sufriendo nuestro país en la construcción y remodelación de infraestructura hospitalaria nos abre camino en un rubro donde tener a la mano una guía sobre lo que es el diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias es fundamental para poder converger con el desarrollo tecnológico y eficiente, con una base sólida de ingeniería en lo que es la construcción de las nuevas instalaciones eléctricas modernas en infraestructuras hospitalarias.

Teniendo como limitantes, uno la falta de conocimiento de cómo aplicar cada uno de los estándares más importantes en el diseño y construcción de este tipo de instalación.

El ámbito monetario es un actor también en el desarrollo de estas instalaciones eléctricas se requiere bastante incremento de inversión en cumplir con todos los aspectos una instalación bajo norma hospitalaria.

Resultados Esperados

- Análisis comparativo de las diferentes normas vigentes en Latinoamérica para instalaciones hospitalarias.
- Detalle de las normas y estándares aplicados en El Salvador
- Identificación de diferentes riesgos eléctricos que se pueden presentar en una instalación eléctrica Hospitalaria.
- Documento final de trabajo de graduación.

Capítulo #1: Riesgos eléctricos por considerar en instalaciones eléctricas hospitalarias.

Los accidentes provocados por los riesgos eléctricos tienen como origen fallos en las instalaciones o actuaciones incorrectas de los usuarios, la forma de evitarlos será actuando sobre el origen de estos, es decir logrando que las instalaciones estén en las adecuadas condiciones de seguridad y que las personas actúen de forma segura con relación a los riesgos que existan. Es por ello, que existen instituciones internacionales, que han establecido normas de seguridad eléctrica hospitalaria con el fin de proteger, básicamente al paciente y equipos, de los peligros que involucra el uso de la electricidad.

Uno de los propósitos más importantes en la Seguridad Eléctrica Hospitalaria, especialmente en Áreas Críticas, es el garantizar el cumplimiento de los requerimientos eléctricos básicos que permitan el funcionamiento idóneo de las tecnologías médicas sin representar riesgo alguno para el personal que hace uso de las instalaciones hospitalarias.

Un hospital representa una institución compleja, constituida por diferentes áreas cuyas funciones se encauzan en un sólo objetivo: brindar la atención necesaria con el fin de procurar y velar por la salud de la población de su área de influencia; para llevar a cabo este objetivo, es necesario en muchas ocasiones hacer uso de la tecnología médica, implicando a su vez el uso de la Energía Eléctrica y junto con ella todos los riesgos que ésta conlleva.

La tecnología médica ha aumentado considerablemente la seguridad de los equipos y ha reducido los riesgos debidos al manejo y utilización. En la actualidad, en las aplicaciones médicas los niveles de seguridad que deben reunir los sistemas de instrumentación están normalizados. Resulta obvio que no puede asegurarse un riesgo nulo en el uso del equipo, sin embargo, una adecuada utilización de los mismos por usuarios debidamente capacitados minimiza los riesgos eléctricos y aumenta la seguridad del paciente y personal.

1.1 Daños a las Personas.

1.1.1 Efectos Fisiológicos de la Corriente Eléctrica.

Para que la electricidad reduzca efectos en el organismo, el cuerpo humano debe convertirse en parte de un circuito eléctrico. Para que circule corriente por el cuerpo humano deben existir al menos dos conexiones entre el cuerpo y una fuente de alimentación o tensión externa, la magnitud de la corriente depende de la diferencia de potencial entre las conexiones y de la resistencia eléctrica del cuerpo.

La mayor parte de los tejidos del cuerpo contienen un elevado porcentaje de agua por lo que la resistencia eléctrica que presentan es baja y pueden considerarse como un buen conductor, no obstante, la impedancia de la piel (epidermis) es bastante elevada (200-500 K Ω) por lo que el cuerpo humano puede considerarse como un conductor volumétrico no homogéneo en la que la distribución del flujo de la corriente eléctrica viene determinada por la conductividad local del tejido.

Los efectos que la corriente eléctrica produce sobre el cuerpo humano dependen fundamentalmente de los siguientes parámetros: magnitud de la corriente que circula por el tejido, frecuencia, tiempo de exposición a la corriente eléctrica, zona por la que circula (superficie o tejido interno), la gravedad del daño producido dependerá también del órgano afectado.

La corriente eléctrica puede afectar al tejido principalmente de tres formas: en primer lugar, se produce una excitación eléctrica de los tejidos excitables (nervios y músculos), comenzando con una sensación de “hormigueo” o irritación que si alcanza intensidad suficientemente elevada puede ser dolorosa y molesta, la estimulación de estos nervios o músculos motores puede provocar contracciones y si ésta aumenta puede producirse la tetanización† del músculo.

De todas formas, el simple hecho de hacer uso de la Energía Eléctrica representa un riesgo latente, ya que, si el sistema de seguridad eléctrica no es el adecuado o bien el sistema falla, se pueden ocasionar severos daños tanto a pacientes como personal; otros factores causantes de accidentes eléctricos a nivel hospitalario son el aumento en la complejidad de los dispositivos o equipos médicos y su manejo.

La mayoría de los accidentes con equipos médicos se pueden atribuir a un uso inadecuado del equipo o falta de experiencia en su manejo y en algunos casos, por fallas de los equipos, es por esta razón, que es sumamente importante el desarrollo de sistemas de seguridad lo más fiables posibles.

En segundo lugar, puede aparecer un incremento de la temperatura del tejido debido a la resistencia que presenta y la energía disipada por el mismo. Por último, si el aumento de temperatura es muy elevado, puede provocar lesiones (quemaduras) en el tejido. Con la corriente eléctrica doméstica las quemaduras se limitan por lo general a lesiones localizadas en los puntos de contacto o en sus inmediaciones, lugares donde se produce mayor densidad de corriente. En los accidentes industriales causados por alta tensión, así como en accidentes por rayos, la energía eléctrica disipada puede provocar quemaduras que abarcan grandes áreas del cuerpo.

En electrocirugía se utiliza la corriente concentrada procedente de un generador de radiofrecuencia con la frecuencia de 2.5 - 4 MHz para cortar tejido o coagular pequeños vasos sanguíneos, el órgano más susceptible a la corriente eléctrica es el corazón. Un estímulo que tetanice el corazón provoca la contracción completa del miocardio que detiene la acción de bombeo del corazón e interrumpe la circulación sanguínea. Si la circulación no se restablece en pocos minutos, en primer lugar, se lesiona el cerebro y luego se produce la muerte debido a la falta de aporte de oxígeno a los tejidos cerebrales. No obstante, si la corriente tetanizante se elimina al cabo de poco tiempo y las lesiones producidas no son irreversibles, el latido del corazón se reanuda de forma espontánea.

Una corriente de intensidad más baja que excite sólo parte de las fibras musculares del corazón puede ser más peligrosa que una corriente suficiente para tetanizar el corazón entero. Esta excitación parcial puede cambiar las vías eléctricas de propagación en el miocardio desincronizando la actividad del corazón, este fenómeno en el que el corazón pierde su sincronismo se denomina fibrilación, la fibrilación ventricular es la causa que produce la mayoría de las muertes en los accidentes eléctricos.

También se puede producir parálisis respiratoria si los músculos del tórax se tetanizan por efecto de una corriente que circule a través del pecho o a través del centro de control de la respiración en el cerebro.

Son muchos los factores que influyen en la magnitud de la corriente eléctrica necesaria para producir un efecto fisiológico concreto en una persona. A continuación, se detallan los efectos fisiológicos que se producen en el cuerpo humano en función de la magnitud de la corriente eléctrica que circula a través del cuerpo humano suponiendo que se aplica una diferencia de potencial entre las extremidades superiores (las dos manos). En la Ilustración se esquematiza los valores aproximados de la corriente y los efectos que producen para un tiempo de exposición de 1-3 seg. y varios niveles de magnitud alterna de 60 Hz aplicada al exterior del cuerpo de una persona de 70 Kg. aproximadamente.

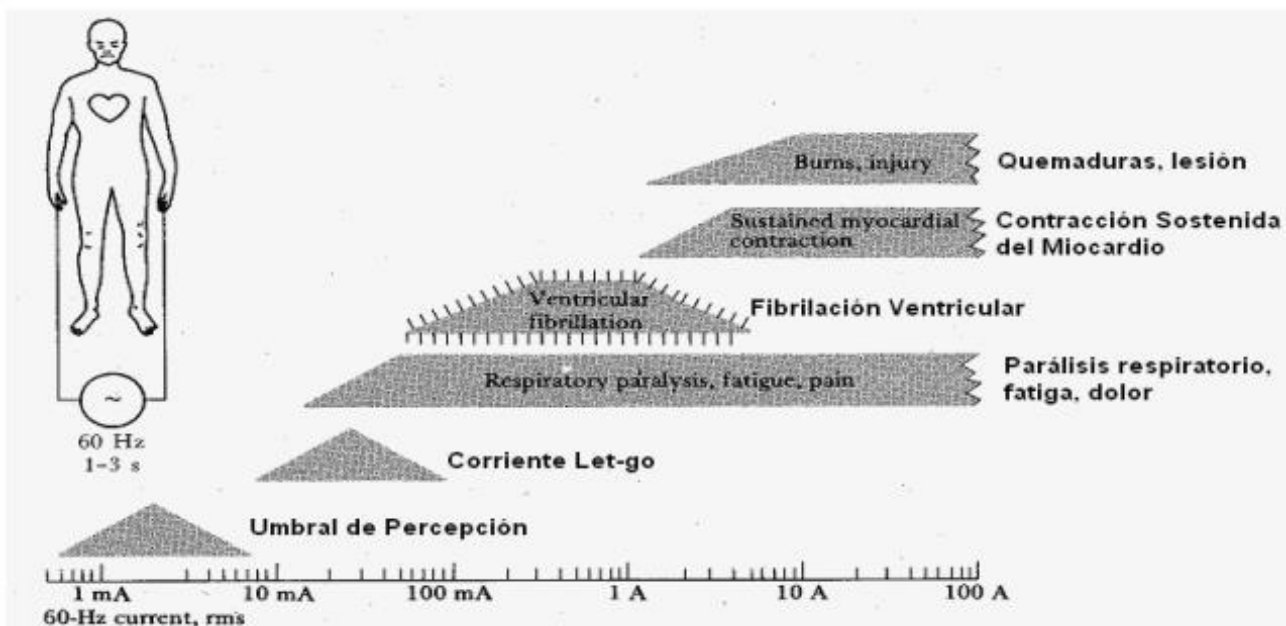


Ilustración 1 Ilustración de los efectos de la corriente.

1.1.2 Concepto de Macroshock

Los aparatos electrónicos son muy comunes en el área médica, ya sea en una cirugía o mediante un proceso menos invasivo las máquinas siempre están presentes, estamos tan acostumbrados que no lo vemos como un riesgo potencial, pero el riesgo aumenta cuando estamos expuestos y nuestra piel no sirve de barrera

natural ante peligros inesperados por lo tanto las normativas actuales buscan reducir la posibilidad de accidentes fatales al presentar contacto directo con aparatos eléctricos, recordemos que el cuerpo humano está limitado en la cantidad de energía que puede absorber además la mayoría de tejidos del cuerpo humano es agua por lo tanto la resistencia es muy baja pero por otro lado la epidermis posee una resistencia bastante elevada de 200 kΩ hasta los 500 kΩ pero el efecto de la corriente depende de muchos factores entre ellos el voltaje, la corriente y el tiempo de exposición a una descarga pero las lesiones más frecuentes son las mostradas en la siguiente figura:

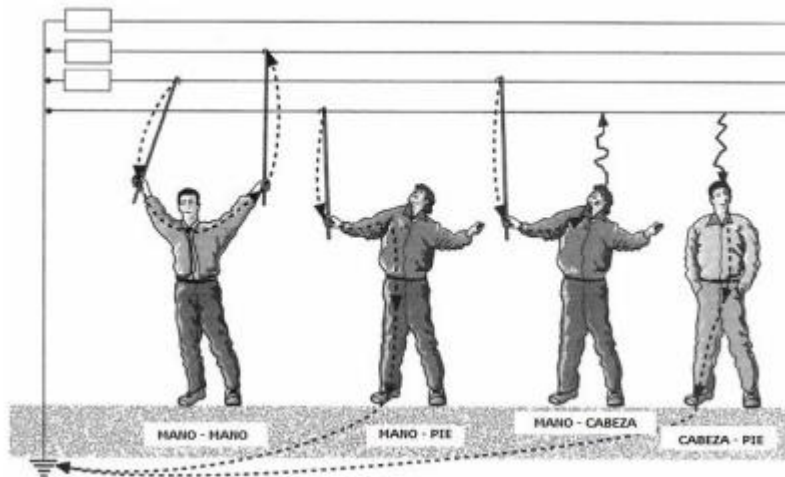


Ilustración 2 representa los diferentes tipos de electrocución.

Los daños en el cuerpo varían dependiendo del paso de corriente y los órganos que afecta dicho paso, el efecto en miliamperios es el siguiente:

Rango de corriente	Efecto fisiológico en condiciones normales
0 A – 0.5 mA	No se observan sensaciones ni efectos.
0.5mA – 10mA	Calambres y reflejos musculares, no podemos soltar a partir de los 10mA debido a las contracciones musculares.
10mA – 25mA	Contracciones musculares, agotamiento de piernas y brazos con dificultad de soltar objetos, aumento de presión arterial y dificultad de soltar objetos.
25mA - 40mA	Se muestran irregularidades cardiacas y daños de quemaduras a partir de los 4s de estar expuesto a la descarga.

40 – 100 mA	Efectos anteriores con mayor intensidad y gravedad. Fibrilación y arritmias cardiacas
100mA – 1A	Fibrilación y paro cardiaco. Quemaduras muy graves. Alto riesgo de muerte
1 A – 5A	Quemaduras muy graves. Paro cardiaco con elevada probabilidad de muerte.

Tabla 1 Efectos de electricidad en el cuerpo humano.

Para que ocurra un accidente eléctrico, es necesario que se cumplan simultáneamente dos condiciones: primero, la existencia de dos puntos de contacto proporcionados por el cuerpo y, segundo, la presencia de una diferencia de potencial entre dichos puntos de contacto, estos factores determinan la circulación de corriente a través del organismo, lo que puede generar efectos fisiológicos adversos. En ese contexto denomina Macroshock al fenómeno en el que una corriente eléctrica atraviesa el cuerpo ingresando y saliendo a través de la superficie de la piel. En contraste, el término microshock se emplea para describir la situación en la que la corriente eléctrica afecta directamente al corazón, estableciendo un contacto entre la piel y el interior del sistema cardiovascular o sus inmediaciones.

Un concepto clave en ambos casos es el de densidad de corriente, que se define como la cantidad de corriente eléctrica por unidad de superficie. Para comprender mejor su impacto, se puede considerar el principio de funcionamiento del electrobisturí. Debido a su pequeño tamaño, este dispositivo es capaz de cortar o coagular la piel, mientras que la placa de retorno, al ser considerablemente más grande, no genera efectos dañinos. Como se analizará más adelante, la corriente de alta frecuencia utilizada en el electrobisturí no altera las funciones celulares, sino que las destruye mediante calentamiento, los efectos del microshock, se han realizado estudios en adultos utilizando electrodos de 0.25 mm de diámetro aplicados por un segundo, los resultados indican que corrientes de hasta 0.5 mA pueden inducir fibrilación ventricular, lo que resalta la peligrosidad de este fenómeno en entornos hospitalarios.

1.1.3 Concepto de Microshock

El microshock es un fenómeno de alto riesgo en pacientes que tienen un catéter conectado directamente al corazón, ya que incluso una corriente de intensidad extremadamente baja puede desencadenar

consecuencias fatales, como la fibrilación ventricular e incluso la muerte. Estudios han determinado que el umbral de corriente capaz de provocar fibrilación en estos casos oscila entre 80 y 600 μA , lo que resalta la vulnerabilidad del sistema cardíaco ante este tipo de descargas. Para minimizar el riesgo, se ha establecido un límite de seguridad de 10 μA , por debajo del cual se considera que la probabilidad de inducir fibrilación es prácticamente nula.

Los métodos convencionales de protección contra descargas eléctricas, como los interruptores diferenciales con umbrales de sensibilidad de 10 o 30 mA, no son eficaces para prevenir un microshock, ya que estos dispositivos están diseñados para detectar y actuar ante corrientes mucho más altas. Debido a esta limitación, la única estrategia viable para evitar este riesgo en entornos médicos consiste en conectar los equipos directamente a tierra mediante el uso de transformadores de aislamiento, lo que reduce significativamente la posibilidad de que pequeñas corrientes de fuga alcancen niveles peligrosos dentro del cuerpo del paciente. A nivel general la protección contra el shock eléctrico en dispositivos médicos que dependen de una fuente externa de alimentación, como los conectados a la red eléctrica en lugar de funcionar con baterías, se han establecido tres clasificaciones principales: Clase I, Clase II y Clase III. Cada una de estas categorías responde a distintos niveles de seguridad y aislamiento, dependiendo de la aplicación específica del equipo y del entorno en el que será utilizado.

La clasificación de los equipos médicos en Clase I, Clase II y Clase III se basa en el nivel de protección contra descargas eléctricas que ofrecen, especialmente en entornos hospitalarios donde la seguridad del paciente es prioritaria.

- **Clase I:** Los equipos de esta categoría cuentan con una conexión a tierra como medida principal de seguridad, la carcasa metálica y otras partes accesibles están conectadas directamente a tierra para evitar que una falla de aislamiento interno genere tensión peligrosa en la superficie del dispositivo. En caso de una avería, la corriente de fuga es derivada a tierra en lugar de atravesar el cuerpo del paciente o el operador.

- **Clase II:** También llamados equipos de doble aislamiento, estos dispositivos no dependen de una conexión a tierra para garantizar la seguridad. Incorporan dos capas de aislamiento o una barrera de aislamiento reforzada que impide el contacto con tensiones peligrosas. Son más seguros en entornos donde una conexión a tierra confiable no está garantizada, como en dispositivos portátiles o equipos médicos que deben trasladarse constantemente.

- **Clase III:** Funcionan con baja tensión de seguridad ($\leq 50V$) y dependen de una fuente de alimentación de muy bajo riesgo, generalmente baterías o transformadores de aislamiento específicos. Debido a la baja tensión utilizada, el peligro de shock eléctrico es mínimo, lo que los hace ideales para equipos de monitoreo portátil y dispositivos implantables como marcapasos.

Ahora se muestra un ejemplo de riesgo de microshock en el que un paciente tiene un catéter insertado por vía intravenosa, el catéter forma parte de un transductor conectado a un monitor para visualizar ciertos parámetros y a su vez éste a la red eléctrica. Esta disposición establece una conexión a tierra del corazón a través del catéter.

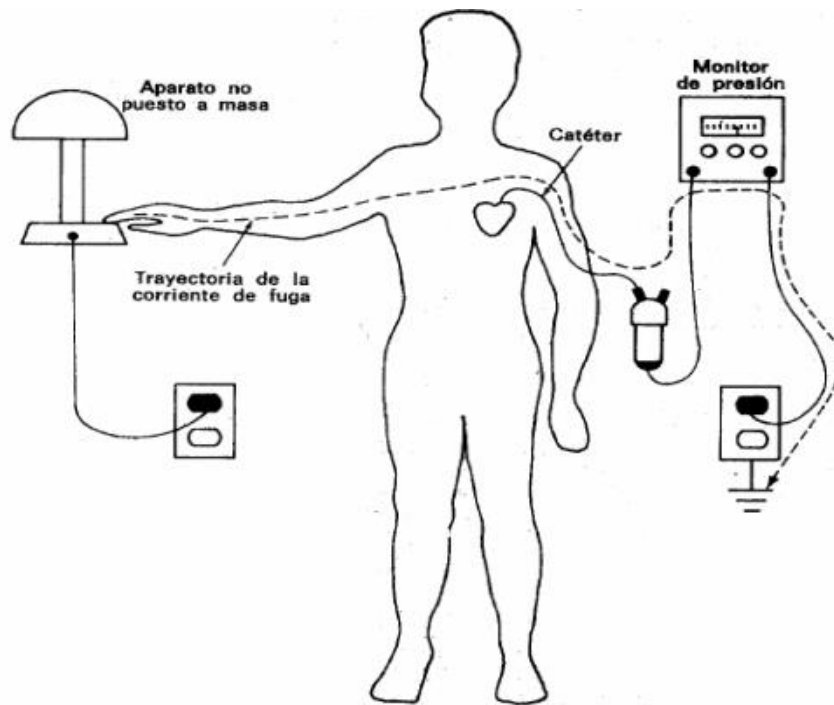


Ilustración 3 Ejemplo de catéter como fuente de contacto a tierra.

Bajo estas condiciones, se crea un riesgo de microshock mediante cualquier contacto conductor entre el paciente y un dispositivo que no esté puesto a tierra y que tenga una corriente de fuga mayor de $10 \mu\text{A}$. En la figura anterior el paciente está tocando el aparato directamente, pero este contacto se puede establecer también por otra persona que toque al paciente y al aparato a la vez. Las principales causas que pueden provocar situaciones de riesgo de microshock son las siguientes:

1.- Defecto o rotura del conductor de puesta a tierra: de esta forma, gran parte de la corriente por acople capacitivo entre los cables conductores y el chasis que se deriva entre el chasis y tierra lo hace a través del paciente, en concreto, a través del corazón y del catéter como se ilustra en la siguiente figura.

La mejor manera de solucionar este problema es aislar eléctricamente al paciente de forma que no exista un camino de cierre de la corriente a tierra a través del sujeto, ello puede conseguirse mediante la utilización de sistemas de aislamiento a la entrada de equipos de medida (transformadores de aislamiento).

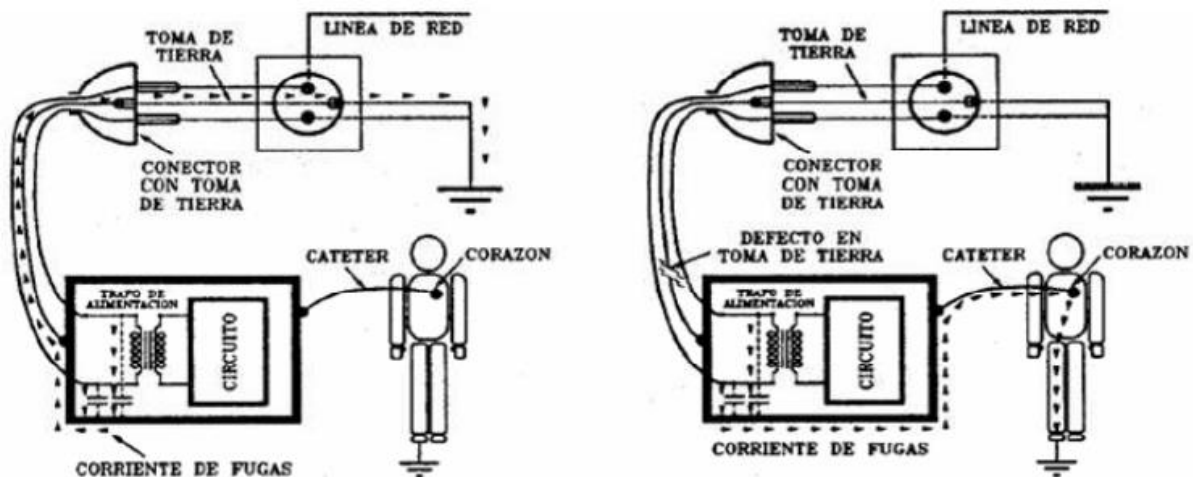


Ilustración 4 Defecto o rotura del conductor de puesta a tierra.

2.- Superficies metálicas cercanas al paciente y no conectadas a tierra: Otro caso de riesgo sucede cuando el paciente toca un aparato o dispositivo que tiene corriente de fugas, estas corrientes pueden cerrarse a tierra a través del catéter y del equipo de medida, el mismo caso se produce si es otra persona la que facilita esta conexión como se ilustra en la siguiente figura donde un fallo en la polarización o conductor de tierra conecta la superficie metálica de la cama con tierra. Como consecuencia de este fallo, la cama adquiere un potencial distinto de cero y cuyo nivel depende del acoplamiento capacitivo entre la línea de red y la cama. Una enfermera que manipula un catéter intracardiaco establece una derivación entre la cama y éste último creando una vía de paso a través de la enfermera y el paciente. Es posible que la corriente de fugas sea muy inferior al nivel de percepción del enfermero y sin embargo, puede ser suficientemente grande para provocar un microshock al paciente, la mejor solución para evitar este riesgo es utilizar equipos con entrada aislada y al mismo tiempo conectar todas las partes metálicas de los diversos aparatos y accesorios a tierra.

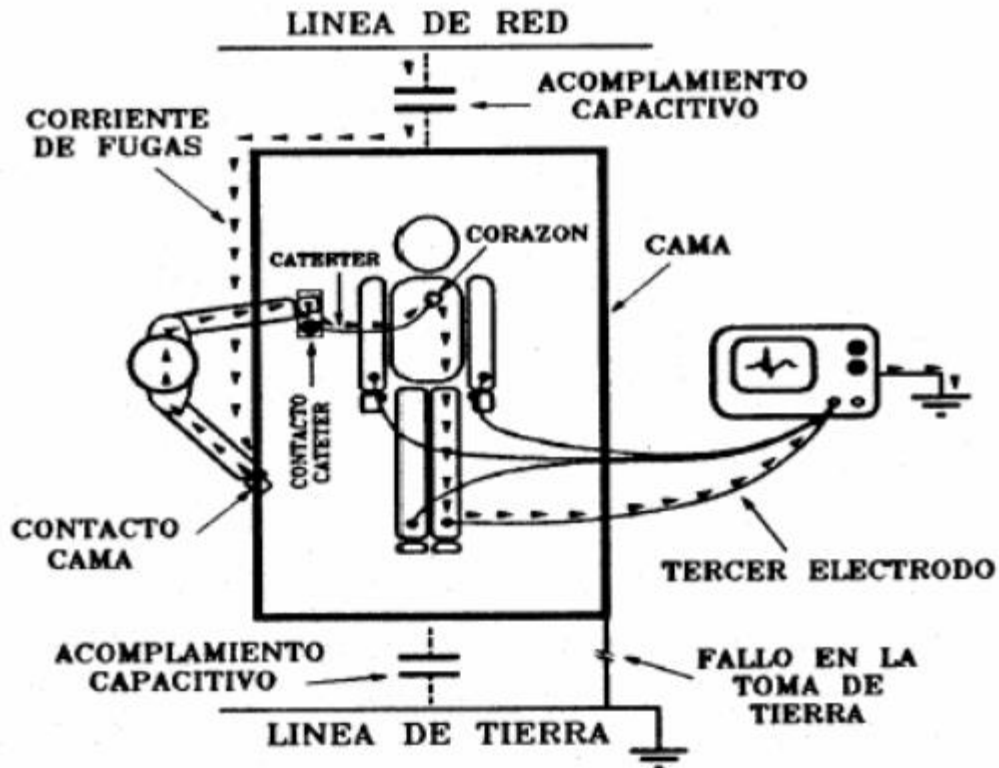


Ilustración 5 Superficie no conectada a tierra.

3.- Equipos conectados a diferentes potenciales de tierras: Puede suceder que si no se dispone de un equipo de tierras equipotenciales existan diferentes valores de tierra para diferentes equipos, de esta forma si uno de los equipos se pone en contacto con un catéter y otro equipo se conecta al paciente como puede ser la monitorización del ECG y de la presión sanguínea a través de un catéter, la diferencia de tensiones entre tierras puede dar origen a peligros de microshock.

La normativa NEC regula estos problemas y establece que la diferencia de potencial entre las tierras de dos equipos no debe superar los 500 mV en áreas generales y los 40 mV en áreas de cuidado crítico en condiciones normales de funcionamiento.

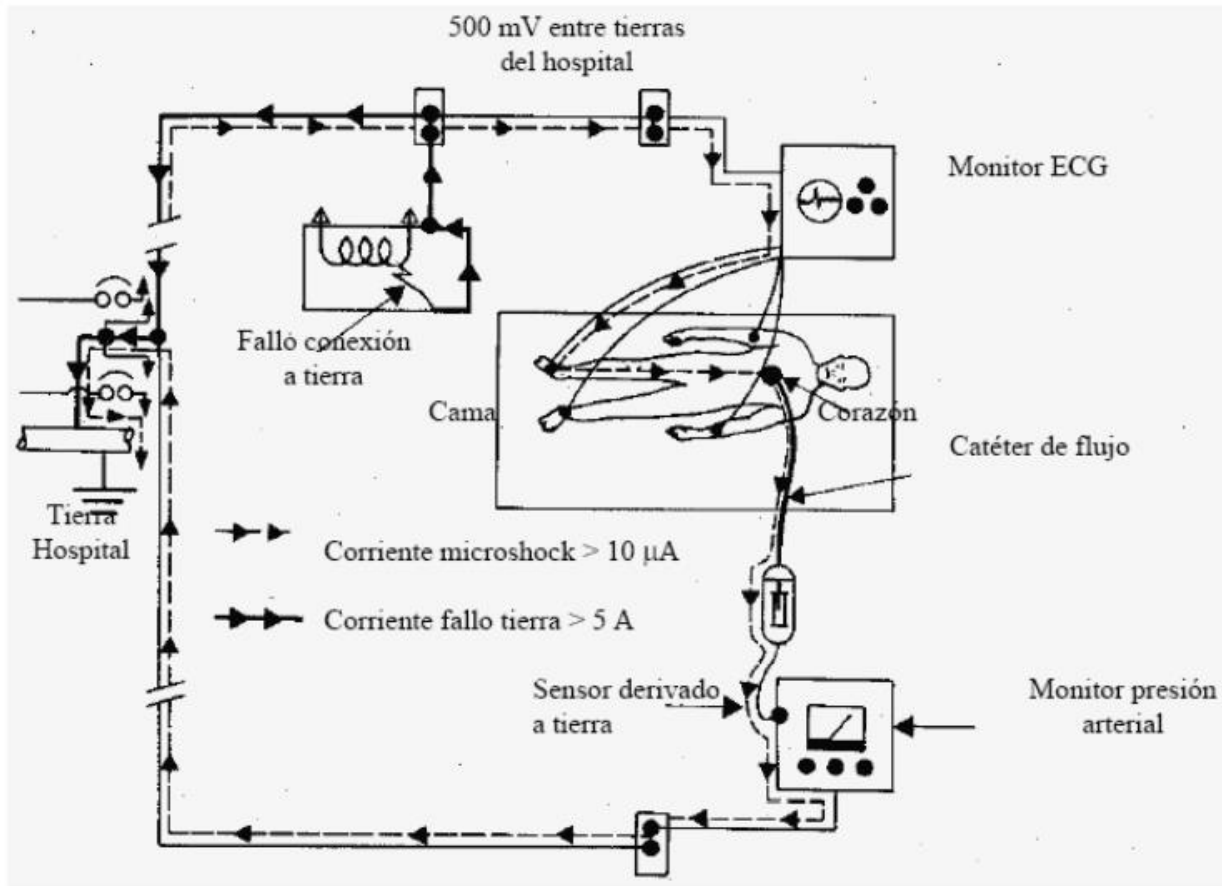


Ilustración 6 Equipos conectados a diferentes potenciales de tierra

4.- Equipos alimentados a baterías: Los equipos alimentados con baterías y por lo tanto aislados eléctricamente de tierra, también pueden presentar problemas o riesgos en el paciente. Por ejemplo, en la utilización de los electrobisturíes, las corrientes de alta frecuencia pueden acoplarse capacitivamente con el chasis y si un operador lo toca, las corrientes podrían cerrarse a tierra a través de él. Por lo tanto, para solucionar este problema, todas las partes metálicas externas (chasis) de los sistemas a baterías deben también unirse a tierra. Para que produzca un riesgo o descarga de microshock hace falta una conexión eléctrica directa del corazón con el exterior del cuerpo.

Los catéteres cardíacos para diagnóstico o para marcapasos se emplean en pacientes que tengan una afección cardíaca. En tales pacientes, la fibrilación ventricular ocurre a menudo como consecuencia de la enfermedad, esto explica que el riesgo de microshock pasase inadvertido durante un largo periodo de tiempo

y no pueda realizarse una estimación muy concreta del número de accidentes que puedan ocurrir debidos a esta causa.

Aunque en la mayor parte de los hospitales se requieren sólo las precauciones de seguridad normales para la prevención de riesgos de Macroshock, también deben tomarse medidas especiales en aquellos lugares donde haya pacientes susceptibles a la electricidad, estos lugares incluyen unidades coronarias, unidades de cuidados intensivos, quirófanos o salas donde se puedan realizar cirugía torácica. Todo lo expuesto anteriormente hace que se deban extremar las precauciones tanto en el diseño del equipo de medida como en su instalación.

1.1.4 Equipos con Conexiones Eléctricas al Corazón que Hacen Susceptible al Paciente al Riesgo de Microshock.

Cuando un instrumento conductor se coloca en el corazón o cerca de éste, se pierden dos formas de protección natural. Primero, la corriente deja de distribuirse a todo el cuerpo para concentrarse en el corazón. Segundo, la resistencia protectora de la piel es evadida. Cuando una densidad de corriente más elevada atraviesa el corazón y la resistencia de la piel es evadida, se requiere de un voltaje considerablemente menor para producir fibrilación cardiaca. Diferentes equipos clínicos necesitan de conexión directa al corazón.

La conexión al corazón proporciona una vía conductora que aumenta el riesgo para que pueda fluir, en caso de accidente o falla, una corriente de microshock, Existen sólo tres procedimientos clínicos empleados actualmente en los que un paciente es eléctricamente susceptible:

- La inserción de un electrodo de catéter de marcapaso proveniente de un marcapasos externo.
- los electrodos intra cardíacos para el registro del electro grama (EGM).

- Catéteres situados en el corazón ya sea para medir presión sanguínea, tomar muestras de sangre o inyectar sustancias tales como colorantes o drogas dentro del corazón.

Los pacientes sujetos a estas condiciones son fáciles de identificar y representan sólo un pequeño porcentaje de la población de pacientes de un hospital, además, estos pacientes por lo general son confinados a áreas especializadas tales como las unidades de cuidados intensivos o coronarios, o a laboratorios de cateterización. Es de recalcar que un paciente está en peligro de microshock sólo cuando tiene alguna conexión eléctrica al corazón, la resistencia interna de un catéter lleno de fluido está entre 50 kΩ y 1 MΩ 12 mucho mayor que la resistencia de los electrodos y conductores metálicos que presentan los marcapasos y EGM, la resistencia interna del cuerpo al microshock es de unos 300 Ω y la resistencia de la piel puede ser bastante variable, tal y como se planteó anteriormente.

1.1.5 Circuitos Eléctricos Equivalentes de los casos anteriores de microshock.

Los ejemplos vistos anteriormente pueden modelarse matemáticamente y estudiar los posibles efectos y daños que éstos pueden ocasionar.

1.- Defecto o rotura del conductor de puesta a tierra: En la figura siguiente puede observarse dos situaciones diferentes de riesgo de microshock donde existe un defecto o rotura de la puesta a tierra, así como sus circuitos eléctricos equivalentes. Puede observarse que para una tensión de red de 120 V, y una capacidad parásita de 2500 pF pueden originarse corrientes de fuga de 110 μA considerando que la resistencia de la piel es de 100 KΩ y la del cuerpo 500 Ω.

La corriente eléctrica puede calcularse:

$$I = \frac{120}{\left[(1/wC)^2 + (R_{total})^2 \right]^{1/2}} = 109 \mu A$$

Donde:

I = Corriente Eléctrica
w = Frecuencia
C = Capacidad Parásita
Rtotal = Resistencia Total del Cuerpo humano

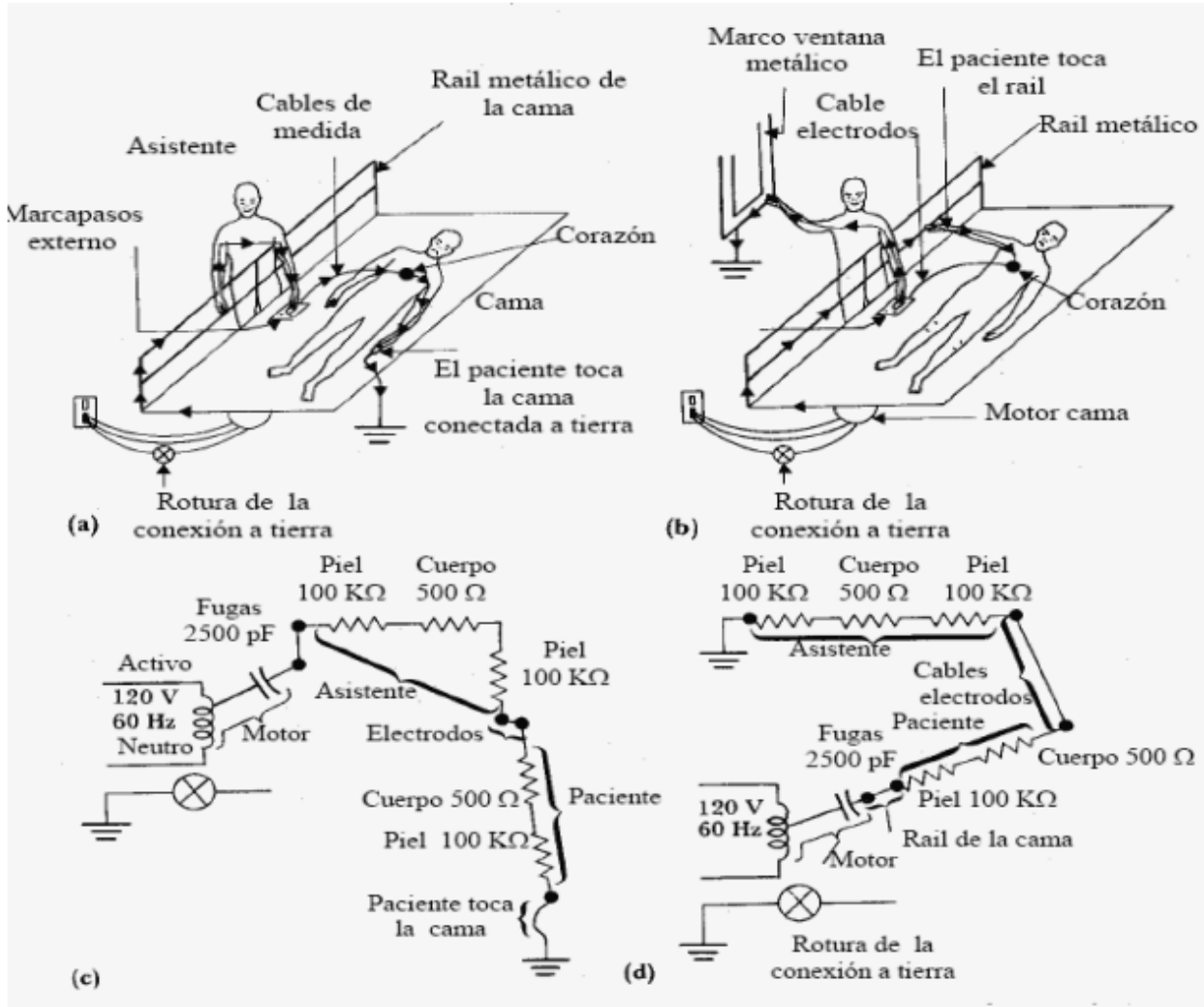


Ilustración 7 a) Microshock provocado por catéter en el corazón. b) Otra situación de microshock.

2.- Equipos conectados a diferentes potenciales de tierra: La figura siguiente muestra el riesgo de microshock cuando no existen tierras equipotenciales, la corriente que circula por la tierra general del hospital puede alcanzar los 5 A por lo que suponiendo que la resistencia del cable de tierra puede ser de 0.1Ω , pueden aparecer 500 mV entre diferentes tierras de distintos equipos. Suponiendo que la resistencia del catéter puede ser $50 \text{ K} \Omega$ y la del cuerpo de 300Ω puede observarse que se superan los $10 \mu\text{A}$ del límite de seguridad.

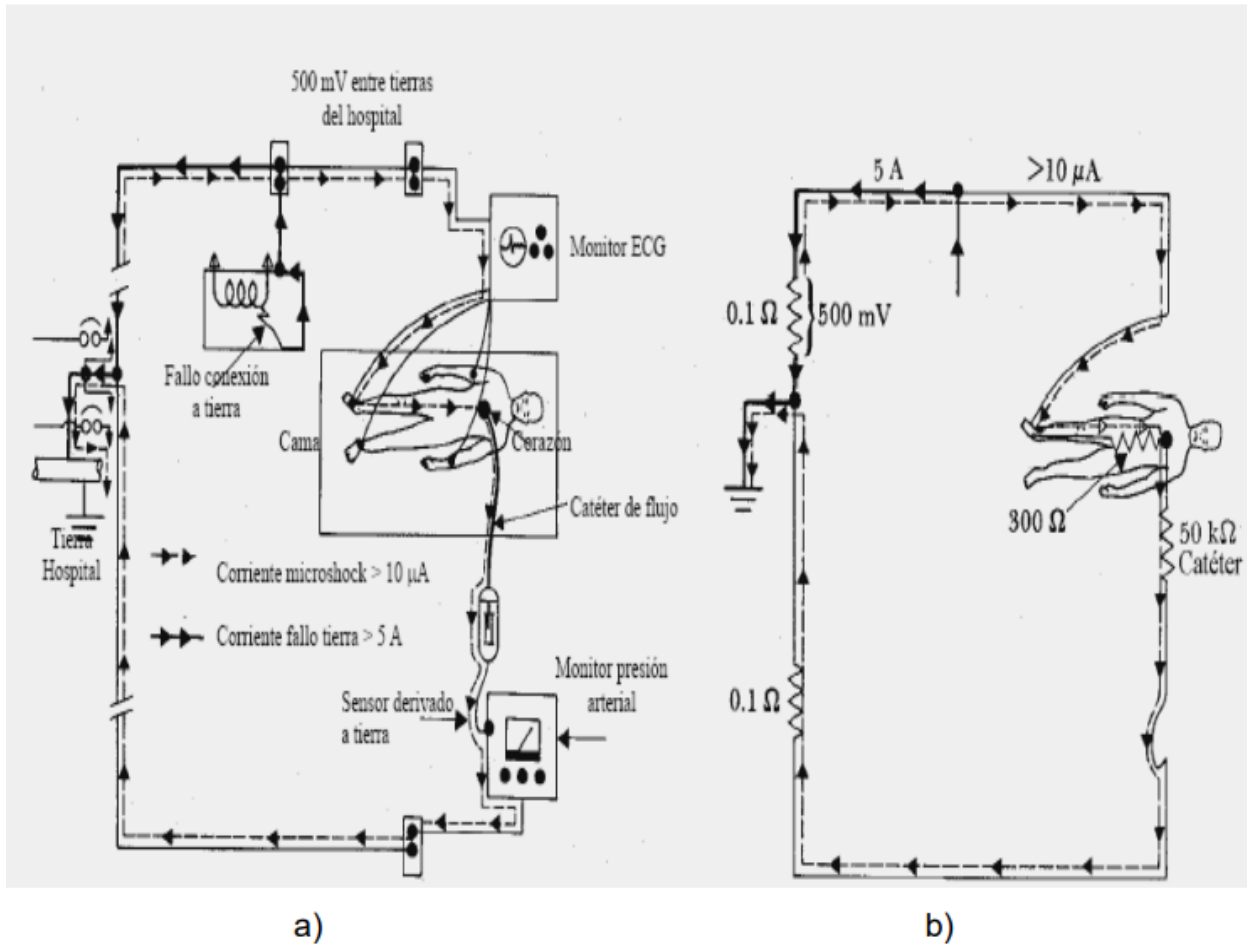


Ilustración 8 a) Riesgo de microshock debido a la existencia de equipos conectados a diferentes fuentes de alimentación.

3.- Acople capacitivo en sistemas de alimentación aislados: En la figura siguiente puede observarse las capacidades parásitas que pueden aparecer entre los cables de alimentación y el chasis del equipo que pueden provocar riesgos de microshock. Considerando CA y CB representan las capacidades parásitas del monitor de ECG y equipo de medición y CS las capacidades parásitas entre los conductores de la fuente de alimentación.

En el circuito ilustrado en la figura anterior. se ha representado el circuito equivalente ilustrado de la siguiente figura, donde se supone que la resistencia del paciente es 500Ω , $CA + CS$ es 3000 pF y las

diferencia entre C_{B1} - C_{B2} es 1500 pF. En este caso, la corriente que circula por el corazón es aproximadamente 50 μ A, superando los límites de riesgo de microshock.

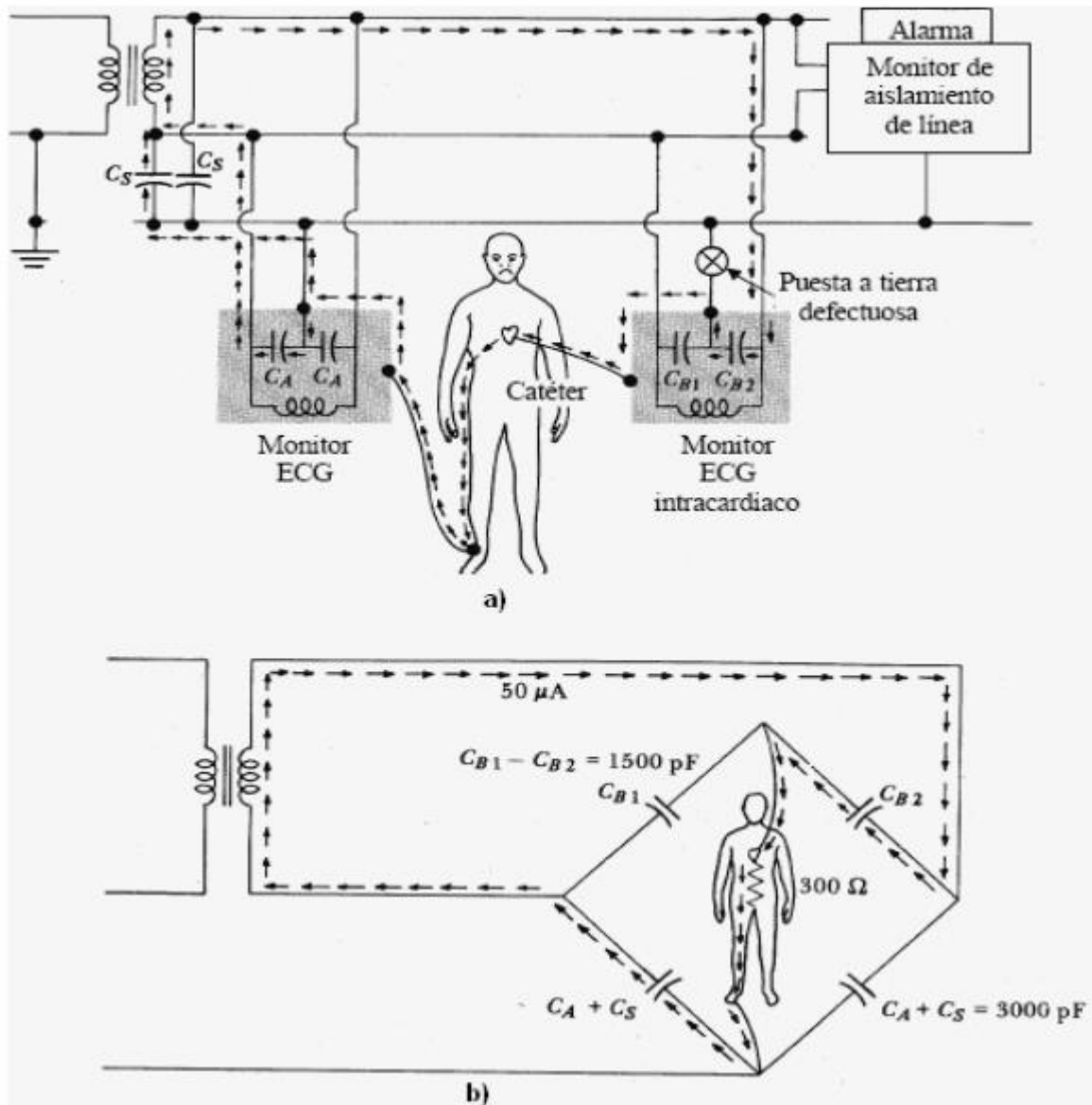


Ilustración 9 a) Acople capacitivo del sistema de alimentación sobre el paciente. b) Circuito eq

1.1.6 Riesgos de Quemaduras producidas por corriente eléctrica

Tomemos como base a Estados Unidos las estadísticas sobre accidentes eléctricos reflejan la gravedad del problema. Miles de personas sufren lesiones eléctricas cada año, y en entornos laborales, los incidentes

relacionados con la electricidad están entre las principales causas de muerte, incluso para trabajadores que no son electricistas. En hospitales, la seguridad eléctrica es un tema crítico, ya que un error puede comprometer la vida de quienes dependen de dispositivos médicos para su tratamiento. A pesar de la existencia de regulaciones como las establecidas por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), muchas instalaciones médicas enfrentan dificultades para garantizar el cumplimiento de las normas, la falta de regulación uniforme en la certificación de equipos, sumada a procesos de adquisición que en ocasiones ignoran los requisitos de seguridad eléctrica, agrava el problema. Un aspecto crucial en la seguridad eléctrica hospitalaria es la prevención del microshock, una descarga de baja intensidad que puede ser letal cuando se aplica directamente al corazón a través de catéteres o dispositivos implantados. Dado que los métodos tradicionales de protección, como los interruptores diferenciales, no son efectivos en estos casos, la única solución viable es el uso de transformadores de aislamiento y conexiones adecuadas a tierra.

Los trabajadores de la salud deben recibir formación en prevención de riesgos eléctricos y adopten prácticas seguras, como evitar desconectar equipos tirando del cable, no operar dispositivos con las manos húmedas y revisar periódicamente el estado del aislamiento en cables y enchufes, la implementación de planes de inspección y mantenimiento regular es esencial para reducir incidentes. En un entorno donde la electricidad es indispensable para salvar vidas, la seguridad no puede tomarse a la ligera. Con un enfoque riguroso en la prevención, el cumplimiento de normativas y la capacitación del personal, es posible minimizar los riesgos y garantizar que los hospitales sigan siendo espacios seguros para pacientes y profesionales de la salud.

Uno de los incidentes más comunes en hospitales es la descarga eléctrica accidental causada por el uso de equipos defectuosos o la manipulación inadecuada de dispositivos médicos, los trabajadores de la salud pueden recibir descargas al conectar o desconectar equipos con cables deteriorados, al utilizar dispositivos con aislamiento dañado o cuando operan maquinaria con las manos húmedas. En algunos casos, estos accidentes han resultado en quemaduras severas, pérdida de conciencia e incluso paro cardíaco, los pacientes, por su parte, también corren riesgos, especialmente aquellos conectados a equipos eléctricos

como monitores de signos vitales, bombas de infusión y respiradores. Si estos dispositivos presentan fugas de corriente, pueden ocasionar desde pequeñas molestias hasta situaciones críticas, como el microshock, una descarga de baja intensidad, pero letal cuando atraviesa directamente el corazón.

Otro problema frecuente en hospitales es la sobrecarga de circuitos eléctricos. En muchos centros de salud, la cantidad de dispositivos conectados a la red eléctrica es elevada, lo que puede provocar sobrecalentamiento de cables, fallos en los disyuntores o incluso incendios. Un circuito sobrecargado puede fallar en el momento menos esperado, dejando sin energía a equipos esenciales y comprometiendo la seguridad de los pacientes, además, cuando se utilizan regletas de enchufes no diseñadas para entornos médicos, el riesgo de incendio aumenta considerablemente.

Los incendios eléctricos son una de las mayores amenazas dentro de un hospital. Pueden originarse por fallos en el cableado, cortocircuitos o el uso inadecuado de dispositivos eléctricos. A diferencia de otros tipos de incendios, los de origen eléctrico pueden propagarse rápidamente y ser difíciles de extinguir si no se cuenta con los equipos adecuados. En áreas críticas, como salas de cirugía o unidades de cuidados intensivos, donde se maneja oxígeno y otros gases inflamables, el riesgo se amplifica, aunque la incidencia de incendios hospitalarios por equipos médicos es baja, han ocurrido casos en los que un desfibrilador mal utilizado ha generado chispas y causado quemaduras en pacientes o incluso iniciado incendios en presencia de materiales inflamables.

Los equipos de resonancia magnética (RM) representan otro factor de riesgo. Se han reportado casos de pacientes con quemaduras graves debido al uso inadecuado de electrodos de monitorización o sensores de oxígeno durante una resonancia magnética, los campos magnéticos generados por estas máquinas pueden calentar los metales presentes en algunos dispositivos médicos, provocando lesiones térmicas severas.

Además de los incidentes causados directamente por la electricidad, es importante mencionar los riesgos asociados a las prácticas laborales inseguras. Desconectar equipos tirando del cable en lugar del enchufe,

utilizar dispositivos médicos sin una revisión previa o emplear alargadores de uso doméstico en áreas críticas son errores comunes que pueden derivar en accidentes graves.

1.1.7 Riesgos de Explosión por chispas o sobre cargas eléctricas

Las chispas y explosiones causadas por la electricidad en hospitales pueden generar situaciones de alto riesgo, comprometiendo la seguridad de pacientes, personal médico y la infraestructura hospitalaria. En entornos donde se manejan gases inflamables, equipos de alta potencia y dispositivos electrónicos sensibles, una descarga inesperada o un fallo en el sistema eléctrico pueden desencadenar incendios, quemaduras graves y daños estructurales. A lo largo de los años, se han registrado incidentes en diversas instalaciones médicas que sirven como ejemplo de los peligros que implica un manejo inadecuado de la electricidad en estos espacios.

Uno de los factores más críticos en la generación de chispas dentro de un hospital es la interacción entre la electricidad y los gases médicos, especialmente el oxígeno. En 2008, un hospital en Serbia sufrió un incendio devastador cuando una chispa generada por un desfibrilador encendió una acumulación de oxígeno en una sala de cuidados intensivos, el fuego se propagó rápidamente, destruyendo parte del equipamiento y obligando a evacuar a los pacientes en estado crítico. Un incidente similar ocurrió en un hospital de la India en 2021, donde una explosión en un tanque de oxígeno, posiblemente originada por una descarga eléctrica cercana, dejó varios fallecidos y heridos.

Los quirófanos son áreas de alto riesgo debido a la combinación de equipos eléctricos de alto voltaje y la presencia de sustancias inflamables. Un caso documentado en un hospital estadounidense reportó que una chispa generada por un electrobisturí durante una cirugía prendió fuego a los vapores de un antiséptico a base de alcohol, provocando quemaduras severas en el paciente, estos eventos han llevado a la implementación de protocolos más estrictos en el uso de dispositivos eléctricos en salas de operación, como la ventilación adecuada de los vapores inflamables y la revisión de conexiones eléctricas antes de cada procedimiento.

Los cortocircuitos en instalaciones eléctricas también han sido responsables de explosiones e incendios en hospitales. En 2019, un fallo en el cableado eléctrico de un hospital en Rumania provocó un incendio en una unidad de cuidados intensivos, donde varios pacientes estaban conectados a ventiladores mecánicos, la combinación de chispas con el oxígeno presente en la habitación resultó en una explosión que dejó múltiples víctimas fatales. Investigaciones posteriores revelaron que el cableado no había sido inspeccionado en años, lo que evidenció la importancia del mantenimiento preventivo en hospitales.

Los incidentes relacionados con la infraestructura, los equipos médicos portátiles pueden ser una fuente de ignición cuando no se utilizan adecuadamente. Cargadores defectuosos de baterías en monitores de signos vitales, bombas de infusión o desfibriladores han provocado cortocircuitos que, en presencia de material inflamable, han desencadenado incendios. En 2020, un hospital en Brasil reportó una explosión en un área de almacenamiento de dispositivos médicos cuando un cargador sobrecalentado provocó un cortocircuito que encendió productos químicos cercanos.

Los riesgos eléctricos en hospitales no son hipotéticos ni aislados, la combinación de chispas, gases inflamables y equipos en mal estado ha sido responsable de tragedias en diversas partes del mundo, la prevención de estos incidentes depende de un mantenimiento eléctrico riguroso, el cumplimiento de normas de seguridad y la capacitación del personal en el uso adecuado de dispositivos eléctricos. Un solo descuido puede tener consecuencias irreparables, por lo que la vigilancia constante y la inversión en infraestructura segura son esenciales para evitar catástrofes dentro de los hospitales.

Algunos lugares alrededor del mundo donde ocurrieron siniestros relacionados:

- Hospital Central de Mendoza, Argentina (octubre de 2024): Un principio de incendio alarmó al personal y pacientes del Hospital Central, el incidente ocurrió alrededor de las 20:15 en el cuarto piso del edificio. Según informes de Bomberos, el fuego fue causado por un cortocircuito en una de las instalaciones eléctricas.

- Hospital Universitario de Caracas, Venezuela (agosto de 2019): Un incendio originado por un cortocircuito en el Hospital Universitario de Caracas obligó al desalojo de pacientes, incluyendo 10 neonatos, familiares y personal de los pisos 9 y 10, donde se ubican las áreas de Cirugía Prenatal.
- Hospital Regional de Caacupé, Paraguay (enero de 2025): A las 01:30 de un sábado se reportó un incendio en el Hospital Regional de Caacupé, el doctor Luis Gómez explicó que tuvieron que evacuar a más de 50 pacientes de las áreas de internación, urgencias y pediatría, quienes fueron trasladados rápidamente a otros centros asistenciales. Afortunadamente, no se registraron heridos, solo daños materiales

1.1.7 Riesgo de electrocución general

Se estima que más de 400 personas mueren al año en los Estados Unidos debido a accidentes eléctricos en el entorno laboral, y muchos de estos incidentes ocurren en hospitales o centros de salud. A nivel mundial, los accidentes eléctricos representan una de las principales causas de lesiones graves en entornos hospitalarios. En particular, los equipos médicos defectuosos, el mal mantenimiento de las instalaciones eléctricas y la falta de capacitación en seguridad eléctrica contribuyen significativamente a este problema.

Según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), más de 30,000 lesiones eléctricas no fatales ocurren anualmente en los EE. UU., y un número considerable de estas se da en hospitales, los pacientes en cuidados intensivos, que a menudo están conectados a ventiladores, monitores y otros dispositivos, se encuentran especialmente vulnerables a descargas eléctricas accidentales. En muchos casos, la manipulación incorrecta de estos equipos o fallos en la infraestructura eléctrica pueden provocar electrocuciones fatales. En 2020, un informe de la OSHA identificó que cerca del 7% de las muertes relacionadas con electricidad en el lugar de trabajo en los EE. UU. involucraron a trabajadores de la salud.

En hospitales, el riesgo de electrocución no solo recae en el personal médico, sino también en los pacientes que dependen de equipos eléctricos para su supervivencia, la combinación de la alta concentración de equipos médicos, los sistemas de ventilación en unidades de cuidados intensivos y la presencia de sustancias inflamables como el oxígeno, crea un caldo de cultivo ideal para accidentes eléctricos. Un ejemplo claro se

dio en un hospital de Nueva York, donde un desfibrilador defectuoso provocó una descarga eléctrica que afectó a varios pacientes en una sala de cuidados intensivos. Afortunadamente, el incidente fue controlado, pero dejó en evidencia lo vulnerable que puede ser un hospital ante un fallo eléctrico.

Por lo tanto, la seguridad eléctrica en hospitales debe ser una prioridad absoluta. Las instalaciones deben cumplir con estrictos estándares de mantenimiento y los equipos deben ser inspeccionados regularmente para evitar cortocircuitos o fallos que puedan desencadenar una tragedia, además, la capacitación del personal en protocolos de seguridad eléctrica es esencial. Sin una adecuada formación, el personal puede no estar preparado para manejar emergencias eléctricas o prevenirlas de forma eficaz, la implementación de sistemas de monitoreo eléctrico, el uso de interruptores de circuito de falla a tierra y la actualización constante de las instalaciones son prácticas esenciales para reducir el riesgo de electrocución y proteger tanto a los pacientes como al personal.

Capítulo #2: Normas y Estándares aplicados en Latinoamérica para el diseño de instalaciones eléctricas en infraestructura hospitalaria.

2. Norma eléctricas para infraestructuras hospitalarias (IEC)

La comisión electrotécnica internacional (IEC) es una de las organizaciones de normalización líderes en el mundo para muchas ramas de las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas, llamado grupo de electro tecnologías. Su objetivo es facilitar la cooperación internacional en todas las áreas de la electrónica y la tecnología eléctrica.

Las normas de la IEC, reconocidas por la Organización Mundial del Comercio, son adoptadas por muchos países para garantizar la compatibilidad, la seguridad de equipos eléctricos y electrónicos en todo el mundo, estas normas abarcan una amplia cantidad de tecnologías, desde la transmisión y distribución de energía eléctrica, hasta una gran variedad de equipos eléctricos como equipos industriales, equipos médicos y también semiconductores hasta las energías renovables que actualmente existen.

2.1 Norma IEC-60364-7-710

En los centros médicos es fundamental garantizar la seguridad de los pacientes que serán sometidos al uso de equipos electro médicos. Para cada actividad y función dentro de una instalación médica, se deben considerar los requisitos específicos de seguridad.

Esta seguridad se logra mediante la protección de la instalación, la operación y el mantenimiento seguro de los equipos médicos y equipos eléctricos conectados, el uso de equipos electro médicos en pacientes sometidos a cuidados intensivos (de importancia crítica), ha exigido mayor confiabilidad y seguridad en las instalaciones eléctricas en hospitales, esto permite mejorar la seguridad y continuidad del suministro que se cumple mediante la aplicación de esta norma.

Los requisitos que menciona la norma IEC 60364 son aplicables a toda instalación eléctrica que sea realizada en lugares de atención médica, la consideración de esta norma es de suma importancia para garantizar la seguridad de los pacientes y el personal; los establecimientos médicos que deben cumplir con los requerimientos de la norma son:

- a) Hospitales y Clínicas o instituciones similares a este rubro, estos incluyen unidades móviles de atención de salud.
- b) Sanatorios y clínicas de especialidades.
- c) Ubicaciones dedicadas de atención en hogares para personas mayores y asilos donde las personas reciben atención médica.
- d) Centros médicos, clínicas externas y departamentos, salas de emergencia.
- e) Otras instituciones de atención externas (industriales, deportivas y otras).
- f) Consultorios médicos clínicos y también dentales.
- g) Clínicas medicas para empleados en empresas.
- h) Clínicas veterinarias.

2.1.1 Términos y Definiciones según norma IEC 60364

Ubicación Médica: Ubicación destinada para fines de diagnóstico, tratamiento, monitoreo y atención de pacientes (710.3.1).

Paciente: Ser vivo (persona o animal) sometido a algún procedimiento médico ya sea de diagnóstico o quirúrgico o de atención dental (710.3.2).

Equipo eléctrico Medico: Es todo equipo eléctrico que tiene una parte aplicada o que transfiere energía hacia o desde el paciente o detecta dicha transferencia de energía hacia o desde el paciente (710.3.3).

Parte Aplicada: Parte del equipo médico que, en uso normal, entra necesariamente en contacto directo con el cuerpo del paciente (710.3.4).

2.1.2 Definiciones de Grupo según norma IEC603464-7-710.

Grupo 0 (710.3.7)

La ubicación médica donde el equipo médico o los sistemas de equipo médico no están destinados a ser utilizados, son aquellas áreas donde no se emplean equipos activos sobre el paciente. Un ejemplo de estos espacios es una sala de masajes de fisioterapia.



Ilustración 10 Sala convencional de fisioterapia.

Grupo 1 (710.3.8).

La ubicación médica donde el equipo médico eléctrico o los sistemas médicos eléctricos están destinados a ser utilizados externa o invasivamente en cualquier parte del paciente y donde la discontinuidad del suministro eléctrico, como la protección contra descargas eléctricas, no representa un riesgo para la seguridad del paciente. Un ejemplo de estas áreas es: áreas de hemodiálisis, salas de recuperación entre otras.



Ilustración 11 Sala de recuperación

Grupo 2 (710.3.9).

La ubicación médica donde se utilizarán equipos o sistemas de equipo eléctrico médico de forma invasiva, externa o invasiva en cualquier parte del paciente y donde la discontinuidad del suministro eléctrico, como protección contra descargas eléctricas, representa un riesgo para la seguridad del paciente. Algunos de estos ambientes son las salas de cateterismo, cuidados intensivos, salas de parto, sala de neonatos etc.

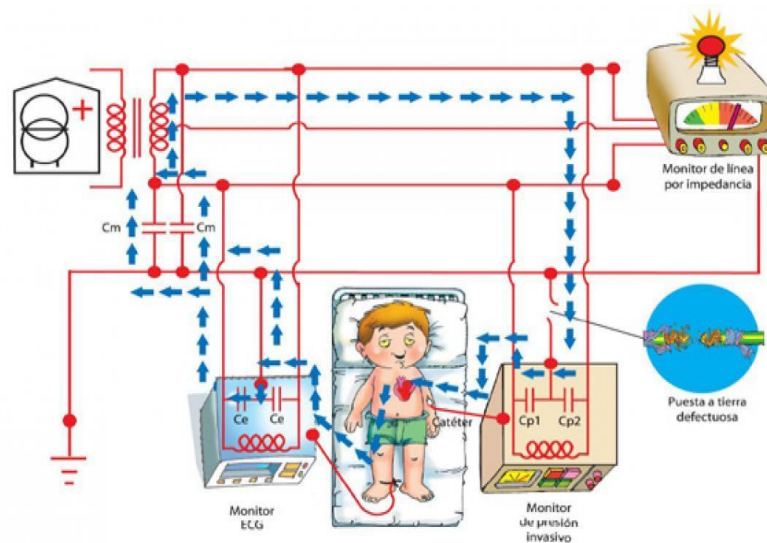


Ilustración 12 Ejemplo de sala de cateterismo cardiaca.

2.1.3 Sistema IT médico (710.3.10)

Sistema eléctrico de TI que cumple con todos los requisitos adicionales específicos de las ubicaciones médicas del grupo 2.

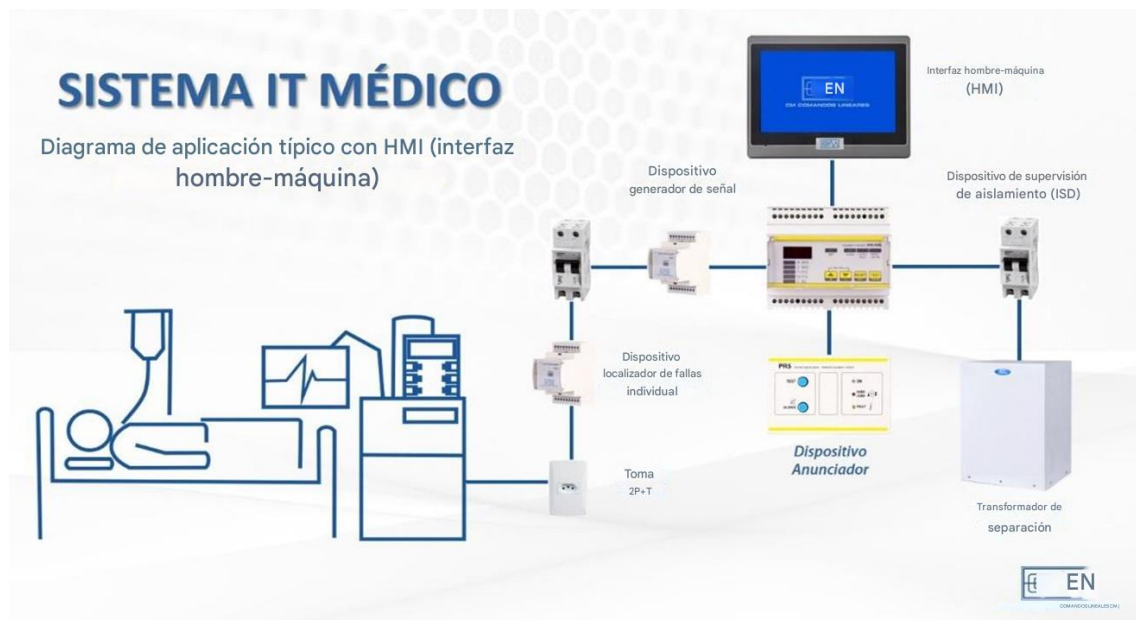


Ilustración 13 Ejemplo de sistema IT medico interfaz hombre máquina.

2.1.4 Tablero de distribución principal (710.3.11).

Tablero de distribución que cumple todas las funciones de una distribución eléctrica principal para el área suministrada asignada a él y donde se mide el voltaje para operar el sistema de suministro eléctrico para servicios de seguridad.

2.1.5 Fuente eléctrica para servicios de seguridad (710.3.12).

Fuente eléctrica destinada a ser utilizada como parte de un sistema de suministro eléctrico para servicios de seguridad, es un sistema dedicado para sistemas críticos puntuales.

Dispositivo médico de monitorización de aislamiento MED-IMD (710.3.13).

Dispositivo específico de monitorización de aislamiento (IMD) dedicado a monitorear sistemas de TI médicos.

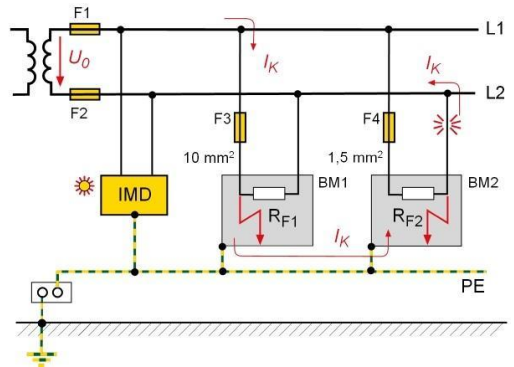


Ilustración 14 Ejemplo de circuito de monitoreo de aislamiento.

2.1.6 Sistema de localización de fallas de aislamiento (IFLS) (710.3.14).

Dispositivo o combinación de dispositivos utilizados para la localización de fallas de aislamiento en sistemas de TI, donde el sistema de localización de fallas de aislamiento se utiliza además de un dispositivo de monitorización de aislamiento y se utiliza para localizar fallas de aislamiento.

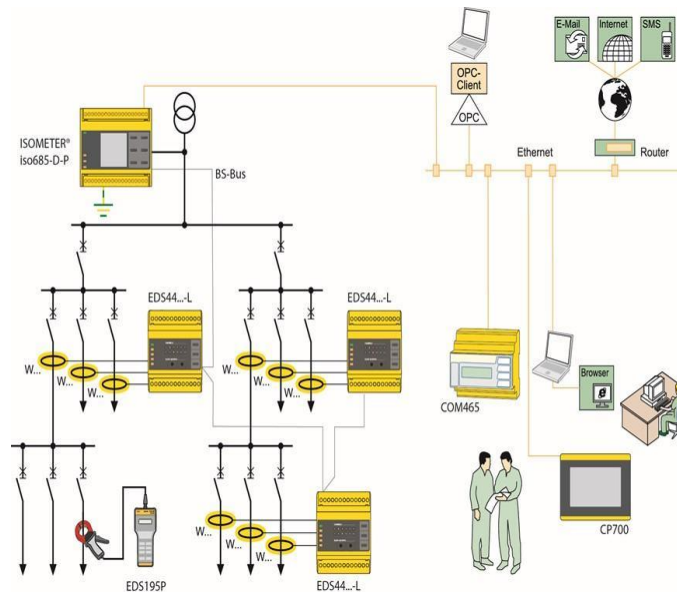


Ilustración 15 Representación esquemática de sistema IT con IMD e IFL

Con un dispositivo de localización de fallos de aislamiento (IFLS), se pueden localizar las salidas o los equipos afectados por fallos durante el funcionamiento, es decir, no es necesario desconectar la instalación. Para la localización de fallos, se superpone al sistema IT una señal pulsante de medida, que a su vez se registran y evalúan mediante transformadores de corriente de medida. De este modo, la salida afectada por el fallo puede determinarse fácilmente mediante la asignación del transformador de corriente de medida / salida.

2.1.7 Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) (710.3.15).

Combinación de convertidores, interruptores y dispositivos de almacenamiento de energía (como baterías), que constituyen un sistema de alimentación para mantener la continuidad de la alimentación de carga en caso de fallo de la alimentación de entrada.

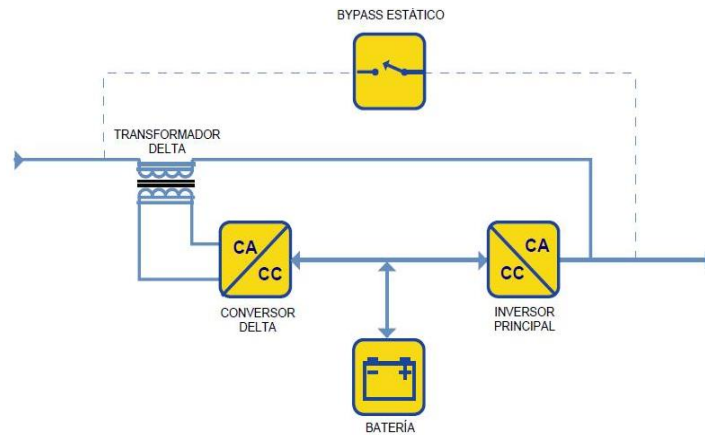


Ilustración 16 Esquema de un SAI online

Este sistema posee un nivel de protección alto y eficiente, además, cubre todos los problemas ocasionados por los fallos en el suministro de energía eléctrica a veces ocasionados por las compañías eléctricas, no producen micro cortes.

2.1.8 Evaluación de características generales (710.30).

El diseñador, en conjunto con el personal médico y la(s) persona(s) responsable(s) de la seguridad médica, deberá considerar qué efectos tendrá la discontinuidad del suministro eléctrico en los equipos o sistemas de ME, que incluyen:

la duración de la discontinuidad (falla) del suministro eléctrico; el efecto de cualquier interrupción en el suministro en el tratamiento, monitoreo o examen, incluyendo si la repetición del procedimiento es peligrosa para el paciente o si es imposible repetir los resultados del examen.

Se realizará una evaluación integral para identificar los requisitos adecuados de suministro eléctrico para los equipos de ME, sistemas de ME y equipos eléctricos de apoyo destinados a ser utilizados.

Una vez identificados estos requisitos, se determinará la clasificación adecuada para la ubicación médica. Para determinar la extensión de una ubicación médica, se deberán considerar todas las posiciones posibles del paciente.

Donde la evaluación muestre que una ubicación determinada caiga en ambas categorías de grupo 1 o grupo 2, la ubicación se clasificará como grupo 2.

Propósitos, suministros y estructura (710.31).

2.1.9 Tipos de puesta a tierra del sistema (710.312.2).

No se debe utilizar un sistema TN-C aguas abajo del tablero de distribución principal.

Abreviatura francesa de: Terre-Neutre-Combiné En un sistema TN-C, el conductor neutro (N) y el conductor de protección (PE) comparten el mismo cable.

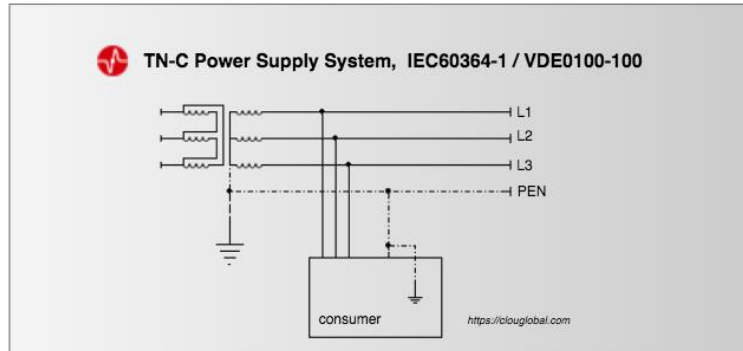


Ilustración 17 Sistema de tierra y neutro TN-C.

2.1.10 Suministro General

En las ubicaciones médicas de grupo 1 y grupo 2, el sistema de distribución deberá diseñarse e instalarse para facilitar el cambiador automático o equipo de transferencia automática desde la red de distribución principal hacia la fuente eléctrica para servicios de seguridad que alimenta cargas esenciales. Se deberá tener en cuenta todas las otras cargas esenciales médicas y no médicas. También se debe considerar la corriente de entrada de cualquier equipo conectado

Suministro de energía para ubicaciones médicas del grupo 2(710.313.1.102).

En caso de una sola falla en el suministro de energía, se debe prevenir la pérdida total de energía, esto se puede lograr mediante:

- provisión de dos líneas de suministro independientes, y/o
- un SAI dentro de la misma sección contra incendios para suministrar el sistema de TI médico,
o
- un SAI que suministre a un número de ubicaciones del grupo 2.

División de la instalación (710.314).

Los circuitos finales para equipos de ME y sistemas de ME deben ser de uso exclusivo para dicho equipo.

2.1.11 Protección para seguridad - Protección contra choque eléctrico (710.41).

Requisitos generales (710.410.3). Las medidas de protección de "ubicación no conductora", "protección mediante enlace equipotencial local sin tierra" y "separación eléctrica para el suministro de más de un equipo que utilice corriente", no deben ser utilizadas.

Medida de protección: desconexión automática de suministro (710.411)

Requisitos para protección contra fallas (710.411.3)

710.411.3.2 Desconexión automática en caso de una falla

En las ubicaciones médicas de grupo 1 y grupo 2, donde la desconexión del suministro eléctrico no se puede lograr ni mediante un dispositivo de protección por sobre corriente de acuerdo con IEC 60364-4-41:2005, 411.3.2 y IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, 411.3.2 ni mediante un dispositivo de protección diferencial residual (RCD), se aplica lo siguiente:

Para sistemas IT, TN y TT, la tensión de contacto permisible UL no debe superar los 25 V CA ($UL \leq 25 \text{ V CA}$) o 60 V CC ($UL \leq 60 \text{ V CC}$).

En sistemas TN, se puede mantener 25 V CA ($UL \leq 25 \text{ V CA}$) o 60 V CC ($UL \leq 60 \text{ V CC}$) mediante el enlace equipotencial complementario de protección. Las disposiciones descritas en IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, no se aplicarán.

2.1.12 Otros requisitos para tomas de corriente y para el suministro de equipos móviles para uso en exteriores (710.411.3.3).

Donde se utilice un sistema de IT médico, no se debe utilizar protección adicional mediante un dispositivo de protección diferencial residual (RCD).

Sistema TN (710.411.4).

En las ubicaciones médicas de grupo 1 y grupo 2, la protección con dispositivos de protección diferencial residual (RCDs) para circuitos TN debe hacerse de acuerdo con IEC 60364-4-41:2005/AMD:2017, 411.3.2.

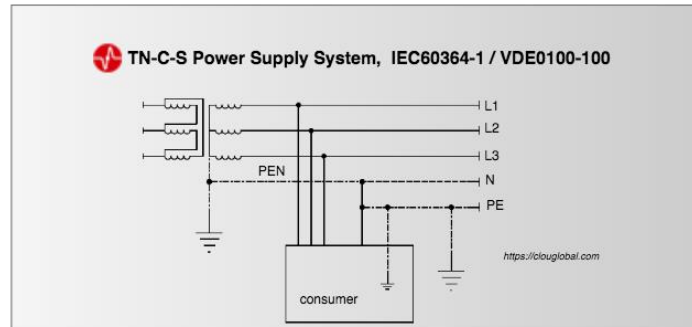


Ilustración 18 Sistema Tierra neutro combinado o separado

Sistema TT (710.411.5).

En ubicaciones médicas de grupo 1 o grupo 2, los dispositivos de protección diferencial residual (RCDs) para circuitos TT deben cumplir con lo establecido en IEC 60364-4-41:2005, 411.3.2 e IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, 411.3.2.

En un sistema TT, el punto neutro del transformador y las carcasas del consumidor están directamente conectados a tierra, el cable neutro (N) no tiene conexión a PE. Por tanto, la N no tiene función de protección.

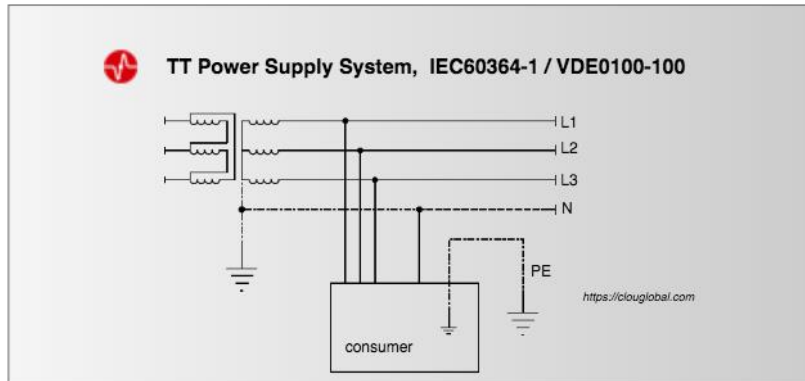


Ilustración 19 Sistema de tierra y tierra TT.

2.1.13 Sistemas de TI médicos (710.411.6.1.101).

El sistema IT básicamente evita interrupciones en el suministro de electricidad en el área hospitalaria, dicha electricidad es esencial para la vida tanto para bebés que se encuentran en incubadoras como para personas que requieren ser asistidas artificialmente.

En las ubicaciones médicas de grupo 2, se deberá utilizar un sistema de TI médico que nos permiten gestionar todo lo relacionado con la información del paciente, incluidos los requisitos de 710.411.6.3.101 y 710.512.1.101, para los circuitos finales y cuando el mismo circuito final esté conectado a equipos de ME o a un sistema de ME que básicamente nos permite monitorear y gestionar el progreso del paciente, esto claramente está ubicado dentro del entorno del paciente.

El suministro de los motores de las camillas de operaciones fijas. En las ubicaciones médicas de grupo 2, el suministro a los circuitos finales de tomacorrientes para equipos de ME y sistemas de ME utilizados para el soporte vital del paciente, no se desconectará automáticamente en caso de una primera falla.

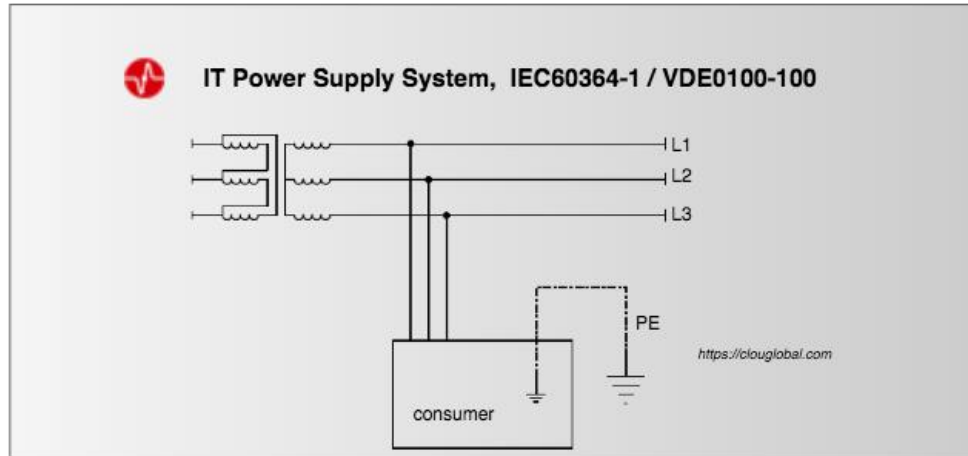


Ilustración 20 Esquema de sistema IT, Tierra Aislada.

El transformador no está conectado a tierra, los dispositivos de consumo están conectados a tierra. En caso de falla (línea a carcasa) no habrá circuito cerrado y se evitarán corrientes peligrosas, la protección se realiza mediante dispositivos de control de aislamiento.

2.2 Normas eléctricas para infraestructuras hospitalarias (NEC)

2.2.1 Artículo 517 para el cuidado de la salud

El NEC es la principal guía eléctrica tanto en Estados Unidos como en El Salvador, que sirvió de base la mayoría de normativa regional en Latinoamérica y en el mundo, en el ámbito hospitalario tiene una sección enfocada en el área de la salud, cuenta con varias secciones la primera sección desglosa definiciones, la segunda sección estudia el alambrado y las protecciones.

Esta sección el apartado segundo que se analizara en este documento no es aplicable a oficinas, pasillos, salas de espera, similares en clínicas, consultorios médicos y odontológicos, tampoco en áreas de casa con atención de enfermeras y centros de salud con cuidados limitados y cuando esa área se utilice exclusivamente como dormitorio para paciente.

El termino NLM se retoma tomando en cuenta la dificultad de prevenir en un sistema de salud se produzca una trayectoria del cuerpo del paciente a algún objeto puesto a tierra eléctrica ya sea conductiva o capacitiva. Esta trayectoria se puede establecer de manera accidental a través de instrumentos conectados directamente en el paciente lo que eleva el riesgo de un percance fatal. Por lo tanto, el control que se toma es mayor exigiendo limitación de corriente eléctrica que puede pasar por un circuito que involucre el cuerpo del paciente, se aumenta la resistencia del circuito, se reduce las diferencias de potencial que se pueden presentar en las superficies conductoras. Unos de los mayores problemas es cuando el paciente tiene una trayectoria interiorizada directamente en el musculo cardiaco el paciente puede ser electrocutado con corrientes bajas “Microshock” que pueden ser letales por lo tanto el control en los equipos involucrados es mayor al momento de ser diseñados.

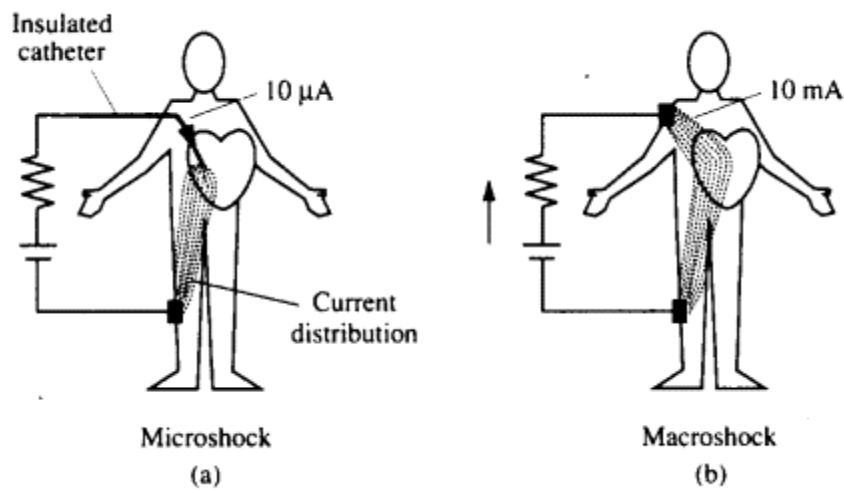


Ilustración 21 Referencia de Microshock y Macroshock

2.2.2 Cableado y protecciones en el sistema de salud

Todos los circuitos ramales de alimentación deben tener una trayectoria eficaz de las corrientes de falla a tierra mediante su instalación en canalización metálica o al ensamble de armadura o forro metálico del cable debe calificar por sí mismos como conductor de puesta a tierra de equipos esto para prevenir descargas eléctricas. Las superficies expuestas y los equipos eléctricos fijos con posibilidad de energización accidental y que operen a más de 100 volts deben conectarse a un conductor de cobre aislado de puesta a tierra, este conductor debe dimensionarse de acuerdo con la Tabla 250.122 del NEC y debe instalarse dentro de canalizaciones metálicas o como parte de cables con forro o armadura metálica que contengan los conductores de los circuitos ramales que alimentan estos equipos o tomacorrientes.

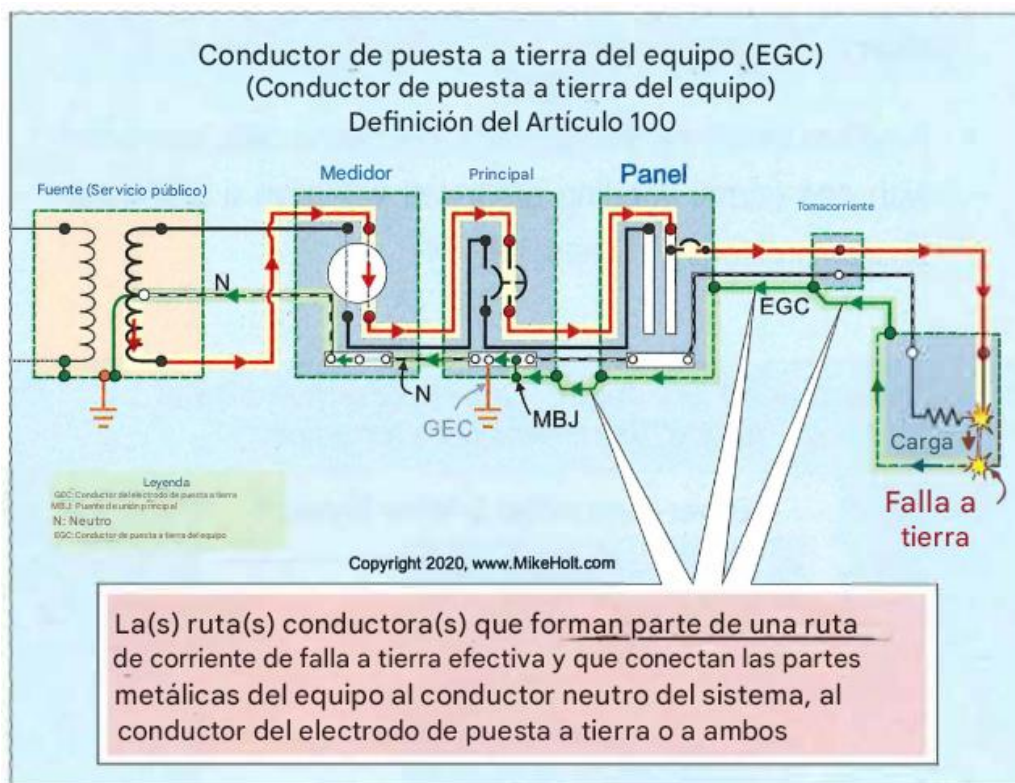


Ilustración 22 Trayectoria de conductor de tierra.

Se aceptan dos excepciones, la primera permite que las placas frontales metálicas estén conectadas al conductor de puesta a tierra mediante tornillos de montaje que aseguren la placa a una caja de salida o a un

dispositivo de alambrado puesto a tierra, la segunda excepción aplica a las luminarias ubicadas a más de 2.3 metros del piso y a los interruptores situados fuera de la proximidad al área de atención de pacientes, los cuales pueden conectarse a una trayectoria de retorno de puesta a tierra que cumpla con la sección **517.13(A)**, la unión de los paneles de distribución se establece mediante la conexión de las barras conductoras terminales de puesta a tierra de los equipos de los paneles de distribución de circuitos normales y esenciales que alimenten la misma área de proximidad al cuidado de los pacientes.

Esta conexión debe realizarse mediante un cable sin empalmes de cobre aislado con calibre no inferior a 10 AWG, este cable según el NEC soporta hasta un máximo de 60A. Cuando dos o más paneles de distribución alimenten la misma área desde interruptores de transferencia separados en el sistema de emergencia, sus barras conductoras terminales de puesta a tierra también deben unirse con un conductor continuo de cobre aislado de calibre no menor a 10 AWG, aunque se permite que este conductor no sea completamente continuo, siempre que termine en la barra principal de cada panel, los tomacorrientes con terminales de puesta a tierra aislados, estos deben estar debidamente identificados de forma visible tras su instalación generalmente son de color rojo y tienen un triángulo verde en su parte posterior, este tipo de tomacorrientes se utiliza principalmente para reducir el ruido eléctrico o la interferencia electromagnética, ya que su impedancia de puesta a tierra se controla únicamente a través del conductor de puesta a tierra de equipos, sin beneficiarse de trayectorias de puesta a tierra paralelas, por lo que se deben evitar dichas trayectorias para asegurar un correcto desempeño eléctrico.

2.2.3 Protección de fallos a tierra en el área hospitalaria.

Tanto departamentos como hospitales están sujetos a esta norma si contiene múltiples áreas donde se utilicen estos equipos o servicios esenciales para su correcto funcionamiento, la normativa detalla la forma en que se deben instalar y operar los alimentadores, la selectividad de la protección y la realización de pruebas de desempeño. Cuando se disponga de protección contra fallas a tierra en el medio de desconexión de la acometida o alimentador, se requiere la instalación de un paso adicional de protección contra fallas a tierra en el siguiente nivel del sistema eléctrico aguas abajo hacia la carga, con el termino protección de

fallos a tierra estamos hablando de diferenciales que detectan fugas de corriente. Esta protección debe garantizar la desconexión del alimentador en caso de falla a tierra, el sistema de protección debe incluir dispositivos de protección contra sobre corriente ya sea fusibles o disyuntores, transformadores de corriente (CT) o equipos equivalentes que permitan la apertura automática del medio de desconexión del alimentador ante la presencia de una corriente de falla a tierra. Sin embargo, existen excepciones importantes donde esta protección no debe instalarse:

- ✓ Lado de la carga de un interruptor de transferencia de un sistema eléctrico esencial.
- ✓ Entre los grupos generadores en sitio descritos en la **sección 517.35 B** y los interruptores de transferencia del sistema eléctrico esencial.
- ✓ Sistemas eléctricos en estrella no puestos a tierra sólidamente, siempre que el sistema opere con más de 150 V a tierra, pero no supere los 600 V entre fases.

Buscando asegurar que, en caso de falla a tierra, solo se dispare el dispositivo de protección más cercano a la carga a esto se le denomina coordinación de protecciones, esto para permitir que el sistema aguas arriba siga en operación. Para lograr esta selección, la normativa exige que las bandas de disparo de los dispositivos de protección de la acometida y del alimentador tengan una separación mínima de 6 ciclos eléctricos, esto implica que el tiempo de disparo del dispositivo del alimentador debe ser más rápido que el de la acometida, permitiendo una secuencia de disparo escalonada. Se deben considerar los tiempos de respuesta de los dispositivos de desconexión para asegurar que la selectividad sea del 100%, es decir, que únicamente el dispositivo directamente afectado por la falla se desconecte, evitando una desconexión total del sistema eléctrico de la instalación.

La prueba de desempeño es un paso esencial tras la instalación inicial de los equipos de protección contra fallas a tierra. Se deben comprobar los tiempos de respuesta, la precisión de disparo, la capacidad de apertura de los dispositivos de desconexión y la coordinación con los niveles superiores e inferiores. Esta prueba garantiza que la protección contra fallas a tierra funcione de forma eficiente y segura, previniendo

interrupciones innecesarias en el servicio eléctrico. Cada ubicación de cama de paciente debe contar con al menos dos circuitos ramales, uno proveniente del sistema de emergencia y otro del sistema normal. Ambos deben originarse desde el mismo panel de distribución para asegurar la independencia de las fuentes de alimentación. Sin embargo, existen tres excepciones:

- ✓ Los circuitos destinados a salidas o tomacorrientes de propósitos especiales, como los utilizados para equipos de rayos X portátiles, no necesitan originarse en el mismo panel.
- ✓ Las ubicaciones de camas en clínicas, consultorios médicos, odontológicos y otras instalaciones ambulatorias no están obligadas a cumplir con esta disposición.
- ✓ No se exige la alimentación por dos circuitos distintos para camas alimentadas por dos interruptores de transferencia separados en el sistema de emergencia.

Cada cama de paciente debe contar con un mínimo de ocho tomacorrientes que pueden ser de tipo sencillo, doble o una combinación de ambos, siempre y cuando cumplan con la normativa. Todos los tomacorrientes deben ser de "grado hospitalario", lo que implica que deben cumplir con estándares de seguridad y durabilidad superiores a los convencionales, estos tomacorrientes deben estar listados e identificados como de grado hospitalario, y sus terminales de puesta a tierra deben conectarse a un conductor de puesta a tierra de equipos (EGC) de cobre aislado, cuyo calibre debe ser dimensionado conforme a la Tabla 250.122 del NEC.

Tabla 250.122 Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conduit, etc., sin exceder de (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Tabla 1 Tabla 250.122 del NEC

Este conductor garantiza la correcta derivación de corrientes de falla a tierra, mejorando la seguridad eléctrica. Se establecen dos excepciones para estos requisitos:

- ✓ Los hospitales psiquiátricos, centros de desintoxicación y rehabilitación por abuso de drogas no están obligados a cumplir esta disposición.
- ✓ Las habitaciones de seguridad psiquiátrica no requieren la instalación de salidas de tomacorrientes para evitar riesgos de manipulación indebida.

Para las áreas pediátricas, como habitaciones, baños, salas de juegos y áreas de cuidado de pacientes, la normativa exige que los tomacorrientes sean de tipo resistente a la manipulación (TR, por sus siglas en inglés), estos tomacorrientes deben ser listados como TR o deben contar con cubiertas de protección resistentes a la manipulación, esto se hace con el objetivo de evitar la inserción accidental de objetos en los tomacorrientes, una medida de seguridad fundamental en áreas donde los niños pueden estar presentes.

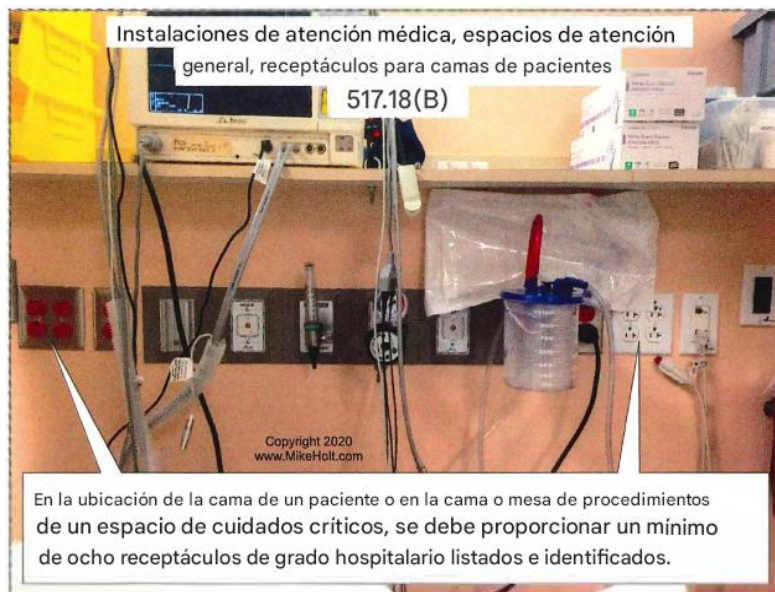


Ilustración 23 Cantidad de receptáculos GH encamados.

2.2.4 Área de cuidados críticos en el sistema hospitalario.

Cada cama de paciente debe estar alimentada por al menos dos circuitos ramales, uno o más provenientes del sistema de emergencia y uno o más del sistema normal. Al menos un circuito del sistema de emergencia debe alimentar una o más salidas en la ubicación de la cama, mientras que todos los circuitos del sistema normal deben proceder de un solo panel de distribución, los tomacorrientes de emergencia deben estar identificados con el panel de distribución y el número de circuito que los alimenta con la finalidad de hacer más fácil el mantenimiento y la desconexión. Existen excepciones para los circuitos ramales que alimentan tomacorrientes o equipos de propósito especial y para áreas de cuidado crítico con alimentación de dos interruptores de transferencia separados, ya que no se exige la presencia de circuitos del sistema normal en este caso, lo que significa que en dado caso la alimentación que proviene de la red eléctrica, estos no se verán afectados. Cercano a la cama de paciente debe contar con al menos seis tomacorrientes, de los cuales uno debe estar conectado a un circuito del sistema normal y otro a un circuito de emergencia alimentado por un interruptor de transferencia distinto, estos tomacorrientes pueden ser de tipo sencillo, doble o una combinación de ambos, y todos deben ser de "tipo hospitalario", con terminales de puesta a tierra conectados al punto de referencia mediante un conductor de cobre aislado, los tomacorrientes se deben conectar mediante un puente de unión de equipos de calibre no inferior a 10 AWG mínimo, la distancia

entre el punto de puesta a tierra de referencia y la ubicación cercana al paciente debe ser mínima para evitar diferencias de potencial o equipotencialidad, existe un fenómeno que a menudo se da cuando los electrodos de puesta a tierra no están conectados entre ellos generando un diferencial de potencial entre ellos y siendo estas extremadamente peligrosas para la vida.

Los paneles de distribución también deben estar correctamente puestos a tierra, especialmente si se utilizan canalizaciones metálicas o cables tipo MC o MI porque si se genera un fallo las carcasas se pueden energizar si la red de tierra no es la adecuada, la conexión a tierra se realiza mediante un cable de puente o denominados JUMPERS, estos puentes de unión pueden ser de cobre o dispositivos aprobados como contratueras o pasacables de tipo unión.

Los tomacorrientes para propósitos especiales, como los destinados a equipos de rayos X móviles, necesitan conductores de puesta a tierra que se extiendan hasta los puntos de referencia de los circuitos ramales.

2.2.5 Ubicaciones con presencia de humedad.

Es esencial garantizar la seguridad eléctrica en áreas con alto riesgo de contacto con agua. todos los tomacorrientes y equipos fijos necesitan estar protegidos mediante interruptores de circuito contra fallas a tierra (GFCI) para la protección de las personas, siempre que la interrupción de la alimentación en caso de falla sea tolerable, estos interruptores detectan diferenciales y se protegen, también pueden agregárseles 4 tomacorrientes más como esclavos que también cumplen la misma función de protección. Cuando no se pueda admitir esta interrupción, los tomacorrientes y equipos deben alimentarse por medio de un sistema separado de alimentación, debido a que hay equipos vitales que no pueden ser des energizados. Como excepción, es válido que los circuitos ramales que alimentan equipos terapéuticos y de diagnóstico fijos y listados estén conectados a una acometida monofásica o trifásica puesta a tierra, siempre que el alambrado para los circuitos separados no comparta la misma canalización y que todas las superficies conductoras de los equipos estén conectadas a un conductor de puesta a tierra de equipos. No será obligatorio instalar interruptores de circuito contra fallas a tierra en tomacorrientes de áreas de cuidado crítico donde el retrete

y el lavamanos estén dentro de la misma habitación del paciente, ya que estas condiciones se consideran controladas y con menor riesgo para el personal.



Ilustración 24 Toma Corriente para Áreas con humedad tipo GFCI

2.2.6 Sistema eléctrico esencial.

El sistema eléctrico esencial en instalaciones de atención médica está diseñado para garantizar el suministro continuo de energía a servicios críticos de iluminación y fuerza durante interrupciones del suministro eléctrico normal, este sistema es obligatorio en clínicas, hospitales, consultorios médicos y odontológicos, centros de atención ambulatoria y otras instalaciones de atención a la salud. Su objetivo principal es preservar la seguridad de los pacientes y permitir la continuidad de los procedimientos médicos.

En hospitales, el sistema se divide en dos subsistemas independientes: el sistema de emergencia y el sistema de equipos, el primero alimenta los circuitos esenciales para la seguridad de la vida y la atención crítica de los pacientes, que se organizan en el ramal de seguridad para la vida y el ramal crítico, el sistema de equipos, por su parte, suministra energía a los principales dispositivos eléctricos necesarios para la atención médica y la operación hospitalaria. Para garantizar la confiabilidad del sistema, se instalan interruptores de transferencia automática o manual, cuyo número depende de la carga eléctrica y las necesidades de la instalación. En instalaciones con una demanda máxima de 150 kVA, es aceptado que un solo interruptor de transferencia alimente múltiples ramales o subsistemas, lo que asegura una respuesta eficiente ante fallas en la red eléctrica.

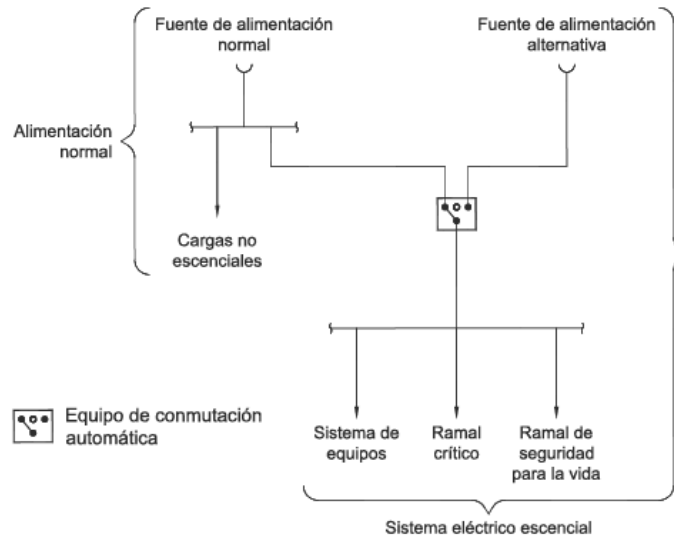


Ilustración 25 Requisitos mínimos para subestaciones de (150 kVA o menos) para la disposición de los interruptores de transferencia

El sistema eléctrico esencial en hospitales debe contar con interruptores de transferencia independientes para cada sistema con excepción de hospitales con cargas menores o iguales a 150kVA estos pueden tener un solo interruptor de transferencia, esto garantiza que la transferencia de carga no sobrecargue el generador y que, en caso de sobrecarga, las cargas se desconecten automáticamente, este sistema puede compartir la fuente de alimentación con instalaciones contiguas ubicadas en el mismo sitio, los ramales de seguridad para la vida y los críticos deben estar separados de otros circuitos eléctricos, aunque es posible que compartan canalizaciones o gabinetes bajo condiciones específicas, como en luminarias de emergencia con doble fuente de alimentación, el propósito de esta separación es que puede existir interferencias o corrientes no deseadas, el cableado debe protegerse mecánicamente mediante canalizaciones metálicas no flexibles, cables tipo MI o Conduit de PVC, mientras que se aceptan canalizaciones flexibles o no metálicas si están empotradas en concreto de al menos 50 mm, además, el sistema de emergencia debe tener la capacidad para soportar la demanda de todas las funciones y equipos esenciales, con generadores dimensionados según la carga conectada, los factores de demanda o los cálculos establecidos por el Código Eléctrico Nacional, los tomacorrientes de este sistema deben estar claramente identificados ya sea con placas rojas o algún

distintivo que permita al equipo médico en caso de emergencia detectar que tomacorrientes están activos, el sistema se divide en dos ramales: el de seguridad para la vida y el crítico, el primero alimenta la iluminación de salidas, anuncios de emergencia, sistemas de alarma contra incendios, sistemas de comunicación de emergencia, cargadores de baterías, tomacorrientes en áreas críticas, control de elevadores y puertas automáticas, estos sistemas deben reactivarse automáticamente en un máximo de 10 segundos tras la interrupción de la alimentación normal, garantizando la continuidad de las funciones esenciales para la seguridad de los pacientes y el personal médico.

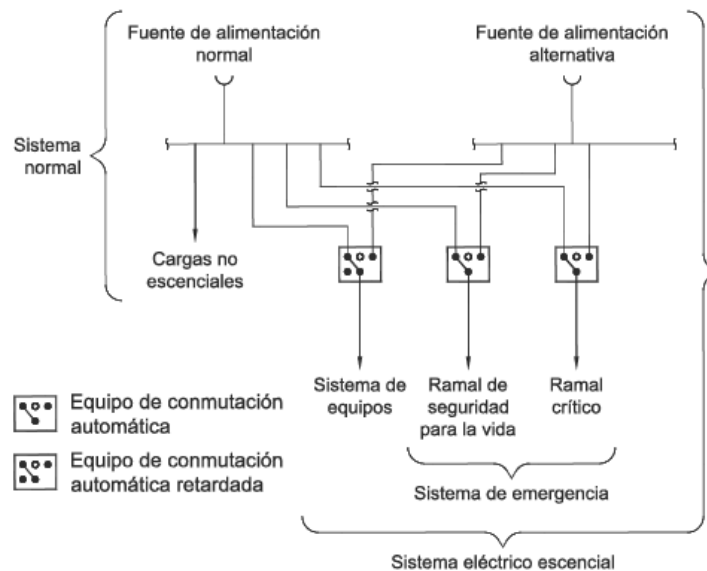


Ilustración 26 Requisitos mínimos para la disposición de los interruptores de transferencia mayor a 150 kVA.

2.2.7 Alumbrado Ramal Crítico

El sistema eléctrico de emergencia en un hospital desempeña un papel fundamental para garantizar la continuidad del cuidado del paciente y la operación eficiente de las instalaciones críticas, incluso durante interrupciones en el suministro eléctrico normal, este sistema incluye el ramal crítico, que debe proporcionar energía a diversas áreas esenciales. Entre estas áreas destacan las de cuidado crítico, como las salas donde se utilizan gases anestésicos, unidades de cuidados intensivos y salas de recuperación

postoperatoria, en las cuales se requiere alimentación eléctrica para iluminación de trabajo, tomacorrientes seleccionados y equipos fijo, debemos garantizar como diseñadores que existan sistemas separados de alimentación en ambientes especiales como bancos de sangre, laboratorios de cateterismo cardíaco, áreas de hemodiálisis y laboratorios de fisiología humana, donde se desarrollan tratamientos y diagnósticos clave para la salud de los pacientes. También se incluye la iluminación y los tomacorrientes en estaciones de enfermería, áreas de preparación de medicamentos, áreas de despacho de farmacia y dormitorios psiquiátricos, aunque en estos últimos no se instalan tomacorrientes por razones de seguridad. Para habitaciones generales de pacientes, debe garantizarse al menos un tomacorriente doble, asegurando así la funcionalidad básica en cada espacio.

Se deben contemplar circuitos adicionales para el cuidado especializado donde sea necesario y para el funcionamiento de sistemas críticos como los de llamada a las enfermeras, así como la alimentación de motores monofásicos de baja potencia utilizados en diversos equipos esenciales. Para mejorar la confiabilidad del sistema, se permite subdividir el ramal crítico en varios circuitos, reduciendo el impacto de fallas locales.

Es importante analizar las implicaciones de depender exclusivamente del ramal crítico en áreas específicas, ya que una falla en el sistema o en el interruptor de transferencia podría comprometer la operación de equipos vitales. Por ello, puede ser recomendable emplear una combinación de alimentación normal y crítica, o incluso alimentaciones críticas provenientes de interruptores de transferencia separados en hospitales grandes pero sabemos que la inversión es considerable por lo tanto muchos centros de salud solo cumplen con los requisitos mínimos, con el fin de garantizar la continuidad del suministro eléctrico y minimizar los riesgos asociados a una interrupción, este enfoque integral es clave para asegurar la operación efectiva y segura de un hospital, protegiendo tanto a los pacientes como al personal médico.

2.2.8 Conexión de sistemas de equipos a la fuente alternativa de alimentación

Los equipos deben estar instalados y conectados a una fuente alternativa de alimentación para que vuelvan a funcionar en los intervalos de tiempo adecuados después de energizar el sistema de emergencia, a excepción de sistemas eléctricos esenciales de menos de 150 kVA debido a que esta carga es asumible por un generador.

Debemos garantizar en nuestro diseño la continuidad de los equipos en caso de emergencia, la función de este retardo permite una transición progresiva y evita una activación simultánea de todos los equipos que provoque fallos en la alimentación. Para ello, se establece un mecanismo de conexión automática, pero con un retardo programado para evitar una sobrecarga en la fuente alternativa de energía. En el caso de sistemas eléctricos esenciales menores de 150 kVA, los equipos pueden conectarse de manera directa sin necesidad de una conexión escalonada, debido a que no representan un riesgo de sobrecarga para el transformador. A continuación, una lista de sistemas que pueden escalonarse para no sobrecargar el sistema:

A) Equipos de conexión automática retardada

- Sistemas centralizados de succión para funciones médicas y quirúrgicas.
- Bombas de sumideros y otros equipos necesarios para el funcionamiento seguro de los equipos principales, como sistemas de enfriamiento, evacuación de líquidos o protección contra inundaciones. También deben incluirse los sistemas de control y alarma asociados.
- Sistemas de aire comprimido para funciones médicas y quirúrgicas, además, es posible la conexión al ramal crítico, garantizando su funcionamiento en casos de emergencia.
- Sistema de control contra incendios.
- Sistema de inyección o extracción de aire en campanas de cocina, estos sistemas deben operar para controlar la propagación del fuego y del humo tóxico.

- Sistemas de ventilación específicos para zonas de alto riesgo, que incluyen ventilación en las salas de aislamiento, laboratorios de medicina nuclear o áreas con vapores peligrosos. En caso de que la conexión automática retardada no sea adecuada, es posible la conexión directa al ramal crítico.
- Sistemas de ventilación para quirófanos y salas de expulsión.

B) Equipos para conexión retardada automática o conexión manual

- Sistema de calefacción para áreas médicas críticas. Incluye quirófanos, salas de cuidados intensivos, salas de aislamiento, salas de emergencia y cuartos generales de pacientes. No obstante, no es obligatorio proporcionar calefacción en las salas generales de pacientes y en las salas de aislamiento si la temperatura exterior de diseño es superior a -6.7°C . Sin embargo, si la temperatura exterior es inferior a -6.7°C , se debe garantizar calefacción al menos en una habitación seleccionada para los pacientes.
- Elevadores seleccionados. Debe existir un medio para operar cualquier elevador que haya quedado atrapado entre pisos, además, se debe garantizar el acceso a los pisos de pacientes, quirófanos y salas de obstetricia en caso de interrupción del suministro eléctrico.
- Cámaras hiperbáricas e hiperbáricas.
- Puertas automáticas.
- Controles de equipos, se requiere mantener en funcionamiento los sistemas de control de los equipos críticos.

C) Equipos de corriente alterna para conexión automática sin retardo

Existen algunos equipos esenciales para el funcionamiento del sistema de alimentación alternativa que deben conectarse de manera automática sin retardo, estos son:

- Accesorios para generadores:
- Bombas de transferencia de combustible.
- Rejillas de ventilación eléctricas.

2.2.9 Sistema eléctrico esencial de baja demanda.

Los centros médicos de atención con enfermeras y centros de cuidados limitados con una capacidad de 150 kVA o menos, se deben cumplir ciertos requisitos mínimos en la disposición de los interruptores de transferencia, En este sentido los interruptores de transferencia deben contar con la capacidad suficiente para garantizar el funcionamiento simultáneo de todas las funciones y equipos conectados a sus distintos ramales, esto significa que la infraestructura eléctrica debe diseñarse con la previsión de satisfacer la demanda total sin comprometer la seguridad ni la continuidad del suministro eléctrico en áreas críticas, esto aplica para el dimensionamiento del generador considerando cargas futuras, el ramal de seguridad para la vida debe mantenerse completamente independiente de cualquier otro tipo de alambrado o equipo. No debe compartir canalizaciones, cajas ni gabinetes con otros sistemas eléctricos, a menos que se trate de situaciones puntuales permitidas por la normativa, tales como:

- Su integración en interruptores de transferencia,
- Inclusión en luminarias de salida o de emergencia que estén alimentadas por dos fuentes distintas.
- La conexión en una caja de empalmes común asociada a estas luminarias de emergencia.

No obstante, la normativa permite que el ramal crítico pueda compartir canalizaciones, cajas o gabinetes con otros circuitos, siempre y cuando estos últimos no formen parte del ramal de seguridad para la vida, esto se hace para garantizar una clara diferenciación entre los circuitos que son fundamentales para la operatividad del establecimiento médico y aquellos que no lo son, minimizando así el riesgo de

interferencias o fallas que pudieran comprometer la seguridad del suministro eléctrico en situaciones críticas.

Recalamos nuevamente que los tomacorrientes o las placas frontales de los tomacorrientes que formen parte del sistema de emergencia deben estar claramente identificados mediante una marca o un color distintivo, permitiendo así su fácil reconocimiento. Esta medida tiene como finalidad evitar confusiones y garantizar que el personal hospitalario pueda identificar rápidamente aquellos puntos de suministro que cuentan con respaldo en caso de una falla en la red eléctrica principal. Esta medida es considerada crucial en entornos médicos, donde la continuidad del suministro de energía puede representar la diferencia entre la vida y la muerte, especialmente en áreas donde se utilizan equipos médicos esenciales que no pueden verse afectados por interrupciones eléctricas.

2.2.10 Ramal de Seguridad para la Vida en área hospitalarias

La en pasillos y áreas críticas es esencial por lo tanto deben instalarse y conectarse fuentes alternativas de conexión de iluminación manera que en un plazo máximo de 10 segundo después de la interrupción del suministro eléctrico, se recuperé las funciones esenciales lo que significa que en un caso de falla de la red los sistemas críticos deben entrar de inmediato para la seguridad el correcto desempeño de la instalaciones hospitalarias, existen sistemas que están reservados exclusivamente a aquellas cargas que son esenciales en caso de emergencia, que según vamos a ver más adelante en la NFPA 99 se denomina también como sistema de emergencia, lo que también resalta su importancia. Dentro de las funciones que deben ser alimentadas por este sistema se encuentra en primer lugar los sistemas de iluminación de los medios de salida que están ubicados en pasillos, corredores, escaleras, en salas de descanso y puertas de salidas, en todas las vías de evacuación. En segundo lugar se incluyen los anuncios de salida y anuncios de dirección que facilitan la evacuación en situaciones de emergencias y en tercer lugar los sistemas de alarma y alerta que son fundamentales en el rama de seguridad para la vida además para garantizar la operatividad de los sistemas de comunicación cuando estos sean utilizados para dar instrucciones en caso de emergencias, cabe recalcar que también se considera necesarios en áreas de comedor y recreación, el sistema debe alimentar el sistema

de trabajo y los tomacorrientes instalados donde están ubicados los generadores, lo que permite que los técnicos o personal de mantenimiento verificar el correcto funcionamiento de los generadores de emergencia.

2.2.11 Conexión al Ramal Crítico

Garantizamos a través de este el funcionamiento de los equipos claves, después de la interrupción lamentablemente muy normal en nuestro país, este ramal debe instalarse y conectarse la fuente alternativa de alimentación ósea el generador con cierto retraso en el inicio de operación, de manera que los equipos en este ramal vuelva a operar automáticamente después que el ramal para la vida entre en funcionamiento, cabe recalcar que esta conexión no es inmediata, sino que se realiza en intervalos de tiempo permitiendo el restablecimiento escalonado de la carga eléctrica para evitar sobre cargas del sistema, esto no aplica para .

Todo sistema eléctrico esencial, debe tener un mínimo de dos fuentes de alimentación independientes una fuente normal y una fuente alternativa cuando se interrumpe la fuente normal, si nos referiremos a una fuente alternativa esta puede ser una o varios generadores ubicados en el inmueble. Es válido que en los centros de atención de cuidados limitados y centros de atención con enfermeras usen un sistema autónomo de baterías acompañado de un de un sistema de carga fotovoltaico.

Sistemas Eléctricos Esenciales para Otros centros de Cuidados para la Salud

A. Debe ser un sistema de baterías o de generador, como mencionamos anteriormente puede ser un sistema de UPS central.

B. Contar con áreas de cuidados críticos.

2.2.12 Espacios de seguridad en lugares de Aplicación de Anestesia

A. Lugares clasificados como peligrosos:

- Clase 1, División 1 es el lugar donde se utilizan anestésicos inflamables, se debe extender hacia arriba hasta 1.52 m el resto de volumen hasta el cielo raso es considerado por encima de un lugar peligroso.
- Cualquier cuarto donde se almacenen analgésicos inflamables o agentes desinfectantes volátiles se declaran el lugar clase 1, división 1, desde el piso hasta el cielo falso.
- Si es una zona donde se inhalen analgésicos que están designados para uso exclusivo de agentes analgésicos, no es un lugar clasificado como peligroso.

La regulación de cableado y de los equipos eléctricos en áreas donde se usan anestésicos inflamables, zonas donde son considerados peligrosos e inflamables en los entornos médicos. En estos espacios, los circuitos de alimentación deben estar completamente separados de otros sistemas eléctricos mediante un sistema independiente de alimentación, este sistema debe estar correctamente listado y diseñado para minimizar el riesgo de incendios o explosiones que puedan provocar un incendio, además, cualquier equipo que funcione a más de 10 volts, como lámparas o dispositivos portátiles, debe cumplir con las normas para lugares Clase I, División 1 en los que se establecen distancias mínimas y que exigen protección contra chispas y otros riesgos. Si una caja, accesorio o envoltorio está parcialmente dentro de una zona peligrosa, toda la unidad se considera en esa categoría y debe cumplir con las mismas medidas de seguridad, los tomacorrientes y enchufes de conexión en estas áreas deben estar certificados para su uso en ambientes Clase I, y contar con conexión adecuada a tierra, los cables de alimentación para equipos portátiles deben ser de uso extrapesado e incluir un conductor adicional para la puesta a tierra para evitar cualquier accidente, además, deben guardarse en dispositivos que eviten doblarlos en radios menores a 75 mm, protegiendo así la integridad del cableado, se sabe que cada cable posee un radio mínimo que al romperse daña la estructura interna.

En los espacios situados por encima de las zonas peligrosas, el alambrado debe instalarse en Conduit metálicos rígidos, tubería metálica eléctrica, o cables de tipo MI o MC con recubrimiento hermético al gas y al vapor esto se debe principalmente a la robustez del material, los equipos que puedan generar chispas,

arcos o calor, como interruptores, lámparas o motores, deben estar completamente encerrados para evitar la propagación de partículas calientes. Sin embargo, los tomacorrientes de pared ubicados sobre estas áreas no necesitan estar completamente sellados, siempre que existan otras protecciones. Las luminarias quirúrgicas deben cumplir con normas específicas, aunque algunas excepciones permiten mayor flexibilidad, como el uso de interruptores integrados que no sean a prueba de explosiones si no pueden descender hasta las zonas peligrosas, además, se deben instalar sellos certificados en los límites de estas áreas para evitar la propagación de gases inflamables. En los lugares donde se aplican anestésicos no inflamables, que no se consideran peligrosos, el alambrado puede instalarse mediante canalización metálica o ensambles de cables, siempre que estos cumplan con las normativas de puesta a tierra, los tomacorrientes y switches deben ser de grado hospitalario, diseñados para el voltaje y la frecuencia específicos de los equipos médicos, y contar con conexiones seguras a tierra. En el caso de tomacorrientes de 250 volts para equipos médicos de 50 o 60 amperes, estos deben permitir la conexión adecuada de enchufes compatibles, evitando el uso de accesorios que no correspondan a su capacidad y garantizando la seguridad eléctrica en todo momento debido a que un adapte puede generar falsos contactos y chispas.



Ilustración 27 No uso de adaptes en conexiones.

2.2.13 Sistema de alimentación de puesta a tierra en lugares de aplicación de anestesia

Es necesario contar con equipo de alumbrado de emergencia en zonas de quirófano para garantizar iluminación en caso de fallos eléctricos, los circuitos ramales que alimentan equipos terapéuticos y de diagnóstico fijos, instalados por encima de áreas peligrosas o en zonas no peligrosas, pueden conectarse a una acometida normal puesta a tierra, siempre que el alumbrado no comparta canalización con otros sistemas debido a la posible interferencia y riesgo eléctrico asease que debe ser independiente desde el tablero, el cableado de los equipos deben estar conectados a tierra, y ubicados al menos a 2.5 metros sobre el piso esto para poder reducir el riesgo mecánico que pueda dañar el cable.

De igual forma, los circuitos ramales de alumbrado fijo pueden conectarse a una acometida puesta a tierra si las luminarias están a más de 2.5 metros de altura igualmente tomando en cuenta posibles riesgos mecánicos.

2.2.14 Rayos X

Los equipos de rayos X cuentan con una sección independiente dentro de NEC debido a la gran importancia y delicadez de este tipo de equipo para la vida del paciente y de los operarios, está regulada por la Ley Pública 90-602 y supervisada por el Department of Health and Human Services de los Estados Unidos, asimismo, el National Council on Radiation Protection and Measurements proporciona guías adicionales en sus informes, disponibles a través de publicaciones especializadas y puede servirnos al momento de una instalación, los equipos de rayos X fijos y estacionarios que deben conectarse a la red eléctrica siguiendo los lineamientos establecido en este capítulo del NEC, con ajustes específicos, es válido el uso de cable de alimentación de alta resistencia y enchufes para equipos que no superen los 30 amperios de consumo, los equipos móviles, portátiles o transportables no requieren circuitos ramales individuales si su demanda de energía no excede los 60 amperios si es mayor se requiere una alimentación independiente, en casos donde la alimentación supere los 600 volts, los equipos deben cumplir con los requisitos estipulados en el Artículo 490 de NEC.



Ilustración 28 Rayos X portátiles.

Todo equipo de rayos X debe contar con un dispositivo de desconexión (MAIN) cuya capacidad soporte al menos el 50% del valor nominal momentáneo o el 100% del valor nominal prolongado, seleccionando el valor más alto, este dispositivo debe instalarse en un sitio fácilmente accesible desde el área de control del equipo, para equipos que operen a 120 volts y consuman 30 amperios o menos, un tomacorriente macho con conexión a tierra es suficiente como medio de desconexión, no requiere un main.

Los conductores de alimentación y los dispositivos de protección contra sobre corriente deben dimensionarse en función del tipo de equipo utilizado, en los equipos de diagnóstico, estos conductores deben tener la capacidad de soportar el 50% del valor nominal momentáneo o el 100% del valor nominal prolongado, tomando siempre el mayor de ambos por temas obvios de seguridad. En instalaciones que alimenten múltiples unidades desde un mismo alimentador, la capacidad debe calcularse sumando el 50% del consumo de la unidad de mayor demanda, el 25% del siguiente equipo más grande y el 10% de cada unidad adicional, cuando se realicen estudios simultáneos en diferentes planos, la capacidad de los conductores debe cubrir el 100% del valor nominal momentáneo de cada equipo. En el caso de equipos terapéuticos, los conductores y dispositivos de protección deben ser capaces de manejar el 100% de la corriente nominal del equipo, los equipos de control poseen directrices similares a una instalación normal, se debe respetar el número de conductores que se puede tener, el efecto de la temperatura y el espacio de este en la tubería, para equipos protegidos por dispositivos de hasta 20 amperios, se aceptan es permitido,

pero no recomendado usar cable 18 o 16 AW ciertamente, cualquier equipo nuevo, reacondicionado o trasladado debe cumplir con los estándares de seguridad y estar aprobado para su instalación.

La transmisión de datos y alarmas contra incendios deben mantener un aislamiento eléctrico y una separación física similares a los exigidos en los sistemas de distribución eléctrica, estos sistemas no requieren estar encerrados en canalizaciones a menos que se indique lo contrario en el código por lo tanto se puede usar un cable de red CAT 6 para uso interior directamente en el techo pero se prefiere colocar tubería por las ratas o cualquier tipo de animal que pueda dañar las conexiones. En el caso de los transformadores y condensadores utilizados en equipos de rayos X, no es necesario que cumplan con los requisitos generales de los artículos 450 y 460 del NEC, siempre que estén montados en tableros aislantes o metálicos conectados a tierra, los cables de alta tensión que conectan tubos e intensificadores de imagen pueden instalarse en bandejas o canaletas junto con los cables de control y alimentación sin necesidad de barreras adicionales pero las partes sometidas a alta tensión, como los tubos de rayos X, las conexiones entre el equipo de alta tensión y los componentes deben realizarse mediante cables blindados diseñados para soportar las condiciones establecidas.

2.3 Normas eléctricas para infraestructuras hospitalarias (NFPA 99)

2.3.1 NFPA 99 health care facilities code.

La siguiente normativa establece los criterios que se deben tener en cuenta en el sistema de salud, basado en el riesgo de los pacientes o personas que visitan a los pacientes siempre con el fin de salvaguardar la vida, nosotros nos enfocaremos en el sistema eléctrico por lo tanto se establecieron las siguientes categorías en la norma:

2.3.2 Categorías.

Categoría 1: Los sistemas de instalación en los que una falla podría causar lesiones graves o incluso la muerte a pacientes, personal médico o cualquier otra persona dentro del hospital deben ser diseñados para cumplir con los estándares de la Categoría 1

Categoría 2: Los sistemas de instalación en los que una falla podría causar lesiones menores a pacientes, personal médico o visitantes del hospital deben cumplir con los requisitos de la Categoría 2, como se especifica en este capítulo, aunque se requiere un alto nivel de confiabilidad, se favorece una cierta tolerancia en el tiempo de inactividad del equipo, siempre que no afecte significativamente la atención al paciente, estos sistemas responden a las necesidades de los pacientes, aunque no son esenciales para el soporte vital.

Categoría 3: los sistemas de las instalaciones en los que la falla de éstos no es probable que cause lesiones a los pacientes o personal médico, o cualquier otra persona que labore o visite el hospital, pero que pueda causar incomodidad al paciente, deberán diseñarse para cumplir con los requisitos de la Categoría 3, tal como se define en este capítulo, se espera la operación normal del sistema de construcción, estos sistemas soportan las necesidades del paciente, pero la falla de dicho equipo no afectaría inmediatamente su cuidado. Asimismo, este tipo de equipo no es crítico para el soporte de vida.

Categoría 4: Estos sistemas no tienen ningún impacto en la atención al paciente y no serían percibidos por las personas en caso de falla.

2.3.3 NFPA 99: sistema eléctrico (capítulo 6)

En el área de la salud se debe cumplir con la normativa NFPA70 o NEC, pero existen normativas auxiliares donde se hace referencia a distintas áreas de la salud y sirven para ampliar el panorama en diferentes áreas, en la NFPA 99 existen dos apartados donde se hace tal referencia y el primero de estos es el capítulo 6.

Un hecho fundamental en toda área de salud es la continuidad y calidad del suministro, esto es esencial para la vida del paciente por lo tanto nosotros como ingenieros debemos asegurar un suministro de calidad,

además, las configuraciones del sistema de distribución deben minimizar interrupciones en caso de fallas internas. En cuanto a los tomacorrientes, los espacios de atención a pacientes tienen requisitos específicos de número y tipo:

Categoría 2: Mínimo de 8 tomacorrientes por cama.

Categoría 1 (excepto quirófanos): Mínimo de 14 tomacorrientes por cama.

Quirófanos: Mínimo de 36 tomacorrientes.

Cabe recalcar que ciertos espacios de riesgo como los baños pediátricos deben tener tomacorrientes de tipo "resistente a manipulaciones". Cada tomacorriente debe estar cableado para asegurar la polaridad correcta conforme a la NFPA 70 debido a que se dan situaciones en las que se conecta inversas las enchufes y esto puede afectar a cierto equipo electrónico, además, los tomacorrientes que suministran servicios con diferentes voltajes, frecuencias o tipos de corriente deben diseñarse de modo que los enchufes no puedan conectarse en circuitos inadecuados, aunque sí intercambiables dentro de la misma clasificación para servicios de 125 V y fase única.

Los tomacorrientes con aislamiento de tierra, si se instalan, no deben afectar las funciones de seguridad de los sistemas de puesta a tierra, su uso está prohibido en áreas de cuidado de pacientes y, si se usan en circuitos derivados de estos espacios, deben conectarse a un conductor de tierra específico además de los caminos de puesta a tierra que requiere la normativa, estos conductores deben estar claramente identificados con aislamiento verde y una o más franjas amarillas, uno de los cables se conecta al sistema de puesta a tierra principal del edificio, mientras que el otro puede vincularse a una tierra aislada o a un equipo específico para minimizar ruidos eléctricos y evitar bucles de tierra.

Para las ubicaciones de procedimientos húmedos, se requiere protección especial contra choques eléctricos mediante sistemas que limiten la corriente de falla a tierra o mediante un dispositivo de circuito de falla a tierra (GFCI) Clase A que interrumpa el suministro en caso de exceso de corriente debido a que normalmente los breakers que se instalan no poseen la capacidad de funcionar como diferencial, las camas,

sanitarios, bidés y lavamanos no se consideran ubicaciones de procedimientos húmedos, mientras que los quirófanos sí, salvo que una evaluación de riesgos indique lo contrario, en caso de que no sean catalogados como áreas húmedas, las protecciones especiales no serían necesarias, pero si a consideración del diseñador está en colocarlo no existe ningún problema. Las instalaciones hospitalarias deben disponer de circuitos y protecciones específicas para garantizar la seguridad en espacios de atención al paciente. Por ejemplo, los circuitos derivados que sirven a una cama de paciente no deben conectarse a más de un panel de distribución de circuitos normales, aunque pueden conectarse a varios paneles de circuitos críticos para evitar diferencias de potencial que puedan generar riesgos eléctricos y garantizar un suministro estable y seguro, los dispositivos de protección contra sobre corriente que sirvan a espacios de alta criticidad (Categorías 1 y 2) deben estar en áreas de acceso restringido y no en espacios públicos, los tableros aislados previenen micro descargas, además proporciona monitoreo de fugas de corriente de instalaciones alimentadas desde dicho tablero, se pueden colocar en áreas de categoría crítica, como las Categoría 1 sin problema, estas medidas aseguran que las instalaciones eléctricas en hospitales mantengan la seguridad y la continuidad en áreas clave de cuidado y tratamiento de pacientes, minimizando el riesgo de descargas o interrupciones en servicios esenciales.

Los sistemas de iluminación de emergencia deben contar con unidades de batería en áreas donde se realicen procedimientos de sedación profunda o anestesia general, estas unidades deben proporcionar iluminación suficiente para completar procedimientos y deben estar conectadas a los circuitos de iluminación sin interruptores, debido a la esterilización y las medidas de seguridad, los requisitos para la prueba y duración de estas unidades de emergencia: deben iluminar al menos 1.5 horas y ser sometidas a pruebas mensuales de 30 segundos y anuales de 30 minutos, además es necesario la protección contra fallas a tierra para las instalaciones que albergan espacios de Categoría 1, eso quiere decir que debemos instalar diferenciales, esto asegura que los sistemas eléctricos en áreas críticas estén protegidos contra posibles riesgos eléctricos, cumpliendo con los requisitos de seguridad esenciales para el cuidado de la salud y la operación segura de

los equipos médicos en el entorno hospitalario además cuando se provee protección contra fallas a tierra para la operación de los medios de desconexión de servicio o de alimentación.

Somos enfáticos en la importancia de la selección de la protección de fallas a tierra (GFPE) para la operación de los medios de desconexión del servicio y de los alimentadores, esto implica que los dispositivos de protección contra fallas a tierra deben operar de manera totalmente selectiva, lo que significa que solo el dispositivo situado en el tramo descendente debe activarse cuando se produzca una falla a tierra, en lugar del dispositivo aguas arriba, esta disposición busca minimizar las interrupciones del servicio y permite una respuesta localizada, lo cual es crítico en instalaciones de alta demanda como las hospitalarias, la protección de los circuitos contra fallas a tierra (GFCI) para la seguridad del personal requiere que los interruptores de circuito contra fallas a tierra estén debidamente preparados, cumpliendo con los requisitos de seguridad y asegurando una adecuada desconexión en caso de que se produzca una corriente de fuga que pudiera representar un riesgo para el personal o el paciente, pero si nos referimos a los sistemas de potencia aislada, en estos no es necesario instalar un sistema de alimentación aislada en los espacios de atención a pacientes, sin embargo, cuando se requiere, el transformador de aislamiento debe estar aprobado para este propósito específico, y las conexiones de los devanados primarios deben estar diseñadas de modo que el sistema no se energice con más de 600 V en condiciones nominales, en caso de que el devanado primario tenga un neutro, este debe estar conectado a tierra de manera adecuada, y cualquier pantalla electrostática presente debe conectarse al punto de referencia de tierra para asegurar la protección adecuada contra picos de tensión o interferencias eléctricas.

El cableado del sistema de potencia aislada, debe cumplir con las especificaciones con los lineamientos establecidos por el NEC, además, la impedancia del cableado aislado hacia tierra (compuesta tanto de componentes capacitivos como resistivos) debe exceder los 200,000 ohmios al momento de la instalación, este valor se verifica energizando el sistema y conectando un miliamperímetro de baja impedancia (en una escala de 0 a 1 mA) entre el punto de referencia de tierra y cada conductor en secuencia, este test puede realizarse con el monitor de aislamiento de línea que el que vigila las corrientes de fuga y es uno de los

accesorios fundamentales en el tablero de aislamiento principalmente en áreas de procedimientos húmedos, siempre y cuando la conexión a tierra de referencia esté desconectada durante la prueba, una vez finalizada dicha prueba, el miliamperímetro debe ser removido y el monitor de aislamiento de línea debe restaurarse a su conexión de tierra original, después de la instalación se tomará una lectura en el monitor de aislamiento de línea en condiciones sin carga, la cual servirá como referencia para futuras evaluaciones de la impedancia de la línea.

La normativa nos permite el uso de dispositivos de supresión de capacitancia aprobados para mejorar la impedancia del sistema de aislamiento permanente, aunque la impedancia resistiva de cada conductor aislado del sistema debe ser al menos de 1 mega ohmio antes de la conexión de este equipo de supresión, estos dispositivos deben instalarse de manera que eviten desconexiones accidentales durante el funcionamiento normal, los sistemas de potencia aislada deben contar con un monitor de aislamiento de línea aprobado y en funcionamiento continuo, que indique la posible presencia de corrientes de fuga o fallas desde cualquiera de los conductores aislados hacia tierra. Si nos vamos a detalle técnicos el monitor debe contar con una lámpara verde claramente visible en el área de utilización, que permanezca encendida cuando el sistema esté adecuadamente aislado de tierra, además de una lámpara roja adyacente y una alarma sonora que se activan cuando la corriente total de fuga (resultado de las corrientes de fuga resistivas y capacitivas) hacia tierra alcanza un valor de 5.0 mA bajo condiciones normales de voltaje.

El monitor de aislamiento de línea debe operar sin generar energía de una amplitud o frecuencia tal que interfiera con las señales fisiológicas humanas, esto se evaluará utilizando un monitor fisiológico que opere con una ganancia de al menos 10^4 , y esté conectado a una entrada diferencial balanceada con una impedancia de fuente de 1000 ohmios. Bajo estas condiciones, la energía generada por el monitor de aislamiento de línea no debe crear interferencias. Para garantizar una salida segura, el voltaje de salida del amplificador no debe superar los 30 mV cuando la ganancia se establece en 10^4 , los conductores de sistemas aislados deben ser identificados conforme al NEC.

2.3.4 Puestas a tierra

El sistema de puesta a tierra en espacios de atención al paciente debe ser evaluada mediante mediciones precisas de voltaje e impedancia, lo cual garantiza la seguridad y funcionalidad del sistema en entornos donde la protección de los pacientes y el personal es prioritaria. En construcciones nuevas, esta evaluación debe realizarse antes para verificar que la infraestructura cumple con los estándares eléctricos establecidos por las normativas nacionales en el caso de El Salvador nos basamos en el NEC y la IEEE por la inexistencia de una normativa propia. Ahora pequeñas superficies metálicas conductoras montadas en paredes, tales como dispensadores de toallas o jabones, espejos, entre otros, que es improbable que se energicen, no requieren puesta a tierra intencional ni pruebas periódicas. Asimismo, grandes superficies metálicas como marcos de ventanas, puertas y drenajes, tampoco requieren conexión a tierra ni pruebas regulares si no presentan riesgo de electrificación. Cuando el sistema eléctrico se haya modificado o reemplazado, la porción alterada debe ser evaluada nuevamente para asegurar el cumplimiento de los requisitos de seguridad. Para mitigar interferencias ambientales, típicamente se debe implementar un filtro de rechazo de 60 Hz en el diseño de monitores fisiológicos, asegurando así que las señales registradas no se vean afectadas por ruidos de la red eléctrica, los tomacorrientes de grado hospitalario, ubicaciones donde se administren sedación profunda o anestesia, deben ser sometidos a pruebas tras la instalación, el reemplazo o el mantenimiento para garantizar el buen aislamiento, esto incluye verificar la integridad física mediante inspección visual, la continuidad del circuito de puesta a tierra, y la correcta polaridad de las conexiones activas y neutras, asegurando que el tomacorriente funcione correctamente y no represente un riesgo eléctrico.

El mantenimiento es esencial en zonas de alto riesgo eléctrico por lo tanto los tomacorrientes en el área de atención al paciente que no están listados como de grado hospitalario y en áreas donde se administran sedación profunda o anestesia general, deben ser evaluados en intervalos no mayores a 12 meses, los sistemas de energía aislada, si están instalados en espacios de atención al paciente, deben cumplir con pruebas de funcionamiento y calidad, los sistemas eléctricos esenciales (EES, por sus siglas en inglés) deben

someterse a pruebas regulares para asegurar su funcionamiento y confiabilidad, el circuito LIM (Low Impedance Monitoring) debe ser probado a intervalos no mayores a un mes, activando el interruptor de prueba LIM. En el caso de un circuito LIM que posea capacidades automáticas de auto prueba y auto calibración, las pruebas deben realizarse a intervalos no superiores a 12 meses.

Después de cualquier reparación o renovación en el sistema de distribución eléctrica, se debe realizar una prueba del circuito LIM, estas pruebas son fundamentales para garantizar que el sistema de distribución eléctrica hospitalario siga operando dentro de los parámetros de seguridad y eficiencia requeridos, este tipo de pruebas son cruciales para prevenir cualquier accidente relacionado con fallos eléctricos, que podrían tener consecuencias graves en un entorno hospitalario, la administración y el mantenimiento de los sistemas eléctricos hospitalarios requieren un manejo exhaustivo de registros, es obligatorio mantener un registro detallado de todas las pruebas realizadas, así como de las reparaciones o modificaciones asociadas. Al menos, estos registros deben incluir la fecha de las pruebas, las áreas o habitaciones evaluadas, y una indicación de si los elementos evaluados cumplieron o no con los requisitos de desempeño establecidos, además, se debe llevar un registro permanente de los resultados de cada prueba realizada en sistemas de alimentación eléctrica aislada, cuando tales sistemas estén instalados.

Los espacios críticos, como los clasificados como "Categoría 1", estos deben ser servidos por un sistema eléctrico esencial, este sistema debe estar diseñado para asegurar el funcionamiento continuo de las instalaciones, incluso en situaciones de emergencia, los sistemas eléctricos de estas áreas deben estar respaldados por circuitos provenientes de paneles de ramificación crítica, que estén conectados a un interruptor de transferencia automática, y deben contar con un mínimo de un circuito alimentado por el sistema de distribución eléctrica normal o por otro sistema originado en una segunda fuente de energía crítica. Las pruebas para la verificación del cumplimiento de estas normativas deben ser realizadas de forma periódica, con el fin de asegurar que el sistema eléctrico continúe operando dentro de los estándares de seguridad. Cualquier variación en el funcionamiento normal de estos sistemas debe ser reportada y corregida para evitar fallos que puedan comprometer la operación segura del hospital. En este sentido, el

manejo adecuado de registros y la realización de las pruebas correspondientes no solo cumple con las normativas, sino que también asegura que los hospitales puedan continuar brindando atención médica sin interrupciones debidas a problemas eléctricos.

Para asegurar la confiabilidad del sistema, las fuentes de energía que alimentan estos sistemas esenciales deben estar configuradas de manera redundante, de tal forma que se cuente con al menos dos fuentes independientes de energía, la NFPA 99 señala que las cargas de los sistemas eléctricos esenciales deben ser alimentadas por un mínimo de dos fuentes o conjuntos de fuentes independientes, diseñados para garantizar la fiabilidad suficiente en función de las operaciones de emergencia de la instalación, el uso de interruptores manuales para realizar un cambio entre una fuente de energía principal y una fuente de energía portátil o temporal en el sitio está permitido bajo ciertas condiciones y con la adecuada implementación de los sistemas de conmutación, los interruptores manuales básicamente permiten un suministro de energía temporal en caso de que se produzca una falla o para actividades programadas de mantenimiento o reparación de las instalaciones, el propósito de estas fuentes de energía momentánea es garantizar la continuidad de los servicios en situaciones en las que la fuente principal de energía no está disponible y no afectar gravemente la vida de los pacientes.

Los medios de conmutación permanentes para conectar una fuente de energía portátil o temporal en el sitio no son necesarias si en el lugar se cumplen ciertas condiciones, como que los sistemas eléctricos esenciales, que dependen de la energía eléctrica para mantener la seguridad de las personas o el funcionamiento de equipos médicos y otros dispositivos vitales, pueden ser desconectados de manera segura durante las labores de mantenimiento o reparación sin comprometer la salud y seguridad de las personas. De igual manera, en edificios o estructuras que estén desocupados temporalmente, como cuando no hay presencia de personas o pacientes en una instalación médica, la energía del sitio puede no ser requerido, pero por ejemplo los sistemas de protección contra incendios, aunque dependientes de energía, se consideran operativos sin la necesidad de una fuente externa mientras la estructura no esté en uso.

2.3.5 Generadores, trasferencias y ramas de seguridad

Instalaciones interiores

Las fuentes de energía alternativas como generadores deben estar ubicadas dentro de una habitación, esta habitación debe cumplir con estrictos requisitos de seguridad, como estar separada de otras áreas del edificio mediante una construcción con una clasificación de resistencia al fuego de al menos 2 horas, esto se hace para evitar que, en caso de un incendio u otro tipo de emergencia, el fuego o el humo se propaguen rápidamente hacia otras áreas críticas del edificio además la habitación en la que se instala la fuente de energía en el sitio debe estar exclusivamente reservada para este equipo y no debe incluir ninguna otra instalación que no esté directamente relacionada con su funcionamiento, esto incluye la exclusión de equipos no esenciales o elementos arquitectónicos que no estén destinados a apoyar la función de la fuente de energía.

Instalaciones exteriores.

Si la fuente de energía en el sitio es un generador, debe cumplir con requisitos específicos relacionados con su ubicación y protección, el generador debe estar instalado en una estructura adecuada que se encuentre fuera del edificio, preferentemente en un área protegida de las inclemencias del tiempo, como la lluvia o la nieve, para garantizar que el generador funcione correctamente incluso en condiciones climáticas adversas, la estructura debe ser capaz de soportar los vientos y otros eventos climáticos extremos, con especificaciones que cumplan con los códigos locales de construcción, además, si el generador se encuentra expuesto a condiciones de viento o clima severo, se deben tomar medidas adicionales para garantizar que no sufra daños, los equipos auxiliares relacionados con el generador, como los transformadores o los sistemas de control, pueden ser instalados dentro de la misma estructura, pero no se deben permitir instalaciones adicionales que no tengan un propósito directo relacionado con el funcionamiento del generador.

Ubicación de los equipos de energía.

En el sitio, para los sistemas de **Nivel 1**, no es permitido que estos equipos se instalen en la misma habitación que otros equipos que operen a voltajes superiores a 150 voltios a tierra, y con una capacidad de más de 1000 amperios. Esta separación se hace para minimizar el riesgo de interferencia entre los equipos y garantizar la seguridad en caso de falla de uno de ellos. Las habitaciones o edificios que alberguen estos equipos de energía deben ser diseñados de manera que minimicen el riesgo de daños por inundación, esto incluye la protección contra desastres como incendios, inundaciones o el respaldo de aguas residuales, que podrían dañar los sistemas de energía en el sitio, además, se debe tomar en cuenta la posibilidad de que un fallo en una fuente de energía pueda afectar a otras unidades del sistema, por lo que se debe diseñar de manera que el impacto de un incidente sea limitado y controlado siempre teniendo en cuenta que las fuentes de energía en el sitio deben tener suficiente capacidad para satisfacer la demanda máxima de carga que se espera durante su operación, esto implica que tanto la capacidad del generador como de los equipos asociados deben estar dimensionados adecuadamente para manejar la carga máxima prevista. Otros factores a tener en cuenta al diseñar la fuente de energía es que debemos de contar con calefacción, ventilación y aire acondicionado adecuado, que tenga en cuenta factores como el calor generado por los equipos, las condiciones climáticas extremas, el polvo y la humedad, ya que estos factores pueden afectar la operación de los equipos, si nos vamos a el diseño este debe ser capaz de resistir la acumulación de nieve o hielo, que podría interferir con el funcionamiento del generador o de otros equipos. Se deben prever sistemas de alarma para los generadores y otros equipos de energía en el sitio, con alarmas visibles y audibles que indiquen condiciones anormales de operación o fallos en los equipos, estas alarmas deben ser capaces de ser gestionadas tanto de manera remota como local, sin olvidarnos que debe existir un medio para silenciar las alarmas manualmente, pero este mecanismo no debe interferir con la activación de nuevas alarmas en caso de que las condiciones de falla persistan.

2.3.6 Generador y Requisitos de Ubicación

Es posible que un solo generador opere el sistema eléctrico esencial de la instalación médica, siempre que su uso no reduzca el tiempo promedio entre revisiones generales a menos de tres años, con este criterio aseguramos la durabilidad y el mantenimiento preventivo adecuado del equipo, previniendo fallos en momentos críticos como mencionamos anteriormente tenemos en el diseño que tener en cuenta que un generador debe instalarse en un espacio que permita un acceso fácil para tareas de inspección, reparación, limpieza o reemplazo y para facilitar estas actividades, se requiere según normativa de un espacio libre mínimo de 0.9 metros desde el punto más externo de los rieles del generador, pero este requisito no aplica a los generadores que se encuentran en recintos exteriores, donde el acceso y la ventilación suelen ser más flexibles.

El monitoreo de la Fuente de Energía primaria de energía es fundamental para detectar cualquier irregularidad que pueda poner en riesgo el funcionamiento del sistema eléctrico, se considera necesario la instalación de dispositivos de detección de bajo voltaje en todas las líneas no conectadas a tierra de la fuente principal, estos sensores permiten identificar caídas de voltaje en cualquiera de las fases, y en caso de que el voltaje disminuya por debajo del nivel mínimo necesario para alimentar las cargas conectadas, el sistema iniciará automáticamente el encendido del generador y la transferencia a la fuente de energía alternativa, una vez que la fuente primaria recupera sus valores normales de operación, el sistema procederá a revertir la transferencia de carga, siempre que el voltaje permanezca dentro de los límites especificados durante el tiempo establecido, este sistema no solo se ejecuta a nivel hospitalario, un ejemplo claro de esta operación se ve en las granjas de avícola campestre donde por la zona es común que la calidad de energía no sea la óptima y el sistema permita el ingreso de la planta de emergencia, el monitoreo no se limita al voltaje; también se requiere la instalación de equipos que verifiquen la frecuencia de la fuente de energía en al menos una de las líneas no conectadas a tierra. No se debe hacer la transferencia de energía si el voltaje de la red no es el adecuado, es importante destacar que no es necesario que nuestro equipo de protección tenga incorporados los sensores antes mencionados, sino que podemos agregarlos posteriormente.

2.3.7 Dispositivos de Retardo en el Arranque y la Transferencia

Contemplamos siempre en el diseño de una unidad de salud el uso de dispositivos de retardo de tiempo para proteger los sistemas eléctricos contra activaciones innecesarias y fluctuaciones momentáneas en la red, es necesario que los generadores que instalemos cuenten con un dispositivo de retardo que retrase su encendido, evitando así arranques innecesarios provocados por caídas breves de voltaje que no representan un fallo real en el suministro, este retardo también es esencial para gestionar la transferencia de carga de manera gradual y no de golpe. Debemos instalar un dispositivo de retardo ajustable que secuencie la transferencia de las cargas al generador, previniendo caídas bruscas de voltaje que puedan dañar los equipos o interrumpir el suministro eléctrico, esta espera debe comenzar únicamente cuando la fuente de energía alternativa haya alcanzado niveles estables de voltaje y frecuencia necesarios. Cuando la fuente de energía principal en nuestro caso la distribuidora se restablece, el sistema deberá esencialmente de incluir un retardo en la Re transferencia para garantizar que la red eléctrica esté completamente estabilizada antes de volver a alimentar las cargas, pero en caso de que la fuente falle durante este período de retardo, el sistema debe contar con un bypass automático que permita una transferencia inmediata a la fuente de respaldo, garantizando así la continuidad del suministro, esto no solo se aplica en hospitales sino también en industrias donde la operación no puede detenerse.

2.3.8 Enfriamiento del Generador y Pruebas de Transferencia

El adecuado enfriamiento del generador después de su uso es vital para prolongar su vida útil y evitar daños internos, el generador debe permanecer en funcionamiento durante al menos cinco minutos sin carga antes de apagarse, permitiendo que el motor se enfríe de manera controlada. No obstante, esta disposición no se aplica a motores más pequeños, de 15 kW o menos, que utilizan sistemas de enfriamiento por aire, tomando en cuenta que cada interruptor de transferencia automática debe incluir un interruptor de prueba que simule la falla de una fuente de energía para verificar que el sistema de transferencia funciona correctamente y que la transición entre fuentes de energía se realiza sin problemas, lo cual es fundamental en entornos donde la fiabilidad del suministro eléctrico es crítica.



Ilustración 29 Pantalla de control y mando de trasferencia hospitalaria marca DWPPON

Para facilitar la supervisión del estado del sistema eléctrico, se exige que los interruptores de transferencia estén equipados con indicadores visuales o luces piloto que muestren claramente si la carga está siendo alimentada por la fuente principal o por la fuente de emergencia. Esta visibilidad es esencial para que el personal de mantenimiento pueda identificar rápidamente el estado del sistema y actuar en consecuencia. Cuando la carga involucra motores eléctricos es importante considerar la implementación de medidas que reduzcan los picos de corriente durante la transferencia, para evitar que las corrientes de arranque dañen los equipos generadores o provoquen la activación innecesaria de dispositivos de protección contra sobre corriente.

2.3.9 Requisitos para Interruptores de Transferencia Automática

La transferencia de todas las cargas debe realizarse mediante interruptores de transferencia automática debido a la fiabilidad y la inmediatez del cambio, estos dispositivos deben estar claramente etiquetados para su uso en situaciones de emergencia y deben ser aptos para operar con tensiones de hasta 600 V, pero los interruptores de transferencia no automáticos deben ser mecánicamente retenidos y operados mediante control manual directo o control remoto eléctrico. Para mayor seguridad y reducir riesgos de operación del personal estos interruptores deberán incluir interbloques mecánicos para evitar la conexión simultánea de

la fuente primaria y la fuente de emergencia, así como indicadores visuales claros que informen sobre la posición del interruptor.

Las transferencias no automáticas que operen a 600 voltios o menos tendrán que estar aprobados por un organismo competente para su uso, esto con el fin de asegurar que estos dispositivos cumplan con los estándares de seguridad requeridos para funcionar en entornos hospitalarios, donde la fiabilidad eléctrica es vital, en situaciones donde el sistema automático no funcione o no sea adecuado, el personal capacitado puede intervenir directamente para realizar la transferencia de energía de manera segura, la implementación de interbloques mecánicos confiables o métodos alternativos que eviten la interconexión accidental de dos fuentes de energía, una precaución crítica para evitar sobrecargas y posibles fallas eléctricas.

Uso de Interruptores de Bypass y Aislamiento

El uso de interruptores de bypass y aislamiento tiene una función crítica, diseñados para facilitar el mantenimiento de los interruptores de transferencia sin interrumpir el suministro eléctrico, estos dispositivos permiten desviar la energía de manera segura mientras se realizan tareas de inspección o reparación, garantizando que los equipos médicos continúen operando sin interrupciones. Un factor a tener en cuenta al momento del diseño de un de bypass y aislamiento es que deben tener una clasificación de corriente continua compatible con la del interruptor de transferencia asociado, esto asegura que ambos dispositivos puedan manejar la misma carga sin riesgo de fallos, además estos interruptores deben estar certificados para servicios eléctricos de emergencia y deben ser ensamblados y probados en fábrica antes de su instalación, el interruptor de bypass y aislamiento debe poder actuar como un dispositivo de transferencia no automática, permitiendo que la carga se conecte a cualquiera de las fuentes de energía disponibles, sin interrumpir la alimentación de los equipos críticos.

La correcta organización de los sistemas eléctricos esenciales es clave para garantizar su fiabilidad y eficiencia en situaciones de emergencia, la división de las ramas del sistema debe realizarse en los puntos de transferencia cuando se utilicen múltiples interruptores, con el fin de asegurar que cada rama pueda

funcionar de manera independiente y ser alimentada por diferentes fuentes de energía si es necesario, en el diseño tenemos que tomar en cuenta que cada rama del sistema pueda conectarse a una fuente alternativa de energía dentro de los tiempos especificados en el código, garantizando así una respuesta rápida ante fallos eléctricos.

La cantidad de interruptores de transferencia a utilizar dependerá de factores como la fiabilidad del sistema, el diseño de la instalación y las necesidades de carga, cada derivación del sistema eléctrico esencial debe contar con uno o más interruptores de transferencia, no obstante, en instalaciones donde la carga continua en un interruptor no supere los 150 kVA (120 kW), Es acepta que un solo interruptor de transferencia alimente a varias ramas del sistema, en estos casos también el interruptor debe incluir un bypass y aislamiento para facilitar el mantenimiento sin interrumpir la alimentación eléctrica.

Pero existen ciertas excepciones a esta regla. Por ejemplo, no será necesario incluir un interruptor de bypass cuando los procesos eléctricos puedan detenerse durante el mantenimiento, cuando el edificio esté desocupado y los sistemas de protección contra incendios no requieran energía alternativa, o cuando se permita el uso de medios temporales para sustituir el sistema eléctrico esencial. Tomemos en cuenta algo muy importante y es que Esta autorizado que un único alimentador desde la fuente de energía local pueda suministrar energía al sistema eléctrico esencial hasta el punto en que se separen las ramas de seguridad vital, crítica y de equipos, esto proporciona flexibilidad en el diseño del sistema, permitiendo que la instalación del equipo de transferencia no tenga que coincidir con la ubicación de la fuente de energía local, los dispositivos de protección contra sobre corriente de los circuitos derivados deben ser fácilmente accesibles para el personal autorizado, además, los tomacorrientes alimentados por las ramas de seguridad vital y crítica deben tener un color distintivo o una marca visible que los identifique claramente, esto es esencial para que, en situaciones de emergencia, el personal pueda identificar rápidamente los puntos de conexión prioritarios.

2.3.10 Rama de Seguridad Vital

La rama de seguridad vital está destinada a mantener operativos aquellos sistemas que son imprescindibles para la seguridad de los ocupantes durante situaciones de emergencia, asegurando que, incluso ante la falla del suministro principal, los servicios esenciales sigan funcionando.

Si nos referimos a los sistemas de alarma y alerta que no forman parte del sistema de alarmas contra incendios estos deben conectarse a la rama de seguridad vital o a la rama crítica, esto garantiza que las alertas necesarias, como las de evacuación o emergencias médicas, continúen operativas sin importar la situación, además, los equipos que son indispensables para el funcionamiento del generador (como las bombas de transferencia de combustible, ventiladores, compuertas eléctricas y sistemas de enfriamiento) deben estar conectados a esta rama o directamente a los terminales del generador, siempre con protección contra sobre corriente, esto se hace con la finalidad que el generador pueda mantenerse operativo cuando más se necesite. Esta estrictamente regulado qué funciones pueden conectarse a la rama de seguridad vital, dejando claro que solo aquellas mencionadas en las secciones anteriores o específicamente autorizadas pueden formar parte de este circuito, esto evita sobrecargar el sistema y asegura su máxima eficiencia en situaciones críticas.

Los interruptores de los circuitos de iluminación de seguridad necesitan ser accesibles solo para personal autorizado, salvo en circunstancias específicas donde se permita un acceso más amplio, no se permite el uso de interruptores en serie ni de interruptores de tres o cuatro vías para evitar complicaciones en la operación durante una emergencia, además, los interruptores manuales al momento del diseño se ubicaran en lugares estratégicos para que el personal responsable pueda acceder fácilmente a ellos, se contempla el uso de sistemas de regulación de iluminación y relés para controlar las luces de seguridad, siempre que estos estén certificados para uso de emergencia, esta distribución permiten encender de manera selectiva solo los circuitos necesarios para proporcionar la iluminación mínima requerida durante una falla de energía.

2.3.11 Ramal Crítico.

La rama crítica alimenta aquellos sistemas que, aunque no son esenciales para la seguridad inmediata de los ocupantes, son vitales para la atención continua de los pacientes y el funcionamiento clínico del hospital. Esta rama puede subdividirse en varias sub-ramas para facilitar la distribución y el control de la energía, la rama crítica suministra energía a la iluminación de tareas, equipos fijos, tomacorrientes seleccionados y circuitos de alimentación en áreas relacionadas directamente con la atención al paciente.

Entre las áreas que deben estar conectadas a esta rama se incluyen:

- Espacios de Categoría 1, donde se realiza sedación profunda o anestesia general. Aquí, la iluminación de tareas, los tomacorrientes seleccionados y los equipos fijos deben estar siempre operativos.
- Espacios de atención al paciente, como área para recién nacidos, áreas de enfermería aguda, habitaciones psiquiátricas (sin tomacorrientes) y salas de tratamiento en hospitales.
- Áreas de preparación de medicamentos y dispensación de farmacias, donde se requiere una energía constante para el manejo seguro de medicinas.
- Estaciones de enfermería, a menos que estas ya estén adecuadamente iluminadas por la iluminación del pasillo.
- Sistemas de llamada de enfermería, necesarios para que los pacientes puedan comunicarse con el personal de salud.

La rama crítica también debe alimentar sistemas en laboratorios especializados como laboratorios de cateterismo cardíaco, laboratorios de hemodiálisis y unidades de cuidados intensivos, así como en salas de recuperación postoperatoria y bancos de sangre, se incluye la alimentación de equipos de

telecomunicaciones que permiten la comunicación interna del personal médico, así como los sistemas de red clínica y equipos de comunicación inalámbrica.

2.3.12 Rama de Equipos

La rama de equipos se encarga de alimentar aquellos sistemas que, si bien no son esenciales para la seguridad inmediata ni para la atención crítica, son fundamentales para el funcionamiento general del hospital, la conexión debe realizarse de manera que, una vez que se restauren las ramas de seguridad vital y crítica, los equipos de la rama de equipos se conecten automáticamente con el debido retardo temporal para evitar sobrecargas.

Entre los equipos que se conectan automáticamente con retardo se incluyen:

- Sistemas de succión central utilizados en procedimientos médicos y quirúrgicos.
- Bombas de sumidero y otros dispositivos esenciales para la seguridad de los equipos principales.
- Sistemas de aire comprimido utilizados en funciones médicas y quirúrgicas.
- Sistemas de control de humo y presurización de escaleras, necesarios para mantener un ambiente seguro en caso de incendios.
- Sistemas de ventilación en áreas como salas de aislamiento infeccioso, laboratorios de medicina nuclear y áreas donde se utilizan materiales peligrosos como el óxido de etileno.

Por otro lado, algunos equipos pueden conectarse de forma automática con retardo o manualmente, dependiendo de las necesidades del hospital, estos incluyen:

- Sistemas de calefacción para quirófanos, unidades de cuidados intensivos, salas de emergencia y habitaciones de pacientes.
- Elevadores que transportan pacientes entre diferentes áreas del hospital.

- Sistemas de ventilación para áreas quirúrgicas y unidades de cuidados intensivos.
- Autoclaves y otros equipos de esterilización.
- Sistemas hiperbáricos e hiperbáricos utilizados en tratamientos especializados.

2.3.13 Requisitos de Cableado y Separación de Circuitos

Para asegurar la fiabilidad del sistema, la normativa requiere que el cableado de las ramas de seguridad vital y crítica se mantenga completamente separado de otros circuitos eléctricos, esto con el fin de minimizar el riesgo de interferencias eléctricas o fallas cruzadas que puedan afectar el funcionamiento de los sistemas esenciales, el cableado de estas ramas debe estar protegido mecánicamente mediante canalizaciones o conductos, conforme a los estándares de la NFPA 70. Sin embargo, los cables flexibles de los equipos conectados a estas ramas no necesitan estar dentro de tuberías, lo que facilita tanto la instalación como el mantenimiento.

Si vemos más a detalle la rama de seguridad vital está destinada a mantener en funcionamiento los sistemas que son esenciales para la evacuación segura y la protección de la vida durante emergencias, esta rama debe suministrar energía a los siguientes sistemas:

- 1) Iluminación de las vías de evacuación, conforme a la normativa **NFPA 101**, garantizando que los corredores y salidas estén siempre bien iluminados para facilitar una evacuación segura.
- 2) Señales de salida y señales direccionales, también de acuerdo con **NFPA 101**, asegurando que las rutas de escape estén claramente marcadas.
- 3) Sistemas de alarma y alerta, incluyendo:
 - i) Alarmas contra incendios.
 - ii) Alarmas requeridas para los sistemas de tuberías que transportan gases médicos no inflamables.

- 4) Sistemas de comunicación, si se utilizan para emitir instrucciones durante condiciones de emergencia.
- 5) Iluminación de tareas y tomacorrientes seleccionados en la ubicación del generador, garantizando que el personal técnico pueda operar y supervisar el equipo de generación de manera segura.
- 6) Iluminación, control, comunicaciones y sistemas de señalización de cabinas de ascensores, necesarios para mantener operativos los elevadores críticos durante una emergencia.

Recalcar que se prohíbe conectar a la rama de seguridad vital cualquier función que no esté incluida en los puntos mencionados anteriormente, asegurando que esta rama se mantenga exclusivamente para los sistemas esenciales. Tengamos en cuenta que los circuitos derivados que alimentan la iluminación de seguridad vital deben estar conectados a una fuente, garantizando el suministro continuo cuando el sistema de iluminación normal falla.

2.3.14 Mantenimiento de equipos

INTERVALO DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO			
Artículo	Perdido de inspección	Periodo de prueba	Periodo de mantenimiento
Aparato de distribución de media tensión	Cada 3 meses	Cada 3 años	Cada 3 años
Trasformador de distribución de energía mayor a 750 kVA	Mensual	Cada 3 años	Cada 3 años
Aparato de puesta en paralelo al generador	mensual	anual	Cada 3 años
Cuadros de distribución de baja tensión	Cada 3 años	Cada 3 años	Cada 3 años
Dispositivo de protección contra sobrecorriente fusible mayor a 400 A	Cada 3 años	Cada 3 años	Cada 3 años
Disyuntor de potencia de baja tensión menor a 400 A	Cada 3 años	Cada 3 años	Cada 3 años
Disyuntor de caja moldeada de baja tensión menor o igual a 400 A	Cada 3 años	Cada 3 años	Cada 3 años
Disyuntor de media tensión	Cada 3 años	Cada 3 años	Cada 3 años

Rele (Incluida la protección de equipos con falla a tierra polifásica)	Cada 3 años	Cada 3 años	Cada 3 años
Equipo de transferencia	Mensual	Cada 3 años	Cada 3 años
Conductor de tubería	Cada 3 años	Cada 3 años	Cada 3 años
Sistema de alimentación ininterrumpida mayor o igual a 100kW	Cada 3 años	Cada 6 meses	Cada 6 meses
Equipo de control de motores	Anualmente	Cada 3 años	Cada 3 años
Paneles de circuitos derivados	Anualmente	Cada 3 años	N/A

Tabla 2 Periodo de Mantenimiento de Plantas de emergencia que alimentan un sistema crítico.

2.3.15 Microrredes en Centros de Salud

Las microrredes pueden constituir total o parcialmente el Sistema de Suministro de Energía de Emergencia (EPSS) en instalaciones de salud, esto significa que las microrredes pueden ser el respaldo principal en caso de una interrupción del suministro eléctrico convencional o complementar otras fuentes de energía, las microrredes abastecen tanto edificios individuales como campus compuestos por varios edificios. Esta flexibilidad facilita su implementación en hospitales grandes o en complejos de atención médica con múltiples instalaciones. Las microrredes no están limitadas exclusivamente a instalaciones de salud, pueden alimentar edificios con usos múltiples, esto es importante para hospitales integrados en complejos más grandes que incluyen oficinas administrativas u otros servicios auxiliares. Todas las fuentes que alimenten la Microred deben cumplir con las normativas NFPA correspondientes, asegurando que su instalación y

mantenimiento se realicen conforme a los más altos estándares de seguridad. Es válido según la normativa utilizar cualquier combinación de generación, almacenamiento o transformación de energía como fuente de alimentación para la microrred, esto incluye generadores tradicionales, paneles solares, baterías, turbinas eólicas, entre otros. Esta diversidad de fuentes proporciona una mayor resiliencia ante posibles fallos de una sola fuente.

La combinación de estas fuentes debe garantizar un rendimiento equivalente a lo especificado, que regula los sistemas de energía esenciales en instalaciones de salud, esto asegura que la microrred pueda satisfacer las necesidades críticas del centro de salud sin interrupciones. Las microrredes tienen que diseñarse con una fiabilidad suficiente para garantizar el funcionamiento efectivo de la instalación médica, en consonancia con su plan de operaciones de emergencia, esto implica que, incluso en situaciones críticas, la microrred debe mantener la operatividad de los equipos esenciales, los componentes deben ser capaces de operar sin verse comprometidos por fallos en la fuente de energía principal. Es decir, la microrred debe tener la capacidad de aislarse y continuar operando de manera autónoma si ocurre un corte de energía externo.

Otro tema bastante interesante son las redes de control de la microrred estas deben estar segregadas de otras redes para evitar interferencias que puedan comprometer su funcionamiento, además, la inteligencia y la memoria del sistema de control no deben depender de recursos externos, garantizando la autonomía operativa, el diseño del sistema de control debe incluir una secuencia de operaciones que permita el control manual de las fuentes en caso de un fallo del sistema automatizado, esta función es crítica en situaciones donde los controles automáticos puedan fallar, asegurando que el personal pueda intervenir directamente. Es necesario contar con una batería de respaldo con una capacidad mínima de 90 minutos, asegurando que los sistemas de control permanezcan operativos durante cualquier interrupción breve de energía, proporcionando información clara y continua sobre qué fuentes están operando y cuánta energía está suministrando cada una, esto permite al personal técnico supervisar y gestionar el flujo de energía en tiempo real.

2.3.16 EPSS “El Sistema de Suministro Eléctrico de Emergencia”

El Sistema de Suministro Eléctrico de Emergencia (EPSS, por sus siglas en inglés) proporciona una fuente de energía eléctrica con la capacidad, fiabilidad y calidad requeridas para las cargas durante un período de tiempo especificado en la Tabla a continuación y dentro de un tiempo especificado después de la pérdida o falla de energía.

CLASIFICACION DE EPSSs	
Clase	Tiempo mínimo
Clase 0.083	5 minutos
Clase 0.25	15 minutos
Clase 2	2 horas
Clase 6	6 horas
Clase 48	48 horas
Clase X	Otro tiempo en horas

Tabla 3 Tabla de clasificación según la clase fuentes de emergencia, NFPA 99

TIPO DE EPSSs	
Designación	Restauración de energía
Tipo U	Básicamente interrumpible (UPS)
Tipo 10	10 segundos
Tipo 60	60 segundos
Tipo 120	120 segundos
Tipo M	Estación manual – no límite de tiempo

Tabla 4 clasificación según el tipo de fuentes de emergencia, NFPA 99

Clasificación precisa para los Sistemas de Suministro de Energía de Emergencia (EPSS), basada en tres criterios fundamentales: clase, tipo y nivel, la clase se refiere al tiempo mínimo, medido en horas, que el sistema puede operar a su capacidad nominal sin requerir reabastecimiento o recarga, asegurando así la autonomía energética en situaciones críticas; esta duración está detallada en la tabla previa. Por otro lado, el tipo determina el tiempo máximo, en segundos, que los terminales de carga pueden permanecer sin energía eléctrica aceptable tras una interrupción, lo que garantiza una rápida recuperación del suministro en áreas sensibles como quirófanos o unidades de cuidados intensivos, según lo especificado en la tabla “TIPOS DE EPSSs”, el nivel clasifica los sistemas en función de la criticidad de la carga que alimentan: los sistemas de Nivel 1 se instalan en contextos donde un fallo podría implicar pérdida de vidas o lesiones graves, mientras que los de Nivel 2 se destinan a áreas donde la interrupción del suministro tiene un impacto menor en la seguridad humana. En ambos casos, todo el equipo debe estar instalado de forma permanente

para garantizar su disponibilidad inmediata, además, tanto los sistemas de Nivel 1 como de Nivel 2 deben asegurar que la energía suministrada cumple con tres requisitos esenciales: calidad dentro de los límites operativos de la carga, duración acorde con la clase asignada y tiempos de respuesta conformes al tipo correspondiente. Esta clasificación integral permite adaptar los sistemas EPSS a las necesidades específicas de cada instalación de salud, garantizando tanto la continuidad operativa como la seguridad de los pacientes y el personal.

2.3.17 NFPA99: Capítulo 10 de la normativa “Equipo Eléctrico”

El capítulo 10 del Health Care Facilities Code establece directrices fundamentales para el rendimiento, mantenimiento y pruebas del equipo eléctrico en instalaciones de salud, aplicando tanto a infraestructuras nuevas como existentes, la normativa no solo regula equipos de uso habitual, sino también aquellos dispositivos experimentales o en desarrollo, estos últimos pueden emplearse siempre que estén bajo la supervisión de personal calificado y cumplan con estándares de seguridad equivalentes a los descritos o aceptados por la institución. Esta disposición asegura que incluso los equipos no convencionales o en fase de prueba no comprometan la seguridad de los pacientes ni del personal, los equipos eléctricos vinculados al cuidado de los pacientes, los dispositivos conectados de forma permanente deben estar debidamente aterrizados al bus de puesta a tierra del panel de distribución mediante un conductor aislado que acompañe a los cables de alimentación. Para los equipos portátiles, se exige el uso de cordones de tres hilos y enchufes con conexión a tierra, a menos que sean dispositivos de doble aislamiento, en cuyo caso pueden tener cordones de dos conductores y clasificarse como dispositivos de Clase II. Se hace hincapié en que los enchufes deben ser de tipo conexión a tierra de dos polos y tres hilos, asegurando que el conductor de puesta a tierra sea el primero en conectarse y el último en desconectarse, una medida crucial para prevenir descargas eléctricas accidentales durante su uso, los cables de alimentación, deben ser adecuados para la aplicación específica, con una capacidad de corriente que iguale o supere la del dispositivo que alimentan, el uso permitido de cables de servicio pesado (SO, ST, STO) o su equivalente, salvo en casos donde el aparato haya sido listado para un tipo de cable diferente, además, el conductor de puesta a tierra no debe

ser menor de 18 AWG, aumentando a 16 AWG para cables que superen los 4.6 metros de longitud, pero en situaciones donde se empleen cables desmontables, estos deben diseñarse de modo que su desconexión accidental no represente un riesgo, o bien incluir un mecanismo que evite desconexiones involuntarias, el código de colores de los cables debe seguir las convenciones de un sistema con puesta a tierra, garantizando que los dispositivos de protección contra sobre corriente estén correctamente conectados a los conductores no aterrizados, el proceso de pruebas y mantenimiento de los equipos eléctricos en áreas de atención al paciente es riguroso y detallado, todos los dispositivos deben someterse a pruebas exhaustivas antes de su primer uso, así como después de cualquier reparación o modificación que pudiera comprometer su seguridad eléctrica, estas pruebas incluyen la verificación de la integridad física del conjunto de cables de alimentación, la medición de la resistencia entre la carcasa del dispositivo y la puesta a tierra, y las pruebas de corriente de fuga. Por ejemplo, la corriente de fuga en equipos fijos no debe superar los 10 mA, mientras que en los equipos portátiles la corriente de contacto no debe exceder los 500 μ A, estos controles son necesarios para minimizar el riesgo de descargas eléctricas en entornos donde la seguridad del paciente es prioritaria, la gestión de estos equipos recae en la administración de la instalación de salud, que debe establecer políticas claras sobre los intervalos de prueba, el manejo de dispositivos no proporcionados por la institución y la protección de pacientes con vías eléctricas directas al corazón.

Particular atención merece el uso de equipos eléctricos en entornos enriquecidos con oxígeno, la normativa establece que estos dispositivos deben cumplir con requisitos específicos para prevenir incendios o explosiones, los equipos deben estar sellados, ventilados adecuadamente o listados específicamente para su uso en atmósferas enriquecidas con oxígeno. Cualquier aparato que expulse intencionalmente oxígeno debe garantizar que sus componentes eléctricos no estén expuestos a concentraciones peligrosas de este gas.

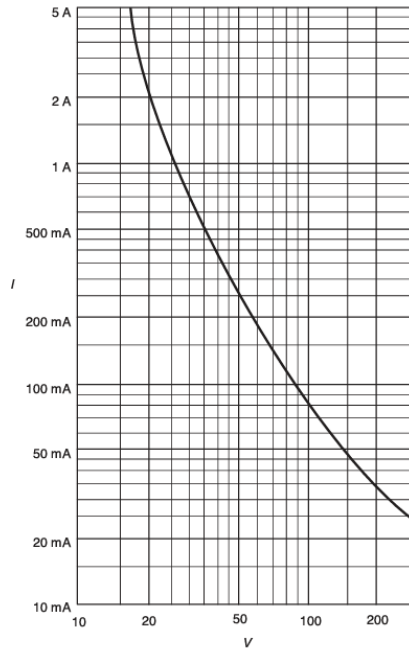


Ilustración 30 Corriente de ignición mínima aplicable a circuitos que contienen cadmio, zinc o magnesio.

“La curva representa las corrientes mínimas de ignición en mA con respecto a un voltaje escrito en Volteos donde al combinarse y por encima de la curva tienen la suficiente energía para iniciar la combustión en atmósferas que tienen cadmio, zinc o magnesio. Por debajo de esa curva el riesgo es menor o insuficiente para provocar una ignición.”

Los fabricantes de equipos eléctricos tienen la obligación de proporcionar documentación técnica detallada que incluya descripciones, instrucciones de uso, diagramas de cableado, procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, así como especificaciones de rendimiento. Esta información es crucial para que el personal médico y técnico pueda operar y mantener los dispositivos de forma segura y eficiente, minimizando riesgos y garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad, el uso de equipos eléctricos dentro de sistemas de suministro de oxígeno requiere que estos estén certificados para operar en atmósferas enriquecidas con oxígeno, cumpliendo con la normativa ANSI/AAMI ES60601-1, la cual establece los requisitos de seguridad básica y rendimiento esencial para equipos médicos eléctricos, la razón

de esta exigencia radica en el alto riesgo de incendio o explosión que representa el oxígeno en concentraciones superiores a las normales. Por ello, los dispositivos deben diseñarse y construirse para minimizar cualquier posibilidad de generar chispas o sobrecalentamiento que puedan actuar como fuentes de ignición, no obstante, se reconoce que ciertos dispositivos eléctricos, como las paletas de desfibrilador y otros instrumentos que suministran alta energía, son esenciales para el cuidado inmediato del paciente, aunque estos equipos no siempre cumplen con los estándares estrictos mencionados anteriormente, su uso es aceptado en zonas de administración de oxígeno o en el propio equipo de suministro, siempre que su utilización sea considerada indispensable para la atención del paciente, estas medidas son para priorizar la atención médica urgente, incluso en condiciones que presentan riesgos eléctricos elevados.

Los laboratorios tiene la obligación de definir políticas y protocolos específicos para determinar el tipo de pruebas necesarias y la frecuencia con la que deben realizarse en los equipos eléctricos, esto garantiza que todo el equipo funcione de manera segura y eficiente, reduciendo al mínimo los riesgos durante procedimientos críticos, la documentación y el mantenimiento de registros son aspectos clave para la gestión de los dispositivos eléctricos en las instalaciones de salud, se requiere que los manuales de instrucciones y mantenimiento estén disponibles tanto para el personal encargado del mantenimiento como para los usuarios de los dispositivos además es necesario que cuando se realicen pruebas al equipo dichos registros deben incluir detalles de todas las pruebas realizadas, así como cualquier reparación o modificación efectuada, y contener información específica como la fecha de la prueba, la identificación única del equipo y los resultados obtenidos, indicando si el dispositivo cumple o no con los requisitos de rendimiento establecidos pero dicha información le corresponde al equipo médico determinar dónde y cómo serán maneja.

El personal que trabaja con dispositivos que entregan energía, como los electrocirúrgicos, láseres quirúrgicos y dispositivos de fibra óptica, debe recibir formación periódica en prevención y extinción de incendios siguiendo los lineamientos de la NFPA 101, estos dispositivos presentan un riesgo significativo de ignición por razones obvias, por lo que la capacitación en respuesta rápida ante emergencias es crucial

para proteger tanto a los pacientes como al personal, el mantenimiento y la reparación de estos equipos deberán ser realizados exclusivamente por personal calificado, garantizando así que las intervenciones técnicas se realicen de manera profesional y siguiendo las especificaciones del fabricante.

Finalmente, los puntos que la normativa busca solventar es principalmente crear un entorno seguro para el uso de equipos eléctricos en las instalaciones de salud, asegurando que tanto los dispositivos como el personal estén preparados para operar de manera segura, especialmente en situaciones de riesgo elevado como las atmósferas enriquecidas con oxígeno que son altamente explosivas. El segundo tema de relevante y en consideración el más importante es mantener el suministro seguro de electricidad al recinto hospitalario, para que el paciente pueda ser atendido manteniendo su integridad y siendo lo mas confortable posible.

2. 4 Norma eléctricas para infraestructuras hospitalarias (NFPA 101)

2.4.1 Luces de emergencia y señalización

Establece los lineamientos esenciales para la implementación y mantenimiento de sistemas de iluminación de emergencia en diferentes tipos de estructuras, incluyendo aquellas de carácter hospitalario, este reglamento busca garantizar que, ante una interrupción en el suministro eléctrico convencional, las rutas de evacuación cuenten con una iluminación adecuada que facilite una salida segura de las instalaciones, la iluminación de emergencia en edificios y estructuras son esenciales en caso de una emergencia, así como en estructuras subterráneas o de acceso limitado, también aplican a edificios de gran altura, puertas con cerraduras de salida retardada, y escaleras y vestíbulos de cerramientos a prueba de humo, en este último caso, se permite el uso de generadores de reserva tanto para la ventilación mecánica como para la alimentación de la iluminación de emergencia. Asimismo, los nuevos sistemas de liberación de cerraduras eléctricas activadas por sensores.

Para estos fines donde la emergencia y la evacuación es prioridad, se define que el acceso de salida incluye escaleras, pasillos, corredores, rampas, escaleras mecánicas y pasajes que conducen a una salida, mientras que el desembarco de salida comprende escaleras, rampas y caminos que llevan hacia una vía pública. En situaciones donde la iluminación dependa de un cambio de una fuente de energía a otra, el tiempo de cambio no debe exceder los 10 segundos según normativa debido a los riesgos que esto conlleva.

El sistema de iluminación de emergencia debe proveer luz durante un mínimo de 1 hora y media en caso de fallo de la iluminación principal para asegurarnos que se recupere la alimentación en ese tiempo o evacue las instalaciones, la iluminación inicial debe ofrecer al menos 10.8 lux en promedio y no menos de 1.1 lux en ningún punto del recorrido de evacuación. Con el paso del tiempo, estos niveles pueden disminuir, pero al finalizar los 90 minutos, la iluminación no debe ser inferior a 6.5 lux en promedio y 0.65 lux en el punto más bajo, además, la proporción máxima entre la iluminación más intensa y la más tenue no debe superar una relación de 40:1, garantizando así una distribución uniforme de la luz en todo el recorrido de

evacuación, como diseñadores es necesario tomar en cuenta todos estos parámetros al escoger la iluminación de nuestras instalaciones hospitalarias.

Los sistemas de energía de emergencia que alimentan la iluminación deben cumplir con la clasificación Tipo 10, Clase 1.5, Nivel 1, conforme a la NFPA 110, esto implica que el sistema debe restaurar la energía en un máximo de 10 segundos, operar durante al menos 1.5 horas y estar diseñado para aplicaciones críticas donde la falla podría poner en riesgo la vida humana, la iluminación de emergencia debe activarse de manera automática en caso de falla del suministro eléctrico público, apertura de un interruptor o fusible en el circuito, o acciones manuales o accidentales que interrumpan la luz normal, la instalación, inspección, prueba y mantenimiento de los generadores de emergencia y equipos de conmutación asociados deben realizarse conforme a la NFPA 110 en nuestro caso dado que las regulaciones nacionales son inexistentes debemos regirnos de las normativas NFPA, IEEE o UL. Los sistemas de energía almacenada, que no sean baterías para luminarias de emergencia, deben cumplir con la NFPA 111, las luminarias de emergencia equipadas con baterías y los dispositivos de control deben estar certificados según la norma UL 924 y las baterías empleadas deben ser confiables tomando en cuenta los tiempos que deben mantenerse encendidas y la intensidad establecida en la NFPA 99 que acabamos de estudiar y también siguiendo las pruebas necesarias que se deben hacer a estos sistemas y que se encuentran estipuladas en esta normativa, siguiendo con el tema estas luminarias deben estar aprobadas para su uso y mantenerse adecuadamente cargadas, siguiendo los lineamientos del NEC, el sistema debe estar operativo de manera continua o ser capaz de funcionar automáticamente repetidas veces sin necesidad de intervención manual.

Para asegurar la operatividad de estos sistemas, se establecen diferentes métodos de prueba y verificación, las pruebas funcionales deben realizarse mensualmente, con una duración mínima de 30 segundos y una frecuencia de entre 3 y 5 semanas para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos en emergencias, además, se requiere una prueba anual de 1.5 horas para los sistemas alimentados por baterías, los equipos con autodiagnóstico deben realizar pruebas automáticas cada 30 días y estar equipados con indicadores

visibles de fallos, los sistemas basados en computadoras deben generar informes automáticos de las pruebas y fallos detectados.

En todos los casos, se deben mantener registros escritos de las inspecciones y pruebas, los cuales deben estar disponibles para su revisión por las autoridades competentes, esto asegura no solo el cumplimiento normativo, sino también la seguridad continua de los ocupantes de las instalaciones, garantizando que las rutas de evacuación estén siempre iluminadas y listas para su uso en caso de emergencia.

2.4.2 Señalización de salida

El marcaje adecuado de las vías de evacuación en edificaciones es un aspecto fundamental para garantizar la seguridad de los ocupantes en situaciones de emergencia. De acuerdo con la normativa, todas las vías de evacuación deben estar de manera clara señalizadas, especialmente en los edificios y estructuras, estas señales permiten a los ocupantes identificar rápidamente las salidas, incluso en condiciones de baja visibilidad o estrés.

Todas las salidas, con excepción de las puertas exteriores principales que son fácilmente reconocibles, deben contar con letreros aprobados que determinen la ruta de evacuación, siempre ubicados en lugares visibles desde cualquier punto de acceso. En los recorridos horizontales dentro de recintos cerrados, donde el trayecto de evacuación no sea evidente, se deben instalar señales direccionales que guíen a los ocupantes hacia la salida más cercana, además, en cada puerta de salida que requiera señalización, se debe incluir señalización táctil que cumpla con los estándares de accesibilidad establecidos, estos letreros deben tener la palabra "EXIT" o "SALIDA" y estar ubicados a una altura adecuada para personas con discapacidad visual. No obstante, los edificios existentes están exentos de este requisito, siempre y cuando no cambie su clasificación.

El acceso a las salidas también debe estar claramente marcado en aquellos lugares donde la ruta hacia la salida no sea obvia, la normativa específica que ningún punto en los corredores de acceso a la salida debe

estar a más de 30 metros de distancia de la señal más cercana, o de la distancia de visualización recomendada, optando por el menor de estos valores.

En ciertos casos, se requiere la instalación de señales de salida a nivel del suelo, especialmente en edificios de gran altura o donde la visibilidad pueda verse comprometida durante una emergencia, estas señales deben cumplir con las normativas para letreros iluminados tanto externa como internamente y deben colocarse entre 6 y 18 pulgadas (150 a 455 mm) por encima del nivel del suelo, para las puertas de salida las señales deben montarse en la puerta o adyacentes a ella, asegurando que el borde más cercano esté a no más de 10 cm del marco de la puerta. Asimismo, cuando se requiera el marcado del recorrido de evacuación a nivel del suelo, este debe ser continuo y claramente visible, salvo en áreas donde la arquitectura del edificio, como puertas o pasillos, interrumpa el recorrido.



Ilustración 31 Señalización de emergencia a nivel de piso

La visibilidad de las señales es un aspecto crucial, estas deben ser de un tamaño, color y diseño que las hagan fácilmente distinguibles de cualquier decoración, acabado interior u otras señales presentes en el edificio, por lo general estas son de color verde vivo o de color amarillo fuerte y estas no deben ser estrobadas por nada, por lo tanto, la colocación de decoraciones, mobiliario o equipos que obstruyan la visibilidad de las señales está estrictamente restringido y del mismo modo, no se permite la presencia de letreros iluminados para otros fines que puedan desviar la atención de las señales de salida, como letreros neon por ejemplo.

Las señales direccionales son necesarias en cualquier lugar donde la dirección hacia la salida más cercana no sea evidente, estas deben incluir indicadores de dirección y cumplir con los requisitos de visibilidad y legibilidad establecidos en la normativa, la iluminación de los letreros debe ser adecuada y provenir de una fuente de luz confiable, los letreros iluminados externa o internamente deben ser legibles tanto en condiciones de iluminación normal como en situaciones de emergencia, la iluminación debe ser continua, aunque se permite que los letreros parpadeen al activarse la alarma de incendio para mejor visibilidad. En el caso de nuevas instalaciones, las letras deben tener al menos 15cm de altura, mientras que, en las señales ya existentes, las letras pueden tener 10 cm esto para que sea visibles a todos, los letreros internos deben estar listados conforme a la norma UL 924, salvo que sean letreros existentes aprobados o cumplan con requisitos específicos de altura de las letras. En cuanto a las señales especiales, como aquellas que indican "NO EXIT", estas deben colocarse en puertas, pasajes o escaleras que no sean salidas pero que puedan ser confundidas con ellas, estas señales deben cumplir con los requisitos de visibilidad y legibilidad especificados en el código, garantizando que los ocupantes no se desvíen hacia rutas que no conduzcan a una salida segura. Se concede a nosotros como diseñadores el uso de señales fotoluminiscentes que deben mantenerse iluminadas mientras el edificio esté ocupado, asegurando su visibilidad en caso de fallo del suministro eléctrico, además, cualquier letrero que no cumpla con estas especificaciones deberá ser reemplazado o modificado para garantizar la seguridad de los ocupantes.



Ilustración 32 Señal de “no salida” pero que puede confundirse con una salida.

2.4.3 Sistema de alarma contra incendios

Las disposiciones sobre sistemas de detección de incendios, alarma y comunicaciones se aplican únicamente cuando son específicamente requeridas, si estos sistemas son instalados para aprovechar una alternativa permitida por el código, tiene que cumplir con todas las disposiciones obligatorias, estos sistemas de alarma contra incendios que son requeridos deben ser instalados, probados y mantenidos conforme a los requisitos del NEC y NFPA 72. Sin embargo, las instalaciones existentes que hayan sido previamente aprobadas pueden seguir en uso siempre que cumplan con las disposiciones específicas que aseguren su integridad operativa, implica también la implementación de programas de mantenimiento y pruebas aprobados que garanticen el correcto funcionamiento del sistema, incluyendo procedimientos específicos para manejar cualquier deterioro o fallo en el sistema de alarma.



Ilustración 33 Señales Débiles Sistema de detección de Incendios

La activación de los sistemas de alarma contra incendios puede producirse mediante diferentes métodos, que incluyen la activación manual a través de estaciones de alarma que debe colocarse accesible, la detección automática de incendios y la operación de sistemas de extinción, estas estaciones deben ubicarse estratégicamente, normalmente a no más de 1.52 mts de las puertas de salida y en trayectorias naturales de evacuación. En el caso de aperturas agrupadas que superen los 12.2 m de ancho, las estaciones de alarma deben instalarse en ambos lados de la apertura y mantenerse accesibles, visibles y sin obstrucciones. Cuando

un edificio cuenta con sistemas automáticos de detección de incendios o dispositivos de detección de flujo de agua para activar la alarma, es obligatorio instalar al menos una estación manual de alarma en una ubicación determinada por la autoridad competente. Asimismo, los sistemas de rociadores que proporcionan detección automática deben contar con dispositivos de activación de alarma aprobados, que se activen cuando el flujo de agua sea igual o superior al de un solo rociador automático.

La detección automática de humo es obligatoria, siempre que las condiciones ambientales sean adecuadas para el correcto funcionamiento de los detectores de humo, especialmente en áreas cercanas a electrodomésticos de cocina o puertas de baños que contengan duchas o bañeras importante que las alarmas de humo deberán estar interconectadas en construcciones nuevas, de manera que la activación de una de ellas genere la activación simultánea de todas las alarmas dentro de la misma unidad habitacional o área similar, la notificación de emergencia automática a él cuerpo de bomberos de El Salvador se logra mediante la transmisión automática de la alarma a través de sistemas auxiliares, estaciones centrales o sistemas de supervisión remota, todos ellos conformes a la NFPA 72.

2.4.4 Sistema de detección contra el humo

En situaciones donde las características del combustible presente en una ocupación requieran un método particular de extinción debido al lugar o el tipo de material inflamable, es posible optar por sistemas automáticos de extinción alternativos en lugar de los rociadores convencionales, estos sistemas requieren rociadores especiales como los de niebla de agua, los de agentes limpios como el FM-200 o Novec 1230, los de espuma para líquidos inflamables y los de dióxido de carbono (CO₂), adecuados para áreas donde el uso de agua podría ser perjudicial en nuestra área de salud, por lo tanto como diseñadores tenemos que evaluar el área y definir tipo de sistema es el más conveniente.

Cuando se activa el sistema de extinción debe por regulación existir una notificación adecuada tanto a los ocupantes como al sistema de emergencias, en áreas protegidas por sistemas de niebla de agua, no es necesario instalar dispositivos automáticos de detección de calor que normalmente serían requeridos,

ya que estos sistemas incluyen mecanismos integrados para detectar y responder al calor, eliminando la necesidad de dispositivos adicionales, estos requisitos aseguran que los sistemas alternativos de extinción no solo sean eficaces en el control y la supresión de incendios, sino que también estén integrados de manera segura con los demás sistemas de protección del edificio, la correcta activación de las alarmas y la eliminación de redundancias en la detección son aspectos clave para garantizar la seguridad de los ocupantes y la eficacia en la respuesta ante emergencias.



Ilustración 34 Sensor de Humo Calor, SDI

2.5 Norma eléctricas para infraestructuras hospitalarias (IEEE 602)

2.5.1 Estándar IEEE 602 “Sistemas Eléctricos en Cuidado de la salud”.

El "Libro Blanco de la IEEE" (IEEE Std 602-1996) está dirigido a ingenieros eléctricos y personal hospitalario, especialmente aquellos con poca experiencia en instalaciones de salud, este documento se enfoca en aspectos *únicos* del diseño y operación efectiva de instalaciones eléctricas en hospitales, incluyendo los siguientes puntos:

- **Seguridad eléctrica del paciente:** Este es un tema primordial en entornos de atención médica.
- **Atención al paciente:** La electricidad juega un papel crucial en la atención y el bienestar del paciente.
- **Continuidad del servicio eléctrico:** El suministro eléctrico ininterrumpido es vital para el funcionamiento de un hospital.
- **Suministro de Energía confiable para equipos:** Equipos médicos sensibles (computarizados, clínicos y biomédicos) requieren una fuente de suministro de energía estable y confiable.
- **Sistemas de comunicación y sistemas de alarmas:** Estos sistemas, específicos para hospitales, también se abordan en el documento.

2.5.2 Requerimientos de carga y gestión de energía

Al igual que con otros tipos de edificios, la determinación de las cargas que debe alimentar el sistema eléctrico es fundamental para el diseño de estas instalaciones de atención médica. Igualmente, importante es la aplicación económica de materiales, mano de obra y dispositivos eléctricos para atender las cargas identificadas. Como objetivo, la instalación completada debe servir las cargas iniciales, proporcionar un margen para el crecimiento incremental y fomentar el uso eficiente de la energía. Se muestra una serie de puntos claves a considerar en el diseño de una instalación eléctrica hospitalaria, los cuales son los siguientes:

Cargas

El propósito principal de esta guía es ayudar al diseñador a estimar y seleccionar las cargas que se encuentran habitualmente en las instalaciones de atención médica y mostrar el rango de potencia que suelen demandar estas cargas y el grado de importancias de estas cargas en el suministro.

Grupos de cargas

El efecto acumulativo de grupos de cargas individuales es uno de los determinantes del diseño del sistema de distribución eléctrica para la infraestructura hospitalaria. En la norma se plasman unos datos de referencia sobre el comportamiento de cargas en algunos edificios de uso médico. Se plasma un perfil promedio de una instalación eléctrica en infraestructura hospitalaria.

Crecimiento de la carga

Los patrones de atención médica han cambiado rápidamente en los últimos años, y a medida que las ciencias biológicas y los procedimientos médicos continúan avanzando, se pueden esperar patrones cambiantes constantemente. Dichos cambios imponen y exigen a las instalaciones eléctricas en lugares de atención médica las exigen a adaptarse a las demandas cambiantes, el diseñador de sistemas eléctricos debe planificar el cambio inevitable y anticipar el crecimiento progresivo de las cargas durante la vida útil de la

instalación eléctrica. De hecho, el reconocimiento por parte del diseñador de la naturaleza dinámica de las instalaciones de atención médica puede resultar en una vida útil prolongada. Obviamente, el tipo de instalación de atención médica afecta el nivel de cambio que se puede anticipar en la etapa de diseño, los hospitales universitarios son más propensos a cambiar que los hospitales generales comunitarios, y estos últimos más que las instalaciones de cuidado de custodia.

Utilización de energía

El diseño del sistema eléctrico afecta la energía requerida para operar una instalación durante su vida útil. Esta consideración debe equilibrarse con las cargas a servir a medida que se crea el diseño.

Cargas vs. tipo de instalación:

Las cargas en una instalación eléctrica en centros de salud pueden variar mucho según los tipos de uso podemos entender las siguientes consideraciones a la hora de diseñar una instalación eléctrica para un centro de atención de la salud:

Variedad de instalaciones: Diferentes tipos de centros de salud (hospitales generales, clínicas, asilos, etc.) tienen diferentes necesidades eléctricas.

Densidad de carga: La cantidad de energía que consume un edificio por pie cuadrado varía, los hospitales generales y de enseñanza suelen tener la mayor densidad de carga debido a su equipamiento y actividad. Clínicas y consultorios son similares a oficinas, pero pueden tener equipo especializado (laboratorios, rayos X). Asilos y centros de cuidado tienen un consumo más residencial.

Otros factores: Además del tipo de instalación, la elección del combustible para calefacción y refrigeración también afecta significativamente la carga eléctrica.

Cargas de iluminación:

- **Factores que influyen:** La carga de iluminación depende de:
 - Las tareas que se realizan en el espacio (ej: quirófano vs. habitación de paciente).
 - La calidad y cantidad de luz necesaria (iluminación más intensa para cirugía).
 - El tipo de fuente de luz utilizada (LEDs vs. fluorescentes, etc.).
- **Iluminación especializada:** Algunas áreas de hospitales requieren iluminación especial, como quirófanos, UCIs y salas de neonatos entre otros espacios.
- **Iluminación de tareas:** Se recomienda usar iluminación enfocada en la tarea específica para ahorrar energía y optimizar el sistema eléctrico.
- **Cálculo de cargas:** Se puede estimar la carga de iluminación basándose en experiencia previa o usando métodos como el presupuesto de energía de la IESNA (Sociedad de Ingeniería de Iluminación de América del Norte). Se remite al lector a otros capítulos para más detalles.

2.5.3 Demanda de iluminación:

Factores de demanda: Al calcular la capacidad del sistema eléctrico, no se asume que toda la iluminación estará siempre encendida al máximo. Se aplican factores de demanda para tener en cuenta el uso real.

Una de las más grandes preguntas que nos hacemos como diseñadores es. los factores de demanda dependen de, en sistemas de iluminación:

Función del área: Un quirófano necesita más iluminación que un pasillo, por lo que su factor de demanda será diferente.

Control de la iluminación: ¿Hay interruptores, reguladores de intensidad? Esto influye en cuánto se usa la luz en muchos ambientes deben de ser controlados y regulados los sistemas de iluminación.

Horas de funcionamiento: Las horas de uso en hospitales que atienden 24 horas es así el comportamiento son de uso diario y continuo todo el tiempo.

Límites de carga: Por seguridad, la carga continua en un circuito de iluminación no debe exceder un porcentaje de la capacidad del circuito (se recomiendan 80% como máximo, idealmente 70% o menos), esto evita sobrecargas.

NEC y factores de demanda: El Código Eléctrico Nacional (NEC) permite usar factores de demanda para calcular la carga de iluminación en los alimentadores (cables que llevan la electricidad al panel), la tabla 220-11 del NEC proporciona algunos factores, pero se recomienda que los diseñadores calculen sus propios factores específicos para cada proyecto.

Tabla 5: La tabla mencionada en el texto contiene factores de demanda que se pueden usar para dimensionar los componentes del sistema de distribución, y se considera que dan un diseño conservador (es decir, con margen de seguridad).

Componente del sistema de distribución	Factor de demanda de iluminación
Barras de panel de iluminación y dispositivo de protección principal de sobre corriente.	1.0
Alimentador de panel de iluminación y dispositivo de sobre corriente del alimentador	1.0
Barras de panel de distribución y dispositivo de protección principal de sobre corriente.	0.5
Primeros 50 000 W o menos	0.4
Todo sobre 50 000 W	
Componentes restantes	0.4

Tabla 5 Factores para el dimensionamiento de componentes del sistema de distribución

En resumen, estas consideraciones nos sirven para saber cómo calcular la carga de iluminación real (la demanda), que es diferente a la carga conectada. Se usan factores de demanda que consideran varios factores para evitar sobredimensionar el sistema eléctrico y garantizar la seguridad.

2.5.4 Cargas de potencia

Esta sección clasifica las cargas de energía eléctrica, que son cruciales para diseñar sistemas eléctricos en edificios, especialmente en instalaciones de atención médica. Las divide en tres categorías principales:

Equipo del edificio: Sistemas que dan soporte al funcionamiento básico del edificio. Ejemplos clave:

- HVAC&R: Calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.
- Transporte: Ascensores, escaleras mecánicas.
- Bombas auxiliares: Extinción de incendios, drenaje, aire/vacío médico, tubos neumáticos.

Equipo funcional: Cargas relacionadas con actividades específicas:

- Cocina: Preparación de alimentos.
- Procesamiento de datos: Equipos de TI.
- Sistemas de comunicación: Teléfonos, redes.
- Máquinas de oficina: Fotocopiadoras, impresoras.
- Lavandería: Lavado y secado.

Equipo médico: Estas son *críticas* en entornos de atención médica y requieren atención especial:

- Imágenes y rayos X: Equipos de diagnóstico.
- Radioterapia: Equipos de tratamiento.
- Laboratorio: Pruebas y análisis.
- Cirugía: Equipos de quirófano.
- Cuidados intensivos, recuperación, emergencia: Equipos de soporte vital y cuidados críticos.

- Terapias: Física, ocupacional, inhalación.
- Farmacia: Preparación de medicamentos.
- Gestión de materiales: Cadena de suministro.
- Registros médicos: Datos de pacientes.

2.5.5 Cargas del edificio

Esta sección trata sobre las cargas eléctricas del equipo del edificio, enfocándose en dos grandes consumidores HVAC&R (Calefacción, Ventilación, Aire Acondicionado y Refrigeración): Este es el mayor consumidor de energía en un edificio. Dos factores clave influyen en la carga eléctrica:

Combustible: Usar gas natural, fuel oil o carbón reduce la carga eléctrica en comparación con la electricidad.

Ciclo de refrigeración: Los enfriadores de absorción (que usan calor para enfriar) consumen menos electricidad que los enfriadores centrífugos o reciprocantes eléctricos. Es crucial la coordinación temprana entre los diseñadores mecánicos y eléctricos. Se provee una tabla (Tabla 2-2, no mostrada aquí) para estimaciones iniciales de carga.

Ascensores: Aunque son cargas grandes, no representan una gran parte de la carga total en la mayoría de los hospitales debido a la cantidad relativamente baja. Se dan rangos de potencia (en caballos de fuerza, hp) para estimaciones iniciales:

Ascensores eléctricos de tracción: 35-50 hp (para edificios de hasta 12 pisos y velocidades de hasta 450 pies/min). Ascensores hidráulicos: 40-75 hp (generalmente para edificios de hasta 7 pisos y velocidades más lentas). Se enfatiza que las cargas reales deben obtenerse del proveedor una vez definidos los requisitos.

Escaleras mecánicas: No son comunes en hospitales. Para estimaciones iniciales, se puede considerar una carga de 25 hp por Porción horizontal en que termina cada tramo de escalera, el punto clave es que la

elección del sistema HVAC&R y el tipo de ascensores tienen un impacto significativo en la carga eléctrica total del edificio, y la planificación temprana entre diferentes disciplinas es esencial.

ITEM	UNIDAD
Máquinas de refrigeración:	kVA/tonelada de capacidad del enfriador
Absorción	0,10
Centrífugo/reciprocante	1.00
Bombas y ventiladores auxiliares:	
Bombas de agua helada	0.08
Bombas de agua de condensador Absorción	
Centrífugas/reciprocantes	0.15
Ventiladores de torre de enfriamiento	0.07
Absorción Centrífugas/reciprocantes	0.10
	0.07
Calderas:	kVA/CV de caldera
Gas natural/combustible	0,07
Bombas auxiliares de caldera:	kVA/CV de caldera
Des aireador	0,10
Equipo auxiliar:	kVA/cama
Bombas de vacío clínicas	0,18
Compresores de aire clínicos	0,10

Tabla 6 Factores utilizados para establecer los elementos principales del sistema eléctrico que sirve a los sistemas HVAC&R

Equipo funcional

En este punto se analizan las cargas eléctricas de los equipos de procesamiento de datos, comunicación y oficina en hospitales:

Procesamiento de datos: Los hospitales utilizan cada vez más sistemas integrados de información de gestión.

Procesador central: Necesidades de energía moderadas, típicamente entre 50 y 100 kVA en la mayoría de los hospitales, los grandes centros médicos universitarios pueden necesitar mucho más (cientos de kVA).

Estaciones de trabajo: Baja demanda de energía, menos de 1 kVA cada una. Sistemas de comunicación: Baja demanda de energía, las cargas individuales generalmente son inferiores a 2 kVA, la mayoría menos de 1,5 kVA.

Equipo de oficina: Gran cantidad de equipos (máquinas de escribir, procesadores de texto, copiadoras) pero bajos requisitos de energía individual (0,3-1,2 kVA cada uno). Las copiadoras grandes son la excepción (3-6 kVA cada una).

Punto clave: El procesamiento de datos es una carga importante, especialmente el procesador central, los equipos de comunicación y de oficina estándar tienen demandas individuales más bajas, pero contribuyen a la carga general debido a su cantidad. Las copiadoras grandes son una excepción notable dentro del equipo de oficina.

Equipo medico

Los sistemas de distribución de energía que sirven a múltiples instalaciones de máquinas de rayos X requieren atención especial, los diseñadores siempre deben guiarse por los datos específicos proporcionados por los proveedores que suministran equipos para la instalación específica. Sin embargo, una excelente guía de planificación está disponible como estándar NEMA (NEMA XR9-1984) y debe consultarse.

La calidad del voltaje suministrado es importante para las instalaciones de rayos X. Nuevamente, es deseable un servicio lo más directo posible desde la fuente, la mínima perturbación transitoria y caída de voltaje son esenciales.

Tenga en cuenta que la mayoría de las máquinas de rayos X tienen dos clasificaciones de carga: continua e instantánea, la carga continua suele ser pequeña y no plantea ningún problema para la fuente, ya sea la empresa de servicios públicos o el generador de reserva. Sin embargo, la demanda instantánea puede ser un problema para un generador de reserva, especialmente una máquina de rayos X grande atendida por un generador pequeño. Dado que las máquinas de rayos X tienen un alto factor de potencia, se impone una carga de potencia real en el motor, el efecto de esto debe evaluarse al dimensionar el grupo electrógeno.

Si bien la demanda instantánea de las instalaciones de rayos X figurará prominentemente en el dimensionamiento de los equipos de alimentadores y distribución, no es necesario que se considere al calcular la demanda de energía general impuesta a la fuente de la empresa de servicios públicos, siempre que sea parte de un sistema de tamaño moderado. Si el sistema requiere 750 kVA o más, la naturaleza instantánea del funcionamiento de los rayos X no se sumará de manera apreciable a la demanda general. Para sistemas pequeños y para adiciones a instalaciones existentes donde el equipo de servicio está cerca de su capacidad, puede ser aconsejable alguna provisión para la demanda de rayos X.

Los laboratorios clínicos en los hospitales requieren numerosos circuitos derivados para servir a la multitud de dispositivos eléctricos, pero la densidad de carga suele ser baja y las cargas individuales del equipo son bajas, la mayoría por debajo de 1 kVA. Algunas piezas de equipo en los laboratorios hoy en día realizan múltiples pruebas especializadas. Las cargas para estos oscilarán entre 3 kVA y 8 kVA cada uno, estos mismos elementos a menudo son sensibles a las condiciones transitorias en el sistema de energía y pueden requerir pararrayos de sobretensión aplicados localmente.

2.5.6 Consideraciones de diseño

La conservación de energía y el costo de capital a menudo están en conflicto entre sí. Un programa de gestión de la energía debe optimizar esta relación. Lograr un equilibrio requiere la consideración de los siguientes temas durante el diseño.

a) Valor energético de los materiales, los materiales y equipos de construcción poseen un valor energético, incorporado desde la mina hasta el sitio de construcción. Se agrega valor energético durante la erección e instalación, el reconocimiento de esto ayuda al diseñador a evitar el sobre diseño. Un análisis cuidadoso de las cargas iniciales que se impondrán, junto con las asignaciones para el crecimiento de la carga, son esenciales. Al mismo tiempo, los materiales y equipos eficientes pueden aumentar los costos de capital y disminuir los costos operativos.

b) Iluminación y control de la iluminación. Como se señaló anteriormente en este capítulo, las elecciones de la fuente de iluminación y el control de la iluminación inciden directamente en la utilización de energía, así como en la carga del sistema, los principios de la iluminación de tareas, la iluminación general y la iluminación natural son consideraciones de diseño importantes para la gestión de la energía.

c) Motores, la selección de motores para un uso eficiente de la energía es esencial, el uso de motores premium de bajo consumo puede reducir las pérdidas de funcionamiento en un 25% o más, los motores de inducción son algo menos eficientes a carga parcial, pero sus factores de potencia son considerablemente peores, los motores deben elegirse para que funcionen a tres cuartos de carga o más, el uso de arrancadores de estado sólido para reducir la corriente de arranque y el uso de variadores de velocidad para un control óptimo de las cargas del motor contribuyen a la conservación de energía.

d) Mantenimiento del factor de potencia, la predicción del factor de potencia del sistema es difícil durante el diseño, pero se puede determinar más fácilmente en un sistema operativo. No obstante, se debe considerar la aplicación de condensadores en motores de inducción trifásicos de velocidad constante, además, se debe evaluar la aplicación de condensadores de corrección del factor de potencia o condensadores síncronos al sistema durante el diseño y se deben tomar provisiones para instalarlos sin renovaciones importantes del equipo de conmutación. Cuando hay cargas no lineales, se debe tener cuidado al agregar condensadores para evitar la resonancia.

Fuentes de energía

Generalmente, la fuente de energía normal es suministrada por la empresa de servicios eléctricos y la fuente de energía alterna requerida por una fuente de energía en el sitio, como un grupo electrógeno, un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) o un sistema de batería/inversor. Sin embargo, cuando la fuente normal consiste en uno o varios generadores de energía en el sitio, la fuente de energía alterna requerida puede ser otra unidad generadora de energía o la empresa de servicios eléctricos. Un sistema de batería/inversor se puede aplicar como la principal fuente de energía alterna para asilos de ancianos,

instalaciones de cuidado de custodia residencial y otras instalaciones de atención médica, siempre que cumplan con las condiciones descritas en la NFPA 99-1996. Un UPS puede estar justificado para grandes centros de cómputo u otras cargas críticas y sensibles.

Distribución de Circuitos.

Los sistemas de distribución para instalaciones de atención médica se dividen básicamente en dos categorías: el sistema eléctrico normal (no esencial) y el sistema eléctrico esencial. Ambos sistemas son alimentados por la fuente de energía normal; sin embargo, el sistema eléctrico esencial puede transferirse a la fuente de energía alterna cuando la fuente de energía normal experimenta un fallo de energía.

a) Sistema eléctrico no esencial, el sistema eléctrico no esencial consiste en equipos y circuitos de distribución que suministran energía eléctrica desde la fuente de energía normal a cargas que no se consideran esenciales para la seguridad de la vida, o el funcionamiento eficaz y esencial de la instalación de atención médica.

b) Sistema eléctrico esencial, el sistema eléctrico esencial consiste en la fuente de energía alterna (o fuentes), equipos de transferencia, equipos de distribución y los circuitos necesarios para asegurar la continuidad del servicio eléctrico a aquellas cargas consideradas esenciales para la seguridad de la vida, el cuidado crítico del paciente y el funcionamiento eficaz de la instalación de atención médica, la NFPA 99-1996 y el NEC cubren estos temas con gran detalle y deben revisarse cuidadosamente, la información proporcionada aquí resume gran parte de esos datos.

Para los hospitales, el sistema eléctrico esencial se puede subdividir en dos sistemas: el sistema de emergencia y el sistema de equipos, el sistema de emergencia en sí está compuesto por dos ramales definidos como el ramal de seguridad de la vida y el ramal crítico.

Estos ramales incluyen equipos y circuitos de distribución, incluidos los dispositivos de transferencia automática necesarios para permitir que las cargas de emergencia se transfieran de fuentes de energía normales a fuentes de energía de emergencia automáticamente. Para aumentar la confiabilidad del sistema,

se requiere que los circuitos de cada uno de estos dos ramales se instalen por separado entre sí y de todos los demás tipos de circuitos, la NFPA 99y el NEC requieren que el sistema de emergencia restablezca automáticamente la energía eléctrica dentro de los 10 segundos de la interrupción de energía.

El NEC también define los tipos de cargas eléctricas que deben ser atendidas por el ramal de seguridad de la vida y el ramal crítico (Artículos 517-32 y 517-33), el Artículo 517-33 del NEC permite al diseñador instalar "otros equipos y dispositivos necesarios para el funcionamiento eficaz del hospital" en el ramal crítico del sistema de emergencia, esto da cierta flexibilidad para adaptar el diseño a las necesidades específicas de la instalación de atención médica, el diseñador debe usar su experiencia, la información del personal del hospital y un buen juicio de ingeniería al aplicar este artículo al diseño.

El sistema de equipos consiste principalmente en equipos y circuitos de distribución trifásica, incluidos dispositivos de transferencia automática, automática retardada o manual para atender las cargas de equipos esenciales para el funcionamiento eficaz de la instalación, según lo definido por la NFPA 99-1996 (Capítulo 8), además, la Comisión Conjunta de Acreditación de Organizaciones de Atención Médica (JCAHO) requiere que si un hospital tiene una bomba contra incendios, debe estar conectada al sistema de equipos a través de un interruptor de transferencia automática.

Para los asilos de ancianos e instalaciones de cuidado de custodia residencial, que brindan atención que requiere sustento electromecánico y/o tratamiento quirúrgico que requiere anestesia general, el sistema eléctrico esencial se subdivide en dos sistemas: el sistema de emergencia y el sistema crítico.

El sistema de emergencia en estos casos se limita a las cargas definidas para el ramal de seguridad de la vida para hospitales, más iluminación suficiente para las vías de salida en las áreas de comedor y recreación, se requiere que estos circuitos del sistema de emergencia se instalen por separado e independientemente de los circuitos y equipos que no son de emergencia.

Las normas NFPA requieren que este ramal del sistema de emergencia esté diseñado para permitir la restauración automática de la energía eléctrica dentro de los 10 segundos de la interrupción de energía.

El sistema crítico se limita a tomacorrientes críticos, iluminación de tareas y equipos necesarios para el funcionamiento eficaz de la instalación.

Para otras instalaciones de atención médica (excluyendo hospitales, asilos de ancianos e instalaciones de cuidado de custodia residencial donde la instalación administrar anestésicos por inhalación o requiere dispositivos electromecánicos de soporte vital), el sistema eléctrico esencial consiste en un sistema que suministra una cantidad limitada de iluminación y energía considerada esencial para la seguridad de la vida y la cesación ordenada del procedimiento cada vez que el servicio eléctrico normal se interrumpe por cualquier motivo, el tipo de sistema seleccionado debe ser apropiado para los procedimientos médicos realizados en la instalación.

El diseño para los generadores de energía de emergencia, en las instalaciones mencionadas anteriormente, debe cumplir con los requisitos definidos para las instalaciones de Tipo I, Tipo II y Tipo III, como se indica en la NFPA 99, estas designaciones de "Tipo" definen los tiempos máximos de arranque, los tiempos máximos de funcionamiento, etc., como se indica en la NFPA 110.

2.5.7 Consideraciones de voltaje

La selección, regulación y calidad adecuadas de los voltajes de utilización es extremadamente importante debido al uso extensivo de equipos médicos sensibles que están disponibles en muchos voltajes nominales diferentes, este equipo no deberá verse comprometido por voltajes mal aplicados o regulados o voltajes con alto contenido de armónicos.

Se deben reconocer las características dinámicas del sistema en general y se deben aplicar los principios adecuados de control de voltaje para que se suministre un voltaje satisfactorio a todos los equipos de utilización en todas las condiciones de operación (es decir, incluido el arranque de motores grandes, etc.).

Seleccionar voltajes del sistema.

Los niveles de voltaje seleccionados dependen del voltaje de la empresa de servicios públicos disponible, el tamaño de la instalación de atención médica, las cargas atendidas, los requisitos de expansión, el diseño del edificio, los requisitos de regulación de voltaje y el costo.

Típicamente, una gran instalación de atención médica recibirá energía a un nivel de voltaje medio de la empresa de servicios públicos y se reducirá a 480Y/277 V o 208Y/120 V para su utilización. Se puede usar 480 V o 208 V para alimentar equipos mecánicos (enfriadores, ventiladores, bombas, etc.), equipos médicos (radiología, bombas de aire médicas, etc.) y otros equipos de soporte, como equipos de laboratorio y equipos de cocina. Sin embargo, si 480V está presente, es preferible. Desde consideraciones de costo inicial, razones de costo operativo continuo y aislamiento de cargas sensibles de 120 V, el nivel de 480 V es la mejor opción para estos equipos.

El uso de iluminación de 277 V en lugar de 120 V en grandes instalaciones de atención médica es común. Sin embargo, la aplicación de iluminación de 277 V en hospitales difiere de otras instalaciones comerciales debido al requisito de las cuatro divisiones del sistema eléctrico (normal, ramal crítico, ramal de seguridad de la vida y el sistema de equipos). Dependiendo de otros requisitos del equipo, la aplicación de iluminación de 277 V puede aumentar el número de paneles de 480 Y/277V en cada piso y/o en cada sala eléctrica. No hay una regla general sobre cuándo aplicar la iluminación de 277 V. Cada aplicación individual debe analizarse para determinar su viabilidad, los beneficios típicos de la iluminación de 277 V incluyen la reducción de las pérdidas del sistema, la reducción del número de circuitos derivados para la iluminación, la reducción del tamaño de los conductores de energía, la reducción de las ganancias de calor en el sistema de aire acondicionado debido a las pérdidas de energía y la segregación de los armónicos de los balastos electrónicos en las luminarias de los equipos médicos que operan a 208Y/120 V.

Voltajes nominales.

Compatibilidad de voltaje. Es crucial verificar que el voltaje de todos los equipos médicos coincida con el voltaje del sistema eléctrico del hospital antes de la instalación. Si no coinciden, se deben usar transformadores (Buck/boost, autotransformadores, etc.). No usar motores de 230V en sistemas de 208V.

En equipos internacionales, se debe tener especial cuidado con los equipos de fuentes internacionales. Verificar la compatibilidad de voltaje (415Y/240V, 400Y/230V o 380Y/220V son comunes) y frecuencia (50Hz vs. 60Hz). También verificar la tolerancia del equipo a las variaciones de voltaje ($\pm 5\%$ o $\pm 10\%$).

Equipos de radiología: Los equipos de radiología tienen requisitos de voltaje variables. Se deben consultar los datos del fabricante para conocer los requisitos exactos. Debido a sus características de funcionamiento (bajo factor de carga, bajo factor de potencia, altas sobretensiones), a menudo requieren sistemas de energía dedicados.

Caída de voltaje: La regulación del transformador puede causar una caída de voltaje del 2.5-5%, la caída de voltaje en el cableado debe ser menor al 2.5% para asegurar un voltaje adecuado en los equipos.

Variación de voltaje y perturbaciones.

Las variaciones en la forma de onda de voltaje sinusoidal pueden ser causadas por muchos tipos diferentes de perturbaciones del sistema eléctrico. Las sobretensiones transitorias son causadas por rayos, conmutación de condensadores, conmutación de fallas, soldadura, arcos a tierra, motores de escobillas o conmutación de cargas inductivas, como motores, equipos de radiología, etc.

Las cargas no lineales, como las fuentes de alimentación conmutadas, los balastos y los variadores de velocidad o frecuencia, son generadores de armónicos que pueden causar una sobrecarga grave del neutro, una sobrecarga del transformador y problemas de interferencia, la pérdida total momentánea de voltaje

puede ser el resultado de la conmutación de la empresa de servicios públicos, las operaciones de eliminación de fallas, algunas operaciones de pararrayos de voltaje transitorio o una falla del equipo.

Existe una variedad de equipos de protección, regulación y acondicionamiento de voltaje disponibles en el mercado. Se pueden aplicar pararrayos, reguladores de voltaje, supresores de sobretensión transitoria, transformadores de aislamiento blindados, reguladores de voltaje, acondicionadores de energía, UPS o combinaciones de este equipo para resolver problemas de variación de voltaje, la elección del equipo a aplicar depende de la naturaleza de las variaciones de voltaje y las características del equipo a proteger.

a) Los pararrayos, los reguladores de voltaje y los supresores de sobretensión transitoria están diseñados para eliminar las sobretensiones temporales del sistema de energía para proteger los equipos de distribución y utilización.

b) Los transformadores de aislamiento blindados son eficaces para rechazar ciertos tipos de transitorios. Sin embargo, no proporcionarán una conexión a tierra limpia y sin ruido.

c) Los reguladores de voltaje o los transformadores de voltaje constante están diseñados para controlar estrictamente el voltaje de salida (durante muchos ciclos) independientemente de las variaciones del voltaje de entrada, el rango de voltaje de entrada para el cual el voltaje de salida permanecerá regulado es generalmente de $\pm 10\%$ a $+20\%$, o de $\pm 15\%$ a $+15\%$ del nominal, además del rango de voltaje de entrada, otras consideraciones al aplicar un regulador de voltaje son la sensibilidad a la carga del regulador, la compatibilidad de la carga, el factor de potencia, la eficiencia energética y el aislamiento eléctrico.

d) Los acondicionadores de energía generalmente combinan regulación, aislamiento y/o supresión de transitorios en un solo paquete.

e) Los UPS estáticos (electrónicos) proporcionan un voltaje constante con capacidad de batería de reserva para fallas de energía y cortes cortos, los UPS estáticos pueden, sin embargo, ser una fuente de ruido/armónicos eléctricos ellos mismos, y no siempre pueden entregar una forma de onda sinusoidal limpia a menos que se especifiquen cuidadosamente.

Los UPS rotativos (mecánicos/eléctricos) están disponibles para proporcionar una forma de onda sinusoidal pura, además, existe una configuración de UPS rotativo que siempre está en línea y que depende de un motor diésel para el respaldo, este tipo de UPS no requiere grandes bancos de baterías.

Las corrientes armónicas se pueden controlar o suprimir mediante el uso de transformadores conectados en delta, filtros de armónicos, transformadores de aislamiento, etc.

El primer paso para resolver adecuadamente un problema de variación de voltaje es diagnosticar correctamente el problema. Solo cuando el problema se define correctamente es posible seleccionar el equipo de regulación, protección o acondicionamiento de voltaje adecuado. A menos que se conozca el problema exacto, un ingeniero puede especificar un equipo que amplifica el problema, en lugar de reducirlo o eliminarlo.

2.5.8 Conexión a Tierra.

El término conexión a tierra del sistema se relaciona con el tipo de conexión a tierra aplicada al sistema eléctrico. Las razones básicas para la conexión a tierra del sistema son las siguientes:

- Limitar las diferencias de potencial eléctrico entre todos los objetos conductores no aislados en un área local.
- Proporcionar aislamiento de equipos y circuitos defectuosos donde ocurre una falla.
- Limitar las sobretensiones que aparecen en el sistema bajo diversas condiciones de falla.

Cabe señalar que, en un sistema sin conexión a tierra, una condición de falla puede, en ciertos casos, conducir a una resonancia del sistema que causa que se imponga una sobretensión extrema en el sistema. Esta sobretensión puede ser de magnitud suficiente para crear un grave peligro de descarga eléctrica, así como causar fallas en los equipos eléctricos debido a la ruptura del aislamiento. Por estas y otras razones, se requiere la conexión a tierra del sistema para todas las instalaciones de atención médica.

Existen varios métodos disponibles para conectar a tierra un sistema, como "conexión a tierra de línea", "conexión a tierra de neutro", etc, el método preferido para las instalaciones de atención médica es la conexión a tierra sólida del neutro, ya que el neutro del sistema generalmente está disponible, esto evitará las precauciones especiales de funcionamiento del sistema que se requieren cuando se emplean otros métodos de conexión a tierra, los cuales son:

a) Selección de puntos de conexión a tierra del sistema. Es necesario conectar a tierra sólidamente en cada nivel de voltaje para lograr las ventajas de la conexión a tierra del neutro en todas las partes del sistema. Cada nivel de voltaje se puede conectar a tierra en el conductor neutro de un generador; banco de transformadores de potencia; o, en raras ocasiones, un transformador de puesta a tierra derivado del neutro, siempre que cumpla con los requisitos del NEC (Artículo 250-5).

Cuando hay dos o más fuentes en un punto dado, cada fuente debe tener un punto neutro conectado a tierra, ya que el circuito de enlace de bus puede estar abierto.

b) Disposiciones del circuito neutro. Una vez que se ha seleccionado el método de conexión a tierra del neutro, la siguiente cuestión a considerar es cuántos generadores de fuente o neutros de transformador, o ambos, se utilizarán para la conexión a tierra, y sí. Cada neutro se conectará independientemente a tierra, o se establecerá un bus neutro con una sola conexión a tierra.

c) Neutro(s) de fuente de media tensión, la parte de media tensión del sistema de energía suele ser un sistema trifásico de tres hilos donde el neutro no se utiliza como conductor del circuito. Las ventajas y desventajas de varios métodos de conexión a tierra de media tensión, así como las condiciones de diseño para cada método, el lector debe utilizar esta referencia si la conexión a tierra de media tensión es un problema.

d) Neutro(s) de fuente de baja tensión, el sistema de baja tensión para las instalaciones de atención médica suele ser un sistema trifásico de cuatro hilos donde el neutro se utiliza como conductor del circuito. Por lo tanto, el neutro de la fuente debe conectarse a tierra sólidamente para permitir la carga del neutro, así como para cumplir con los requisitos del NEC (Artículo 250-5).

Cuando la fuente de energía consiste en servicios que tienen doble alimentación en un gabinete común o agrupados en gabinetes separados y emplean un enlace secundario (sólido) no conmutado, el conductor neutro común se puede conectar a tierra eficazmente en un punto. Cuando la fuente de energía para la instalación de atención médica consiste en una fuente de energía normal y alterna, al menos una de las fuentes de energía, generalmente la normal, se considera el servicio y su(s) neutro(s) se conectan a tierra eficazmente. Si la fuente de energía normal y alterna no están conectadas eléctricamente, entonces ambos neutros de la fuente de energía deben conectarse a tierra eficazmente.

La conexión a tierra sólida del neutro es la práctica estándar en la atención médica, la conexión a tierra debe ocurrir en cada nivel de voltaje y para cada fuente de energía, los detalles de cómo se conecta a tierra el neutro (individualmente o mediante un bus) dependen de la configuración específica del sistema.

2.5.9 Características de la Fuente de Energía y la Carga.

- **Conexión a tierra y continuidad del servicio:** El método de conexión a tierra y la disposición de los conductores de tierra impactan en la confiabilidad del suministro eléctrico, la conexión a tierra debe evitar corrientes neutrales no deseadas y proporcionar caminos seguros para las corrientes de falla a tierra, protegiendo a personas y equipos.
- **Cargas fase-neutro:** Los sistemas que alimentan cargas fase-neutro *deben* tener una conexión a tierra sólida.
- **Cargas fase-fase (600V/480V):** Estos sistemas *pueden* tener conexión a tierra sólida, conexión a tierra de alta resistencia o no tener conexión a tierra, la conexión a tierra de alta resistencia ofrece mejor continuidad de servicio, pero requiere monitoreo para fallas a tierra. *No se recomiendan los sistemas sin conexión a tierra* por el riesgo de sobretensiones.
- **Fuentes de energía interconectadas (normal y alterna):** Si las fuentes de energía normal y alterna están conectadas (por conductores neutros o de fase), el neutro de la fuente *alterna no* debe conectarse a tierra. Solo se conecta a tierra el neutro de la fuente *normal* para evitar corrientes parásitas.

- Sistemas derivados por separado (normal y alterna):** Si las fuentes de energía normal y alterna *no* están conectadas (con un interruptor de transferencia de cuatro polos), la fuente *alterna* es un "sistema derivado por separado" y *ambos* neutros, el de la fuente normal y el de la alterna, se conectan a tierra, esto se debe a que los conductores neutros están aislados.

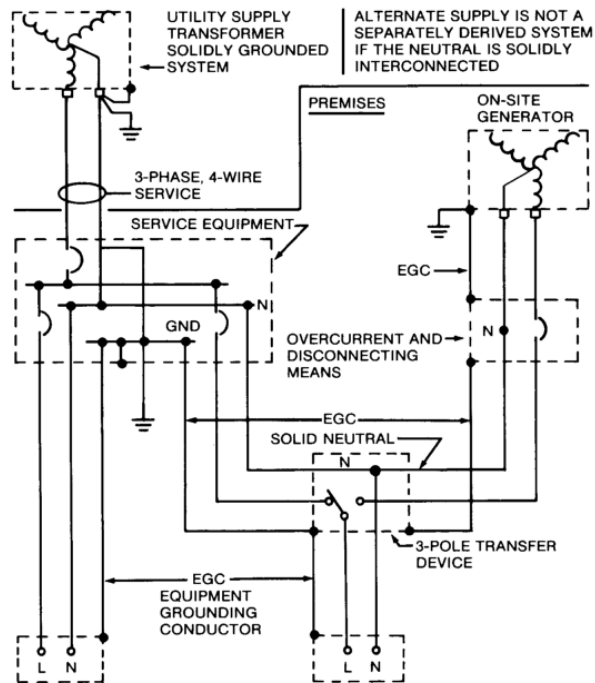


Ilustración 35 Esquema de Neutro Sólidamente Aterrizado, o Neutros efectivamente aterrizado.

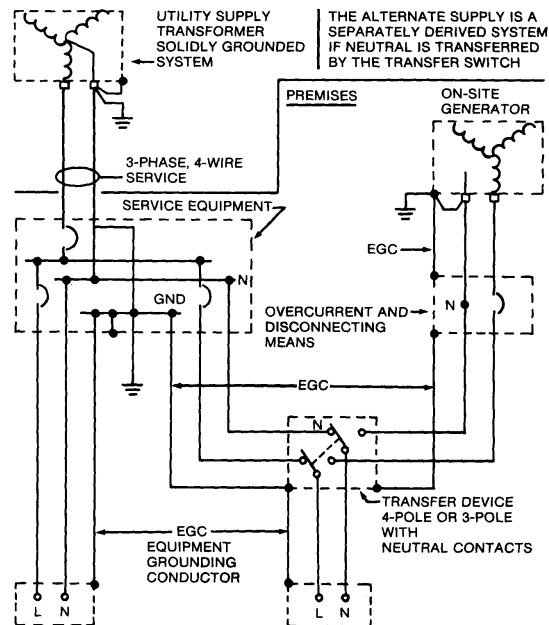


Ilustración 36 Conductor neutro transferido puesto a tierra en el equipo de servicio

2.5.10 Requerimiento de protecciones.

El diseño de un sistema de protección implica los siguientes dos pasos separados, aunque interrelacionados:

- a) Seleccionar el dispositivo adecuado para proteger el sistema o dispositivo previsto.
- b) Seleccionar la clasificación y el ajuste de amperaje correctos para que operen selectivamente con otros dispositivos (es decir, para desconectar solo la parte del sistema que está en problemas o con fallas, y con el menor efecto posible en el resto del sistema).

Los dispositivos de protección deben seleccionarse para ignorar las condiciones normales de funcionamiento, como la corriente a plena carga, la corriente de sobrecarga permitida y las corrientes de arranque (o irrupción). Sin embargo, deben elegirse para detectar corrientes anormales y operar rápidamente, a menudo, se eligen para que operen de manera de tiempo inverso en sobrecargas o cortocircuitos sostenidos (es decir, cuanto mayor sea el nivel de corriente de falla, menor será el tiempo de

operación para abrir el circuito), además, los dispositivos deben estar "coordinados" para que el dispositivo de protección más cercano a la falla se abra antes de que se abran los dispositivos del "lado de la línea".

Tipos de Corriente de falla a tierra.

Pueden existir varios tipos de corrientes de tierra en cualquier sistema de energía, de la siguiente manera:

- a) Corriente de fuga de aislamiento de aparatos, equipos de limpieza portátiles y/o herramientas, etc. Normalmente, la magnitud de esta corriente es muy baja (del orden de microamperios en sistemas pequeños a varios amperios en sistemas extensos). Las fuentes de energía de aislamiento de línea o los interruptores de circuito por falla a tierra (GFCI) (que sirven a las funciones del paciente o del personal) están diseñados para estos valores de corriente más bajos.
- b) Corriente de tierra por falla atornillada, comúnmente causada por conexiones incorrectas u objetos metálicos atascados entre fase y tierra, para este tipo de falla, la magnitud de la corriente puede incluso ser mayor que la corriente de falla trifásica.
- c) Corriente de tierra por falla de arco, comúnmente causada por conductores de fase rotos que tocan tierra, falla de aislamiento, conexiones sueltas, accidentes de construcción, roedores, suciedad, escombros, etc, la magnitud de la corriente puede ser muy baja en relación con la corriente de falla trifásica, el nivel esperado es del 35-40% de la corriente de falla a tierra monofásica, pero puede ser solo la mitad de esta magnitud.
- d) Descarga de rayo a través de un pararrayos a tierra, la magnitud de la corriente podría ser bastante grande dependiendo de la energía en el rayo; sin embargo, la duración es extremadamente corta, medida en microsegundos, los dispositivos de protección contra sobre corriente dentro del sistema de distribución de un edificio no se ven afectados normalmente por los rayos directos.
- e) Descarga estática.
- f) Corriente de carga capacitiva, etc.

2.5.11 Conceptos básicos para el diseño de esquema de protecciones.

Un enfoque ordenado para realizar el estudio de coordinación de dispositivos de protección mencionado anteriormente es el siguiente:

- a) Construir un diagrama unifilar del sistema.
- b) Registrar los datos pertinentes en el diagrama unifilar: Calificaciones de los equipos de distribución, amperios continuos, corriente de interrupción de amperios (AIC), etc. Calificaciones de carga del equipo. Datos de impedancia en cables, transformadores, fuente, etc. Calificaciones de alivio de presión de los pararrayos
- c) Realizar cálculos para determinar las corrientes de cortocircuito.
- d) Determinar las clasificaciones de funcionamiento y protección del equipo según lo definido por el NEC, las placas de identificación del equipo, la Asociación de Ingenieros de Cables Aislados (ICEA), textos o manuales, boletines de fabricantes, etc. Listar estas clasificaciones en el diagrama unifilar.
- e) Determinar las clasificaciones de los dispositivos de protección necesarias para cumplir con el voltaje, la frecuencia, la corriente continua, la resistencia momentánea y la capacidad de cortocircuito del sistema, así como cualquier condición inusual debido a la aplicación en el sitio, como la altitud, la vibración, los golpes, la temperatura, etc. Estimar las cargas de corriente neutra causadas por cargas no lineales y cargas monofásicas, además, tener en cuenta los requisitos de (UL), NEC o códigos locales.
- f) Elegir una clasificación de carga completa tentativa del dispositivo de protección basada en las condiciones de carga. Listar la elección en el diagrama unifilar.
- g) Obtener curvas características de tiempo-corriente de todos los detectores de dispositivos de protección involucrados en el sistema en estudio.

- h) Desarrollar diagramas de tiempo-corriente para determinar los ajustes del dispositivo y poder analizar el grado de coordinación y protección logrado.
- i) Determinar si se requiere un enclavamiento selectivo de zona para obtener una coordinación selectiva (o una coordinación mejorada).
- j) Tenga en cuenta que estos cálculos y trazados a menudo se pueden realizar por computadora utilizando uno de los muchos programas disponibles comercialmente.

Para los circuitos alimentadores con requisitos de conductor neutro donde los conductores neutros están interconectados eléctricamente entre las fuentes de energía en el lado de la carga del dispositivo de sobre corriente, serán aplicables los esquemas del "método de corriente saliente". Como se aprecia en la siguiente ilustración.

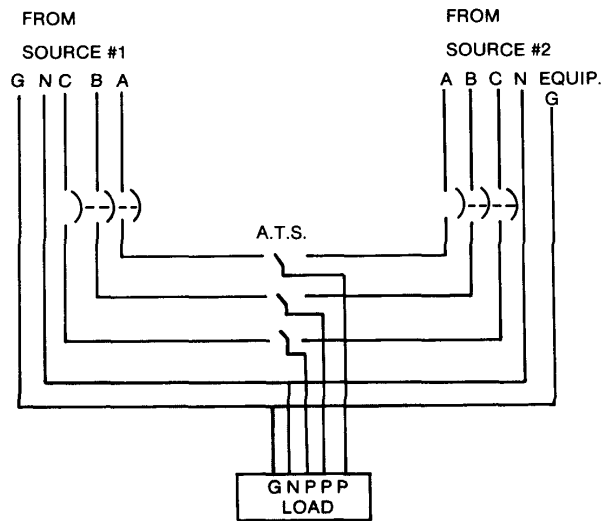


Ilustración 37 Fuente de alimentación doble interconectada.

2.5.12 Selección de Transformador.

Al elegir un transformador, el costo operativo es importante, pero también debe considerarse:

- Costo inicial: Cuánto cuesta el transformador.
- Costos operativos: Tanto cuando el transformador está cargado (pérdidas de carga) como cuando está inactivo (pérdidas en vacío).
- Confiabilidad: Cuán confiable es el transformador.
- Nivel de sonido: Cuánto ruido hace el transformador.
- Vida útil térmica: Cuánto tiempo se espera que dure el transformador.
- Capacidad de sobrecarga: Qué tan bien puede el transformador manejar sobrecargas temporales.
- Cargas no lineales: La capacidad del transformador para suministrar energía a cargas no lineales (como algunos equipos electrónicos).
- Costos de instalación: Cuánto cuesta instalar el transformador.
- Tamaño y peso: Las dimensiones físicas y el peso del transformador.
- Disponibilidad: Qué tan fácil es conseguir el transformador.

El objetivo es encontrar un equilibrio entre las pérdidas en vacío y las pérdidas de carga para que el transformador sea más eficiente a su carga operativa normal (alrededor del 50% de su capacidad nominal). Por ejemplo, si las pérdidas de carga de un transformador son cuatro veces mayores que sus pérdidas en vacío, es más eficiente a aproximadamente el 50% de la carga

2.5.13 Switchgear, switchboards, panelboards y centros de carga de motores.

Este equipo (así como los transformadores) debe ubicarse lo más cerca posible de sus cargas para acortar los tendidos de cables, reducir las pérdidas en los cables y minimizar las caídas de voltaje, estas piezas de

equipo no deben ubicarse cerca de equipos de monitoreo electrónico que sean sensibles a la interferencia electromagnética (EMI). Si esto es inevitable, se debe considerar blindar el equipo electrónico o especificar que el equipo electrónico sea compatible con la EMI (con esto nos referimos a cualquier frecuencia de ruido electromagnético) que pueda estar presente, se deben planificar espacios libres y ventilación adecuados para el equipo actual y las posibles expansiones futuras.

2.5.14 Dispositivos de protección.

Los dispositivos de protección contra sobre corriente deben elegirse, para proporcionar una coordinación completa del sistema, los dispositivos de interrupción de circuito tienen dos elementos básicos que proporcionan una función de detección y una función de conmutación. Generalmente se pueden dividir en las siguientes cuatro categorías:

- Interruptores automáticos equipados con relés de protección o disparos de acción directa
- Contactores equipados con relés de sobrecarga
- Interruptores de transferencia equipados con relés de detección de voltaje y frecuencia
- Interruptores equipados con fusibles
- Cuando se aplican dentro de sus clasificaciones, los dispositivos de conmutación generalmente son capaces de realizar lo siguiente:

Contactores e interruptores de transferencia. Cierre, transporte e interrupción repetitivos de corrientes de carga normales; interrupción de corrientes de sobrecarga; soportar, pero no interrumpir cualquier corriente anormal resultante de cortocircuitos (a menos que los interruptores automáticos o fusibles estén incorporados).

Interruptores. Cierre; transporte e interrupción de la corriente de carga; y cuando se coordina adecuadamente con un fusible, soporta, pero no interrumpe ninguna corriente anormal resultante de

sobrecargas y cortocircuitos, el fusible proporciona la función de detección e interrupción para sobrecargas y cortocircuitos dentro de sus características de diseño.

Una consideración. Cuando los interruptores están equipados con "bobinas de disparo por derivación", pueden ser disparados eléctricamente por equipos de relés de falla a tierra u otros controles.

Interruptores automáticos. Cierre; transporte e interrupción de la corriente de carga; soportar e interrumpir corrientes de sobrecarga y cortocircuito, y organizar corrientes de falla a tierra, de estos dispositivos, solo los interruptores automáticos y los interruptores con fusibles se aplican generalmente como dispositivos de protección contra sobre corriente que interrumpen las corrientes de sobrecarga, cortocircuito y falla a tierra por arco, los interruptores de transferencia se aplican para transferir cargas de una fuente de energía a otra mediante el monitoreo del voltaje de la fuente de energía, los contactores se aplican como dispositivos de alimentación de carga, como arrancadores de motor, iluminación, etc.

Básicamente, hay tres tipos de detectores que se utilizan con los dispositivos de protección: fusibles, relés y disparos de acción directa.

Los fusibles de baja tensión detectan e interrumpen la corriente anormal en un elemento no ajustable. Son dispositivos de tipo térmico, que son sensibles a la temperatura ambiente. y la corriente que fluye a través de ellos. Las clasificaciones de corriente continua normalmente se basan en el aire libre, y cuando se aplican dentro del equipo, pueden necesitar reducirse para tener en cuenta el aumento de la temperatura ambiente. Normalmente, se aplica un factor de reducción del 80%, los fusibles son dispositivos monofásicos y se instalan en cada fase de un interruptor fusible de un circuito trifásico, la aplicación de fusibles como dispositivos de protección contra sobre corriente es similar a la aplicación de interruptores automáticos.

Los fusibles de alta tensión operan de manera similar, excepto que a menudo se usan solo para interrumpir cortocircuitos, además, el tamaño de su fusible (por ejemplo, 25E) no se relaciona directamente con la corriente a la que operan.

2.5.15 Interruptores de transferencia: automáticos y manuales.

Los interruptores de transferencia se aplican para transferir de una fuente de energía a otra para mantener el servicio al sistema de energía de emergencia y los equipos designados. Debido a su importante función en el sistema de energía de las instalaciones de atención médica, se requiere que estén listados para el servicio eléctrico de emergencia y tengan la capacidad adecuada de las cargas a las que sirven, así como que estén ubicados e instalados correctamente para proporcionar un servicio confiable, además, deben tener clasificaciones de resistencia adecuadas para evitar la soldadura de contactos debido a las corrientes de carga, sobrecarga o cortocircuito.

Se requiere que los interruptores de transferencia automáticos sean operados eléctricamente y tengan un enclavamiento mecánico para evitar el cambio de estado, abierto o cerrado, siempre que la energía de control no esté disponible.

Un ATS permite la transferencia y re-transferencia de la carga automáticamente cuando sea necesario, los interruptores de transferencia manuales o no automáticos también deben tener una función de enclavamiento mecánico. Otros requisitos, como la indicación de la posición del interruptor, el enclavamiento, la detección de voltaje, el retardo de tiempo, etc., se describen en la NFPA 99.

2.5.16 Cableado, conductores y canalizaciones especiales.

Además de cumplir con los requisitos generales del código según lo indicado en el NEC, ciertas ocupaciones de hospitales/atención médica requieren atención especial (es decir, el cableado instalado en áreas clasificadas como peligrosas debe cumplir con ciertos requisitos de instalación de Clase 1, División 1). Una de estas áreas peligrosas incluiría cualquier área restante donde se utilicen agentes anestésicos inflamables, estas áreas deben tener cables instalados en canalizaciones metálicas rígidas aprobadas utilizando conexiones roscadas que estén debidamente selladas. Todas las cajas, accesorios y uniones deben ser adecuados para lugares peligrosos.

El cableado que alimenta el primario de los transformadores de aislamiento está restringido a tener no más de 600 V entre conductores, además, los conductores deben tener una constante dieléctrica de 3,5 o menos y estar codificados por colores como en el NEC (Artículo 517), se requiere precaución al instalar los conductores en los circuitos secundarios de aislamiento para no aumentar la constante dieléctrica de los conductores.

2.5.17 Tableros de distribución PanelBoards.

Los tableros de distribución eléctricos deben ubicarse lo más cerca posible de la carga, los tableros de distribución de iluminación y tomacorrientes deben ubicarse para minimizar la longitud del circuito a aproximadamente 75 pies (22,9 m) entre el tablero y la carga, esta colocación cercana reduce las caídas de voltaje en los circuitos, los tableros de distribución deben ubicarse en salas eléctricas y deben tener un número suficiente de circuitos de repuesto para adaptarse a futuras expansiones.

Un buen diseño y los requisitos del código incluyen una trayectoria de tierra de baja resistencia, desde todos los buses de tierra del tablero hasta la fuente de energía, esto limitará los peligros de descarga eléctrica y proporcionará una trayectoria de baja impedancia para las corrientes de falla a tierra en un sistema conectado a tierra.

2.5.18 Disposición del sistema radial.

Instalaciones más pequeñas.

Para las instalaciones pequeñas, los asilos de ancianos pequeños y las instalaciones de cuidado de custodia residencial, un tablero de distribución de entrada de servicio único y un generador pequeño pueden ser los componentes principales del sistema eléctrico (ilustración 29), estas instalaciones generalmente tienen varios tableros de distribución de energía normal alimentados por el sistema de energía normal. Si las cargas del motor van a ser energizadas por el generador, su restauración en condiciones de emergencia puede retrasarse mediante el uso de un relé de retardo de tiempo en el interruptor de transferencia automática o

agregando un relé de retardo de tiempo en el arrancador del motor, que se energiza mediante contactos auxiliares dentro del interruptor de transferencia.

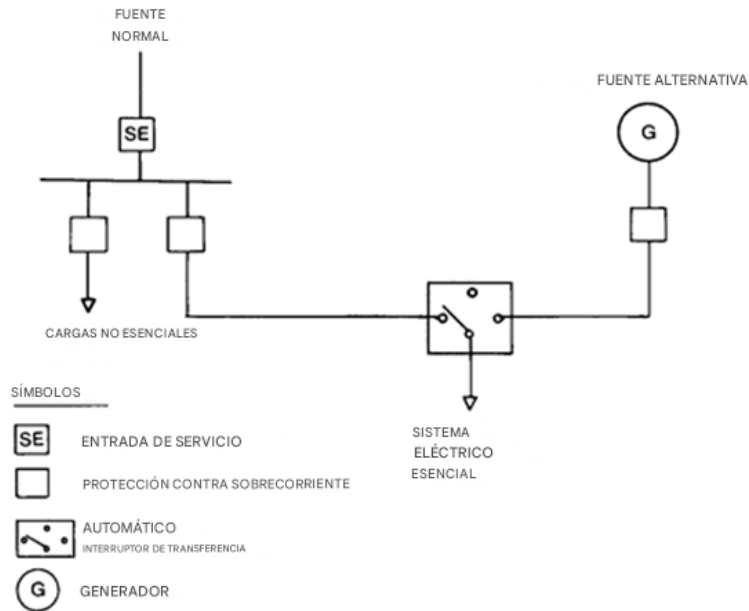


Ilustración 38 Componentes principales del sistema eléctrico.

Cuando haya requisitos significativos de energía de emergencia, se pueden usar varios interruptores de transferencia para aumentar la confiabilidad, los interruptores de transferencia utilizados para el sistema de equipos se pueden ajustar para que se transfieran secuencialmente, minimizando así los requisitos de irrupción del generador. Sin embargo, el (los) interruptor(es) de transferencia que sirven al sistema de seguridad de vida deben transferirse en 10 s.

2.5.19 Disposición del sistema de doble extremo.

Se debe considerar una subestación de doble extremo cuando la transformación exceda los 750 kVA, esto es especialmente cierto si hay dos fuentes de servicios públicos que pueden alimentar nuestra instalación.

Por ejemplo, la ilustración 30 utiliza un interruptor de circuito normalmente abierto que está Inter bloqueado con el interruptor de circuito principal para que los tres interruptores de circuito no se puedan cerrar simultáneamente. Tras la pérdida de un solo transformador o su alimentador, el interruptor de circuito de

enlace se puede cerrar automática (o manualmente) y su carga se puede agregar al transformador restante, los beneficios adicionales de la subestación de doble extremo son corrientes de falla más bajas que con un solo transformador más grande. Existe la capacidad de separar normalmente las cargas del motor de las cargas de iluminación y rayos X que requieren un mayor grado de regulación de voltaje, sin embargo, el diseño debe asegurar una regulación de voltaje adecuada cuando la subestación es de un solo extremo.

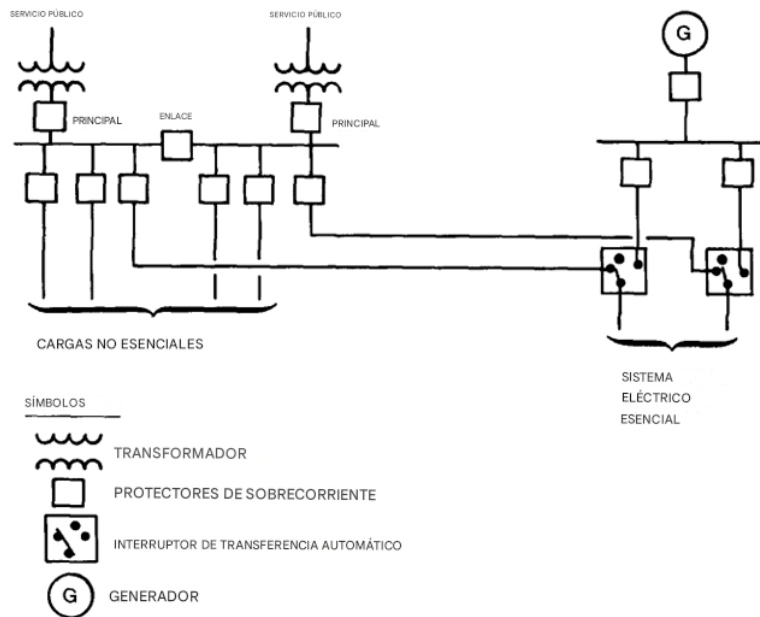


Ilustración 39 Protector de corbata normalmente abierto entrelazado

Cuando se instalan subestaciones de doble extremo, cada transformador debe transportar de forma segura la carga completa de toda la subestación, dado que las pérdidas en el núcleo son un costo de energía continuo, es importante minimizar la capacidad "de repuesto" siempre que se mantengan la seguridad, la confiabilidad y las buenas prácticas, durante el tiempo de interrupción de un solo transformador, se deben tener en cuenta el aumento de la caída de voltaje, el aumento de las pérdidas del transformador y la posible pérdida de vida útil del transformador (si se sobrecarga). Por lo general, el tiempo de interrupción es mínimo, pero en caso de una falla del transformador, el tiempo de reemplazo puede ser del orden de semanas, los transformadores se pueden sobrecargar de forma segura de acuerdo con las normas ANSI C57

con poca o ninguna pérdida de vida útil; se pueden agregar ventiladores para aumentar la capacidad de carga de emergencia del transformador; y, cuando se compran los transformadores, se pueden especificar con una clasificación de aislamiento de temperatura más alta de la que se requiere para la clasificación normal de carga completa.

Los transformadores "sobredimensionados" no solo aumentan los costos de las pérdidas en el núcleo, sino que también suelen aumentar la corriente de falla disponible en su secundario y posiblemente requieren tamaños de Switchgear mayores.

Los transformadores de potencia sumergidos en líquido con un aumento de temperatura de 55/65 °C tienen una clasificación de sobrecarga más alta que las unidades con un aumento de temperatura de 55 °C, los transformadores de potencia de tipo seco con un aumento de temperatura de 80 °C y con aislamiento de 220 °C tienen una clasificación de sobrecarga más alta que las unidades con un aumento de temperatura de 115 °C con aislamiento de 220 °C. Por ejemplo, los transformadores de potencia de tipo seco de 500 kVA y más deben especificarse con un aumento de temperatura de 80 °C (preferido) o 115 °C (alternativo).

Los transformadores de potencia sumergidos en líquido deben especificarse para incluir controles para arrancar el sistema de enfriamiento auxiliar (ventiladores y bombas) cuando la temperatura en la parte inferior del tanque alcance la temperatura predeterminada.

Si el esquema de la subestación de doble extremo utiliza un interruptor de circuito de enlace normalmente abierto operado eléctricamente que se cerrará automáticamente en caso de pérdida de un alimentador entrante, entonces se agregarán relés de control y protección adicionales para evitar que el protector de enlace de bus se cierre cuando un protector principal se haya disparado debido a condiciones de sobrecarga o cortocircuito.

En raras ocasiones, una empresa de servicios públicos puede permitir que una subestación de doble extremo funcione con un enlace cerrado y protectores principales. Las ventajas de usar una subestación de doble extremo con los principales y el enlace normalmente cerrados son una mejor regulación de voltaje y una

transferencia sin parpadeo en caso de pérdida de una fuente de energía y las desventajas son una mayor complejidad, una mayor corriente de falla, un mayor costo y la pérdida de aislamiento entre las cargas sensibles y las cargas de alta irrupción, además, la confiabilidad puede ser menor ya que una falla, una falla en el bus, puede causar la pérdida de ambos buses, la mayor complejidad requiere que el ingeniero de diseño coordine y especifique cuidadosamente la protección adicional requerida para asegurar una operación adecuada.

2.5.20 Disposición del sistema de red.

Un servicio de red consta de dos o más transformadores con sus secundarios conectados a través de protectores de red, como se muestra en la ilustración 29.

Las ventajas del servicio de red son alta confiabilidad, ninguna interrupción del servicio cuando se retira un alimentador del servicio y buena regulación de voltaje. Las desventajas son el alto costo, las altas corrientes de falla y pueden incluir la imposibilidad de expandir el servicio de red sin aumentar las clasificaciones de interrupción y los tamaños de los componentes existentes. En las áreas metropolitanas, puede haber disponible un servicio suministrado desde la red propiedad de la empresa de servicios públicos.

La red de la empresa de servicios públicos en las ciudades consta de muchos transformadores de red con sus secundarios conectados a una red de cables secundarios que cubren un área grande. Esta red generalmente permite que un alimentador primario se retire del servicio en cualquier momento, o que dos alimentadores primarios se retiren del servicio durante los períodos de poca carga sin causar una baja tensión indebida en la red secundaria.

Cuando la demanda supera los 500 kVA, las empresas de servicios públicos pueden optar por una "red puntual" que consta de dos a cuatro transformadores de red muy cerca uno del otro con sus secundarios conectados entre sí, pero no conectados a la red urbana general.

El servicio de red se considera el tipo de servicio eléctrico más confiable, pero también el más caro, los costos del ciclo de vida pueden reducirse algo si el hospital, en lugar de la empresa de servicios públicos, posee y mantiene los transformadores de red para calificar para la tarifa de servicio primario más baja.

La red se utilizaría para cargas muy grandes donde se requieren múltiples alimentadores para cada servicio; no se permiten interrupciones en la conmutación de los alimentadores, y el sistema es completamente automático, la subestación de doble extremo abierta no hace esto.

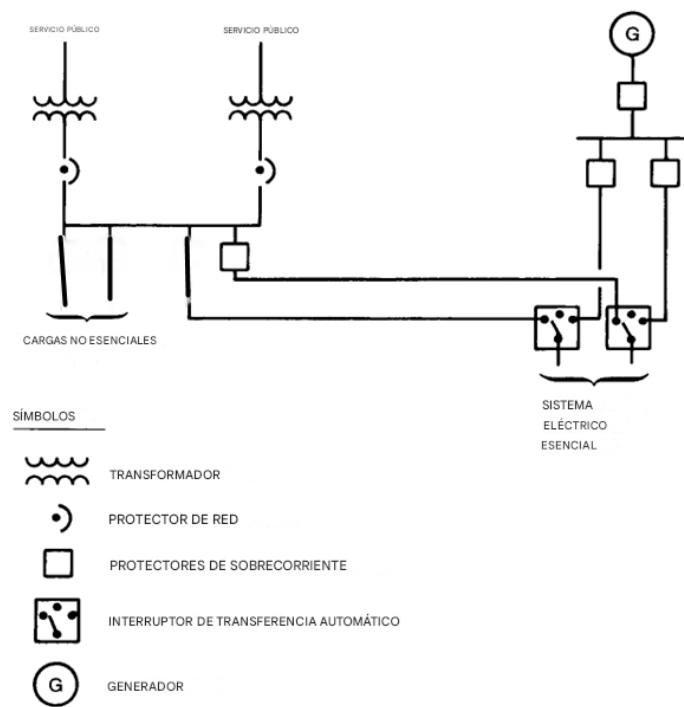


Ilustración 40 Sistema de Servicio de Red.

Disposición del sistema existente

Cuando se agrega una nueva carga extensa a un hospital que tiene una subestación existente, a menudo es más conveniente agregar un nuevo transformador al sistema de distribución, en lugar de cambiar la subestación existente, a menos que la unidad existente todavía tenga la clasificación adecuada, como se

muestra en la ilustración 30. Agregar una nueva subestación podría proporcionar una excelente manera de introducir la distribución de 480 V, si la subestación más antigua está operando a un voltaje más bajo.

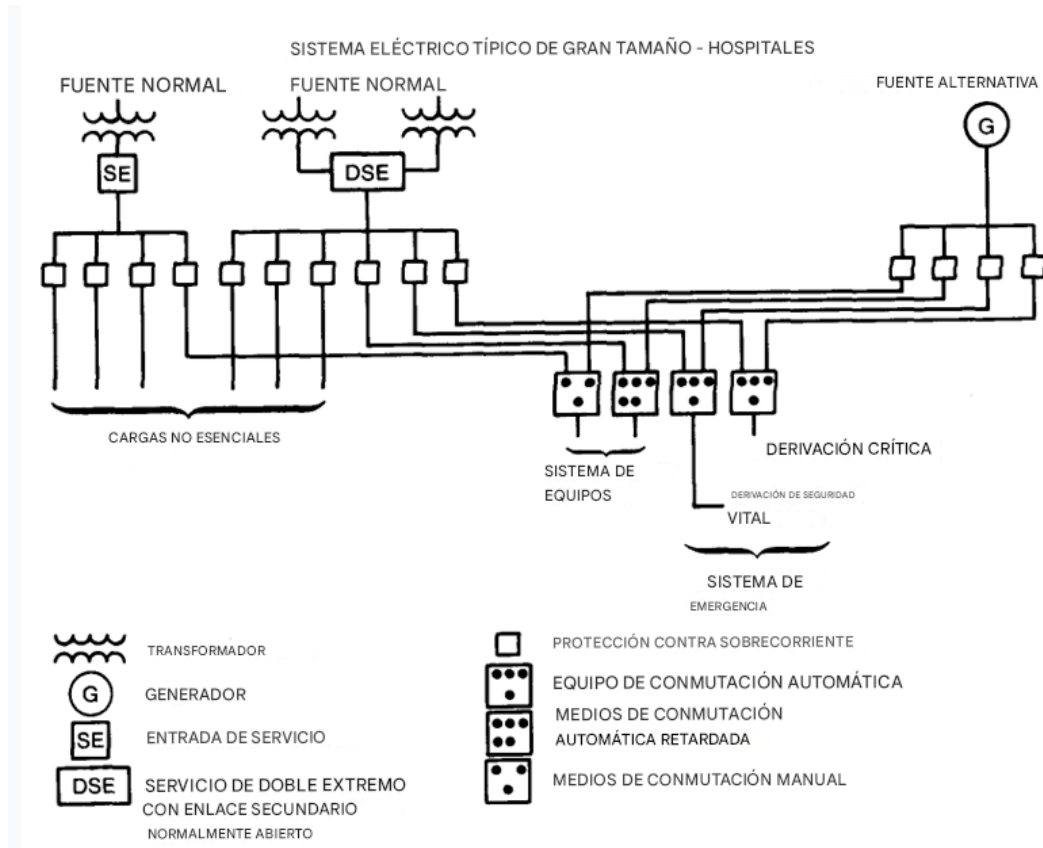


Ilustración 41 Subestación adecuadamente calificada.

2.5.21 Planificación de la atención al paciente.

La energía eléctrica es de importancia cada vez mayor en la planificación y el diseño de instalaciones de atención médica y hospitales. Debido a esto, es importante que el ingeniero eléctrico que diseña un hospital ubique el dispositivo correcto en la ubicación correcta.

Esta sección se divide en 4 apartados distintos, siendo lo principal la ubicación e interacción de todos los elementos que se utilizan en una instalación eléctrica en hospitales.

Dispositivos de cableado.

En general, los hospitales tienen dos fuentes de energía disponibles, normal y de emergencia. Es vital que los dispositivos de cableado en la energía de emergencia se identifiquen fácilmente, esto reduce el tiempo perdido en la localización de tomacorrientes para alimentar equipos de soporte vital cuando incluso los segundos son críticos. Hay dos maneras de identificar los dispositivos: (1) mediante un color distintivo, como el rojo, o (2) mediante el etiquetado.

Marcar con un color distintivo no solo es más fácil y menos costoso que el etiquetado, sino que puede evitar confusiones más adelante. Por ejemplo, cuando los pintores retiran las placas de cubierta rotuladas como emergencia y normal, ya no hay distinción entre los dispositivos, además, dado que los tomacorrientes de emergencia en las áreas de cuidados críticos deben tener etiquetas de tablero y número de circuito, las placas de cubierta del dispositivo tienden a saturarse.

El color distintivo también se puede extender fácilmente a otras porciones de los sistemas de emergencia (como el control de iluminación) para mantener la uniformidad. Se debe considerar el uso de tomacorrientes de energía de emergencia iluminados en cualquier área de pacientes que no tenga iluminación de emergencia, lo que facilita la localización del tomacorriente en la casi oscuridad de un corte de energía, los dispositivos en un hospital deben montarse para facilitar su uso por parte del personal y los pacientes. Dado que una gran cantidad de pacientes hospitalarios pasan tiempo en sillas de ruedas, se debe prestar especial atención a los requisitos para "discapacitados".

Estos requisitos son típicos de las áreas de terapia ocupacional. Es una ventaja para todos los pacientes y el personal si todos los tomacorrientes se montan a 24 pulgadas (610 mm) por encima del piso. Esta altura de montaje reducirá la fatiga causada cuando los miembros del personal deben agacharse repetidamente para conectar o desconectar un enchufe.

A) Tomacorrientes de grado hospitalario.

De acuerdo con el Código Eléctrico Nacional® (NEC) (NFPA 70), los tomacorrientes de grado hospitalario están listados como adecuados para su uso en instalaciones de atención médica. Las instalaciones de atención médica se definen en el Artículo 517 del NEC como: "Edificios o partes de edificios que contienen, pero no se limitan a, hospitales, asilos de ancianos, instalaciones de cuidado de custodia residencial, clínicas, consultorios médicos y dentales e instalaciones de atención médica ambulatoria, ya sean fijas o móviles".

Los tomacorrientes, enchufes y conectores de cable deben estar listados por UL como "Grado Hospitalario" El tomacorriente de "Grado Hospitalario" cumple con los criterios de prueba adicionales de UL para la integridad de la trayectoria de tierra a través de características mecánicas y eléctricas superiores. Entre estos criterios, y quizás de primordial importancia para la instalación de atención médica, se encuentran las especificaciones mínimas estrictas de retención y resistencia a tierra. Si bien es cierto que algunos tomacorrientes de "Grado de especificación" son de alta calidad y son similares a los que UL enumera como "Grado hospitalario", no existen estándares formalizados para un tomacorriente de "Grado de especificación". En consecuencia, es muy difícil controlar el nivel de calidad deseado y los estándares mínimos cuando una especificación de proyecto u orden de compra enumera "Grado de especificación" como su único requisito, los tomacorrientes de "Grado hospitalario" se requieren actualmente en las áreas de cuidados críticos según el NEC y han sido obligatorios en las ubicaciones de camas de pacientes del área de cuidados generales desde el 1 de enero de 1993, bajo la implementación pospuesta del Artículo 517-18(b) del NEC. Sin embargo, debe notarse que la mayoría de los ingenieros han estado especificando y la mayoría de los hospitales han estado utilizando tomacorrientes de "Grado hospitalario" en todas las áreas de atención al paciente desde que han estado disponibles.

Los dispositivos de hoja paralela deben montarse con la clavija de tierra o la hoja neutra hacia arriba. En esta configuración, cualquier metal que caiga entre el enchufe y la pared probablemente entrará en contacto con una hoja no energizada.

Si bien se permiten tomacorrientes de 15 A o 20 A, es muy deseable usar solo 20 A dentro de una instalación de atención médica, esto permite una mayor flexibilidad en el uso del equipo y simplifica el almacenamiento de los tomacorrientes de reemplazo, además, debe notarse que donde solo se usa un solo tomacorriente en un circuito de 20 A, debe tener una clasificación de 20 A.



Ilustración 42 Toma doble polarizado grado hospitalario.

B) Tomacorrientes de tierra aislada de grado hospitalario.

Estos tomacorrientes se utilizan cuando se desea la separación de la tierra del equipo del dispositivo y la tierra del edificio con el fin de proteger los equipos sensibles de un mal funcionamiento debido a las corrientes transitorias (ruido eléctrico) en la trayectoria de tierra del equipo, esto es normalmente cuando se utiliza equipo electrónico digital, incluyendo instrumentación basada en microprocesador, cajas registradoras computarizadas, periféricos de computadora y equipo de procesamiento digital, los artículos 517-16 FPN y 517-1(c) del NEC requieren una planificación cuidadosa de los sistemas de tierra aislada en ubicaciones de pacientes para evitar comprometer la baja impedancia de la trayectoria de tierra o la eficacia del sistema de tierra aislada.



Ilustración 43 Toma doble polarizado con tierra aislada.

C) Tomacorrientes de grado hospitalario a prueba de manipulaciones.

Los tomacorrientes a prueba de manipulaciones evitan el contacto con un contacto energizado en el tomacorriente a menos que se inserte un enchufe. Las ubicaciones pediátricas y psiquiátricas (solo si el

fabricante del tomacorriente indica específicamente la idoneidad para ubicaciones psiquiátricas) deben usar estos tomacorrientes exclusivamente para cumplir con el Artículo 517-18(c) del NEC. Al seleccionar tomacorrientes a prueba de manipulaciones, no se recomienda generalmente el tipo que hace y rompe los contactos de conmutación internos donde se puede necesitar equipo de soporte vital. Si bien no es un requisito, se debe considerar el uso de tornillos de montaje a prueba de manipulaciones para las placas de pared de interruptores y tomacorrientes en ubicaciones pediátricas y psiquiátricas.

Debe notarse que ciertas salas de aislamiento psiquiátrico dedicadas podrían ser mejor atendidas si no tienen ningún receptáculo. En estos casos, se indicarían luces de techo a prueba de manipulaciones empotradas con el interruptor ubicado fuera de la habitación.



Ilustración 44 Toma corriente a prueba de manipulaciones.

D) Tomacorrientes de interruptor de circuito por falla a tierra de grado hospitalario e interruptores de circuito por falla a tierra.

La interrupción del circuito por falla a tierra (GFCI) puede proporcionarse mediante interruptores de circuito GFCI o tomacorrientes GFCI, la protección GFCI es obligatoria por el NEC para lugares húmedos, donde la interrupción de energía es aceptable. Si la interrupción de energía no es aceptable (por ejemplo, en áreas donde se puede usar equipo de soporte vital), se debe usar un sistema de energía aislado.

Los tomacorrientes GFCI ofrecen la ventaja de la indicación de disparo local y el restablecimiento, al menos donde no se usan en el modo de alimentación continua. Esta puede ser una consideración importante al seleccionar entre el dispositivo GFCI integrado en el interruptor de circuito o en el receptáculo.



Ilustración 45 Toma corriente grado hospitalario GFCI

E) Tomacorrientes para ubicaciones de anestesia.

Ciertas configuraciones "Solo para hospitales" listadas por UL se fabrican como dispositivos para lugares peligrosos y no peligrosos, los tomacorrientes para lugares peligrosos están Inter bloqueados con un interruptor interno, los enchufes para lugares peligrosos cerrarán el interruptor, mientras que los enchufes para lugares no peligrosos no lo harán.

El uso de agentes anestésicos explosivos es prácticamente inexistente y, por lo tanto, ya no existe la necesidad de salas de operaciones diseñadas para su uso, el NEC permite el uso de tomacorrientes de "Grado Hospitalario" dentro de los lugares de anestesia siempre que estén dentro de áreas no peligrosas, la tendencia actual es equipar los lugares de anestesia con estos tomacorrientes de menor costo. Las adiciones a las suites quirúrgicas existentes deben revisarse cuidadosamente antes de que se especifiquen los tomacorrientes, ya que generalmente no es deseable una mezcla de tomacorrientes "Solo para hospitales" y "Grado Hospitalario". Cambiar los enchufes de los equipos dedicados utilizados en la sala de operaciones o cambiar los tomacorrientes existentes "Solo para hospitales" puede resultar más costoso que proporcionar la adición con tomacorrientes tipo "Solo para hospitales"

F) Enchufes y tomacorrientes para rayos X móviles.

Los enchufes y tomacorrientes de rayos X deben ser no intercambiables con los enchufes de cualquier otro equipo, esto evita cargas de alto impulso en ramales y alimentadores que no fueron diseñados para tal servicio, los dispositivos de rayos X vienen en modelos de 50 A y 60 A; los enchufes de 50 A se pueden conectar a un tomacorriente de 50 A o 60 A, mientras que un enchufe de 60 A solo se puede conectar a un tomacorriente de 60 A. Al ubicar estos tomacorrientes, se debe considerar la fuerza requerida para insertar el enchufe, estos tomacorrientes tienen una función de tipo de eyección por resorte que garantiza que el enchufe se insertará completamente. Debido a la presión de inserción requerida, deben montarse a un mínimo de 30 pulgadas (735 mm) por encima del piso.



Ilustración 46 Toma corriente o contacto para estación de rayos x móviles.

Placas de pared.

Cualquier placa de pared listada por UL es adecuada para instalaciones de atención médica. Las placas de pared de acero inoxidable son las más duraderas, pero las placas de pared de plástico ofrecen la posibilidad de combinar colores.

Las placas de pared deben ser de construcción resistente a impactos y fabricadas con plásticos de alto impacto, acero inoxidable (tipo 304 o mejor) o aluminio anodizado. Todas las placas deben resistir la limpieza frecuente con productos químicos de limpieza hospitalarios. Se deben usar tornillos de montaje a prueba de manipulaciones con las placas de pared de interruptores y tomacorrientes en lugares pediátricos y psiquiátricos.

Unidades de cabecera.

El uso de unidades de atención al paciente prefabricadas (unidades de cabecera) es ahora tan frecuente que es casi estándar tanto en proyectos de renovación y reacondicionamiento, como en proyectos de nueva

construcción. Las unidades de cabecera pueden utilizarse y se utilizan en todas las áreas de atención al paciente del hospital. Debe señalarse que el término "cabecera" es general y se aplica a muchas unidades que no se parecen en nada a las "paredes").

Las cabeceras normalmente contienen sistemas de distribución de energía eléctrica. Si bien las unidades de cabecera contienen algunos equipos mecánicos y podrían considerarse arquitectónicas, se consideran más un dispositivo eléctrico que cualquier otra cosa y, en consecuencia, generalmente son especificadas por el ingeniero eléctrico.



Ilustración 47 Unidad de Cabecera unidad de recuperación ISSS SM

El personal de enfermería encontrará que las ubicaciones de las componentes pre planificadas son accesibles y convenientes, lo que resulta en un servicio al paciente rápido y eficiente, maximizando así la

comodidad del paciente, el personal de mantenimiento del hospital encuentra que la cabecera de calidad es duradera y de fácil mantenimiento, los administradores del hospital descubren que pueden diferir el costo de la cabecera junto con todo el equipo que contiene hasta poco antes de que el hospital abra sus puertas, los arquitectos e ingenieros descubren que tanto el diseño como la coordinación de los servicios se simplifican enormemente tanto para la construcción nueva como para la remodelación, los contratistas descubren que los costos de mano de obra en el lugar de trabajo se reducen significativamente y que su coordinación de problemas de servicio en la ubicación del paciente también se puede reducir en gran medida.

2.5.22 Áreas típicas de atención al paciente.

En todas las áreas de pacientes, se deben tener en cuenta varios elementos, los tomacorrientes de todo tipo se instalan para que alguien los use. Por simple que parezca, los tomacorrientes todavía se instalan demasiado cerca del piso y, a menudo, detrás de las camas y los equipos. En las áreas de atención al paciente, la capacidad de obtener la función deseada rápidamente (respiración, nivel cardíaco, etc.) podría salvar una vida o prevenir daños permanentes a un paciente. Es por esta razón que se deben verificar las elevaciones de los equipos y los tomacorrientes.

Las salidas de gases medicinales nunca deben montarse directamente encima de las salidas eléctricas, ya que los reguladores obstruirán los tomacorrientes. Si los tomacorrientes y las tomas de tierra se van a montar en una configuración superpuesta, la toma de tierra debe instalarse debajo de los tomacorrientes, esto se debe al orden lógico de inserción de los enchufes (es decir, si la toma de tierra se instalara encima del receptáculo, una vez que se conecta el cable de tierra, impedirá la inserción del enchufe de alimentación ya que el cable colgante obstruye el receptáculo).

Los tomacorrientes deben montarse entre 24 y 48 pulgadas (588 mm y 1176 mm) por encima del piso, para que sean accesibles para un visitante o para un paciente en silla de ruedas y también para disminuir la fatiga de los miembros del personal que deben agacharse constantemente para conectar y desconectar el equipo.

Cualquier área que utilice dispositivos de soporte vital debe tener un sistema de energía alternativo disponible al que se pueda llegar con un cable de extensión de 50 pies (14,7 m).

Se debe considerar la posibilidad de convertir toda el área en un área de doble fuente de energía, con un tomacorriente de energía alternativo (de emergencia o normal) en cada cama, los tomacorrientes siempre deben ubicarse de manera que los cables conectados a ellos proporcionen la mínima cantidad de obstáculos al personal.

Cada salida de vacío necesita espacio no solo para un regulador en la salida, sino también para una botella de recolección de vacío, ya sea en la salida, en un tobogán, en un estante o en el piso. Si los pacientes de un área pueden desbordarse hacia otra, estas camas de desbordamiento deben diseñarse con los requisitos más estrictos. Como ejemplo, si las camas de atención general a veces se usan como camas de atención aguda, deben diseñarse como camas de atención aguda.

Áreas de Cuidados Coronarios(cateterismo).

Los pacientes de cuidados coronarios varían desde pacientes críticos eléctricamente susceptibles hasta pacientes listos para ser dados de alta. Dependiendo del tamaño y los procedimientos operativos del hospital, los pacientes no críticos pueden ser transferidos a unidades de cuidados intermedios y posteriormente a cuidados agudos.

Unidades de cuidados intensivos.

La cama de cuidados intensivos se puede utilizar para:

- Pacientes postoperatorios quirúrgicos
- Ventilación artificial de pacientes
- Tratamiento del shock
- Monitoreo cardíaco de pacientes postoperatorios

- Estimulación cardíaca (marcapasos)
- Diálisis peritoneal o hemodiálisis
- Corrección bioquímica de trastornos metabólicos graves

Siempre se deben proporcionar instalaciones para el uso de rayos X portátiles, la sala de aislamiento de la UCI se puede utilizar para realizar traqueotomías o hemodiálisis.

El NEC permite el uso de circuitos de energía monofásicos con conexión a tierra para esta área. Hay numerosos hospitales que prefieren utilizar energía aislada sin conexión a tierra en estas áreas y esto está específicamente permitido por el NEC. Cuando este es el caso, las especificaciones para los sistemas de aislamiento son las mismas que las que se encuentran en el NEC para su uso en áreas de anestesia inflamable. Se reconoce que los sistemas de aislamiento contribuyen a la seguridad eléctrica general y a la continuidad de la energía en caso de una falla de línea a tierra.

Se deben proporcionar al menos ocho salidas o cuatro salidas eléctricas dúplex, ya que los pacientes cardíacos pueden usar muchos equipos eléctricos a la vez, incluyendo:

- Calentamiento de agua en el respirador
- Succión para sonda nasogástrica
- Línea de Swan-Ganz
- Bomba torácica
- Cama eléctrica (si el paciente es trasladado a la unidad desde otra parte del hospital en "angustia", el paciente generalmente no se mueve de la cama eléctrica hasta que la condición del paciente esté estable)
- Torniquete rotatorio
- Máquina IVAC (utilizada para monitorear goteos de solución intravenosa)

- Equipo de terapia respiratoria
- Las luces sobre la cama deben tener un nivel alto y uno bajo.

Cada cama debe tener al menos una salida dedicada. Se debe suministrar energía de emergencia para su uso con un respirador en cuidados intensivos, los interruptores del circuito deben estar cerca de la cama y claramente etiquetados, se debe considerar la posibilidad de colocar un panel de interruptores de circuito en la habitación, para el confort del paciente se debe disponer de una opción de música o silencio en la cama: silencio para pacientes con úlceras y música para calmar o entretener a otros pacientes. Es crítico disponer de un sistema de llamada de enfermera en cada cama para que tanto el paciente como el personal puedan pedir ayuda, además, un sistema que no debe faltar en un área de emergencias es un sistema de alarma de paro cardíaco con un disparo automático desde el monitor y un reloj de tiempo transcurrido para comenzar en el paro cardíaco.

Sala de Cirugía.

Hay muchos tipos de procedimientos quirúrgicos, cada uno con su propio conjunto de criterios, el punto más importante en el diseño de la sala de cirugía es cómo funcionará la sala, la descripción de la función, los procedimientos típicos y los patrones de tráfico se pueden obtener de los planificadores del hospital que planificaron la suite. Se debe tener cuidado en el diseño del equipo para evitar la obstrucción del tráfico en la sala de cirugía.

Debido a las grandes cantidades de equipos utilizados en cirugía, se recomiendan 16 salidas eléctricas (8 dúplex, si se utilizan dispositivos de hoja recta), la distribución y la colocación de estos tomacorrientes en toda la sala deben determinarse después de consultar con el personal quirúrgico, esto minimizará la interferencia con los procedimientos planificados. Generalmente también se requieren disposiciones para máquinas portátiles de rayos X y/o fluoroscopia; los requisitos eléctricos de este equipo varían mucho. Se debe considerar no solo el equipo existente, sino también el equipo planeado en el futuro cercano.

Pediatría.

El área de pediatría se utiliza para tratar a jóvenes. Es importante no alienar a ningún niño enviándolo a otras áreas, el área de pediatría debe estar al menos tan bien equipada como un área de atención general.

a) Habitaciones de pacientes pediátricos, estas habitaciones deben diseñarse de manera similar a las habitaciones de atención general, con algunas habitaciones equipadas de manera similar a las habitaciones de atención aguda y las habitaciones de cuidados intensivos.

1. Salidas de energía eléctrica. Se recomiendan cuatro salidas eléctricas o dos salidas dúplex por cama. Todas las salidas deben ser de tipo de seguridad con tornillos a prueba de manipulaciones.
2. Comunicaciones. Similar a otras áreas.

b) Salas de juegos.

1. Salidas de energía eléctrica. Todas las salidas eléctricas deben ser de tipo de seguridad con tornillos a prueba de manipulaciones.
2. Comunicaciones. Se deben proporcionar funciones de comunicación para el personal y de ayuda de emergencia.

c) Pediatría (Cuidados Críticos), estas camas son similares a las de la UCI y la CCU: se sugiere una cama de cuidados críticos por cada 20 camas pediátricas regulares, con tres salidas de oxígeno y dos salidas de vacío, estas camas deben ubicarse en el ala de pediatría para evitar la alienación de los niños. Las salidas de energía eléctrica y el equipo de comunicaciones instalados en estas áreas deben ser similares a los de áreas de cuidados intensivos, excepto que deben ser a prueba de manipulaciones.

Guarderías.

a) Guarderías generales, estas guarderías son donde se alojan los recién nacidos normales, el bebé normalmente duerme en una cuna, la atención de enfermería es mínima, mientras que la observación es importante.

Guardería debe estar equipada con un sistema de ayuda/llamada de emergencia a un departamento adyacente, como el de parto.

b) Guarderías de cuidados especiales, los recién nacidos que requieren cuidados especializados se mantienen en la guardería de cuidados especiales, estos son bebés que han desarrollado complicaciones, la incubadora es más grande que una cuna típica; por lo tanto, se debe verificar el espaciado y la altura de las salidas. Salidas de energía eléctrica. Debido al aumento de la atención en esta área, cada incubadora debe contar con al menos 12 salidas eléctricas o 6 salidas dúplex. Una debe ser una salida dedicada para la incubadora. Todas las salidas deben estar en energía de emergencia, la energía normal debe ubicarse fuera del área de la incubadora, pero al alcance de un cable de 50 pies como. Se recomienda colocar un tomacorriente dúplex de energía normal en cada habitación, los requisitos de comunicación son los mismos que en las guarderías de atención general.

c) Guardería neonatal, los bebés prematuros pueden alojarse en una guardería neonatal o de cuidados especiales. Un gran porcentaje de los bebés que requieren cuidados especiales son prematuros, los bebés prematuros se mantienen en incubadoras.

Salidas de energía eléctrica. Cada incubadora debe contar con 12 salidas eléctricas o 6 salidas dúplex y una salida dedicada para la incubadora, todas alimentadas por energía de emergencia, la energía normal debe estar disponible fuera del área de la incubadora al alcance de un cable de extensión de 50 pies. Se recomienda colocar un tomacorriente dúplex de energía normal en cada habitación, esto proporcionará energía en caso de una falla en el sistema de distribución de energía de emergencia. Comunicaciones, los requisitos de comunicación son los mismos que en las guarderías de atención general.

Áreas de atención psiquiátrica.

Las áreas de atención psiquiátrica están ocupadas básicamente por dos tipos de pacientes, sedados y violentos.

a) Habitación del paciente (sedado), los pacientes sedados normalmente son tratados en alojamientos de tipo dormitorio abierto, estas habitaciones se parecen mucho a las habitaciones de dormitorio semiprivadas. Se deben proporcionar cuatro salidas eléctricas (dos tomacorrientes dúplex) por cama (un tomacorriente dúplex a cada lado de la cama). Todos los tomacorrientes deben ser de tipo de seguridad con tornillos a prueba de manipulaciones para evitar riesgos con los pacientes, los gases medicinales y los sistemas de comunicación no suelen ser necesarios.

b) Atención al paciente (violento), los pacientes en esta categoría varían desde físicamente violentos hasta suicidas. Por lo tanto, estas habitaciones deben diseñarse para proporcionar el menor peligro posible tanto para el personal como para los pacientes, el personal generalmente monitorea continuamente a estos pacientes.

1. Estos también deben estar protegidos y ocultos de forma segura cuando no se requieran, por ejemplo, en un armario cerrado con llave poco profundo, la configuración general debe ser similar a las camas de cuidados agudos
2. Esencial el monitoreo de audio a través de un micrófono de altavoz oculto. También se deben tomar medidas para que el personal pueda pedir ayuda.

Áreas de rehabilitación.

a) Abuso de drogas y alcohol. Las habitaciones de los pacientes son similares a las habitaciones de pacientes psiquiátricos de tipo dormitorio (sedados), además, debe haber salas de desintoxicación para el tratamiento médico y la observación de los pacientes recién ingresados, estos deben ser similares a los de los pacientes psiquiátricos violentos y estar equipados para el tratamiento médico, los interruptores de luz deben ubicarse

entre 36 y 42 pulgadas (915-1070 mm) por encima del piso. Para mayor comodidad, no se deben ubicar más de dos interruptores en una sola placa, la acción del interruptor debe ser simple y positiva. Si bien los interruptores de balancín de tipo "decorativo" de área grande permiten una operación más fácil con el antebrazo, el codo, etc., los interruptores de palanca normales de alta calidad no son imposibles de operar.

En general, las salidas eléctricas se colocan al menos a 24 pulgadas (610 mm) por encima del piso. En áreas diseñadas específicamente para el uso de personas discapacitadas, se recomiendan salidas de 24 a 32 pulgadas (610-815 mm) de altura, los diales telefónicos, los auriculares y las ranuras para monedas se colocan normalmente a 48 pulgadas (1220 mm) del piso. Siempre que sea posible, se recomiendan los instrumentos de tipo botón pulsador sobre los juegos de dial giratorio convencionales, los auriculares deben tener cables de 36 pulgadas (915 mm) o más de largo.

Áreas con peligro eléctrico potenciales.

Pasillos.

Históricamente, los pasillos han sido áreas de alto abuso en lo que respecta a los tomacorrientes eléctricos. Por lo tanto, se deben seleccionar tomacorrientes que soporten un fuerte abuso físico. A menudo, los tomacorrientes de los pasillos se utilizan para suministrar energía a las máquinas de limpieza, que se llevan a la habitación de un paciente. Por lo tanto, los requisitos también incluirían un conductor de puesta a tierra de equipos aislado y conducto metálico. Se recomiendan tomacorrientes de grado hospitalario o equivalentes.

Habitación de paciente psiquiátrico.

Una habitación de paciente psiquiátrico debe tratarse como una habitación de paciente de atención general. Para el número de circuitos y salidas, consulte el NEC y NFPA 99-1996. Si bien no es común, es posible tener una unidad de cuidados intensivos (UCI) psiquiátrica o una habitación de unidad de cuidados coronarios (CCU), en cuyo caso se trataría como un área de atención de paciente crítico como se describe

en las referencias antes mencionadas, el conductor de puesta a tierra de equipos aislado y el conducto metálico, así como los tomacorrientes a prueba de manipulaciones, son obligatorios.

Atención médica general.

El número de circuitos y tomacorrientes debe cumplir con el NEC y NFPA, el conductor de puesta a tierra de equipos aislado y el conducto metálico son obligatorios, se requiere que todos los tomacorrientes sean de grado hospitalario o equivalente, el número de circuitos y tomacorrientes debe cumplir con el NEC y NFPA 99, el conductor de puesta a tierra de equipos aislado y el conducto metálico son obligatorios. Las disposiciones de energía de emergencia también son obligatorias según estas normas, se requiere que todos los tomacorrientes sean de grado hospitalario. Si bien la energía aislada no es obligatoria, a menudo se usa en estas áreas donde los procedimientos invasivos son comunes. Cuando se usa energía aislada, se deben seguir las mismas especificaciones que cuando se usa en una ubicación de anestesia.

Salas de recuperación.

Esta es un área muy difícil de clasificar, ya que las áreas bajo este título pueden variar ampliamente en uso y aplicación. Muy a menudo es un área de enfermería intensiva donde el paciente es retenido y observado hasta que se recupera de la anestesia, el área debe estar equipada con un conductor de puesta a tierra de equipos aislado, servicio de energía de emergencia y conducto metálico, todos los tomacorrientes sean de grado hospitalario o equivalente. Si el hospital no planea usar la sala de recuperación para pacientes que requieren soporte vital y monitoreo invasivo, debe tratarse como un área de atención de paciente crítico. Sin embargo, la mayoría de los hospitales llevan a los pacientes críticos directamente a la UCI o CCU en lugar de retener a estos pacientes en la sala de recuperación, los códigos no abordan la sala de recuperación con respecto al número de tomacorrientes y circuitos requeridos para los pacientes. Se recomiendan consultas con las autoridades de códigos locales y con el personal del hospital que utiliza esta área antes de determinar estos requisitos de servicio.

Lugares húmedos.

El uso de interruptores de circuito por falla a tierra (GFCI) es apropiado y requerido para áreas como las utilizadas para hidroterapia. Donde la interrupción de energía causada por el disparo de los GFCI no se puede tolerar, el uso de energía aislada es requerido por el NEC.

Existe una controversia sobre si las unidades de diálisis de pacientes deben considerarse lugares húmedos. Depende del diseño de la unidad, el tipo de equipo y la operación prevista. Las salas de procedimientos u operaciones que a menudo tienen líquidos derramados, muchos objetos metálicos conectados a tierra y desagües conectados a tierra necesitan GFCI o energía aislada si la interrupción de energía no es aceptable donde se utiliza anestesia por inhalación inflamable.

Laboratorios.

Las precauciones especiales para los laboratorios se relacionan con el tipo de tomacorriente que se utilizará, estos deben ser del mejor grado disponible. Donde estos se montan en una canalización continua, es muy importante utilizar un buen grado de receptáculo. Debemos tener cuidado adicional al especificar la unión entre el tomacorriente y la canalización y varias secciones de canalización en cualquier ubicación o habitación individual.

Unidades de atención ambulatoria con procedimientos invasivos.

Siga las mismas especificaciones que las de un área equivalente para unidades de pacientes hospitalizados.

Salas de operaciones (OR) en las que solo se utilizan agentes anestésicos locales.

Hay momentos en que esta área no tendría que recibir un tratamiento completo como una ubicación de anestesia por inhalación. Sin embargo, se debe obtener documentación de la intención de uso de la administración del hospital y se debe realizar una revisión cuidadosa con las autoridades de códigos locales. En muchos casos, los hechos indicarán un tratamiento completo como una ubicación de anestesia. Condiciones ambientales relacionadas con la seguridad eléctrica, los suelos conductores se utilizan para

controlar la electricidad estática en lugares de anestesia donde se administran agentes anestésicos inflamables. En salas de operaciones más antiguas, los suelos a menudo se construyen con terrazo especial que incorpora carbono para formar caminos conductores a lo largo del suelo, el suelo generalmente incluye una rejilla metálica para que ningún punto del suelo esté a más de unas pocas pulgadas de un elemento conductor conectado a tierra. Algunos suelos conductores están hechos de baldosas de cerámica conductora, este método da como resultado un suelo que es muy estable con respecto a la resistencia, pero es propenso a que las baldosas se suelten cuando se rueda equipo pesado sobre él, la razón de esto parece ser que cuando los adhesivos se hacen conductores, pierden aquellas características que contribuyen a su durabilidad como adhesivo. Otro tipo de suelo conductor es el vinilo en láminas, que se fabrica con un respaldo acolchado. Mantiene muy bien la conductividad adecuada, pero es propenso a ser dañado por mesas de operaciones con ruedas y equipos portátiles de rayos X, y se corta fácilmente cuando se caen instrumentos quirúrgicos afilados sobre él. Un suelo conductor muy común está hecho de cuadrados de vinilo conductor duro, estos se colocan sobre una rejilla de cinta de cobre utilizada para asegurar que haya un camino ininterrumpido de conductividad entre dos puntos cualesquiera del suelo.

El método de prueba estándar de la NFPA requiere una resistencia mínima y máxima entre electrodos circulares de 5 lb (2,27 kg), 2-1/2 pulgadas (6,35 cm) de diámetro y cubiertos con papel de aluminio.

Según las normas actuales de la NFPA, no es necesario tener suelos conductores en lugares de anestesia no inflamables. Donde existen suelos conductores, se requiere que se prueben al menos una vez al año. No hay un límite superior de resistencia para los suelos conductores en estos lugares de anestesia no inflamables y el límite inferior es de 10 000 ohmios para garantizar que el suelo conductor no aumente los peligros de descarga eléctrica al ofrecer una impedancia demasiado baja a tierra.

2.5.23 Fuente de corrientes de fuga.

La corriente de fuga proviene principalmente del acoplamiento capacitivo entre conductores energizados y objetos conectados a tierra, y secundariamente de caminos de alta resistencia a través o a lo largo de la

superficie de materiales aislantes. Cuando dos conductores en estrecha proximidad se energizan desde el secundario de un transformador de distribución, fluye una pequeña corriente entre ellos debido a las propiedades dieléctricas del aislamiento del conductor. Cuando estos conductores se ejecutan en un conducto metálico conectado a tierra, también habrá fugas entre el conductor de fase no conectado a tierra de un sistema conectado a tierra y el conducto. En un sistema aislado, ninguno de los conductores de energía está conectado a tierra, por lo que habrá fugas de ambos conductores de energía a tierra (es decir, al conducto o al conductor de puesta a tierra), el camino es de un conductor al conducto y al otro conductor, la corriente no fluye en el conducto ya que no hay un camino de retorno directo a la fuente de corriente desde tierra.

Dispositivo	Fuga (uA)
Sala de operaciones luz de mesa (luz única sin riel)	15-175
sala de operaciones Lámpara de mesa (montaje sobre riel)	300-400
Luminaria portátil	10-100
Visor de placas de rayos X	50-150
Bomba de vacío	50-125
Máquina de circulación extracorpórea	350-450
Desfibrilador	50-125
Máquinas de rayos x portable 120V	30-50
Fibrilador cardiaco	16-50
Respirador	100-150
Sincronizador Cardiaco	75-125
Unidad de hipertermia	125-175

Tabla 7 Tabla de fugas aportadas por elementos.

2.5.24 Medidas de protección para la corriente de fuga.

El sistema de puesta a tierra es la principal salvaguarda para derivar las corrientes de fuga y falla para prevenir descargas eléctricas de estas fuentes, el cable de puesta a tierra verde es la tierra requerida y por sí

solo puede proporcionar una impedancia de puesta a tierra efectiva del orden de 0.1 a 0.3 ohmios al final de un circuito derivado, el conducto metálico reduce la impedancia de puesta a tierra efectiva al proporcionar otra ruta paralela.

Se debe enfatizar que cuando se utiliza un sistema eléctrico no conectado a tierra, no disminuye la necesidad de un sistema de puesta a tierra efectivo de baja resistencia. Si bien el sistema de distribución no conectado a tierra limita la cantidad de corriente de falla que fluye en la falla, no elimina la corriente de falla por completo, el conductor de puesta a tierra es una derivación efectiva para esta corriente en paralelo con el paciente y el personal.

Aunque la magnitud de las corrientes de cortocircuito se reduce drásticamente mediante un sistema no conectado a tierra, debido a la impedancia adicional inherente a un transformador aislante, la respuesta del sistema no conectado a tierra a una falla de línea a línea es similar a la de un sistema conectado a tierra convencional, ya que activará los dispositivos de protección contra sobre corriente e interrumpirá la energía en el área. Sin embargo, la mayoría de las fallas que ocurren dentro de los aparatos son fallas de línea a tierra en lugar de fallas de línea a línea, y se debe tener en cuenta que una falla de línea a tierra en un sistema conectado a tierra causará la pérdida de energía del equipo o del sistema en comparación con un sistema no conectado a tierra que continuará funcionando de manera segura durante una falla de línea a tierra.

Un sistema eléctrico no conectado a tierra puede ser más costoso de instalar que un sistema conectado a tierra, ya que se debe proporcionar un transformador de aislamiento y un monitor de aislamiento de línea (LIM), la conveniencia del paquete de un sistema aislado en un solo gabinete permite su instalación en menos tiempo que la instalación de componentes individuales. Es necesario realizar pruebas periódicas en este equipo, así como en el sistema de energía aislado, y se deben mantener registros de los resultados de estas pruebas. Se deben permitir diez minutos por mes para cada sistema no conectado a tierra dentro del hospital.

Para un sistema conectado a tierra convencional, el mantenimiento para garantizar la integridad de la tierra y para garantizar que el equipo de protección contra fallas a tierra sea satisfactorio es al menos igual de exigente, el costo de un sistema de energía aislado y el LIM debe evaluarse frente a los beneficios, los requisitos del código y la prima del seguro, si no está presente, el sistema aislado todavía es reconocido como el sistema más seguro posible por el NEC (Artículo 517) y NFPA 99, aunque es un requisito opcional en las áreas de UCI/CCU. Por lo general, la construcción moderna agrega una o más rutas de puesta a tierra paralelas y redundantes al cable de puesta a tierra verde en términos de conductos metálicos, tuberías metálicas y miembros estructurales metálicos, estas rutas proporcionan una impedancia de tierra efectiva en el tomacorriente del orden de 2 a 20 mili ohmios, además de proporcionar una baja impedancia, estos elementos proporcionan una rejilla de múltiples rutas para las corrientes de falla, de modo que los voltajes que se desarrollan dentro de la vecindad del paciente, incluso durante una falla grave, rara vez causan condiciones peligrosas. Las condiciones peligrosas generalmente se desarrollan cuando fallan los cables de puesta a tierra del dispositivo o la conexión al sistema de puesta a tierra de distribución, o ambos, los GFCI y los sistemas de distribución aislados minimizan estos peligros.

2.5.25 Factores de diseño que afectan la corriente de fuga.

La capacidad inductiva específica (SIC) es un término que utilizan los fabricantes de cables para evaluar las propiedades dieléctricas de las características de aislamiento de un cable en particular, la constante dieléctrica es un término utilizado para definir las propiedades de los materiales aislantes, los dos términos, aunque están estrechamente relacionados, no son exactamente iguales, el NEC recomienda que los conductores secundarios de un sistema de energía aislado tengan un aislamiento con una constante dieléctrica de 3.5 o menos. También debe reconocerse que la mayoría de los fabricantes indicarán el número SIC, que generalmente es más alto que la constante dieléctrica del material aislante. Se debe tener cuidado al definir un cable en particular para estas aplicaciones de baja fuga.

Es importante reconocer que, para la consideración de las corrientes de fuga, la calidad y el grosor del aislamiento limitan el acoplamiento capacitivo entre los conductores y la tierra, el acoplamiento capacitivo

está determinado por la constante dieléctrica del aislamiento, la longitud del conductor y el espacio entre el conductor y la tierra, el aislamiento del cable con la constante dieléctrica más baja puede tener otras propiedades que son inaceptables, el polietileno tiene una constante dieléctrica más baja que el polietileno reticulado, pero también tiene una clasificación de temperatura más baja.

Cortocircuitos de neutro a tierra.

Este es un fenómeno que no causa problemas directamente con el funcionamiento del equipo. Tal falla es una fuente común de corrientes de tierra que pueden producir una interferencia secundaria grave con mediciones como el electrocardiograma (ECG) y el electroencefalograma (EEG), la mayoría de los probadores de circuitos simples no prueban esta falla.

Otra fuente que necesita revisión es el método de puesta a tierra utilizado por los equipos de rayos X y otros equipos pesados con respecto al neutro. A veces, estas unidades utilizan la tierra como retorno neutro.

Fallas de línea a línea.

Las fallas de línea a línea deben protegerse mediante dispositivos de sobre corriente apropiados coordinados de tal manera que se vea afectada una porción mínima del sistema, esto requiere una coordinación cuidadosa de los diversos dispositivos en serie, se requieren prácticas cuidadosas de diseño, instalación y mantenimiento para minimizar los disparos molestos.

Los circuitos derivados deben planificarse con respecto al uso de los ocupantes. Se deben minimizar las probabilidades de que una falla de línea a línea en una habitación interrumpa involuntariamente el suministro de energía a los sistemas de soporte vital en otra habitación (quizás ni siquiera adyacente a la habitación con la falla).

Fallas de línea a tierra.

Las fallas de línea a tierra pueden causar problemas de interrupción del servicio, al igual que las fallas de línea a línea, además, introducen una corriente en el sistema de puesta a tierra, lo que puede crear más

problemas. Buenos enchufes eléctricos, tomacorrientes, construcción de dispositivos y procedimientos de mantenimiento adecuados minimizarán estas fallas, los sistemas de energía aislados proporcionan de forma segura la continuidad de la energía durante una primera falla de línea a tierra, los tiempos de disparo de cortocircuito de GFCI deben coordinarse con los tiempos de interrupción de cortocircuito del dispositivo de protección del lado de la línea.

2.5.26 Ubicación de la bóveda del transformador y perturbaciones eléctricas.

Dado que los campos magnéticos parásitos pueden causar problemas con las mediciones de EEG o ECG de laboratorio, se deben tomar precauciones para asegurar que las instalaciones eléctricas que puedan crear campos magnéticos parásitos no estén ubicadas adyacentes a estas áreas de medición.

Los dispositivos de conmutación pueden crear perturbaciones eléctricas que afecten a los dispositivos de diagnóstico electrónico, como los monitores cardíacos. Un dispositivo de diagnóstico que se vuelve incapaz de proporcionar al equipo médico información oportuna o datos correctos es un peligro tan grande para el paciente como un incendio o una descarga eléctrica, la radiación de la transmisión de radio en un edificio adyacente o los transitorios de cualquier motor grande, capacitor de conmutación o capacitores combinados con motores también pueden crear problemas que deben ser considerados por el ingeniero de diseño.

Lugares Húmedos.

En un sistema conectado a tierra convencional, siempre es posible una descarga eléctrica cuando un dispositivo de energía de línea se opera en presencia de material conductor conectado a tierra y una persona puede cerrar la brecha entre los dos.

Grandes cubiertas metálicas y suelos cubiertos de agua presentan una posible condición peligrosa. Un suelo cubierto de agua es potencialmente más peligroso que una cubierta metálica seca porque el agua puede penetrar los zapatos y hacer una mejor conexión eléctrica con el cuerpo, además, siempre existe la posibilidad de que el agua salpique los dispositivos eléctricos, creando contacto con las fuentes eléctricas.

La ubicación de dispositivos eléctricos cerca de bañeras o piscinas de agua donde un paciente puede ser tratado o donde los pacientes nadan presenta la posibilidad de descarga eléctrica.

La mayoría de las salas de operaciones se consideran lugares húmedos ya que los líquidos conductores se derraman con frecuencia.

Una cama con un paciente incontinente posiblemente podría considerarse un lugar húmedo. Ha habido informes de descargas graves cuando las camas eléctricas tenían controles de cable operados a voltaje de línea, el uso de controles sellados, de bajo voltaje o neumáticos reduce las posibilidades de estas descargas.

Se deben tomar o considerar varios pasos de precaución siempre que sea rutinario tener concentraciones de líquidos conductores en el suelo mientras los pacientes están presentes.

El primer y más importante paso es tener equipos hechos para este tipo de entorno correctamente instalados, utilizados y mantenidos con cuidado. Se deben tomar medidas para proporcionar protectores contra salpicaduras, los gabinetes metálicos que contienen equipos alimentados por línea deben estar permanentemente conectados a tierra con un conductor de puesta a tierra de equipos aislado, los equipos alimentados por línea deben ubicarse lo más lejos posible del área mojada. Se debe prestar especial atención a la colocación de equipos conectados por cable donde el cable pueda caer en una bañera, lavabo o piscina en la que las personas trabajarán o serán tratadas. Las electrocuciones en los baños domésticos han ocurrido con mayor frecuencia cuando los electrodomésticos se colocaron cerca de la bañera y luego fueron tocados o cayeron en la bañera.

Donde se utilizarán equipos portátiles conectados por cable y operados por línea, como en una sala de hidroterapia, se pueden usar GFCI para proporcionar protección cuando ocurren accidentes. En la sala de operaciones, se debe usar el sistema de energía aislado, porque la interrupción de energía no se puede tolerar.

Al momento de escribir esto, el NEC requiere que los GFCI se instalen en cualquier habitación o área que tenga un lavabo con uno o más de los siguientes: un inodoro, una bañera o una ducha. Podrían ocurrir

accidentes con cepillos de dientes, afeitadoras o secadores de pelo alimentados por línea. Una alternativa a los GFCI sería eliminar los tomacorrientes alimentados por línea.

2.5.27 Aislamiento.

Los conductores energizados deben estar aislados entre sí, de tierra, de los pacientes y del personal del hospital, este aislamiento se crea tanto por el material aislante utilizado como por la separación espacial, la protección de aislamiento primario de los catéteres cardíacos se puede proporcionar aislando adecuadamente el extremo expuesto o haciendo que el entorno que rodea el catéter sea lo más seguro posible.

2.5.28 Puesta a tierra del sistema.

La puesta a tierra en un área de atención de pacientes críticos y en una ubicación de anestesia es un ingrediente importante para proteger contra descargas eléctricas y electrocución, la puesta a tierra adecuada proporciona un medio para disipar las cargas estáticas y derivar las corrientes de falla y/o las corrientes de fuga normales lejos de los pacientes y los asistentes.

Un buen sistema de puesta a tierra requiere un punto de puesta a tierra de referencia, generalmente la barra de puesta a tierra en el panel de distribución, previamente denominado en algunos documentos como una tierra equipotencial. Todas las superficies conductoras en la vecindad del paciente que puedan energizarse se unen al punto de puesta a tierra de referencia con una conductancia efectiva al menos igual a un cable de cobre AWG #10. Dos superficies típicas son la salida de oxígeno y el accesorio de plomería. Todos los terminales de puesta a tierra de los tomacorrientes se conectan a tierra al punto de puesta a tierra de referencia mediante un conductor de cobre aislado, el conductor está aislado para protección contra la corrosión y para evitar puntos de arco entre el conducto y el conductor en caso de falla.

La puesta a tierra del equipo proporciona un camino de baja impedancia para conducir de manera segura las corrientes de falla o las corrientes de fuga de regreso a la fuente. También es un medio para unir todas las superficies conductoras de tal manera que las diferencias de potencial entre tales superficies sean

mínimas. Una buena puesta a tierra es más esencial en los centros de atención médica que en otras ocupaciones debido a la vulnerabilidad de los pacientes.

Los pacientes, especialmente aquellos que están bajo anestesia, medicación o que están muy enfermos, no pueden reaccionar o protegerse de una descarga eléctrica como lo haría un individuo sano normal, y estos pacientes con frecuencia están conectados a equipos eléctricos, además, los potenciales que normalmente no son peligrosos para una persona sana vestida podrían ser peligrosos en un centro de atención médica, la naturaleza de la enfermedad de un paciente puede disminuir su resistencia corporal natural debido a la incontinencia, la transpiración o las heridas abiertas, el proceso de diagnóstico de un paciente puede hacerlo más vulnerable a una descarga eléctrica, el sistema de puesta a tierra en un centro de atención médica está diseñado para minimizar los potenciales de voltaje que se pueden crear en las superficies del conductor de tierra debido a las corrientes de tierra circulantes.

Puesta a tierra del cable de alimentación.

El conductor de puesta a tierra verde del equipo provisto en un cable de alimentación del equipo evita que los potenciales estáticos se acumulen a valores peligrosos en partes que no transportan corriente, como carcasas, cajas y cajas de electrodomésticos. Si estas partes no están correctamente conectadas a tierra, una carga estática podría acumularse hasta cierto punto y puede alcanzar un valor tal que se descargaría automáticamente en forma de chispa electrostática. Tal descarga estática podría ser un peligro para el paciente y el asistente si encendiera algún gas o material inflamable o provocara una descarga eléctrica.

El conductor de puesta a tierra del equipo también proporciona un camino para la corriente de fuga y la corriente de falla, que podría conducirse a la carcasa de un electrodoméstico, la magnitud de esta corriente de fuga depende de las características del electrodoméstico y del aislamiento asociado con él, la corriente de fuga podría resultar en diferencias de potencial entre las piezas del equipo y podría fluir a través de órganos vitales de un paciente si se estableciera una ruta de corriente del paciente. Una de estas condiciones se encuentra en los procedimientos de cateterismo cardíaco, donde pequeñas cantidades de corriente pueden

causar fibrilación ventricular. Un ejemplo sería un paciente en una cama operada eléctricamente con el paciente teniendo cables de monitoreo que no están aislados, el camino de puesta a tierra podría ser a través del paciente a través del asistente y los cables cardíacos. Dado que la resistencia del conductor de tierra del cable de alimentación es significativamente menor que el camino a través del paciente, casi toda la corriente fluirá al conductor de puesta a tierra, la resistencia del conductor de puesta a tierra es de suma importancia. Un AWG #10 solo representa 0.0001 ohmios/pie (0.000328 ohmios/m). En áreas de anestesia, la práctica de diseño limita las diferencias de potencial entre las superficies del conductor que podrían entrar en contacto con el paciente a 40 mV.

Tomas de tierra.

En ediciones anteriores del NEC, se dictaron disposiciones para la conexión de dispositivos no eléctricos conductores, estas disposiciones debían cumplirse suministrando a cada área de atención de pacientes críticos un tipo específico de toma de tierra. Se requería que cada sala de operaciones tuviera un mínimo de seis tomas de tierra. Si bien esto ya no es un requisito del NEC, muchos ingenieros recomiendan que se proporcione al menos una sola toma de tierra en cada área de atención de pacientes críticos. Esta toma de tierra proporcionará una conexión fácil al sistema de puesta a tierra con el fin de una puesta a tierra redundante de cualquier pieza de equipo excepcionalmente peligroso y permitirá además la conexión al sistema de tierra con fines de prueba. Si bien el costo de una sola toma de tierra, o incluso varias tomas de tierra en una habitación, es muy bajo y casi insignificante, los beneficios proporcionados por tener la conexión al sistema de tierra convenientemente accesible son innumerables. Si se especifican tomas de tierra en el proyecto, es deseable especificar varios cables de tierra que se puedan usar con estas tomas de tierra.

Protección contra sobre corriente.

Existe poca diferencia entre la protección contra sobre corriente, que se proporcionará dentro de los entornos hospitalarios, y la que se proporcionará para otros edificios comerciales. Donde se utiliza energía

aislada, los circuitos secundarios alimentados desde el transformador de aislamiento. Deben estar provistos de interruptores de circuito bipolares. Se debe tener cuidado para obtener el equipo de la más alta calidad y más confiable disponible.

Suficiencia de energía.

Con dispositivos eléctricos que soportan la vida, existe una gran necesidad de suministrar una cantidad de energía continua y adecuada, dónde y cuándo sea necesario. Existe una expectativa muy razonable de que los requisitos de energía aumentarán con el tiempo, y esto debería ¹ ser una consideración de diseño.

2.5.29 Energía Aislada.

El sistema de distribución eléctrica no conectado a tierra se ha utilizado en ciertas áreas del hospital durante muchos años.

El término "sistema aislado" se utiliza normalmente para un sistema de distribución eléctrica no conectado a tierra que incluye (o está compuesto por) todo el equipo necesario según lo especificado en NFPA 99-1996 y en el NEC (Artículo 517), este sistema incluye el transformador de aislamiento blindado, el LIM, los interruptores de circuito y los tomacorrientes de energía necesarios y el equipo de puesta a tierra asociado. Es responsabilidad del ingeniero de diseño eléctrico especificar cada uno de los componentes necesarios para establecer el sistema total.

Siempre existió la posibilidad de seleccionar componentes incompatibles, y la mano de obra para instalar componentes individuales siempre fue bastante alta, además, la integridad del sistema total era difícil de determinar.

A principios de la década de 1960, comenzó a aparecer el paquete o panel de sistema aislado, como se le llamaba entonces. Las unidades iniciales contenían el transformador de aislamiento, los interruptores de circuito y el detector de tierra. Más tarde, el LIM reemplazó al detector de tierra. En 1971, aparecieron paquetes que también contenían tomacorrientes de energía, barras de tierra y tomas de tierra, la mayoría de

las instalaciones actuales utilizan estos componentes empaquetados. Se han establecido normas UL para estas unidades empaquetadas (UL 1047-1995) y están disponibles como dispositivos etiquetados, el uso de estos paquetes asegura al ingeniero de diseño componentes compatibles y el menor costo de instalación posible.

Los cambios de código recientes cubiertos en NFPA 99 pueden no requerir que algunos lugares de anestesia por inhalación tengan energía aislada.

Antes de 1981, se permitía un flujo de corriente potencial de 2 mA antes de que sonara la alarma LIM, el nivel permisible hoy es de 5 mA.

El sistema de energía aislado también es útil donde existen condiciones húmedas y el equipo de soporte vital debe continuar funcionando en presencia de una falla a tierra, como en una sala de operaciones de cirugía a corazón abierto. Hay otros lugares en el hospital, como las áreas de UCI/CCU, donde los sistemas aislados se consideran opcionales, pero se les debe prestar atención. Hay algunos estados que exigen el uso de sistemas aislados en las áreas de UCI/CCU. Es responsabilidad del ingeniero de diseño eléctrico señalar al hospital dónde se deben usar los sistemas aislados y cómo el uso de estos sistemas podría beneficiar al hospital y al paciente.

Los beneficios derivados del sistema de distribución eléctrica no conectado a tierra son los siguientes:

a) Limita la cantidad de corriente que puede fluir a tierra a través de cualquier falla de línea a tierra única que pueda ocurrir en el sistema. Para todos los efectos prácticos, esto elimina el peligro de descargas eléctricas masivas (macro choque) a pacientes o personal como resultado de este tipo de falla. También elimina prácticamente la posibilidad de arcos de alta energía como resultado de este tipo de falla y, por lo tanto, proporciona protección contra la ignición accidental de materiales explosivos o combustibles que se utilizan en el área. Esta característica del sistema de distribución eléctrica no conectado a tierra permite que los conductores de puesta a tierra típicos y de tamaño práctico protejan eficazmente incluso a aquellos

pacientes que podrían verse afectados por cantidades muy pequeñas de corriente eléctrica, el equipo de monitoreo de pacientes aislado internamente también agrega un gran factor de seguridad.

b) En un sistema de distribución conectado a tierra, una falla de línea a tierra en el sistema operará el dispositivo de protección contra sobre corriente e interrumpirá la energía al dispositivo o al área. En la mayoría de los casos, esta es una característica muy deseable. Sin embargo, en cualquier área del hospital donde se utilizan dispositivos de soporte vital, esta pérdida de energía puede crear un peligro para el soporte vital, el sistema de distribución eléctrica no conectado a tierra responde de manera bastante diferente a una falla de línea a tierra. Con este sistema, la falla no representa un peligro inmediato para el paciente o el personal, y la energía no se interrumpe. Solo se emite una advertencia visual y audible. En cualquier caso, el dispositivo en el que se ha producido la falla continuará funcionando y se puede usar de manera segura hasta que haya un equipo de reemplazo disponible.

Sin interrumpir la energía, el LIM del sistema de energía aislado advierte de posibles fallas del equipo conectado al sistema, siempre que el equipo tenga continuidad a tierra. Cuando suena la alarma, el sistema sigue siendo más seguro que si se utilizara un sistema conectado a tierra convencional en primer lugar. Cualquier corriente que fluya sería menor que si uno de los conductores estuviera sólidamente conectado a tierra, como es el caso del sistema eléctrico convencional de 120 V conectado a tierra, el LIM utilizado con el sistema aislado es el único dispositivo conectado al sistema que monitorea continuamente (y alarma cuando es necesario) la integridad del cableado de la habitación y el equipo conectado al sistema.

La alternativa es la prueba de laboratorio frecuente del equipo, pero no hay garantía de que el equipo no se haya degradado o defectuoso entre los períodos de prueba, la integridad del equipo y la integridad del conductor de puesta a tierra son especialmente importantes para los sistemas de soporte vital.

Las lecturas periódicas del LIM pueden proporcionar un registro continuo del sistema y su funcionamiento, el LIM es una adición de costo único en comparación con el costo continuo de verificar periódicamente el sistema y el equipo. Con la supervisión continua, el personal de ingeniería del hospital se mantiene alerta

para mantener el equipo en excelentes condiciones de funcionamiento para que el LIM no entre en una condición de alarma, el sistema de energía aislado proporciona al cirujano u otros usuarios del equipo eléctrico protección contra macro choques, igual que si estuvieran usando herramientas de doble aislamiento o que funcionan con baterías.

Se debe enfatizar que un sistema de distribución eléctrica no conectado a tierra generalmente proporciona una advertencia temprana de que un electrodoméstico tiene una falla de línea a tierra. Las fallas que ocurren dentro de los electrodomésticos pueden ser el resultado de la degradación lenta del aislamiento o los componentes. Cuando la fuga potencial causada por estas condiciones aumenta más allá de los límites establecidos para el sistema no conectado a tierra, sonará una alarma para activar la acción de mantenimiento preventivo. Esta característica es de gran valor incluso para las instituciones que tienen programas de mantenimiento preventivo sofisticados para sus electrodomésticos y equipos.

Aunque se revisa un electrodoméstico mensualmente, no hay garantía de que la degradación de la unidad no se vuelva excesiva el día después de que haya recibido su revisión mensual.

Los radiólogos y patólogos a veces usaban energía aislada para escáneres de tomografía computarizada (C.A.T., o simplemente, CT) y analizadores multicanal para proteger los dispositivos de los transitorios. A medida que las áreas de atención al paciente se pueblan con chips de computadora, esta puede ser la tendencia.

La atenuación del transformador de aislamiento blindado generalmente produce una reducción de hasta 50 dB (relación de voltaje de 300 a 1) en el transitorio de ruido de modo común.

Sistema aislado trifásico.

En los últimos años, ha habido una demanda creciente de energía trifásica dentro de un lugar de anestesia. Hay sistemas de aislamiento trifásicos no conectados a tierra especiales disponibles con la lista UL 1047-1995 para estos lugares. Generalmente no es aconsejable ni práctico tratar de derivar tanto los requisitos de

energía trifásica como los requisitos de energía monofásica de un solo sistema de aislamiento. Lo mejor es proporcionar un sistema de aislamiento separado para equipos trifásicos.

Los dispositivos típicos que requieren energía trifásica en la sala de operaciones son los dispositivos de flujo de aire laminar, el equipo de fotocoagulación (láser), el posicionamiento especial y las mesas quirúrgicas eléctricas.

Si bien gran parte de este equipo también está disponible en diseño monofásico, algunos de los dispositivos solo están disponibles en diseño trifásico, con características no disponibles en la máquina monofásica, que el equipo médico requiere. Una vez que se establece una situación de este tipo, es responsabilidad del ingeniero de diseño especificar y diseñar adecuadamente un circuito de aislamiento trifásico que brinde al hospital un servicio sin problemas.

Las reglas y condiciones generales para la instalación de aislamiento trifásico eficaz son idénticas a las del sistema de aislamiento monofásico descrito anteriormente.

Monitor de aislamiento de línea (LIM).

El LIM es un dispositivo de medición de impedancia utilizado con sistemas de energía aislados que emitirá una alarma audible y dará una advertencia visual cuando la impedancia de línea a tierra del sistema se haya degradado hasta el punto en que el flujo de corriente de cualquiera de los conductores de energía a tierra durante una falla a tierra sea superior a los límites establecidos por las normas.

Todos los LIM deben proporcionar un medidor que prediga continuamente cuánta corriente fluirá a través de una falla a tierra si ocurriera. Se debe señalar cuidadosamente al personal del hospital que el medidor no indica la corriente que está fluyendo, sino que predice la corriente que fluirá si ocurre una falla a tierra. Todos los LIM deben proporcionar un medio para silenciar la alarma audible en el área de uso para que no distraiga la atención del personal médico del procedimiento que se realiza en ese momento en particular.

Las normas permiten que cualquier procedimiento médico que se realice en el momento en que suena la alarma se lleve a su finalización antes de que se deban realizar los servicios para eliminar la falla en el sistema no conectado a tierra según lo indicado por el LIM. No se deben iniciar nuevos procedimientos hasta que el departamento de ingeniería o mantenimiento del centro hospitalario haya localizado y corregido el problema y haya documentado adecuadamente dicha acción.

La corriente de riesgo del monitor es la medida de la degradación del sistema aislado causada por la conexión del LIM al sistema. Cuando se conecta un LIM de nivel de disparo de 2 mA a un sistema perfectamente no conectado a tierra, y si la cantidad de corriente que fluirá después de la conexión desde cualquier línea a tierra es de 25 μ A, entonces se dice que la corriente de riesgo del monitor es de 25 μ A. Un LIM de nivel de disparo de 5 mA tendría una corriente de riesgo del monitor de aproximadamente 50 μ A, los LIM están provistos de un medio para probar su función, esto se logra mediante un interruptor de prueba que, cuando se energiza, colocará una falla simulada u otra prueba en el LIM suficiente para que emita una alarma cuando se opera a -15% o +10% del voltaje nominal. Esta prueba nos ayuda a verificar el correcto funcionamiento del LIM y sus alarmas asociadas, pero no verifica el funcionamiento del sistema eléctrico no conectado a tierra total. Después de la instalación, el sistema se puede probar a fondo aplicando fallas de prueba en las salidas. Posteriormente, se debe realizar un mínimo de una prueba anual similar, la función LIM debe probarse mensualmente según lo cubierto por NFPA 99-1996.

Cuando está en el modo de prueba, la conexión a tierra al LIM se desconecta automáticamente para no causar una "segunda falla" en el sistema y posiblemente poner en peligro a los pacientes o al personal en el área donde se realiza la prueba. Todas las pruebas deben realizarse solo cuando el sistema no esté en uso, la prueba de función LIM no es un medio para verificar la calibración del LIM. Dado que la mayoría de los LIM son básicamente analizadores de red complejos que involucran soluciones de ecuaciones de red muy complejas, es deseable que todas las calibraciones se realicen en la fábrica donde se dispone de equipos de prueba adecuados y apropiados.

Interpretación del monitor de aislamiento LIM.

En una sala de operaciones, una lectura LIM de 2 mA significa que la impedancia de una línea a tierra se ha deteriorado a 60 000 ohmios en un sistema de 120 V y probablemente se tomará la decisión de continuar con el procedimiento quirúrgico. Una vez que se haya completado el procedimiento quirúrgico, se debe examinar el equipo enchufado y la falla se debe corregir a la brevedad posible.

Si el indicador en el medidor muestra una deflexión a escala completa, lo que indica una condición de peligro grave, indica que una de las líneas se ha cortocircuitado a tierra o podría ser causada por una combinación de corrientes de fuga alta de varios instrumentos, el sistema aislado se está acercando a un sistema conectado a tierra, esto podría crear un peligro grave de descarga eléctrica tanto para el paciente como para el personal en caso de que ocurra una segunda falla, la primera falla debe localizarse y corregirse al menos antes de comenzar otra operación quirúrgica, la corriente completa de paso del interruptor de circuito podría fluir si se hace contacto con un conductor vivo (no cortocircuitado).

Debido a las razones mencionadas, el medidor LIM debe estar en un lugar claramente visible, en el quirófano. Se deben proporcionar medios para silenciar convenientemente la alarma audible.

Se aplica una analogía similar al LIM de 5 mA, con la excepción de que cuando el medidor lee 5 mA, la impedancia de una línea a tierra se ha deteriorado a 24 000 ohmios en el sistema de 120 V.

Capítulo #3: Diferentes etapas de un sistema eléctrico hospitalario en base a normas y estándares latinoamericanos.

Existen diferentes etapas de un sistema eléctrico hospitalario en base a normas y estándares latinoamericanos. Un sistema eléctrico hospitalario como ya antes mencionamos está compuesto por sistemas principales, que proporcionan energía eléctrica a número limitado de circuitos de iluminación y fuerza, los cuales también son importantes para la seguridad prioritaria del paciente y el buen funcionamiento del hospital.

Cabe también importante mencionar que cada día los equipos biomédicos y equipos especiales auxiliares a la labor médica son construidos con sistemas electrónicos complejos y muy sensibles por lo tanto la importancia de construir un sistema eléctrico confiable bien diseñado para garantizar el buen funcionamiento de todos los sistemas médicos.

3.1 Alimentación primaria de energía eléctrica

Como se entiende, que el sistema de suministro de energía eléctrica para cuidados críticos requiere un alto grado de seguridad y estabilidad. Algunas áreas de cuidados hospitalarios requieren áreas de cuidados hospitalarios delicados requieren de un nivel de ingeniería más sofisticado.

Partiendo de que la fuente de energía principal suministrada por cualquier ente comercializador de energía existe a la vez un sistema de respaldo de emergencia conformado por un grupo de generadores el cual proporciona energía eléctrica al tener un fallo en el sistema primario de energía o en palabras más simples que la red de distribución falle. Según la norma IEEE 602 esta fuente auxiliar es alimentada por un generador de energía o varios de estos funcionando a base de combustible esto es lo más frecuente de encontrar como respaldo en nuestro país, también se apoyan de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) o UPS que son más que bancos de baterías según requerimiento de NFPA 99.

También tenemos una opción alternativa que nos la sugiere la norma IEC 60364-7-710 la cual nos menciona sobre las fuentes de alimentación múltiple, esto se refiere a los sistemas de redundancia o la sectorización de la fuentes ejemplo claro , las múltiples acometidas que quiere decir esto alimentar con dos circuitos independientes a dos transformadores distintos que alimentan el sistema principal del hospital , con esto reducimos las fallas al 100% del suministro eléctrico de la red, y también la implementación de múltiples generadores para no depender de una misma fuente de emergencia el sistema de respaldo de energía del hospital.

3.1.1 Subestación Eléctrica.

La subestación eléctrica o fuente primaria de energía de un hospital debe tener las siguientes consideraciones:

Como el corazón del sistema eléctrico la subestación debe tener un transformador o un banco de estos mismos dependiendo el criterio del diseñador y son los términos de referencia con el cual se formule el diseño inicial de proyecto todo Transformador debe de contar con las conexiones primordiales como las que se mencionan en la norma IEEE 602, además en esta misma norma se detallan todas las características de la selección del transformador mencionado esto podemos decir que las conexiones de estos deben seguir los siguientes puntos o tipos dependiendo la utilización de este.

Toda conexión de los sistemas de distribución(transformadores), dependiendo si tienen o no referencia a tierra pueden ser respectivamente: aterrizados o aislados.

- **Sistemas aterrizados:** Es aquel que tiene como referencia de voltaje en sus fases el potencial de tierra, el o los puntos de aterrizaje se realizan mediante redes de tierra o polos tierras que brindan una vía sólida de aterrizamiento del neutro de la red de distribución, este sistema es muy utilizado y eficiente según la selección de voltaje de la norma IEEE 602.

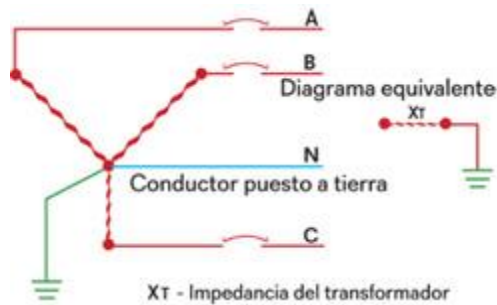


Ilustración 48 Sistema Estrella con referencia a tierra-neutro en cada una de sus fases

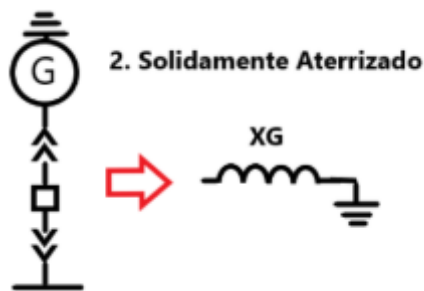


Ilustración 49 Sistema equivalente sólidamente aterrizado.

- **Sistemas aislados:** Es el que no tiene referencia directa a tierra, la diferencia de potencial entre el neutro del sistema y tierra depende de la reactancia de magnetización de las bobinas de los transformadores conectados en el sistema.

Uno y otro sistema presenta sus propias ventajas y desventajas, así las ventajas del sistema aterrizado son:

1. El nivel de aislamiento de las bobinas de los transformadores se conecta entre línea y tierra y solo se necesita un corto circuito y un pararrayos para proteger los devanados del lado de alta tensión del sistema.
2. Presentan mayor tolerancia a las cargas desbalanceadas en el servicio trifásica, ya que existe un camino de retorno para corriente de desbalance. La principal ventaja del sistema aislado es que las fallas, en su mayoría, no son tan severas como en el sistema aterrizado.

Los principales sistemas aterrizados son los conectados en estrella y en sus diversas variantes que son:

a.- Estrella aterrizado en la subestación: Tiene la trayectoria retorno de neutro a través de tierra, por lo que presenta el inconveniente que hay mayor caída de voltaje en el neutro del sistema.

b.- Estrella aterrizado en la subestación con neutro corrido: Se polariza en la subestación y se envía un hilo de neutro a través del circuito, a lo que se le llama “neutro corrido”. Este sistema tiene pequeñas variaciones en el nivel de voltaje de referencia, debidos a la caída de tensión en el neutro.

c.- Estrella aterrizado en la subestación con neutro y multiaterrizado: Además de polarizarse en la subestación del neutro (corrido), se va aterrizando a lo largo de su trayectoria, este sistema es el más utilizado por presentar las mejores condiciones de estabilidad del voltaje de referencia, además de varias trayectorias a tierra para el drenaje de fallos.

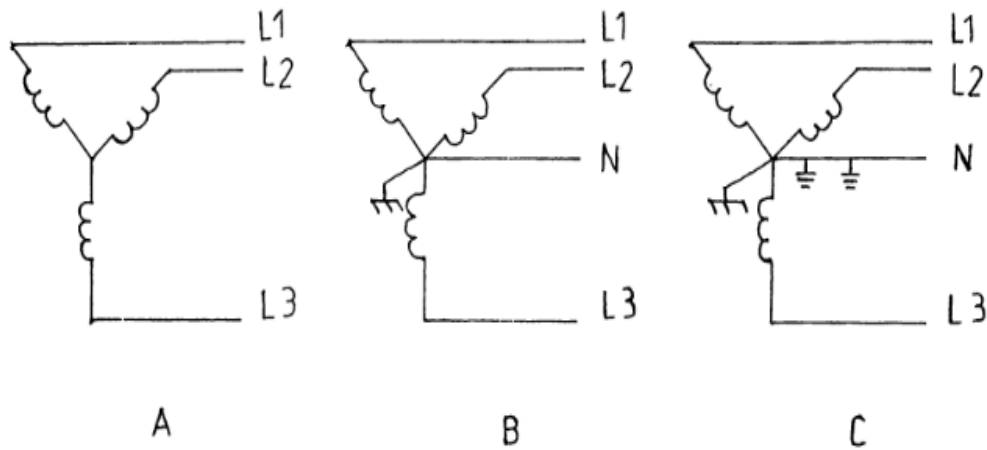


Ilustración 50 Variantes de un sistema estrella.

Dentro de los sistemas aislados se tienen dos variantes:

1. Delta aislado
2. Estrella aislada

Delta aislado: Su principal característica es que no se tiene referencia a tierra, por lo que para el servicio de cargas monofásicos es necesario conectarlos entre las fases; debido a esto para proteger el equipo

conectado a la línea se necesita un juego más de pararrayos y corta circuitos que es necesario en el sistema aterrizado.

Estrella aislada: El comportamiento de este sistema es similar al circuito anterior en ambos sistemas debe tener la preocupación de utilizar transformadores que tengan un aislamiento igual o superior al voltaje entre fases del sistema.

3.1.2 Alimentadores de Circuitos.

Son conjuntos de conductores de un sistema entre el equipo de la acometida y el elemento protector del circuito derivado contra la sobrecarga. En instalaciones grandes las exigencias de corrientes son tales que posiblemente no se puede volver a llenar cada circuito derivado a un punto común en la acometida en su lugar van los alimentadores desde la acometida a los tableros principales de distribución.

3.1.3 Fuentes de emergencia de energía eléctrica.

Una de las fuentes de emergencia que cuenta un hospital son los generadores de energía a base combustible, los cuales suplen la mayor carga de un hospital estos tienen muchas características primordiales.

En el ámbito hospitalario, los generadores eléctricos son esenciales para asegurar la continuidad de la atención médica. Ante cortes de energía, ya sean por emergencias, fallos en el suministro o mantenimiento, estos sistemas entran en acción de manera automática. Su función principal es mantener operativos los servicios críticos del hospital, tales como:

- Unidades de cuidados intensivos.
- Salas de operaciones.
- Equipos de diagnóstico.
- Sistemas de refrigeración para medicamentos y vacunas.

La importancia de estos generadores radica en su capacidad para garantizar que estos servicios vitales no se vean interrumpidos, permitiendo que el personal médico pueda seguir atendiendo a los pacientes sin contratiempos. En situaciones de emergencia, los generadores eléctricos son un pilar fundamental de la infraestructura hospitalaria, asegurando la estabilidad y seguridad de los pacientes en todo momento.

3.1.4 Tipos de Generadores Eléctricos Comunes en el Sector de la Salud y sus requerimientos de ingeniería.

Existen múltiples tipos de marcas y tipos de generadores los cuales todos cumplen la misma función ser una fuente alterna de energía a los cortes del suministro de la red de distribución, algunos tipos de generadores son los siguientes:

Generadores de Reserva (o de Emergencia):

Son la columna vertebral del suministro de energía de respaldo en hospitales. Se activan automáticamente en caso de cortes de energía, garantizando la continuidad de los servicios críticos. Suelen ser de alta potencia para mantener operativos equipos vitales como unidades de cuidados intensivos, salas de operaciones y equipos de diagnóstico.

Generadores Diésel: Son una opción popular debido a su alta potencia y confiabilidad. Proporcionan un suministro de energía estable y prolongado. Son ideales para aplicaciones de emergencia en hospitales, donde la energía constante es crucial.

Generadores de Gas Natural: Ofrecen una alternativa más limpia en comparación con los generadores diésel. Son adecuados para aplicaciones que requieren un suministro de energía continuo. Pueden utilizar biogás, lo que los hace aún más sostenibles.

Sistemas de Energía Híbridos: Combinan generadores tradicionales con fuentes de energía renovable, como paneles solares y baterías de respaldo. Ofrecen una mayor eficiencia y reducen la dependencia de

combustibles fósiles. Son una nueva solución que sirve como apoyo y reduce el uso exclusivo de los generadores convencionales.

Consideraciones Adicionales.

La elección del generador adecuado depende de las necesidades específicas del centro de salud, como la carga eléctrica requerida y la duración del suministro de respaldo necesario.

Dimensionamiento de un Generador según norma IEEE 602:

El alternador debe dimensionarse en función de dos tipos de carga. Estas son la carga continua máxima que soportará el alternador y la carga del motor que el alternador deberá arrancar.

Primero, considera la carga conectada máxima. Esta carga incluye las cargas de iluminación, calefacción y los motores en funcionamiento que el alternador deberá soportar al mismo tiempo. La sumatoria de los kW de estas cargas serán la capacidad del generador, también considerar el incremento de carga momentánea que representan los motores grandes, porque siempre considerar un factor de seguridad es una buena práctica de ingeniería.

Como un ejemplo: Consideramos una instalación pequeña con una carga de iluminación de 100 kW, calentadores de agua de 50 kW, un motor de soplador de 25 hp en el sistema de calefacción o, un motor de compresor de aire acondicionado de 50 hp y dos motores de ascensor de 25 hp, el sistema es considerado 240V/3F y que los motores cuentan con un factor de potencia de 0.8.

Solución:

Consideramos los amperios a plena carga de los motores tomando como base la tabla 430.250.FLA del NEC.

Table 430.250 FLC Three-Phase Alternating-Current Motors				
	200V	208V	230V	460V
½ hp	2.50	2.40	2.20	1.10
¾ hp	3.70	3.50	3.20	1.60
1 hp	4.80	4.60	4.20	2.10
1½ hp	6.90	6.60	6.00	3.00
2 hp	7.80	7.50	6.80	3.40
3 hp	11.00	10.60	9.60	4.00
5 hp	17.50	16.70	15.20	7.60
7½ hp	25.30	24.20	22.00	11.00
10 hp	32.20	30.80	28.00	14.00
15 hp	48.30	46.20	42.00	21.00
20 hp	62.10	59.40	54.00	27.00
25 hp	78.20	74.80	68.00	34.00

Ilustración 51 tabla 430.250.FLA del NEC.

Entonces para los motores de 25 HP tenemos una demanda en kW (2 ascensor,1 calefacción):

$$P(kW) = \frac{\sqrt{3} * FLA * V * fp}{1000}$$

$$P(kW) = \frac{\sqrt{3} * 68 A * 230 V * 0.8}{1000} = \mathbf{21.64 kW}$$

Entonces para el compresor de 50 HP equipos de AA tenemos una demanda en kW:

$$P(kW) = \frac{\sqrt{3} * 136 A * 230 V * 0.8}{1000} = \mathbf{43.29 kW}$$

Entonces la capacidad del generador debe ser:

$$P_{generador} = P_{luminarias} + P_{calefaccion} + P_{dos ascensores} + P_{aire acond} + P_{calentador agua}$$

$$P_{generador} = (100 kW + 21.64 kW + 43.29 kW + 43.29 kW + 50 kW)$$

$$P_{generador} = (258 kW * 110\%) = 284.04 kW = \mathbf{300 kVA capacidad comercial}$$

Puntos importantes que considerar en la selección de un generador para una instalación hospitalaria.

Como primer punto según la norma NFPA 99 un generador debe contener una cabina silenciadora de ruido que no emita ruido a una medición no mayor a 8 dB, otro punto es que el generador debe contar con una autonomía de sostener la carga crítica en un tiempo como mínimo 96 horas recomendado, debe contar un tanque de combustible lo necesariamente basto para lograr abastecer en la emergencia el hospital, además el generador se le deben priorizar la selección de un cargador de alta eficiencia para las baterías y una resistencia calefactora del block y del Carter de aceite para que el generador no arranque en frío y tenga una lubricación y temperatura en el block predispuesta a un encendido rápido, debe estar en stand by, además según la norma NFPA 99 el tiempo de entrada de un generador para un hospital está en un rango de 10 segundos como máximo.

3.1.5 Centrales de Transferencia (Automático – Manual).

En el área comercial de servicios industriales y en especial en la hospitalaria es indispensable la continuidad del fluido eléctrico para lo cual se requiere de instalaciones y dispositivos que proporcionen la energía eléctrica cuando la compañía encargada de suplirla no puede hacerlo.

La aplicación de los sistemas de transferencia en áreas hospitalarias debe de poseer características eléctricas muy especiales. Las principales características según la norma NFPA 99 todo sistema de transferencia debe contar con las siguientes características o consideraciones:

- Tipo de carga a transferir.
- Rango de voltaje a manejar.
- Rango de corriente continua.
- Rangos estandarizados de corriente de fallas y sobre cargas (también detallados en la norma IEEE 602).

- Tipos de elementos de protección para sobre corrientes de los sistemas de transferencia (también detallados en la norma IEEE 602).
- Monitores de continuidad de la fuente.
- Retardo de tiempo a considerar para la conmutación de la fuente.
- Señales de control de salidas y entradas.
- Mecanismos de los interruptores principales.
- Consideraciones de protección para fallas a tierra.
- Sistema operativo.
- Operaciones de los interruptores de transferencia no automática.
- Sistema de transferencia múltiple versus sistema de transferencia serial,

3.1.6 Tipos de cargas a transferir.

Según la norma ANSI 1008/ IEEE 602 los tipos de cargas en las áreas hospitalarias se clasifican de la siguiente forma:

- a) Carga total del sistema.
- b) Carga de motores.
- c) Carga del sistema de alumbrado.
- d) Cargas Resistivas.
- e) Cargas del sistema de descarga.

Los requerimientos listados UL con respecto a los interruptores de transferencia deben ser capaces de soportar la carga del hospital. Indicando que los interruptores de transferencia deben de ser capaces de funcionar con todas las especificaciones mencionadas anteriormente.

Algo que se debe tener muy en cuenta es que los sistemas de alumbrados no deben de exceder un 30% la carga total a menos que los interruptores de transferencia sea capaz de transferir el porcentaje total de todo el sistema de las lámparas incandescentes si son el caso lo leds. La mayoría de estos sistemas son capaces de transferir toda la carga.

Otro tipo de carga que se encuentra en las áreas hospitalarias de motores dos etapas de muy especiales deben considerarse para ser aplicadas en el diseño del sistema cuando la carga de motores debe ser alimentada para un sistema de emergencia.

a.- Como evitar los posibles daños que pueden causar la transferencia de carga a los motores o equipos relativos cuando estos están conectados entre dos fuentes de energía que no están sincronizado.

b.- Como proteger la carga del motor a transferir y retardar la conexión para prevenir la sobre la carga de la fuente de energía a la cual se realizará el cambio. Es muy peligroso el cambio de una fuente de energía a otra ya que los motores o equipos semejantes pueden resultar seriamente dañados en incluso las fuentes de energía pueden sufrir daños graves.

Es muy peligroso el cambio de una fuente de energía a otra ya que los motores o equipos semejantes pueden resultar seriamente dañados e incluso las fuentes de energía pueden sufrir daños graves. Para evitar estos problemas existen varios métodos de control los cuales son:

i.- Transferencia en fase.

ii.- Circuito de control de conexión de carga de motores.

iii.- Transferencia de Transmisión cerrada.

3.1.7 Monitoreo de fuente.

Los paneles de control poseen dispositivos en los cuales monitorean controlan las fases del voltaje de línea, por ejemplo, para una fase del sistema el voltaje es monitoreado línea a línea. Para sistemas de tres fases (trifásico) las fases son monitoreadas constantemente.

Si existe en un momento determinado un desbalance de alguna fase en el instante de funcionamiento de algún equipo este puede variar sus características y en casos extremos causar problema en el desempeño de los sistemas que se utilizan para atención de pacientes.

Para estos casos hay equipos en los cuales controlan o monitorean estas señales si existiese un problema de esta índole el dispositivo en este caso ordenaría al sistema auxiliar que inicie su marcha normalizando el sistema proporcionado de esta manera un servicio constante y seguro.

Al realizarse una operación de transferencia se debe de seguir una secuencia razonable cumpliendo por lo menos lo siguientes paso:

1. Encendido y calentamiento de la unidad de emergencia.
2. Apertura de la acometida primaria que sule al hospital en nuestra aplicación.
3. Transferencia de carga hacia la unidad de emergencia.

Al lograr restablecer la alimentación de energía debe realizarse la operación inversa o retransferir los sistemas.

3.1.8 Temporización de Transferencia.

La secuencia de las maniobras a realizar debe de cumplir algunos requisitos de tiempo que están determinado o bien por las características físicas de la unidades o para alcanzar una máxima eficiencia en el procedimiento.

Hay varios tiempos de retardo en módulos de control, entre ellos mencionamos:

1. Al producirse una falla se ha necesario esperar un intervalo de tiempo antes de encender la unidad de emergencia. Este retardo se da ya que no se desea encender la unidad ante de una falla de muy corta duración así definirá un tiempo mínimo para el cual una falla se considera como permanente.
2. Una vez encendido el generador auxiliar es necesario dar un tiempo de calentamiento y estabilización de tensión antes de que pueda llenarse a la carga es un requerimiento proporcionado por el fabricante.
3. Al regresar al sistema primario de línea es recomendado esperar un tiempo prudencial a manera de permitir la estabilización del sistema antes que se le transfiera la carga.
4. Una vez hecha la transferencia al sistema de distribución normal es necesario esperar un tiempo para que la unidad de emergencia pueda disipar el calor absorbido durante el periodo que estuvo operando este tiempo también es sugerido por el fabricante teniendo también un criterio propio del operador del equipo.

3.2 Circuitos de un sistema eléctrico hospitalario.

3.2.1 Circuito normal no esencial.

Sistema eléctrico normal (no es esencial en el suministro eléctrico durante un periodo determinado).El sistema eléctrico no esencial consiste en la distribución de energía eléctrica del sistema normal a cargas que no son esencialmente necesarias para la seguridad eléctrica en pacientes o para la operación del área crítica, como por ejemplo corredores no esenciales, zonas de parqueos, iluminación de rótulos exteriores o la parcialización de algunas cargas de iluminación y de fuerza en zonas que no tengan atención médica crítica.

3.2.2 Circuito ramal de vida esencial.

Sistema eléctrico de cargas esenciales: Ambos sistemas son alimentados por medio de energía del sistema normal, sin embargo, este sistema eléctrico esencial es transferido al sistema de energía auxiliar si en algún caso llega a fallar el sistema eléctrico primario(normal) se tiene el sistema de emergencia como respaldo

para suplir la alimentación al porcentaje de carga estimado. Además, esta construido de una o varias fuentes de energía, equipos de distribución y elementos que aseguren el suministro de energía a determinadas cargas que su demanda es esencial para el cuidado de pacientes y buen funcionamiento de equipos ubicados en áreas críticas. En sistemas hospitalarios el sistema esencial está subdividido por dos sistemas, el primero es el sistema de emergencia o auxiliar y el segundo es el sistema de equipos.

3.2.3 Circuito ramal emergencia.

Este sistema está constituido por dos ramas definidas, la seguridad del paciente y una rama crítica; Esta consiste en la distribución de equipos y circuitería, incluyendo transferencia automática de equipos que se requiere mantener su carga aun con la supresión de energía eléctrica, realizando la transferencia de esta a la fuente de emergencia. Todo esto según lo mencionamos antes en la referencia de la norma NFPA 99 en el capítulo uno de este documento.

Estos ramales del sistema eléctrico tienen que ser instalados y conectados al sistema auxiliar de energía y en caso de que suceda una interrupción tiene que ser restaurado para seguir funcionando dentro de un intervalo de 10 segundos después de la interrupción.

3.2.7 Circuito ramal de equipos.

Consiste primordialmente de tres etapas de distribución de equipo y circuitos, incluyendo retardos automáticos, o dispositivos de transferencia manual para el suministro de energía eléctrica a equipos esenciales para la operación efectiva de los mismos. En palabras simples alimenta equipos importantes para el funcionamiento del hospital, pero no necesariamente críticos para la seguridad de la vida o la atención de pacientes críticos. Incluye equipos de laboratorio, sistemas de refrigeración de medicamentos y otros dispositivos necesarios para el funcionamiento normal del hospital.

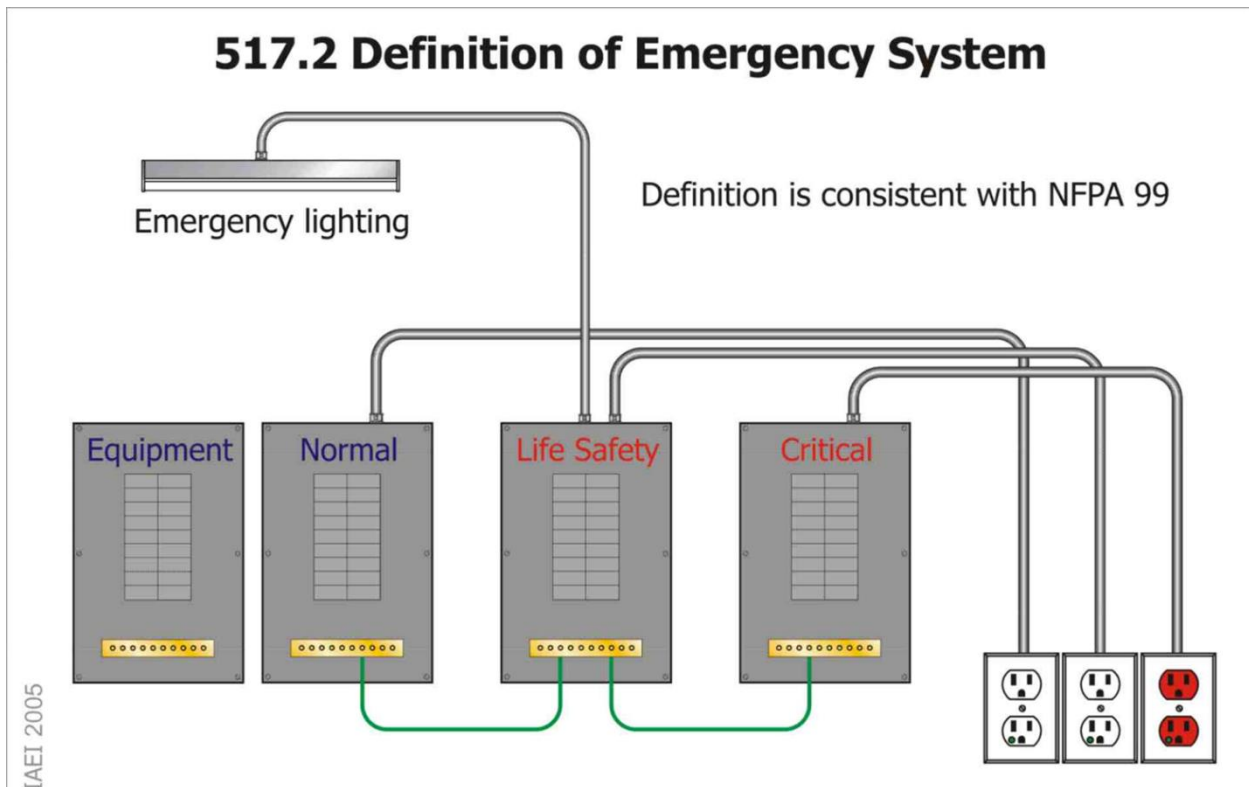


Ilustración 52 Esquema de circuitos de sistema hospitalarios.

3.3 Sistemas de Energía Aislados.

3.3.1 Sistema de Potencia Aislado (NFPA 517-160).

Instalaciones.

1). Circuitos de Energía Aislados: Cada circuito de energía aislado deberá de ser controlado por un interruptor que tenga un polo de desconexión en cada conductor de circuito aislado para desconectar la energía, simultáneamente, tal aislamiento deberá ser completado por medio de uno o más transformadores que no tengan conexión eléctrica entre alambrados primarios y secundarios en la forma de colocación de generador de motores o formas convenientes de baterías aisladas.

2). Características del Circuito: Los circuitos que suministran el primario del transformador de aislamiento debe operar a un potencial no mayor de 600 voltios entre conductores y debe ser provisto de protección contra sobre corriente apropiada. El voltaje del secundario de tal transformador no deberá exceder los 600 voltios entre conductores de cada circuito. Circuitos que son suministrados directamente por baterías o desde un motor generador debe ser aterrizado y debe ser protegido contra sobre corriente de la misma forma en el que el circuito secundario del transformador.

Si un escudo de electrostática se presenta, deberá ser conectado al punto de referencia de tierra.

3). Localización del Equipo: El transformador de aislamiento, el generador del motor, baterías y cargadores de baterías y asociados a dispositivos de protección contra sobre corriente del primario y secundario, no deberán ser instalados en áreas peligrosas (clasificadas). El alambrado del circuito aislado secundario se extiende a las áreas anestésicas peligrosas, deberán ser instalados de acuerdo con la sección 501-4 del nec.

4). Un transformador de aislamiento deberá servir más de una sala de operaciones Para el propósito de esta sección, los cuartos de inducción de anestesia son considerados parte de **las salas de operaciones**.

a). Sala de inducción. Donde un cuarto de inducción sirve a más de una sala de operación, el circuito de aislamiento de la sala de inducción deberá ser permitido que sea abastecido desde el transformador de aislamiento de cualquiera de las salas de operación por esa sala de inducción.

b). Voltajes Altos. Transformadores de aislamiento deberán ser permitidos para servir a receptáculos individuales, donde hubiese áreas de pacientes.

1. Los receptáculos son reservados para suministrar energía a equipos que requieren 150 voltios o más, tales como unidades de rayos X portátil.
2. Los receptáculos y los enchufes acartonados no son intercambiables con los receptáculos en el sistema de poder aislado local.

5). Identificación de Conductores: Los conductores de circuito aislado deberán ser identificado como a continuación se describe:

1). Conductor Aislado No. 1 – Anaranjado.

2). Conductor Aislado No. 2 – Café.

Para sistemas de 3 fases, el tercer conductor debe ser identificado como amarillo, donde los conductores de circuito aislado proveen 125 voltios, fase individual, con receptáculos de 15 y 20 amperios, el conductor anaranjado deberá ser conectado a las terminales del receptáculo que son identificados en acuerdo con las secciones 200- 10 (B) para conexión de conductor de circuitos de tierra (NEC).

6). Alambre Compuesto: Alambre compuesto que incrementa la constante del dieléctrico, no deberán ser utilizados en los conductores secundarios del suministro de energía aislado.

FPN 1: Es deseable limitar el tamaño del transformador de aislamiento a 10 KVA o menos y utilizar conductores aislados con salida baja para resolver requisitos de impedancia

FPN 2: Disminuyendo la distancia del conductor de circuito ramal y usando conductores aislados, con una tendencia del dieléctrico baja de 3.5 y aislamiento constante de resistencia, mayor de 6,100 megaohm - metros (20,000 Megaohm. Pies) a 16 0C (60 F) se reducen fugas de línea a tierra, reduciendo el peligro de la corriente.

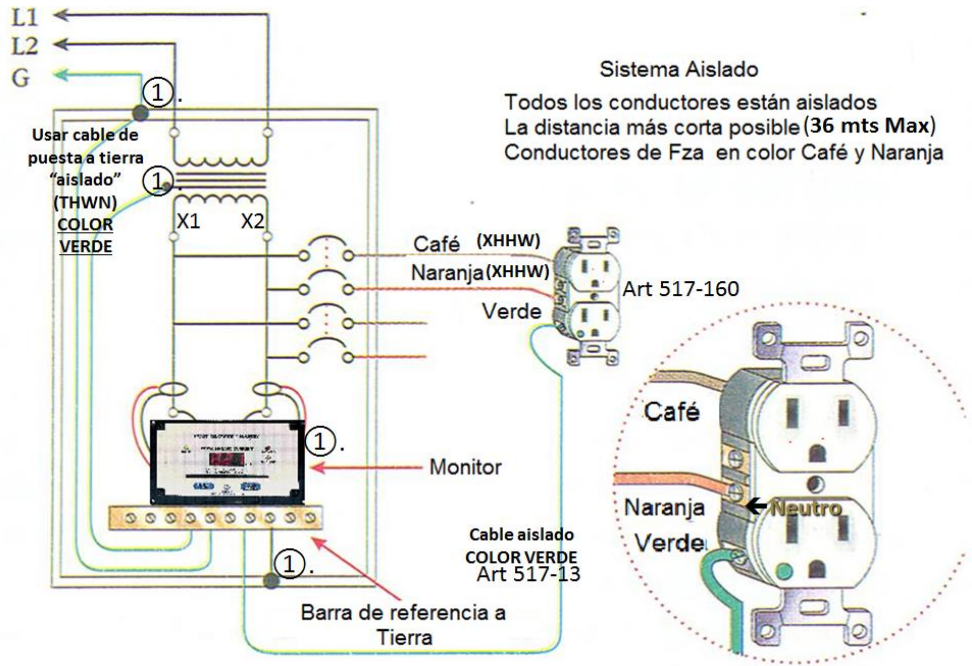


Ilustración 53 Esquema de panel de aislamiento con transformador.

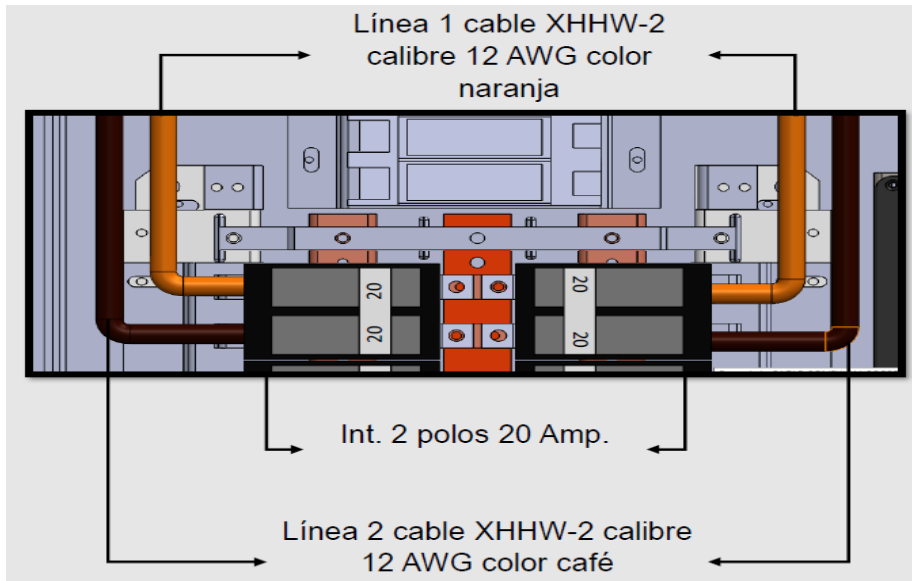


Ilustración 54 Polaridad correcta de las fases de un sistema aislado (centro de carga).

3.3.2 Módulos de Aislamiento.

Monitor de Aislamiento de Línea.

Características: En adición del uso de dispositivos de protección contra sobre corriente, cada sistema de potencia aislado deberá de ser protegido con un monitor de aislamiento de línea de operación continua que indica corrientes de peligro total.

El monitor deberá ser diseñado para que una lámpara de señal verde pueda ser ampliamente visible a las personas en cada área de servicio del sistema de energía aislado, el cual se mantiene encendido cuando el sistema está adecuadamente aislado de tierra.

Una lámpara de señal roja continua, una señal audible (si se desea remota), deberá ser energizada cuando la corriente de peligro total (consiste en posibles corrientes resistivas y corrientes capacitivas) ya sea de cualquiera de los conductores de tierra alcance el umbral de 5 mA bajo las condiciones de voltaje de línea nominal.

El monitor de línea no deberá de alarmarse por una corriente de peligro menor de 3.7 mA o por una corriente de peligro total de menos de 5 mA. 2. Impedancia: El monitor de aislamiento de línea, deberá ser designado para tener un impedimento interno suficiente tal que, cuando sea conectado apropiadamente al sistema aislado, la corriente interna máxima, que puede fluir a través del monitor de aislamiento de línea, cuando cualquier punto del sistema aislado esté aterrizado, debe ser de 1 mA, es decir, que el riesgo permitido del sistema es de 1 mA.

Se acostumbra a fijar los límites del sistema sin incluir el valor del detector. (Este requerimiento es correlativo a los requerimientos ANSI / IEEE STD 602 planteados en el capítulo 1 de este documento).

Excepción: El monitor aislado de línea debe ser permitido para ser de tipo de baja impedancia tal que la corriente fluya a través del monitor aislado de línea, cuando cualquier punto del sistema aislado sea aterrizado, no excederá dos veces el valor del umbral de alarmas por un periodo que no excede 5 milésimas de segundos.

FPN: Reducción de corriente de peligro del monitor provee esta reducción en un resultado de incremento, “no alarmarse”, umbral de valores para la corriente en peligro de falla, incrementará capacidad de circuitos.



Ilustración 55 Monitor de Aislamiento.

3.3.3 Centro de Carga Aislado.

Un Tablero de Aislamiento es un equipo electro médico que previene de micro descargas eléctricas a los pacientes y personal de la salud mientras estén sometidos a procedimientos invasivos dentro de un quirófano o sala de operación, Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), Unidades de cuidados intensivos de neonatos (UCIN) o en general cualquier área de atención crítica en clínicas, hospitales, sanatorios, centros médicos, etc.

Además, los tableros de aislamiento proporcionan un monitoreo constante de las corrientes de fuga en las instalaciones eléctricas que se alimentan desde el tablero de aislamiento hasta los equipos médicos utilizados por el personal médico. Por ejemplo: equipo de soporte de vida, lámpara quirúrgica, negatoscopio, cauters, sondas laparoscópicas, etc.

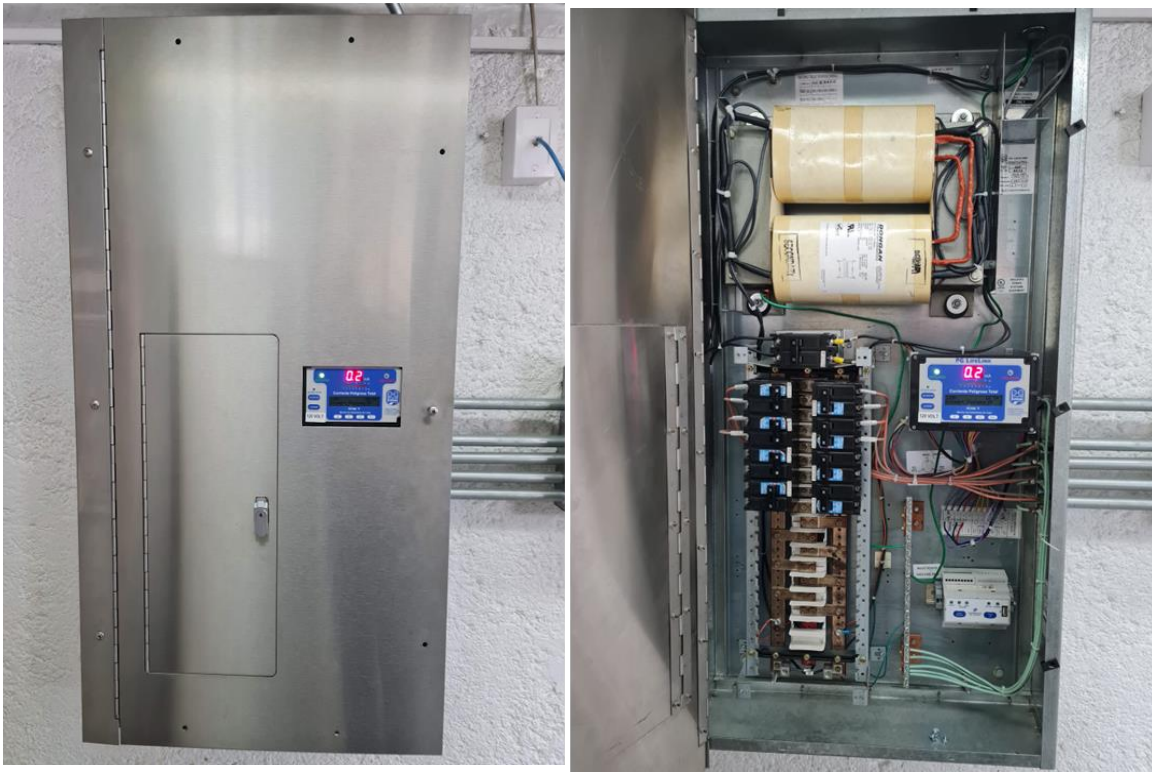


Ilustración 56 Panel de aislamiento o centro de Carga aislado

3.4 Sistemas de puesta a tierra.

El desarrollo de los equipos médicos cada vez más es más sofisticados y sensibles. Esto conlleva la necesidad de reforzar la seguridad tanto de los pacientes como de los equipos, lo que implica, entre otras cosas, la mejora de los sistemas de puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra (SPT) son componentes cada vez más cruciales en los sistemas eléctricos. Su función principal es facilitar la conducción a tierra de las cargas eléctricas generadas por rayos, electricidad estática o fallos en el sistema. Estos sistemas son esenciales para garantizar el funcionamiento d Por lo tanto, los sistemas de puesta a tierra (SPT) deben considerarse como un aspecto fundamental antes de cualquier ampliación o implementación de sistemas eléctricos, y no solo como una solución reactiva ante fallos. En las instalaciones dentro de los parámetros estándar y para proteger a pacientes, personal y equipos.

El riesgo de electrocución es mayor en los hospitales debido a la presencia de dos tipos de pacientes: aquellos que manipulan equipos eléctricos como parte de su actividad normal, cuyo umbral de peligro es de 25 mA, y aquellos sometidos a tratamientos invasivos con catéteres cardíacos, cuyo umbral de peligro

es mucho menor, desde 10 μ A. Estos últimos son denominados pacientes eléctricamente susceptibles. Se puede considerar que un paciente está conectado a tierra debido a la transpiración, la posible incontinencia y el simple hecho de estar en una cama con estructura metálica. La conexión a tierra de todos los equipos eléctricos y electrónicos es necesaria tanto por seguridad como por ser un punto de referencia del sistema. Es fundamental que exista una equipotencialidad perfecta entre todos los componentes del sistema y tierra.

Una conexión a tierra y equipotencialidad adecuadas de los componentes del sistema aseguran un funcionamiento limpio, libre de interferencias electromagnéticas y una alta confiabilidad. En el contexto hospitalario, los sistemas de puesta a tierra son un seguro de vida tangible para los pacientes. Este documento presenta los principales criterios a aplicar para los sistemas de puesta a tierra en hospitales.

Las especificaciones detalladas se fundamentan en las normativas del Código Eléctrico Nacional (NEC ART 250), el cual establece la obligatoriedad de conectar a tierra todas las partes metálicas de los equipos eléctricos y electrónicos. Esta exigencia se extiende al neutro de sus fuentes de suministro, incluyendo tableros principales, secundarios de transformadores derivados, sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), generadores, entre otros. (Ver en la Ilustración 57).

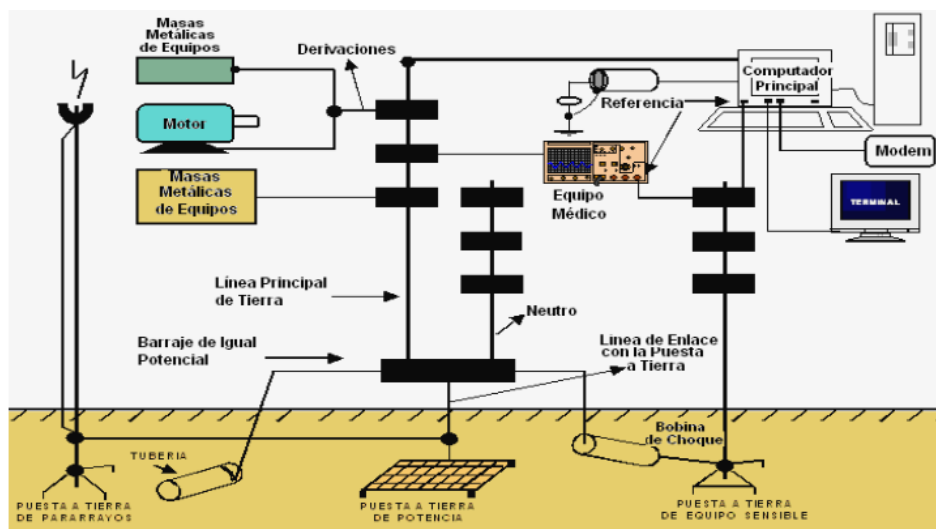


Ilustración 57 Sistema de puesta tierra de sistema médico.

3.4.1 Corrientes de fuga y falla en sistemas de tierra.

La Crucial Función del Conductor a Tierra en Sistemas Eléctricos de Tres Hilos

En los sistemas de distribución de energía que utilizan cables de tres hilos, el conductor a tierra se erige como un componente esencial para la seguridad eléctrica. Su relevancia radica en su capacidad para proporcionar una ruta de retorno de baja resistencia para las corrientes de fuga y de falla. Para garantizar su eficacia, es indispensable que las conexiones eléctricas del conductor a tierra, su estado y su capacidad de carga de corriente sean óptimos. Es importante destacar que la conexión entre el conductor a tierra y el conductor neutro se realiza exclusivamente en el panel de distribución.

Distinción entre Conductor Neutro y Conductor a Tierra y su Importancia en la Seguridad Eléctrica

Es fundamental diferenciar entre el conductor neutro, que actúa como la ruta de retorno para la corriente de línea utilizada en el funcionamiento de equipos e instrumentos, y el conductor a tierra, cuya función es proporcionar una vía de retorno para las corrientes de fuga y de falla. En este sentido, los sistemas de conexión a tierra adecuados en el sistema de distribución eléctrica son esenciales para prevenir la aparición de potenciales eléctricos entre superficies conductoras expuestas a instrumentos. La eliminación de esta diferencia de potencial es crucial para evitar el riesgo de choque eléctrico, ya que impide el flujo de corriente.

Además, es imprescindible que todos los instrumentos y aparatos estén correctamente conectados a tierra (incluyendo la carcasa del equipo) o que cuenten con doble aislamiento. En caso de producirse una falla a tierra (es decir, cuando un cable de alto voltaje entra en contacto con una superficie conectada a tierra), los dispositivos de protección contra sobre corriente no funcionarán correctamente si el equipo y sus cubiertas no están adecuadamente conectados a tierra. Esta situación puede generar potenciales eléctricos peligrosos en todas las superficies conductoras.

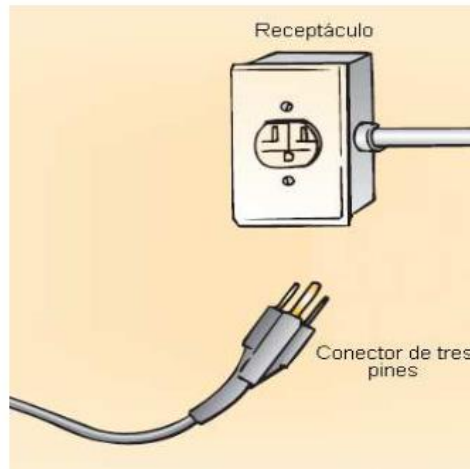


Ilustración 58 Toma corriente de tres pines.

3.4.2 Requisitos Esenciales para los Sistemas de Puesta a Tierra en Hospitales

Los sistemas de puesta a tierra en hospitales deben cumplir con una serie de exigencias importantes, entre las que destacan:

- **Redundancia:** La redundancia es la característica principal que distingue a los sistemas de puesta a tierra en hospitales de los de otras instalaciones.
- **Conexión del Neutro:** El neutro debe conectarse en un único punto, específicamente en el transformador y antes de cualquier medio de desconexión o dispositivo de protección. Esta conexión debe realizarse a través de un barraje equipotencial (BE) de cobre de 10 ft x 5/8 listada UL utilizando un conector aislado de color verde o verde-amarillo o en aplicaciones un conductor desnudo.
- **Aterrizamiento de Carcasas y Elementos:** La carcasa del transformador o de cualquier equipo, el neutro y el cable principal de tierra deben estar siempre aterrizados, sin interrupciones ni riesgo de daños.

- **Electrodos de Puesta a Tierra:** La ubicación de los electrodos debe ser lo más cercana posible al punto de conexión del neutro del sistema. Se recomienda el uso de varillas de cobre sólido de 5/8" x 2.4 m como mínimo, instaladas verticalmente en el terreno.
- **Malla de Puesta a Tierra:** La malla debe incluir al menos una caja de inspección de 0.3 x 0.3 m, equipada con una tapa de fácil acceso, diseñada según las especificaciones de la malla.
- **Conexión de Partes Metálicas:** Todas las tuberías metálicas subterráneas, la estructura metálica del edificio y los apantallamientos, si los hubiera, deben conectarse entre sí y al sistema de puesta a tierra a través del barraje equipotencial (BE). Los ductos, las bandejas de cableado y las cajas de salida deben estar rígidamente conectados a la fuente del sistema, especialmente si esta es alimentada de forma independiente. Además, se debe mantener una distancia mínima de 1.8 m entre los ductos metálicos, gabinetes, estructuras y otras partes metálicas no conductoras de corriente del equipo eléctrico y los bajantes de pararrayos, o la distancia calculada como segura. En caso contrario, deben conectarse rígidamente entre sí.
- **Control de Corrientes Errantes:** Se debe evitar la circulación de corrientes espurreas o errantes a través de los conductores de puesta a tierra de los equipos; estos conductores deben transportar únicamente las corrientes generadas por fallas a tierra.
- **Cables con Pantalla o Armadura:** Los cables tipo MC y MI deben contar con una pantalla o armadura metálica externa que sirva como trayectoria de tierra. Esto garantiza que los circuitos parciales que alimentan las áreas de atención al paciente dispongan de una trayectoria a tierra redundante, complementaria a la proporcionada por el conductor de puesta a tierra aislado.
- **Tomacorrientes:** En los espacios destinados al cuidado de pacientes, es imperativo que todos los tomacorrientes y las superficies metálicas conductoras de equipos fijos, que puedan estar energizados a tensiones superiores a 100 voltios y que sean accesibles al personal, estén conectados a tierra. Esta conexión se debe realizar mediante un conductor de cobre aislado, cuyo calibre debe

ajustarse a los valores especificados en la figura posterior, instalado junto con los conductores del circuito ramal que alimenta dichos tomacorrientes o equipos.

- Excepciones: Se permite la conexión a tierra de las tapas de salida mediante tornillos metálicos de montaje, siempre que estos aseguren la tapa a una caja de salida metálica conectada a tierra o a un dispositivo de iluminación también conectado a tierra.
- **Equipos médicos móviles:** Es esencial que las partes metálicas expuestas de los equipos portátiles, conectados mediante cables y tomas, que operen a tensiones superiores a 100 V y se utilicen en áreas de atención al paciente, estén debidamente conectadas a tierra.
- **Excepción:** Se eximen de esta exigencia aquellos equipos que cuenten con un sistema de doble aislamiento o una protección equivalente, siempre que estén debidamente certificados y marcados para indicar su condición.

Capacidad nominal de la protección en amperios	Calibres de conductores de cobre		Capacidad de corriente en falla *	Factor K **	Sobrecarga Permitida	Capacidad según tabla 310-16 ***
	AWG	kcmil				
	20	12				
30	10	10380	246	8,2	117%	35
40	10	10380	246	6,1	88%	35
60	10	10380	246	4,1	58%	35
100	8	16510	391	3,9	50%	50
200	6	26240	621	3,1	33%	65
400	3	52620	1.245	3,1	25%	100
600	1	83690	1.981	3,3	22%	130
800	1/0	105600	2.499	3,1	19%	150
1000	2/0	133100	3.150	3,2	18%	175
1200	3/0	167800	3.972	3,3	17%	200
1600	4/0	211600	5.008	3,1	14%	230
2000	250 kcmil	250000	5.917	3,0	13%	255
2500	350 kcmil	350000	8.284	3,3	12%	310
3000	400 kcmil	400000	9.467	3,2	11%	335
4000	500 kcmil	500000	11.834	3,0	10%	380
5000	700 kcmil	700000	16.568	3,3	9%	460
6000	800 kcmil	800000	18.935	3,2	8%	490

* Un amperio por cada 42,25 circular mill por cinco segundos.
 ** FACTOR K: Para calcular la capacidad de corriente en falla.
 *** Basada en 75° C para conductores de cobre.

Ilustración 59 Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

Según el NEC.

3.4.3 Impacto Negativo de la Carencia de un Sistema de Puesta a Tierra Eficaz

La ausencia de un sistema de puesta a tierra adecuado puede generar una serie de consecuencias perjudiciales para el funcionamiento y la seguridad de las instalaciones eléctricas:

- **Interrupción del Servicio Eléctrico:** La falta de puesta a tierra puede ocasionar cortes de energía intermitentes o prolongados, afectando la continuidad del suministro.
- **Incremento de Fallas Eléctricas:** Se aumenta el riesgo de fallas múltiples, incluyendo cortocircuitos entre fases y entre fases y tierra.
- **Peligro de Incendios:** La formación de arcos eléctricos, debido a la falta de puesta a tierra, puede desencadenar incendios.
- **Dificultad en la Localización de Averías:** La detección y reparación de fallas eléctricas se vuelve más compleja y prolongada.
- **Generación de Tensiones Anormales:** Se producen fluctuaciones y variaciones en la tensión eléctrica, afectando el funcionamiento de los equipos.
- **Sobretensiones en la Red Eléctrica:** El sistema eléctrico se vuelve vulnerable a sobretensiones que pueden dañar los equipos y poner en peligro a las personas.
- **Aumento de Costos:** Los problemas mencionados anteriormente pueden generar gastos adicionales por reparaciones, reemplazo de equipos y pérdida de productividad.

3.3.4 Eficacia de la Conexión a Tierra en Áreas de Atención Crítica Hospitalaria.

Las áreas de atención crítica, tales como las unidades de cuidados intensivos (UCI), las unidades de cuidados coronarios, los laboratorios de cateterización y angiografía, las salas de parto y las salas de cirugía, así como otros espacios similares donde los pacientes son sometidos a procedimientos invasivos y conectados a dispositivos electro médicos alimentados por la red eléctrica, requieren una conexión a tierra altamente eficiente.

La eficacia de la conexión a tierra se evalúa determinando que la diferencia de potencial entre dos superficies metálicas expuestas en la proximidad del paciente no exceda los 20 mV, al medir a través de una resistencia de 1000 ohmios. En consecuencia, la impedancia límite permitida entre dos superficies conductoras expuestas no debe superar los 0.2 ohmios.

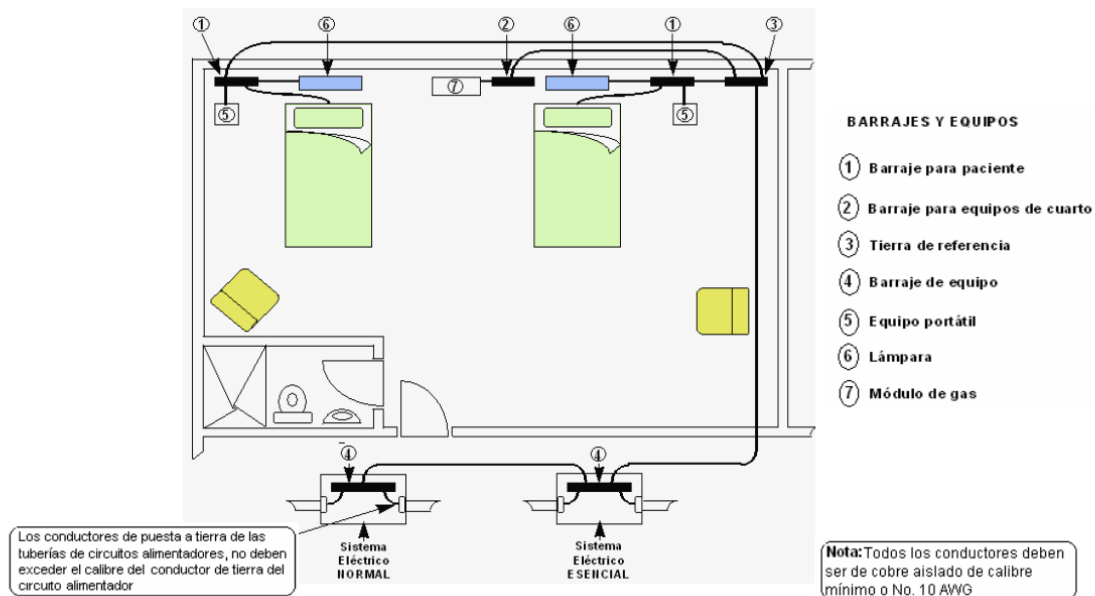


Ilustración 60 Puestas a tierra e interconexiones en el entorno de pacientes de cuidados críticos.

3.5 Cableado eléctrico

3.5.1 Canalizado y Alambrados de sistemas de equipos esenciales, ramal crítico y ramal de vida.

Requerimientos de Alambrado.

Separación de Otros Circuitos: El ramal de seguridad de la vida y ramal crítico del sistema de emergencia deberán ser mantenidos completamente independiente de otros alambrados y equipo, y éstos no deberán estar en la misma canalización, cajas o gabinetes u otros alambrados.

El alambrado del ramal de seguridad de la vida y el ramal crítico serán permitidos para ocupar las mismas canalización, cajas o gabinetes de otros circuitos que no son parte del alambrado del ramal tal como sigue:

- 1). En los contornos del equipo de transferencia o
- 2). En las salidas o instalaciones de iluminación de emergencia suministradas desde dos fuentes
- 3). En una caja en común de unión asociada a las salidas o instalaciones de iluminación de emergencia suministrada a partir de dos fuentes o
- 4). Por dos o más circuitos de emergencia suministrados desde el mismo ramal. El alambrado del sistema de equipos deberá ser permitido a ocupar la misma canalización, cajas o gabinetes de otros circuitos que no son parte del sistema de emergencia. Los circuitos Ramales de alambre múltiple suministrados por un mismo tablero (panelboard) serán permitidos según la sección 517-30 (C) (1) (4).

1. Sistema de Potencia Aislado: El sistema de potencia aislado instalado en cualquiera de las áreas descritas en las secciones 517-33 (A)(1) y 517-33 (A)(2); cada sistema deberá ser suministrado por un circuito individual que no servirá a otra carga.

2. Protección Mecánica del Sistema de Emergencia: El alambrado del sistema de emergencia de un hospital será mecánicamente protegido por la instalación de una canalización de metal no flexible y será alambrada

con un cable tipo MI. El alambrado para los sistemas de emergencia hospitalarios requiere de protección adicional que normalmente no es requerida en otras ocupaciones. Como método de alambrado para uso hospitalario, en los sistemas de emergencias, únicamente es permitido cable no flexible Tipo MI para la canalización metálica (Los circuitos de un sistema de emergencia incluyen los servicios, alimentadores y circuitos ramales). Como es descrito en la sección 517-31, un sistema de emergencia dentro de un hospital consiste en el ramal de la seguridad de la vida y ramal crítico.

Hay cinco excepciones en los requerimientos descritos anteriormente, éstos son:

Excepción 1: Los cables de potencia flexibles para aplicaciones o en la utilización de equipos conectados al sistema de emergencia no serán requeridos ni incluidos en la canalización.

Excepción 2: Los circuitos secundarios de comunicación, el transformador de potencia o los sistemas de señalización no serán requeridos en la canalización. La excepción 2 puede ser exenta para la llamada de enfermeras, los teléfonos y los circuitos de alarmas, siendo instalados en una canalización metálica. En los circuitos secundarios de los sistemas de comunicación y señalización no deberán requerir canalizaciones a menos que sea especificado en la sección 300-22.

Excepción 3: Un tubo no metálico rígido será permitido si los circuitos ramales no sirve a áreas de cuidado de pacientes y que no esté prohibido en ninguna sección del NEC. Excepción 4: En donde exista un revestimiento de concreto de no menos de 50 mm (2 pulgadas), un tubo no metálico rígido o un tubo eléctrico no metálico, serán permitidos si el circuito ramal no es servido por el área de cuidado de pacientes.

Excepción 4: La canalización de metal flexible y ensambles de cable serán permitidos para ser usados en paredes médicas prefabricadas, mobiliario de oficina o cuando sea necesario para la conexión flexible de un equipo.

3. Amperímetro: Deberá montarse un amperímetro calibrado en un lugar visible del monitor de aislamiento de línea para la corriente de peligro total del sistema (contribución de la corriente de monitor más la corriente de falla) esta deberá ser colocada en la posición de “alarma encendida”; zona aproximadamente

en la escala del centro. Los fusibles de protección del detector deben ser accesibles desde el frente del tablero.

Si uno o ambos fusibles se funden, la luz verde de “seguridad” se debe apagar en el indicador. Excepción: El monitor de aislamiento de línea será permitido ser una unidad compuesta, con una sección de detección cableada a una sección separada del panel de exhibición en la cual las funciones de la alarma o funciones de prueba estén situadas. FPN: Es deseable colocar el amperímetro de tal forma que éste sea visible para el personal en el área de anestesiología.

3.5.2 Cableado eléctrico en áreas de peligro.

Áreas Peligrosas de Anestesiología

1. Métodos de Alambrado: El alambrado sobre las áreas de peligro referidas a la sección 517-60, deberán de ser instaladas en conductores de metal rígido, tuberías metálicas eléctricas, conductores de metal intermedio, cable tipo MI o CA que emplea una funda de metal continua de gas y vaporización.

2. Recinto del Equipo: Instalar equipos que puedan producir arco, chispas o partículas calientes de metal, tales como lámparas, apoyo de lámparas fijas, interruptores, generadores, motores u otros equipos que tengan contacto deslizante deben estar totalmente encerrados o de ser construido para la prevención de escape de chispas o partículas de metal caliente.

Excepción: Receptáculos montados sobre la pared y que se encuentren en áreas peligrosas (clasificadas) en locales con anestésicos inflamables, no deberán de ser requeridos para su encierro total o tener aberturas de protección o defensas que prevengan la dispersión de partículas.

3.Luminarias (Accesorio de Iluminación): Quirúrgicos y otros accesorios de iluminación deberán de ajustarse a la sección 501-9(B).

Excepción 1: Las limitaciones de temperatura de las superficies dispuestas en la sección 501-9 (B) (2) no deben aplicar.

Excepción 2: Interruptores pendientes o integrales que estén localizados sobre y que no puedan bajarse a las áreas de peligro no se requerirá que sean a prueba de explosión.

4. Sellos: Tipos de sellos aprobados serán provistos conforme a la sección 505-5 y 501-5 (A) (4), debe aplicar tanto para unión horizontal como vertical de los locales (clasificados) peligrosos definidos.

5. Receptáculos y Conectores Accesorio: Receptáculos y conectores accesorio-localizados sobre áreas de peligro de anestesiología deberán de clasificarse para el uso hospitalario, para servicios prescritos de voltaje, frecuencia, clasificación y números de conductores con provisión de un conductor para tierra. Estos requerimientos deberán aplicarse a los receptáculos de 2 polos, 3 alambres de tipo aterrizados para una fase del servicio AC de 120 AC nominal.

6. Receptáculo de 250 voltios y Conectores accesorio de 50 y 60 Amperios: Los receptáculos y conectores de 250 voltios para conexiones de 50 – 60 Amperios ac para equipo médico de uso en áreas peligrosas (clasificadas) deben hacerse arreglo de tal forma los receptáculos de 60 amperios puedan aceptar conectores de 50 o 60 amperios; los tomas de 50 amperios deben estar diseñados de tal forma que no acepten conectores de 60 amperios. El conector debe ser de 2 polos, 3 alambres con un tercer contacto conectado al conductor tierra aislado (tira verde o la rayada con verde y amarillo) del sistema eléctrico.

3.6 Sistema de iluminación.

3.6.1 El Papel Fundamental de la Iluminación en el Entorno Hospitalario

La creación de un ambiente hospitalario armonioso es crucial para el bienestar de pacientes y personal médico. En este contexto, la iluminación, tanto natural como artificial, desempeña un papel esencial.

Impacto en la Salud y el Bienestar.

La luz ejerce una influencia significativa en la salud visual, emocional y biológica de las personas. Una iluminación adecuada puede mejorar el rendimiento en las tareas, reducir la sensación de fatiga y regular hormonas, influyendo positivamente en el ritmo circadiano.

Consideraciones Energéticas.

Por otro lado, la iluminación en hospitales representa un consumo energético considerable, lo que requiere una gestión eficiente para minimizar el impacto ambiental y económico.

La Iluminación como Factor Clave en la Experiencia Hospitalaria

La iluminación en hospitales y centros de salud ejerce una influencia considerable en las percepciones y sensaciones de todos los usuarios, ya sean pacientes, profesionales de la salud o visitantes. Por esta razón, se diseñan proyectos de iluminación personalizados para estas instalaciones, incorporando las últimas innovaciones y tecnologías disponibles. Además, se prioriza la maximización del aprovechamiento de la luz natural en todas las áreas hospitalarias.

La Influencia de la Iluminación en la Recuperación y Eficiencia Hospitalaria

Un diseño de iluminación adecuado puede tener un impacto significativo en la recuperación de los pacientes y en la eficiencia del personal hospitalario. Al desarrollar un proyecto de iluminación para un hospital o centro médico, es esencial considerar las características y requisitos específicos de cada área. Las diversas tareas que se realizan en un entorno hospitalario exigen un tratamiento de iluminación especializado, adaptado a las necesidades de cada espacio.

3.6.2 Parámetros de iluminación según Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014.

El nivel de iluminación debe fijarse en función del tipo de tarea a realizar todo esto debidos a la agudeza o exigencia visual que la tarea demande, aquí expresamos un concepto denominado iluminancia este concepto es considerado en un área en dos planos el cual es el plano vertical y el plano horizontal.

En el plano horizontal la iluminancia está definida por el valor medio de la suma de puntos el número de mínimo de puntos esta denominado por un índice de medición local (k) y de la obtención de un reparto o distribución cuadrículado simétrico.

Donde **k** es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

Este factor se puede calcular con la siguiente función matemática:

$$K = L \times \frac{A}{H} \times (L + A)$$

Donde:

L = Longitud del local

A = Anchura del local

H = Distancia del plano de trabajo a la luminaria

El número de puntos mínimo es: $K < 1 = 4$ puntos $K \geq 1$ y $< 2 = 9$ puntos $K \geq 2$ y $< 3 = 16$ puntos $K \geq 3 = 25$ puntos.

Cuando mencionamos puntos la norma se refiere a puntos de iluminación o luminarias a instalar. En el plano vertical la iluminancia media está definida por el valor medio del sumatorio de puntos. El número mínimo de puntos a considerar será función de la actividad a la que este dedicada la superficie y de la obtención de una distribución en malla o cuadrículado o de la forma más simétrica posible.

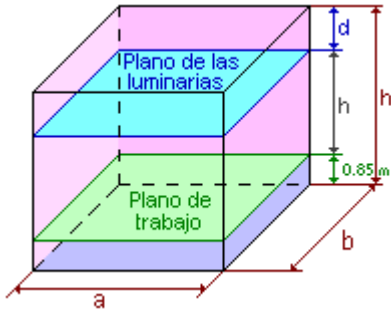


Ilustración 61 Modelo de 3D de planos de Luminaria y de trabajo.

Los parámetros de iluminación recomendados para instalaciones hospitalarias y centros de atención médica en la norma mexicana NOM-025-SSA-2014 establece que se deben cumplir los siguientes lineamientos:

i. Iluminación General: La intensidad luminosa que se recomienda en un área general es del al menos 300 lux en áreas de circulación y 500 lux por lo mínimo en áreas de trabajo. Todo esto con una temperatura de color de 4000 Kelvin para una iluminación neutra y cómoda.

ii. Iluminación de consultorios y salas de exámenes: La intensidad luminosa para consultorios y salas de exámenes, se debe proporcionar una iluminación de al menos 500 lux, con control de deslumbramiento de evitarse el deslumbramiento en las superficies de trabajo y las pantallas de equipos médicos. Todo esto con una temperatura de color de 6000 Kelvin para una iluminación neutra y cómoda al ojo humano.

iii. Iluminación de áreas quirúrgicas: La intensidad luminosa en áreas quirúrgicas debe de ser de al menos 1000 lux en la zona de trabajo, en este tipo de iluminación también debemos considerar que sea una iluminación de alta calidad con estándares de iluminación quirúrgica que proporcionen luz homogénea y sin sombras.

iv. Iluminación de áreas de trabajo clínico: La intensidad luminosa en áreas de laboratorios clínicos, farmacias y otras áreas de trabajo clínico, se debe proporcionar una iluminación adecuada según las actividades específicas realizadas, las luminancias de las paredes y techo. Estas deberían de ser al menos al 200 lux para la mayoría de las superficies.

v. Iluminación de áreas de pacientes: La intensidad luminosa en áreas de pacientes se recomienda de al menos de 200 lux como mínimo para proporcionar un ambiente confortable, esta iluminación debe adaptarse o ser controlada para ajustar a la necesidad del paciente se deben instalar luminarias dimerizables con su control de intensidad o dimmer.

La presencia de luminarias con fuentes de luz no apantalladas aumenta la fatiga visual y el estrés. Como limite el paciente no debe estar expuesto a luminancias mayores de 750 cd/m². La iluminación directa causa deslumbramiento directo al paciente y una falta de confort por el elevado contraste entre las paredes y el techo, sin embargo, la iluminación indirecta evita el deslumbramiento directo al paciente y crea contrastes más confortables.



Ilustración 62 Luminaria de cabecera estación de encamillado de paciente.

Se recomienda instalar un control de la iluminación al costado de la cama para que el paciente pueda manipular según su necesidad la iluminación de cabecera de la cama que sea regulable de forma accesible para el paciente un mínimo de 300 lux es recomendado sería un confort.

vi. Iluminación de áreas de reconocimiento y vigilancia: La iluminación para el reconocimiento y tratamiento un mínimo de 1000 lux es recomendado según la norma NOM, otra iluminación esencial es la iluminación de vigilancia del paciente se recomienda que sea de 5 lux en la habitación, para esta aplicación se sugiere usar luminarias empotradas en pared a una baja altura.

3.6.3 Iluminación Óptima para Salas de Rehabilitación.

En las salas de rehabilitación, la iluminación juega un papel crucial en la promoción del bienestar emocional del paciente, lo que a su vez puede aumentar su motivación para participar activamente en los ejercicios de rehabilitación. Desde nuestra experiencia, recomendamos la implementación de una iluminación intermedia de aproximadamente 300 lux, utilizando tonos neutros para crear un ambiente agradable y, sobre todo, funcional.

3.6.4 Iluminación Adecuada para Áreas Administrativas y Oficinas Hospitalarias

En las áreas administrativas y oficinas de hospitales, se requiere un nivel de iluminación intermedio y uniforme, idealmente alrededor de 500 lux, utilizando tonos neutros y luminarias de baja luminancia. Este enfoque busca minimizar los reflejos en las pantallas de ordenadores y otros dispositivos electrónicos utilizados durante la jornada laboral.

3.6.4 Iluminación Crítica en Quirófanos: Precisión y Adaptación Visual

La luminaria para las mesas de operaciones puede ser desde 100,000 lux. Para evitar problemas de adaptación visual, es recomendable establecer dos niveles de iluminación; uno de 2,000 lux en los alrededores de la mesa de operaciones y otro de unos 1,000 lux en toda la sala. Los 2,000 lux de las cercanías de la mesa se pueden conseguir con dos líneas de luminarias asimétricas a ambos lados de la mesa.

La temperatura de color de las lámparas debe estar 4,000 k y 5,000 k para evitar una excesiva exposición de los tejidos el paciente calor, no debe exceder de 170 lm/W para asegurar una irradiancia de 600W/m² para una iluminancia de 100,000 lux.



Ilustración 63 Quirófano iluminado correctamente.

3.6.5 Iluminación Adaptable en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI)

En las salas de UCI, la optimización del entorno lumínico es esencial para facilitar el trabajo del personal médico. Para lograrlo, se recomienda la implementación de un sistema de iluminación que permita ajustar los niveles lumínicos según las necesidades específicas de cada situación.

Se sugiere una iluminación general de 100 lux para garantizar el confort visual en toda la sala. En el área alrededor de la cama del paciente, se recomienda aumentar la intensidad a 300 lux para permitir una evaluación detallada del paciente. En situaciones de emergencia o durante exámenes más exhaustivos, se puede incrementar la intensidad hasta 2000 lux.



Ilustración 64 UCI iluminada correctamente con luz limpia.

CAPITULO #4: “Estudio de Normas y Estándares aplicados por medio de organismos regulatorios del sector eléctrico para instalaciones eléctricas en infraestructuras hospitalarias en El Salvador.

4.1 Visibilidad técnica sobre la demanda energética de la red de hospitales en El Salvador.

Según los datos del mercado eléctrico el sector público es un gran representante en la demanda de energía del país; el sector público representa 6% consumo primario y está muy cerca del 10% del consumo total de la electricidad, en términos numéricos de la demanda del sector público ,el 20% de la energía la consume el instituto salvadoreño del seguro social(ISSS) y el 18% lo consume el ministerio de salud, lo cual nos indica que el sector salud es un fuerte representante el sector eléctrico del país por lo tanto se debe poner mucha atención en todos los flancos que rodean el diseño y construcción de hospitales.

La red de hospitales nacionales de El Salvador se divide en tres niveles de atención: hospitales nacionales generales, hospitales nacionales regionales y hospitales nacionales especializados.

Hospitales Nacionales Generales: Son hospitales de primer nivel que brindan atención ambulatoria y de emergencia en las especialidades básicas: medicina interna, cirugía general, pediatría y ginecoobstetricia son los hospitales con mayor inversión y demanda con respecto a los servicios de la salud. Algunos ejemplos son:

- Hospital Nacional de Chalchuapa
- Hospital Nacional de Ilobasco
- Hospital Nacional de Jiquilisco
- Hospital Nacional de La Mujer "Dra. María Isabel Rodríguez"

- Hospital Nacional "Dr. Héctor Hernández Flores" (San Francisco Gotera)
- Hospital Nacional "Monseñor Óscar Arnulfo Romero y Galdámez" (Ciudad Barrios)
- Hospital Nacional Dr. José Antonio Saldaña (San Marcos, San Salvador)

Hospitales Nacionales Regionales: Son hospitales de segundo nivel que ofrecen atención especializada en las cuatro especialidades básicas, además de atención ambulatoria, emergencias y hospitalización. También atienden a pacientes referidos de los hospitales nacionales generales de su área estos hospitales con respecto a inversión y demanda son un poco más limitados con respecto a los hospitales regionales. Algunos ejemplos son:

- Hospital Nacional Regional "San Juan de Dios", Santa Ana: Es el principal hospital de referencia para la Región Occidental (Ahuachapán, Santa Ana, Sonsonate).
- Hospital Nacional General "San Rafael", Santa Tecla, La Libertad: Aunque está en La Libertad, su cercanía a San Salvador y su tamaño lo hacen un punto de referencia importante para la región central.
- Hospital Nacional San Juan de Dios de San Miguel: Es el hospital más grande y de mayor referencia en la Región Oriental (San Miguel, Usulután, Morazán, La Unión).
- Hospital Nacional "Santa Teresa", Zacatecoluca, La Paz: Es un centro importante para la región Paracentral.
- Hospital Nacional Rosales: Hospital de referencia nacional para múltiples especialidades médicas y quirúrgicas de alta complejidad.
- Hospital Nacional de Niños "Benjamín Bloom": Principal hospital pediátrico del país.
- Hospital Nacional de la Mujer "Dra. María Isabel Rodríguez": Principal hospital especializado en atención a la mujer.

- Hospital El Salvador: Aunque inicialmente concebido para la atención de la pandemia, se ha consolidado como un hospital de referencia para diversas atenciones.

A continuación, se muestran los perfiles de demanda de potencia activa de algunos de los hospitales principales de la red de hospitales.

4.1.1 Perfil de demanda eléctrica de El Hospital nacional Benjamín Bloom.

Perfil de subestación #1 de 1125 kVA:

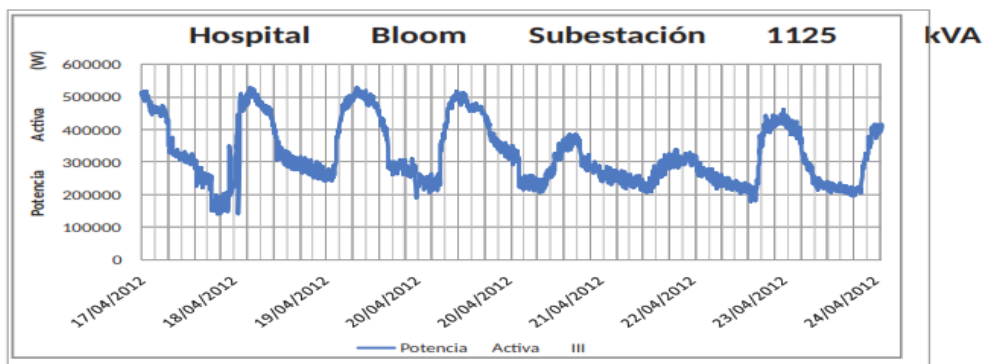


Ilustración 65 Perfil de Demanda Potencia Activa subestación #1 HNBB

Perfil de demanda de subestación #2 de Hospital Nacional benjamín Bloom:

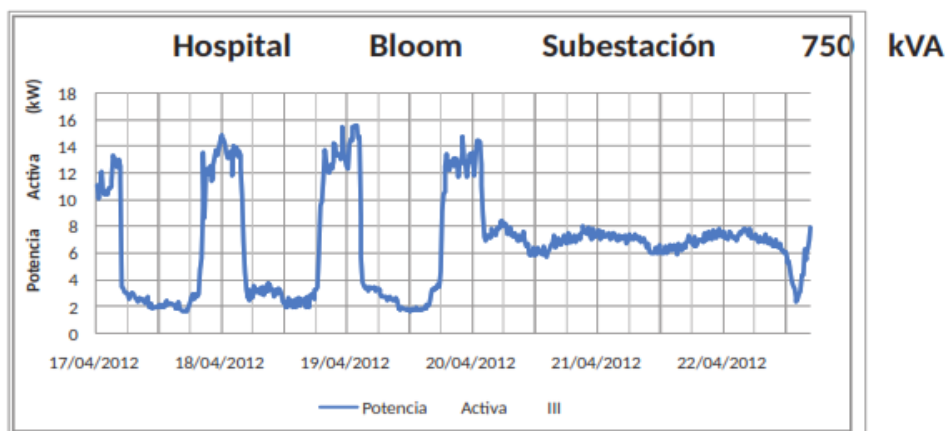


Ilustración 66 Perfil de Demanda Potencia Activa subestación #2 HNBB

Del total de la energía eléctrica consumida en el hospital el 43.6% se consume en el sistema de acondicionamiento ambiental del hospital, el 23.5% en el sistema de iluminación, el 17.8% en motores de equipos industriales y el restante 15.1% se consume entre equipos médicos, otras cargas, tales como equipos de oficina y refrigeradores y pérdidas eléctricas además se consume el 3.3% en equipos médicos.

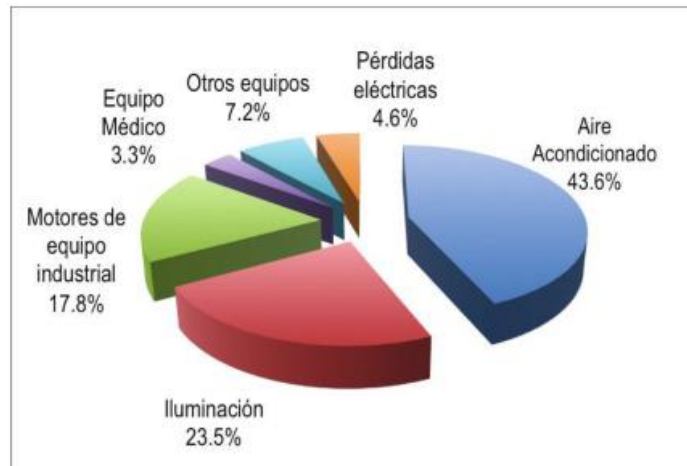


Ilustración 67 Balance energético de Hospital Nacional Benjamín Bloom.

4.1.2 Perfil de demanda eléctrica de El Hospital nacional de Santa Ana.

Perfil de demanda de subestación #1 de Hospital Nacional de Santa Ana:

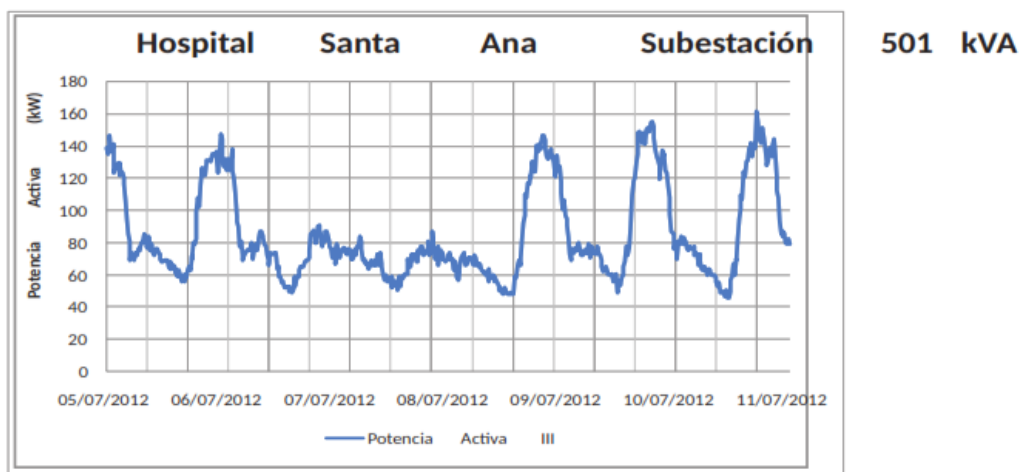


Ilustración 68 Perfil de Demanda Potencia Activa subestación #1 HNSA

Perfil de demanda de subestación #2 de Hospital Nacional Santa Ana:

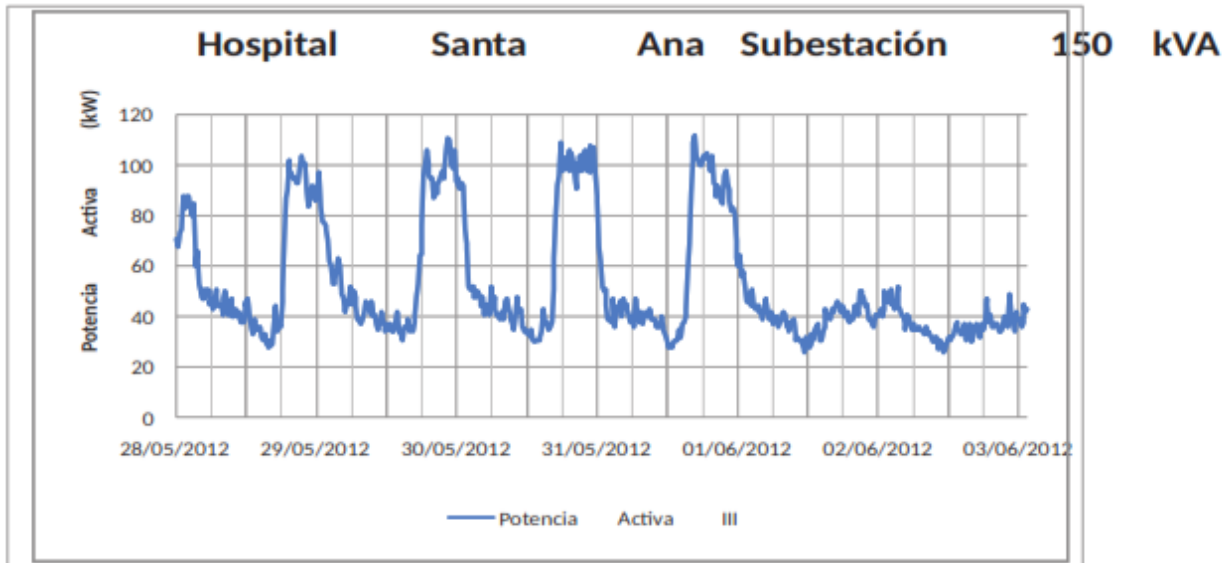


Ilustración 69 Perfil de Demanda Potencia Activa subestación #2 HNSA

Del total de la energía eléctrica consumida en el hospital nacional de Santa Ana, el 34.1% se consume en el sistema de acondicionamiento ambiental del hospital, el 25.2% en el sistema de iluminación, el 16.4% en motores de equipos industriales y el restante 24.3% se consume entre equipos médicos, otras cargas, tales como equipos de oficina y refrigeradores, y pérdidas eléctricas.

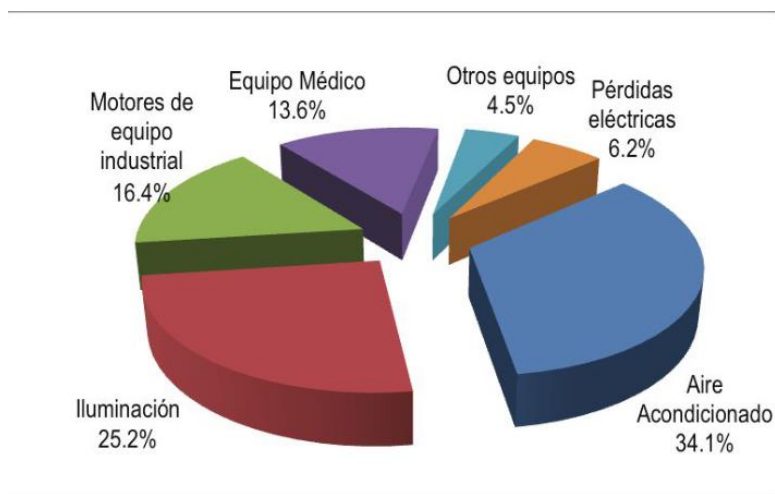


Ilustración 70 Balance energético de Hospital Nacional de Santa Ana.

4.1.4 Perfil de demanda eléctrica de El Hospital nacional de Sonsonate.

Perfil de demanda de subestación #1 de Hospital Nacional Sonsonate:

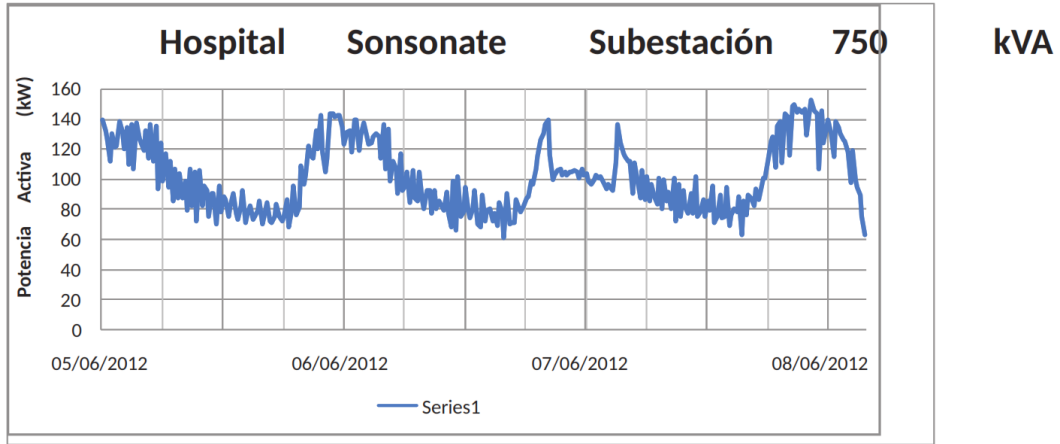


Ilustración 71 Perfil de Demanda Potencia Actica subestación #1 HNS

Perfil de demanda de subestación #2 de Hospital Nacional Sonsonate:

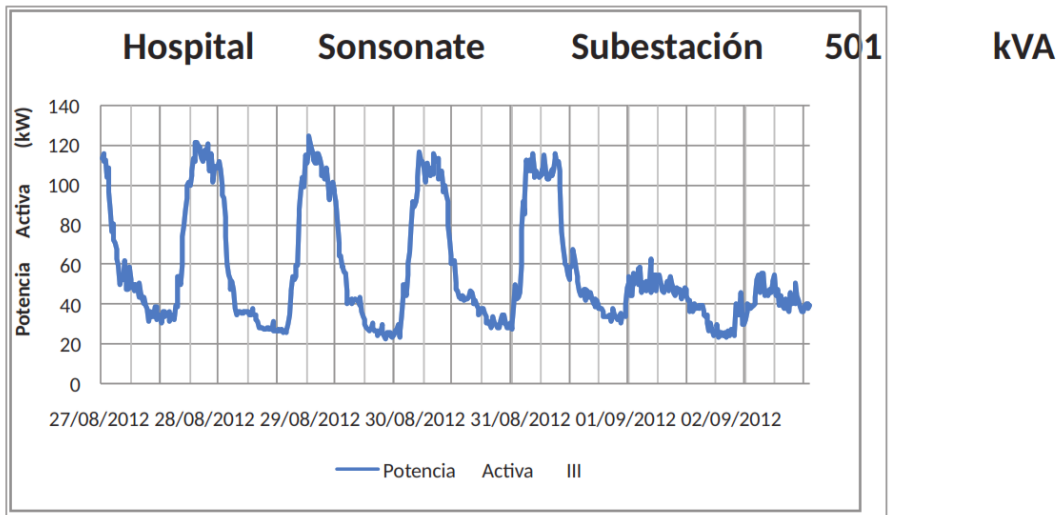


Ilustración 72 Perfil de Demanda Potencia Actica subestación #2 HNS

Del total de la energía eléctrica consumida en el hospital nacional de Sonsonate, el 44.4% se consume en el sistema de acondicionamiento ambiental del hospital, el 22.2% en el sistema de iluminación, el 8.2% en

motores de equipos industriales y el restante 25.2% se consume entre equipos médicos, otras cargas, tales como equipos de oficina y refrigeradores, y pérdidas eléctricas.

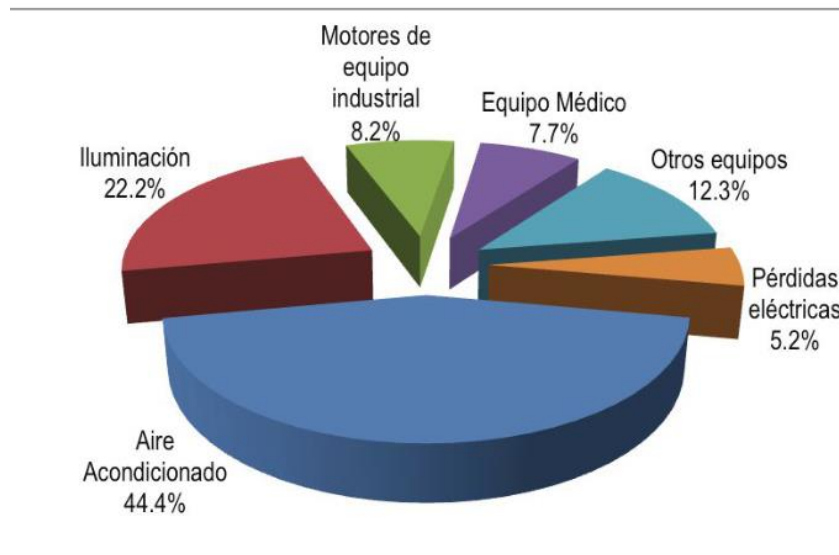


Ilustración 73 Balance energético de Hospital Nacional de Sonsonate.

En los hospitales, el mayor consumo energético se concentra principalmente en los sistemas de aire acondicionado y en la iluminación. Esto se debe a que las instalaciones hospitalarias requieren condiciones ambientales estrictamente controladas para garantizar la comodidad y seguridad de los pacientes, así como el correcto funcionamiento de equipos médicos sensibles. Asimismo, la iluminación debe ser constante, eficiente y adecuada en todas las áreas, lo que incrementa significativamente el uso de energía. Por tanto, estos dos sistemas representan los principales focos de demanda energética dentro de los centros hospitalarios.

Por esta razón, tanto el sistema de aire acondicionado como la iluminación deben ser considerados con especial atención durante el diseño de ingeniería de una instalación eléctrica hospitalaria. Su alta demanda energética implica la necesidad de una planificación detallada que garantice eficiencia, seguridad y continuidad del servicio, especialmente en áreas críticas. Un diseño adecuado no solo debe prever la capacidad instalada necesaria, sino también incorporar soluciones tecnológicas que optimicen el consumo y aseguren el cumplimiento de las normativas vigentes en el sector salud.

4.1.5 Normativas técnicas autorizadas en El Salvador para el diseño de instalaciones eléctricas en Hospitales.

En la actualidad en nuestro país no existe una norma sólida para estandarizar la seguridad y correcta ejecución de instalaciones eléctricas en hospitales o centros de atención de salud. Las construcciones parten de la consideración de normas internacionales que son exigibles a los diferentes contratistas, sin embargo, de parte del regulador no hay una definición de una normativa que permita consolidar los aspectos relevantes que deberían ser considerados a la hora del desarrollo de una construcción hospitalaria.

Entendiendo todo esto, identificamos la necesidad de tener una guía técnica que determine como ejecutar las diferentes instalaciones hospitalarias. Actualmente la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) ha autorizado las siguientes normas relacionadas a las instalaciones eléctricas:

1. Norma de calidad del servicio para los sistemas de distribución de energía eléctrica.
2. Estándares de construcción de líneas aéreas y sub terrenas de distribución
3. Normas sobre conexiones y reconexiones del servicio eléctrico.

Asimismo, se ha adoptado en nuestro país la norma internacional NFPA 70 o mejor conocida como NEC (Código Nacional eléctrico). Los organismos de inspección acreditados llamado OIA se encargan por evaluar las conformidades o no conformidades de las instalaciones eléctricas en Media y Baja tensión en base las leyes vigentes en El Salvador. Estas nacieron en base a los Acuerdos No. 387-E-2018 y No. 169-E-2021 de SIGET las cuales faculto a estos organismos mediante el Organismo Salvadoreño de Acreditación, en sus facultades como entes de inspección.

deles importante mencionar que actualmente el MINSAL considera una guía interna para la ejecución de proyectos que incluyan remodelación o construcción de inmuebles hospitalarios en donde se exigen las

siguientes normas: NEC (Código Nacional Eléctrico de los Estados Unidos), NFPA (Normas de la Asociación para la protección contra el fuego de los Estados Unidos), NEMA, ASA, entre otras.

NORMATIVA DE REFERENCIA.

Reglamentos:

ANSI - American National Standard Institute.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and air Conditioning Engineers.

ASME - The American Society of Mechanical Engineers.

AHRI - Air Conditioning Heating and Refrigeration Institute.

ASTM - American Society for Testing and Materials.

NFPA - National Fire Protection Association.

NSF - National Sanitation Foundation.

UL - Underwriters Laboratories Inc.

ASA - Asociación Americana de Estándares. EEUU.

NPC - National Plumbing code.

AWG - American Wire Gauge.

ASA - American Standars Association.

UNE 60.204 - Asociación Española de Normalización.

ISO 13849 -1: 2006 - Organización Internacional de Normalización.

NOM - 053 - SCFI - 2000 - Normas Oficiales Mexicanas.

National Electrical Code (NEC), o NFPA 70.

Normas:

ASHRAE Norma 52,1. Determinación de eficiencia. Prueba mancha de polvo.

UL. Norma para filtro Clase I y Clase II.

NFPA 90A - 2018, (National Fire Protection Agency); Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems.

En el cumplimiento de las buenas prácticas y no solo del diseño de una instalación eléctrica de tipo hospitalario en la ejecución también se deben respetar las normativas s primordiales de NEC (NFPA 70), el cual en nuestro país es un código obligatorio de cumplir en las diferentes etapas de una instalación eléctrica. Además, deben considerarse las normas NFPA 99 y IEC que son dedicadas en el buen diseño de una instalación eléctrica de tipo hospitalario. Cabe también mencionar la aplicación de normas técnicas como lo son las normas UL para calibración o características físicas de materiales empleados en la construcción de las instalaciones eléctricas.

Respecto a los organismos reguladores de las buenas prácticas de diseño y construcción de una instalación eléctrica hospitalaria estos evalúan la aplicación del código nacional eléctrico (NEC) , también inspeccionan que se cumplan los diferentes acuerdos que dictamina la Superintendencia de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET),.

A continuación, se presenta un caso de estudio de cómo se desarrollaron las instalaciones eléctricas de un hospital en el país:

Fuente primaria de energía(red).

La fuente de alimentación de la red principal fue considerada como punto inicial, la construcción de una línea de media tensión subterráneas aplicando los estándares de construcción de líneas subterránea de media tensión que determina la SIGET como lo son los tipos de pozo las especificaciones del canalizado, señalización, etc.

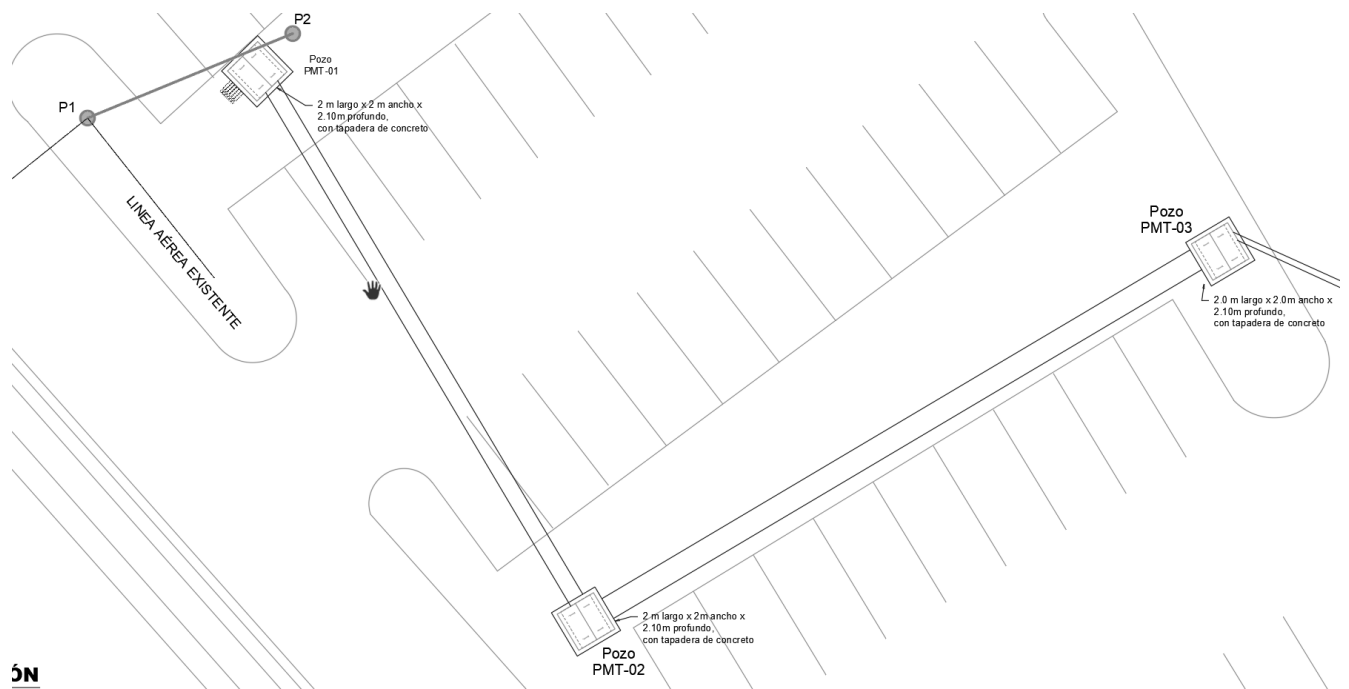


Ilustración 74 Línea de Media tensión Aéreo-Sub terracea.

Subestación.

Como segundo punto la subestación compacta con la configuración Delta / Estrella de 300 kVA conforme a la norma IEEE 602 y el NEC . En este caso la configuración en estrella es aterrizada ya que la configuración en delta en el primario aísla toda corriente de falla posible generada en el lado de alta tensión y la conexión en estrella en el secundario nos ayuda a tener un sistema balanceado de cargas y una conexión del neutro solida a tierra.

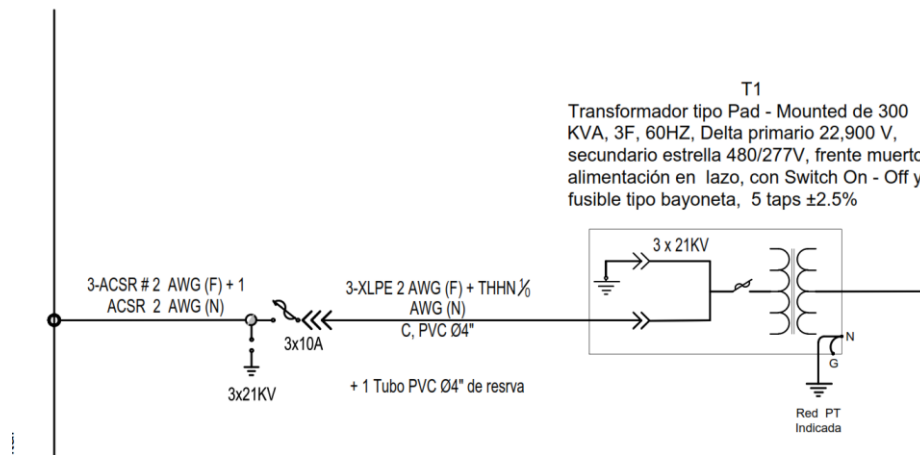


Ilustración 75 Fuente principal de energía en proyecto en hospital .

Fuentes de energía de Respaldo.

Una de las fuentes alternas de respaldo del sistema eléctrico que alimenta la unidad de resonancia magnética es un generador que funciona a través de la transmisión de energía electromecánica de su eje impulsado por combustión de combustible Diesel; las características de este generador son: capacidad 300 kVA, modo stand by entrada inmediata en la ausencia del servicio eléctrico, 7 horas de autonomía en su tanque, con silenciador grado hospitalario de 8 dB como lo estipula la norma IEEE 602, cumpliendo con el criterio que la contaminación auditiva por sistemas electromecánicos como lo son los generadores no debe ser mayor a 8 dB. En este proyecto puntual el generador cubre el 100% de la demanda por la complejidad del proyecto

un sistema de resonancia magnético tiene que estar en emergencia el 100% de sus sistemas, como controles, salas de operadores, salas de preparación entre otras.

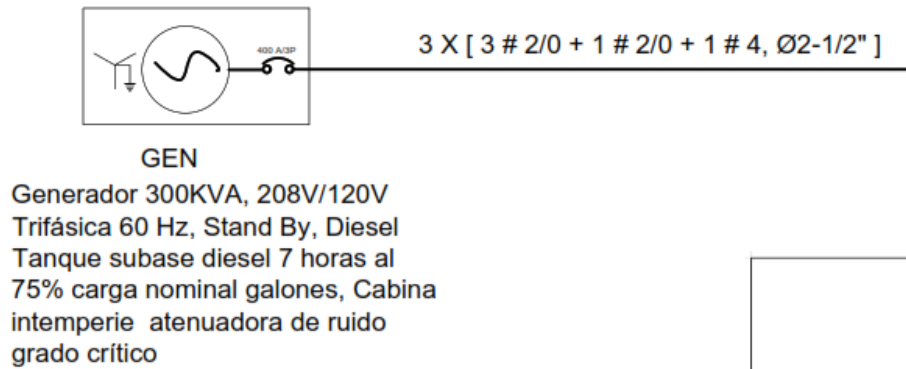


Ilustración 76 Fuente de energía de emergencia en proyecto RM en hospital san juan de Dios

Como segunda fuente de respaldo tenemos un UPS de 160 kVA dimensionado para soportar la carga directa del equipo de resonancia magnética en el diagrama unifilar está representado por el nombre de tablero RV. Este tablero alimenta el centro de enfriamiento de la resonancia crucial para su funcionamiento, un chiller modular de agua destilada que enfría un compresor de helio y alimenta todos los sistemas eléctricos que están dentro y fuera de una jaula de Faraday que contiene la resonancia magnética. Estos sistemas nunca pueden perder el suministro de energía eléctrica cumpliendo con el criterio de la norma NFPA y la norma IEC 60364-7-710, siendo parte de la categoría vital o categoría I la cual el intervalo de duración de una interrupción del sistema no debe exceder 0.5 segundos.

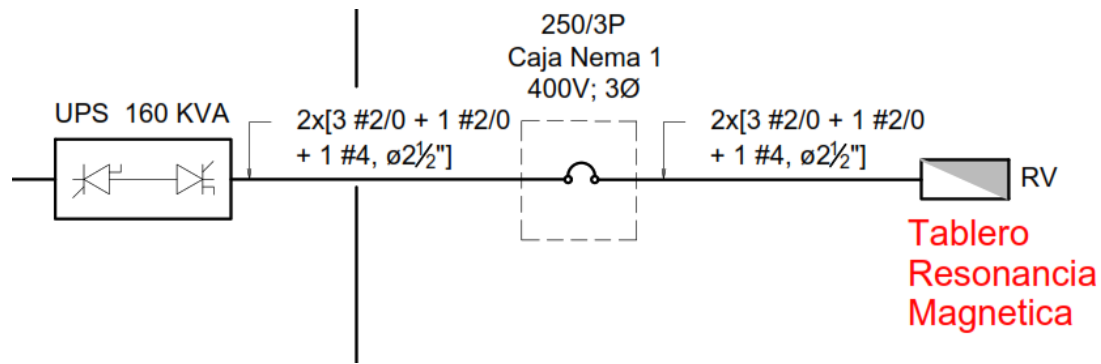


Ilustración 77 Fuente de energía ininterrumpida en proyecto RM en hospital san juan de Dios.

Como tercera fuente de alimentación de emergencia tenemos un UPS de 3 KVA que alimenta los sistemas de señales débiles, como lo son sistemas de detección de incendio, sistemas de perifoneo, sistemas de internet como Acces Point, sistemas de cámaras, controles de acceso y algunos toma corrientes dedicados en áreas de preparación de pacientes y recepción. Este diseño es en consecuencia de lo que establece la norma IEEE 602 para el respaldo de los sistemas de señales débiles donde se hace mención que para el funcionamiento y seguridad del inmueble los sistemas de señales débiles son cruciales para poder mantener la seguridad y funcionamiento de todos los demás sistemas los pueden garantizar vidas en muchos escenarios de peligro.

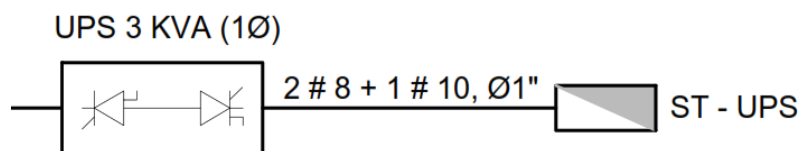


Ilustración 78 Fuente de energía ininterrumpida en proyecto RM en hospital san juan de Dios.

Sistema de Transferencia.

En este sistema solo se cuenta con una transferencia automática considerando el criterio de la categoría de instalación pequeña según el Art 517 del NEC, sin embargo si consideramos la norma IEEE 602, esta instalación debería contar como mínimo con dos transferencias, ya que su subestación o carga demanda más de 150 KVA,

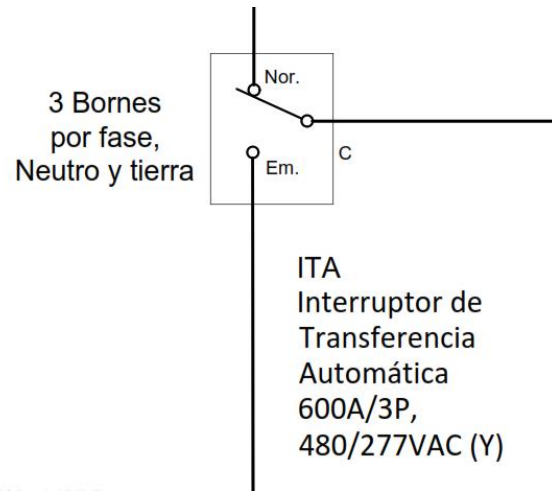


Ilustración 79 Transferencia automática en proyecto RM en hospital san juan de Dios.



Ilustración 80 Resonancia Magnética en Hospital .

Capitulo #5 Factibilidad de aplicación de las normas de diseño para instalaciones hospitalarias eléctricas de Latinoamérica en El Salvador.

5.1 Análisis comparativo de normas aplicabilidad Estratégica de Normativas Eléctricas Internacionales en El Salvador para Infraestructura de Atención Médica.

Habiendo estudiado todas las normas presentadas en los capítulos anteriores, podemos hacer la siguiente comparación, considerando localmente los criterios o normas propias para la construcción de instalaciones eléctricas hospitalarias, analizando dos escenarios básicos: uno categorizado normal y uno critico, exponiendo las posibles carencias en el criterio aplicado localmente con la comparativa del contexto internacional que estipulan las normas estudiadas en esta investigación.

Al analizar un escenario tan simple como lo es la instalación eléctrica de una habitación de un paciente y una instalación no tan básica como lo es un área de quirófano mediante la aplicación de las normas de nuestro país, evaluamos lo siguiente: mediante el Art.517 del NEC (código vigente en nuestro país NEC 2008), cada Cama o mesa de procedimientos médicos debe de contar con al menos 8 tomacorrientes y de estos ocho tomacorrientes al menos uno debe pertenecer al sistema de emergencia y uno al sistema normal del sistema eléctrico del hospital.

Para un quirófano el NEC no menciona una guía específica a considerar en esta área más allá de los criterios fundamentales como lo son que cada espacio debe contar con al menos un circuito de emergencia y un circuito normal y una ruta solida de tierra para canalizar corrientes de falla mediante esta y no mediante los usuarios del sistema.

Posteriormente, procedemos a analizar estos dos mismos escenarios, pero comparando criterios entre normas internacionales

Primero analicemos el escenario una habitación de paciente un encamillado como se maneja en el lenguaje hospitalario, que requisitos deber cumplir la instalación eléctrica de esta área según la norma NFPA 99, como por primera diferencia la norma NFPA clasifica a este escenario como área categoría III , que significa esta categoría como se menciona mucho más antes en el documento son todos aquellos sistemas de instalación en los que una falla no causa lesiones al pacientes o al personal médico o visitantes del hospital. La norma dicta que en una habitación o espacio categoría III deben de existir al menos 8 toma corrientes que cumpla con la especificación de grado hospitalario, una luminaria con respaldo de batería, también debe de existir presencia de los dos circuitos, como lo son del sistema esencial y el sistema no esencial estas áreas el sistema de suministro de energía de emergencia puede demorar hasta 15 segundo en entrar en operación el sistema electrógeno el cual representa el respaldo de energía en los sistemas involucrados en estos espacios.

En el caso del quirófano si podemos apreciar una diferencia considerable en los requerimientos que demanda la norma NFPA 99, como principal característica, esta área es categoría I en la zonificación de la norma, esto quiere decir que los sistemas de instalación en los que una falla podría causar lesiones graves o incluso la muerte a pacientes o personal médico. En estos casos la norma nos obliga que todos los sistemas eléctricos deben pertenecer al ramal crítico de vida y nunca debe perder la continuidad de suministro de energía. Otro requerimiento que establece es que en una área de quirófano deben existir como mínimo 32 toma corrientes de grado hospitalario con sistema de puesta a tierra redundante, un tablero de aislamiento que alimente a los circuitos derivados tomacorrientes y luminarias, un suelo conductivo que proteja a los usuarios y al paciente de descargas por estática, toma corrientes de tierra para equipos de pruebas como Rayos X móviles, cauterizadores etc., además sugiere el manejo de una sistema de monitoreo de aislamiento de línea (LIM), este sistema funciona para detectar toda corriente de fuga las cuales por lo general provienen de los equipos. Cabe también mencionar que los sistemas de emergencia de estos espacios tienen un tiempo de entrada son menores a 0.5 segundos. Esta reacción tan pronta solo puede ser proporcionada por un sistema ininterrumpido de alimentación (SAI) o UPS.

A continuación, se muestran las diferencias entre los requerimientos del NEC y la norma NFPA 99 en el escenario del quirófano.

NEC Art 517 (NACIONAL EL SALVADOR)	NFPA 99 (INTERNACIONAL)
Carga Critica	Carga categoría I (vital)
32 toma corrientes (normales y emergencia)	32 toma corrientes
códigos de colores rojo emergencia y blanco normal	códigos de colores rojo emergencia y blanco normal, cableado de fases naranja y café.
No posee sistema de alimentación aislado.	Posee paneles especiales de aislamiento
Tiempos óptimos de respuestas del sistema de emergencia, sujeto al tiempo de operación del ATS	Sistemas Ininterrumpidos de alimentación con tiempos de respuesta en cortes de menos 0.5 segundos.
Sistema de tierra convencional Tierra Neutro.	Sistema de Tierra aislada del sistema.
Tomas especiales de tierra.	Tomas especiales de tierra.
No define la instalación de piso conductivo.	Sugiere uso de mecanismos de aislamiento de descargas por estática con el uso de pisos especiales conductivos.
No hay monitoreo de corrientes de fuga.	Determina el uso de sistemas de monitoreo de aislamiento de línea para evitar toda corriente de fuga que pueda representar un peligro para el paciente.

Con esta ejemplificación podemos observar que además de los artículos del NEC que son obligatorias en nuestro país existen normas un poco más especializadas para el diseño de las instalaciones eléctricas hospitalarias.

La norma NFPA muestra una muy clara diferencia en cómo abordar una instalación eléctrica de un quirófano, evidencia que no solo se debe mirar como una carga crítica, sino que es una carga vital del ramal de vida del sistema eléctrico del hospital. Otra diferencia importante es la forma en que la norma NFPA considera los riesgos por corrientes de fuga o descargas por estática, Garantizando la seguridad de los usuarios.

Ahora estudiando de una forma globalizada de cómo se observan y afrontan los puntos claves de una instalación eléctrica de tipo hospitalaria, las normas estudiadas tienen un punto único y diferente una de la otra de como tratan los diferentes escenarios y espacios de una edificación de tipo hospitalaria, por lo que, a continuación realizamos una comparativa básica pero muy clara de estas normas partiendo de:

La norma NFPA 99 y el NEC Art. 517 son estándares estadounidenses que se complementan mutuamente, la IEC 60364-7-710 es una norma internacional que se enfoca en la protección contra descargas eléctricas y la continuidad del servicio en entornos médicos. La IEEE 602 ofrece directrices de diseño y operación para la seguridad del paciente y del personal. La principal diferencia radica en su alcance geográfico y enfoque: las normas estadounidenses son más prescriptivas y detalladas para el diseño de circuitos y sistemas de emergencia, mientras que la norma IEC es más global y se centra en los requisitos de seguridad eléctrica fundamentales, como los sistemas de aislamiento y la protección diferencial. En conjunto, el análisis de estas normas revela las mejores prácticas para garantizar un entorno hospitalario seguro y fiable, subrayando la importancia de la redundancia, la protección de pacientes y la continuidad del suministro eléctrico. El siguiente cuadro comparativo destaca las diferencias y similitudes clave entre normas.

DESCRIPCION	Norma IEC-60364-7-710	Norma NFPA99	NEC(ART 517)	IEEE602	EL SALVADOR
Areas Hospitalareas/ Clasificacion de Riesgos	<p>Ubicación Médica: Ubicación destinada para fines de diagnóstico, tratamiento, monitoreo y atención de pacientes.</p> <p>Grupo 0 (710.3.7): son aquellas áreas donde no se emplean equipos activos sobre el paciente.</p> <p>Grupo 1 (710.3.8): donde el equipo médico eléctrico o los sistemas médicos eléctricos están destinados a ser utilizados externa o invasivamente en cualquier parte del paciente y donde la discontinuidad del suministro eléctrico, como la protección contra descargas eléctricas, no representa un riesgo para la seguridad del paciente.</p> <p>Grupo 2 (710.3.9): La ubicación médica donde se utilizarán equipos o sistemas de equipo eléctrico médico de forma invasiva, externa o invasiva en cualquier parte del paciente y donde la discontinuidad del suministro eléctrico, como protección contra descargas eléctricas, representa un riesgo para la seguridad del paciente.</p>	<p>Categoría 1: Los sistemas de instalación en los que una falla podría causar lesiones graves o incluso la muerte a pacientes, personal médico o cualquier otra persona dentro del hospital deben ser diseñados para cumplir con los estándares.</p> <p>Categoría 2: Los sistemas de instalación en los que una falla podría causar lesiones menores a pacientes, personal médico o visitantes.</p> <p>Categoría 3: los sistemas de las instalaciones en los que la falla de éstos no es probable que cause lesiones a los pacientes o personal médico, o cualquier otra persona que labore o visite el hospital, pero que pueda causar incomodidad al paciente.</p> <p>Categoría 4: estos sistemas no tienen ningún impacto en la atención al paciente y no serían percibidos por las personas en caso de falla.</p>	<p>Áreas Esenciales: Los centros médicos de atención con enfermeras y centros de cuidados limitados con una capacidad de 150 kVA o menos.</p> <p>Áreas de Cuidados Críticos: Cada cama de paciente debe estar alimentada por al menos dos circuitos ramales, uno o más provenientes del sistema de emergencia y uno o más del sistema normal.</p> <p>Ramal de Seguridad para la Vida en área hospitalaria: La iluminación en pasillos y áreas críticas es esencial por lo tanto deben instalarse y conectarse fuentes alternativas de conexión de manera que en un plazo máximo de 10 segundo después de la interrupción del suministro eléctrico.</p> <p>Conexión al Ramal Crítico: Garantizamos a través de este el funcionamiento de los equipos claves, después de la interrupción lamentablemente muy normal en nuestro país, este ramal debe instalarse y conectarse la fuente alternativa de alimentación ósea el generador con cierto retraso en el inicio de operación, de manera que los equipos en este ramal vuelva a operar automáticamente después que el ramal para la vida entre en funcionamiento.</p>	<p>Clasificación de la Carga:</p> <p>Seguridad en áreas críticas: Diseño de circuitos para quirófanos, salas de cuidados intensivos y otras áreas sensibles para asegurar que la electricidad no ponga en peligro la vida de los pacientes.</p> <p>Respaldo de energía: Implementación de fuentes de energía de respaldo para garantizar la continuidad de los sistemas críticos, como los de ventilación, iluminación y equipos de diagnóstico.</p>	<p>Según la nomenclatura local los hospitales de El Salvador están divididos en dos tipos los cuales son hospitales de primer y segundo nivel</p>
Sistemas de Energía de Emergencia / Esencial (EES)	Establece los requisitos para el suministro de seguridad, que debe estar disponible en un tiempo definido para garantizar el funcionamiento de equipos críticos en Locales de Grupo 2 (ej. sistemas de iluminación de seguridad, equipos de soporte vital). Detalla los tipos de fuentes de energía de seguridad (generadores, baterías) y su capacidad y tiempo de conmutación.	Define y exige Sistemas Eléctricos Esenciales (EES) con múltiples ramas: Life Safety Branch (seguridad de vida), Critical Branch (crítica) y Equipment Branch (equipos). Detalla qué cargas deben conectarse a cada rama y los tiempos de transferencia.	Clarifica los requisitos de instalación, pruebas y operación de los Sistemas Eléctricos Esenciales (EES). Detalla las tres ramas (Life Safety, Critical, Equipment) y las cargas permitidas y obligatorias para cada una, así como los requisitos de los generadores y ATS (Automatic Transfer Switches).	Ofrece guías de diseño de sistemas de energía de emergencia, incluyendo dimensionamiento de generadores, configuración de ATS, redundancia y consideraciones de fiabilidad. Aborda la calidad de la energía en los EES y la coordinación de protección.	No existe ninguna norma local que clasifique los sistemas energéticos de un hospital, pero se adopta en la informalidad los lineamientos de normas internacionales que dividen el sistema eléctrico en sistema normal no esencial y en sistema crítico esencial como lo hacen las normas NFPA 99 y 70 NEC
Cableado y Protección de Circuitos	Establece requisitos para la sección de los conductores, la protección contra sobrecorriente y la protección de circuitos de seguridad. Promueve la robustez del cableado para minimizar fallas.	Define los tipos de cableado permitidos y los requisitos de protección contra sobrecorriente para los circuitos que alimentan equipos críticos y áreas de cuidado de pacientes, incluyendo circuitos branch específicos.	Detalla los métodos de cableado permitidos (ej. en conduits metálicos), los requisitos de protección contra sobrecorriente, y las distancias entre tomacorrientes en áreas de cuidado de pacientes. Incluye requisitos para dispositivos de corriente residual (GFCI/RCD)	Proporciona recomendaciones sobre la selección de conductores, aislamientos, dispositivos de protección y la coordinación de protección para asegurar la fiabilidad y la selectividad de los circuitos, minimizando el impacto de las fallas.	Se siguen los métodos convencionales de selección de conductores como lo son según amperacidad demanda o métodos del NEC
Sistema de Puesta a Tierra y Protección contra Choque	Mandata el sistema IT (aislado de tierra) para Locales de Grupo 2. Esto permite una primera falla a tierra sin interrupción del suministro y minimiza la corriente de fuga. Exige monitores de aislamiento y unión equipotencial suplementaria para reducir las diferencias de potencial en el área de paciente.	Predomina el uso de sistemas sólidamente puestos a tierra. Sin embargo, permite y regula los Sistemas de Alimentación Aislada (IPS) en Locales de Procedimiento Húmedo (ej. quirófanos) para reducir las corrientes de fuga a niveles seguros ante un primer fallo. Enfatiza la puesta a tierra de equipos.	Refuerza el uso de sistemas sólidamente puestos a tierra en general. Detalla los requisitos de puesta a tierra de equipos y unión equipotencial en áreas de cuidado de pacientes. Obliga a los Sistemas de Potencia Aislada (IPS) para locales de procedimiento húmedo y especifica su instalación y monitorización.	Proporciona directrices avanzadas sobre el diseño de sistemas de puesta a tierra para asegurar un entorno eléctricamente seguro y minimizar el ruido eléctrico. Discute las ventajas y desventajas de los sistemas sólidamente puestos a tierra vs. los sistemas IT y los IPS.	Se siguen los métodos convencionales variado como lo son el art 250 del NEC o algunas guías de ingeniería más avanzadas como lo son la norma IEEE 80
Mantenimiento y Pruebas	Exige pruebas iniciales y periódicas de los sistemas eléctricos, especialmente del sistema IT y los equipos de suministro de seguridad, para asegurar su correcto funcionamiento.	Establece requisitos de mantenimiento, inspección y pruebas para los sistemas eléctricos esenciales, los sistemas de gases médicos, alarmas contra incendios, etc. Su cumplimiento es clave para la acreditación.	Detalla los requisitos de pruebas iniciales y periódicas para los Sistemas Eléctricos Esenciales, los Sistemas de Potencia Aislada y otros componentes críticos, asegurando que el sistema se mantenga en óptimas condiciones.	Ofrece programas de mantenimiento preventivo detallados para todos los componentes del sistema eléctrico (generadores, UPS, transformadores, paneles, etc.). También aborda la gestión de la calidad de la energía y la resolución de problemas.	No existe ningún protocolo o guía de mantenimiento de instalaciones eléctricas hospitalarias.
Entes Regulatorios	En países como Colombia, México y Perú la norma IEC-60364-7-710 se adopta o se toma como referencia en la RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), y la NOM (Norma Oficial Mexicana).	En países como EE.UU. la norma base es la NFPA 99 para las regulaciones de seguridad de hospitales y clínicas que deben cumplir las directrices CMS (Centers for Medicare & Medical Service)	Si partimos que en nuestro país tenemos como adopción el NEC como una guía de normas válidas para el diseño de instalaciones eléctricas en general, el Art 517 del NEC es una norma que tiene aplicación rigurosa en Nuestro País como El Salvador.	Buena una guía como la IEEE 602 no puede ser considerada como un ente regulatorio si no como una asociación profesional global que desarrolla estándares, una norma como esta complementa códigos que si son obligatorios como el NEC.	En nuestro país en ente regulatorio o super intendente como SIGET, a través de los OIA (organismos de inspección acreditados), hace una pequeña supervisión bien general en instalaciones eléctricas, pero en instalaciones eléctricas hospitalarias se requiere aplicar o seguir una norma o guía más sólida y dedicada para este tipo de instalaciones.

Tabla 8 Comparativa de normas técnicas NEC, IEC, NFPA99, IEEE 602

5.2 Limitaciones y desafíos de aplicación.

5.2.1 Aplicabilidad de normas y estándares internacionales en la construcción de instalaciones eléctricas hospitalarias en el salvador.

En nuestro país, no debería ser una opción la aplicabilidad de normas internacionales para la construcción de instalaciones eléctricas, considerando el repentino incremento de las inversiones en sistema de salud pública por lo que debe de existir una obligatoriedad en las maneras más ordenadas, seguras y eficientes de ejecutar este tipo de obras. Posterior a la evaluación de las normas y considerando su aplicación en el país se concluye que deberían ser consideradas la norma NFPA 99 y la norma IEC-60364-7-710 con de obligatorio cumplimiento ya que son cruciales para evitar cometer errores en la ejecución de nuevas obras, los cuales pueden traducirse fácilmente en pérdida de materiales o en casos severos de vidas humanas.

Como uno de los fundamentos a favor de estas normas podemos ver lo que es la clasificación de los espacios médicos, todo esto con el objetivo de hacer más eficiente la gestión del recurso eléctrico, es decir saber distribuir la capacidad de suministro de energía de emergencia en áreas comunes o áreas categoría III que según la norma NFPA 99 son áreas que las interrupciones del suministro eléctrico no representan ningún riesgo para la vida del paciente.

También se considerará los tiempos de reacción y autonomía de las fuentes de emergencia como lo estipula la norma IEC-60364-7-710, esta norma nos muestra los niveles de criticidad de las áreas en la respuesta de los sistemas de emergencia:

- Clase A, este nivel estipula la continuidad permanente del sistema eléctrico por tiempo definido según la importancia de la carga.
- Clase C, en este nivel se puede tolerar una breve interrupción del suministro eléctrico 0.5 segundos con un respaldo de autonomía de 3 h por la fuente de emergencia que alimenta el circuito de emergencia.

Mostramos esto para dar a entender que no todas las cargas se pueden observar de una manera de igual condición ya que no podemos afirmar la comparativa de la instalación eléctrica de una unidad de cuidados intensivos a la sala de fisioterapia de un hospital claramente, el paciente no se encuentra en condiciones similares.

Todo esto representa que en una instalación eléctrica hospitalaria, los equipos médicos son cargas eléctricas de muy alta complejidad tecnológica, que deben ser considerados de acuerdo a las características particulares de cada zona a la que pertenecen.

Con relación a la distribución eléctrica eficiente del sistema eléctrico es un punto crucial en el diseño de una instalación eléctrica hospitalaria, por ejemplo en la norma NFPA se toma a bien separar el sistema eléctrico en partes, como lo son el sistema ramal esencial, sistema ramal crítico, sistema no esencial y el sistema de equipos, todo esto para la gestión eficiente de las cargas eléctricas del sistema, optimizando cada parte de la arquitectura del sistema eléctrico según la importancia de su utilización, garantizamos también el buen funcionamiento de los equipos eléctricos médicos, los cuales son importantes en el tratamiento o estudio de los usuarios o pacientes del hospital.

Por eso hacemos hincapié en la mejora de los sistemas constructivos de estas instalaciones en nuestro país, adoptando las guías internacionales como lo son la Norma NFPA 99 y la norma IEC 60364-7-710 que después de la evaluación mostrada son una excelente guía práctica de ingeniería para instalaciones eléctricas hospitalarias y que consideran cada detalle desde la subestación hasta la carga o usuario final, evaluando múltiples aspectos en la seguridad primordial del usuario y garantizando la vida y bienestar de los pacientes.

5.2.2 Desafíos Fundamentales en la Implementación de Normativas Eléctricas Avanzadas en El Salvador para el Sector Salud

Los verdaderos desafíos en la adopción de normas o estándares internacionales en nuestro país pueden ser: en primer lugar el impacto económico, cuando mencionamos economía hablamos de presupuesto

disponible para la ejecución de una instalación eléctrica tipo hospitalaria que demanda un incremento significativo en los costos de materiales y equipos. Es importante mencionar que cuando hablamos de materiales y equipos debemos considerar equipos de repuesto que no se encuentran fácilmente y que han sido diseñados específicamente para su uso de acuerdo a las características propias de donde será instalado. Asimismo, En segundo lugar, , lo cual la selección de mano de obra calificada incide directamente en los costos ya que demanda personal calificado y con experiencia en la construcción de este tipo de instalaciones y que podría convertirse en un elemento escaso de encontrar en el mercado actual..

5.2.3 La Brecha por superar: déficit técnico de Recursos Humanos

La comprensión profunda de los principios que sustentan, por ejemplo, la coordinación de protección selectiva en sistemas de distribución hospitalaria (según IEEE 602), el diagnóstico y la mitigación de problemas de calidad de energía (armónicos, flicker, transitorios) en redes hospitalarias, o la interpretación y respuesta a las alarmas de monitores de aislamiento en sistemas IT, son habilidades que van más allá de la formación eléctrica general.

Existe una brecha considerable e innegable en la formación especializada en diseño eléctrico para entornos críticos como hospitales, también criteriosa para la supervisión de instalaciones bajo estándares específicos como lo son las normas estudiadas en este documento y, además en el mantenimiento preventivo y predictivo de equipos sofisticados que se emplean en las instalaciones eléctricas hospitalarias.

Esta deficiencia en la capacidad técnica no solo dificulta el diseño y la implementación inicial eficiente, sino que también compromete la sostenibilidad y la fiabilidad a largo plazo de las instalaciones de este tipo, ya que un mantenimiento inadecuado puede anular los beneficios de un diseño robusto bien ejecutado y dejar pasar fallas latentes que comprometan la seguridad de los usuarios.

5.2.4. Las Limitaciones de la Cadena de Suministro y la Logística de Componentes Críticos

Un desafío práctico y recurrente en El Salvador es la disponibilidad y el acceso a los equipos y componentes eléctricos especializados requeridos por estas normativas internacionales. La cadena de suministro local y

regional puede carecer de la capacidad para proporcionar de manera eficiente y económica elementos como transformadores de aislamiento hospitalarios con blindaje electrostático, monitores de aislamiento con las características de seguridad requeridas por la IEC, unidades de distribución de potencia (PDU) con múltiples puntos de tierra aislados, interruptores automáticos de falla a tierra de alta sensibilidad (GFCI/RCDs) de grado hospitalario, o sistemas avanzados de supresión de transientes de voltaje (SPD). La importación de estos componentes no solo incurre en costos adicionales significativos debido a aranceles y fletes, sino que también introduce retrasos logísticos que pueden paralizar proyectos o forzar la adopción de soluciones alternativas menos óptimas. Esta dependencia de la importación y la limitada estandarización en el mercado local complican la planificación, ejecución y, fundamentalmente, el mantenimiento y la disponibilidad de repuestos a lo largo de la vida útil de las instalaciones.

5.2.5 Coherencia Regulatoria y Capacidad de Supervisión e Inspección

Aunque el Código Eléctrico de El Salvador se deriva del NEC, la integración y armonización con otras normativas como la IEC 60364-7-710 y las recomendaciones de la IEEE 602 presentan retos significativos en el marco regulatorio y la capacidad de supervisión.

La coexistencia de un código nacional predominantemente basado en el sistema sólidamente aterrizado (como el NEC) con la aspiración de implementar sistemas IT (de la IEC) en áreas críticas puede generar ambigüedad en la interpretación y la aplicación de las normativas vigentes. La falta de una legislación clara y unificada que especifique la jerarquía o la complementariedad de estos estándares puede llevar a discrepancias en el diseño y la inspección. Además, la capacidad técnica y los recursos de las entidades reguladoras e inspectoras en El Salvador para supervisar de manera efectiva el cumplimiento de estos estándares complejos (ej. verificar la funcionalidad de los monitores de aislamiento, la coordinación de protección de los EES, o la calidad de la energía) pueden ser limitados. Esta insuficiencia en la fiscalización y la aplicación consistente puede, en última instancia, socavar los objetivos de seguridad y fiabilidad perseguidos por la adopción de estas normas.

5.3 Experiencias de éxito en la región

5.3.1 Normas NOM “Normas Oficiales Mexicanas”

Cada una de estas normas está enfocada en prevenir el riesgo de electrocución e incendios que pongan en riesgo la vida humana. En base a esto, la NOM-001-SEDE-2012 tiene el apartado 517, donde explica detalladamente las normas que un lugar de atención médica debe cumplir.

México es un referente en la región, entre 2022 y 2023, invirtieron 18.5 millones de pesos mexicanos en infraestructura y 27 millones en equipos médicos, esto lleva al gobierno mexicano a la urgente necesidad de normalizar y regular las construcciones y, más concisamente, aquellas críticas como las de salud, donde una pequeña descarga eléctrica proveniente de una corriente de fuga puede acabar con una vida en situaciones de alta vulnerabilidad como lo es el quirófano.

El gobierno mexicano ha normado y regulado el sistema eléctrico, permitiendo homogeneizar y controlar de mejor manera las instalaciones eléctricas, tanto hospitalarias como generales, para reducir los riesgos.

Dentro de esta infraestructura, el suministro de energía eléctrica se clasifica como un componente crítico debido a su papel insustituible en la operación diaria de cualquier instalación de salud. Cualquier debilitamiento o interrupción de este suministro representa una amenaza directa y grave para la seguridad del paciente, la integridad de los tratamientos, y la capacidad de los cuidadores y profesionales de la salud para desempeñar sus funciones, evaluemos los beneficios normados por México en el artículo 517:

- ✓ Establece un calibre de conductor en relación con la corriente, un espaciamiento de conductor y protecciones adecuadas a la corriente.
- ✓ Establece lineamientos sobre salas de uso especial como quirófanos o salas de cateterismo y las precauciones que se deben tener en relación con la red de tierra y a los equipos dentro de la sala.
- ✓ Establece los fundamentos de las transferencias y las características para ámbitos eléctricos.
- ✓ Establece lineamientos sobre plantas eléctricas.

- ✓ Genera los criterios de diseño en relación con el aislamiento y a los equipos IT que protegen al paciente.

Entre otros.

Artículo 510	Áreas peligrosas (clasificadas) específicas
Artículo 511	Estacionamientos comerciales, talleres de servicio y de reparación de vehículos automotores
Artículo 513	Hangares para aeronaves
Artículo 514	Gasolineras y estaciones de servicio
Artículo 515	Plantas de almacenamiento de combustibles
Artículo 516	Procesos de aplicación por rociado, inmersión y recubrimiento
Artículo 517	Instalaciones en establecimientos de atención de la salud
Artículo 518	Lugares de reunión
Artículo 520	Teatros, áreas de audiencia en cines y estudios de televisión, áreas de actuación y lugares similares
Artículo 522	Sistemas de control para parques permanentes de diversiones
Artículo 525	Atracciones móviles, circos, ferias y eventos similares
Artículo 530	Estudios de cine, televisión y lugares similares
Artículo 540	Cabinas de proyección de cine
Artículo 545	Edificios prefabricados
Artículo 547	Construcciones agrícolas
Artículo 550	Casas móviles, casas prefabricadas y estacionamientos de casas móviles

Ilustración 81 Apartado 517 Norma NOM 001

Normativas Aplicadas en Estados Unidos.

Estados Unidos posee un sistema normativo robusto, la OSHA establece estándares que son utilizados tanto dentro como fuera del país como referente de seguridad:

- La NFPA con su artículo 517 afianza especificaciones eléctricas, tomando también como apoyo la NFPA 99 para completar apartados no contemplados, clasificando categorías (1,2,3 y 4), asignado áreas de ampliación y estableciendo requisitos eléctricos como el UPS, la tierra equipotencial, la protección de sobre corriente entre otros. Gracias a el artículo 517.13 que determina la red a tierra de equipos críticos buscando disminuir la diferencia de potencial y micros descargas los riesgos del

posible microshock se reducen considerablemente, el artículo 517.32, 517.33 y 517.34 da los lineamientos básicos de los ramales que nos guían para el diseño del sistema eléctrico permitiendo distribuir la energía eléctrica de la manera más óptima en caso de emergencias, entre otros artículos.

- La IEC 60601-1 es una de las normas principales para dispositivos, por lo tanto, los diseñadores estadounidenses se basan en esta para garantizar el rendimiento de estos en situaciones de falla, evaluando y gestionando riesgos eléctricos en equipos. El capítulo 4 de la normativa nos detalla las diferentes gestiones de riesgo para que posteriormente en el capítulo 8 derivemos en un buen sistema de protecciones eléctricas para los pacientes definiendo clases y tipos de aplicaciones para requisitos de aislamiento, esto permite ser más eficientes en la detección y protección temprana de posibles fallas antes de afectar al paciente.
- FDA monitorea los problemas de los dispositivos médicos con el MDR, detectando problemas de rendimiento y seguridad y la TJC suple como una institución acreditada para producir estándares.

5.3.2 Normativas técnicas suramericanas.

Norma Técnica Peruana (NTP).

La normativa peruana enfocada en instalaciones eléctricas hospitalarias, en su composición principal está basada en número uno el Código Nacional de Electricidad (CNE) este código no debe confundirse con el código universal que la mayoría conocemos es distinto con criterios propios desarrollados con la realidad energética que el propio país posee, además esta norma técnica se apropia de otras normas NTP las cuales la complementan, pero en su objetivo principal la norma que toma como su base principal es la norma internacional IEC 60364-7-710. Estas normativas establecen los requisitos para el diseño, instalación y funcionamiento seguro de las instalaciones eléctricas en establecimientos de salud, incluyendo aspectos como la seguridad eléctrica, sistemas de emergencia y puesta a tierra.

También es importante mencionar que las normas técnicas peruanas que complementa esta norma principal son la NTP-370.310, se enfoca en la seguridad de las instalaciones eléctricas en edificaciones y acciones

para el mantenimiento periódico. La NTP 370.053: es una norma técnica que trata sobre la elección e instalación de materiales eléctricos, puesta a tierra y conductores de protección. Ahora bien, la norma EM.010 se refiere a instalaciones eléctricas interiores, incluyendo aspectos como el suministro de energía de emergencia.

Norma Técnica Colombiana (NTC).

En Colombia la guía principal para instalaciones eléctricas hospitalarias está fundamentado en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y la Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050), también conocido como el código eléctrico colombiano. El RETIE menciona los requisitos mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas mientras que la norma técnica colombiana basada principalmente en el NEC proporciona todos los fundamentos técnicos y de seguridad un poco más específicos en instalaciones eléctricas hospitalarias.

El RETIE es una regulación obligatoria que busca proteger a las personas, el medio ambiente y los bienes de los riesgos asociados al uso de la electricidad muy en general. Dentro del RETIE, específicamente el artículo 28.3.2, y en la NTC 2050, específicamente el artículo 517, se encuentran los lineamientos para las instalaciones eléctricas hospitalarias.

La NTC 2050 abarca diversos aspectos de las instalaciones eléctricas, incluyendo: Sistemas de alimentación dedicados, se establecen requisitos para la acometida, distribución y sistemas de respaldo eléctrico, denominación de áreas críticas o no críticas donde interactúan muchos tipos de cargas. Se enfatiza la necesidad de sistemas aislados en áreas como quirófanos y unidades de cuidados intensivos, según lo establecido en normas como la NFPA 99, también sistemas de puesta a tierra. Se detallan los requerimientos para la puesta a tierra equipotencial y la limitación de corriente en derivaciones, también prioriza equipos especiales médicos, Se deben considerar las normas internacionales y NTC aplicables para los equipos médicos, como las series IEC 60601 y las normas UL.

En conclusión, en Colombia es de carácter obligatorio el uso del RETIE y la NTC 2050 para la ejecución tanto como en el diseño y construcción de instalaciones eléctricas hospitalarias, una ventaja de estos dos estándares obligatorios es que periódicamente se encuentran en reformas para mantenerlos lo mas actualizado posible para generar un avance positivo en las buenas prácticas de instalaciones eléctricas hospitalarias.

5.3.3 Aplicabilidad de Buenas Prácticas de normas internacionales en El Salvador.

Las instalaciones de atención médica en El Salvador enfrentan riesgos eléctricos muy similares a los de México. Esto se debe a la naturaleza universal de los procedimientos médicos, los equipos y las vulnerabilidades de los pacientes. Los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica son constantes, independientemente de la ubicación geográfica. Los desafíos de garantizar un suministro de energía ininterrumpido y prevenir micro choques en cuidados críticos y mitigar los riesgos de incendio no son exclusivos de México, sino que son fundamentales para cualquier sistema de atención médica en él mundo.

La implementación en El Salvador de una norma técnica nacional inspirada en códigos internacionales que ya han probado su eficiencia en otros países, como la NFPA 70 y la IEC-60364-7-710 que dio a luz la NOM-001-SEDE-2012 de México cuyos resultados son innegables. Adoptar esta misma estrategia permitiría a nuestro país evitar los desafíos comunes de la implementación desde cero, beneficiándose de soluciones ya validadas por años de experiencia y análisis de incidentes a nivel global; esto es, un "atajo" seguro que nos aleja del costoso y peligroso camino del ensayo y error.

Una normativa nacional basada en este modelo traerá consigo multitud de beneficios, entre ellos incrementar la seguridad para pacientes y personal al establecer un marco legalmente exigible o adaptado a nuestro país que protege contra peligros eléctricos únicos en hospitales, como el micro-choque y las interrupciones en sistemas de soporte vital, sino que también reduciría de manera considerable el riesgo por costos imprevistos debido a la necesidad de solventar el problema, solo debemos exigir que las instalación

y mantenimiento sean los adecuados y así se minimiza la incidencia de fallas eléctricas y los daños a equipos, previniendo pérdidas incalculables tanto en vidas como en dinero.

Un punto fundamental del porqué de una norma propia es la claridad del marco regulatorio a cumplir estableciendo puntos de seguridad a seguir y facilitando las inspecciones de OIA.

Las estadísticas de incidentes relacionados a percances relacionados con electrocución en el sistema hospitalario en México, así como en Latinoamérica en general pueden ser difíciles de obtener debido a la falta de documentación en nuestra región, pero los principios universales de seguridad eléctrica y las vulnerabilidades documentadas de los pacientes en entornos de atención médica subrayan la necesidad de tales regulaciones. Para El Salvador, el desarrollo de su propia norma técnica nacional para instalaciones eléctricas hospitalarias, tomando como base las lecciones aprendidas en otros países y adaptando marco lo probado como la NOM-001-SEDE-2012 de México, representa un paso fundamental hacia la salvaguarda de sus ciudadanos, la garantía de la continuidad de los servicios médicos vitales y el mantenimiento de los más altos estándares de atención al paciente.

Conclusiones

- A lo largo de esta investigación, con el estudio minucioso de las normas y códigos esenciales que interactúan en las instalaciones eléctricas hospitalarias, se demuestra que la adopción y permanencia de un estándar como la Normas NFPA 99 y el Código NEC 2008 y la guía de ingeniería como la IEEE 602 daría como resultado una sólida base regulatoria de este tipo de instalaciones eléctricas y garantizando la eficiencia y seguridad para esta área.
- Al hacer una revisión sobre los estándares existentes en nuestro país orientados a instalaciones eléctricas hospitalarias, encontramos que no existe una norma orientada específicamente a las instalaciones eléctricas hospitalarias. El regulador solo hace de obligatorio cumplimiento las normas generales para las instalaciones eléctricas sin excepciones.
- Existen diferentes fallas sistemáticas que pueden ocasionar riesgos claros a la vida del paciente y el personal médico como los son los riesgos de electrocución que mostramos sus dos tipos como lo son los Microshock y Macroshock; de no corregirse o tomarse en serio estos riesgos, podrían derivar en eventos adversos con graves consecuencias para la vida y la integridad física de los pacientes y el personal.
- Se estudiaron las diferentes etapas que constituyen un sistema eléctrico hospitalario diseñado con base a normas y guías de ingeniería internacionales, Estas normas denominan cada uno de los ambientes de un hospital según su funcionamiento, agrupando en tres grupos las cargas como lo son las cargas críticas o ramal de vida, cargas importantes esenciales y las cargas no esenciales. Resaltando los tiempos de interrupción del suministro eléctrico y como este impacta en cada uno de los grupos, lo que con lleva que los diseños de las instalaciones prioricen y separen en las cargas importantes de las no tan importantes.

Recomendaciones

A partir del estudio de Normas para el diseño de instalaciones eléctricas se recomienda lo siguiente:

1. La adopción de normas específicas como las normas IEC 60364-7-710 y la norma NFPA 99 para instalaciones eléctricas hospitalarias con el objetivo de identificar las necesidades únicas y fundamentales de cada área de un hospital, considerando los riesgos para el usuario como para el personal médico que hace uso de estos sistemas, no perdiendo el objetivo primordial la seguridad y eficiencia de las instalaciones.
2. Que el regulador elabore una norma para futuros proyectos de construcción de hospitales, exigiendo su aplicación por medio del Organismo de Inspección y Acreditación
3. La incorporación del diseño de instalaciones eléctricas hospitalarias en las diferentes materias que contemplan el plan de estudio de la carrera de ingeniería eléctrica, por medio del estudio de las normas internacionales Todo esto con el fin de preparar profesionales para trabajar en la industria hospitalaria aprendiendo practicas modernas y adquiriendo criterios muy sólidos de ingeniería, que son fundamentales en este entorno.

Bibliografía

- Association, N. F. (2024). *NFPA 99 Health Care Facilities Code*.
- Engineers, I. o. (2007). *IEEE 602-Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities*.
- International Electrotechnical Commission. ((2021)). *Norma IEC 60364-7-710*.
- *Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding the National Electrical Code, 2020 NEC. 1* (3ª ed.). (2020). Mike Holt Enterprises.
- Gobierno de El Salvador, C. N. E. (2024). Auditoria a Hospitales Nacionales. auditorias Energéticas-Implementación de Medidas de Eficiencia Energética en Hospitales Públicos y Unidades de Salud, 1(2), Artículo 1.
- IEC 2002, I. (2016). NORMA TECNICA PERUANA IEC 60364-7-710. *INACAL*, 1(2), Artículo 1.
- NOM-001-SEDE-2012. (2012). *NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)*, 1(2), Artículo 1.
- ELECTRICIDAD APLICADA. (2022, 5 de abril). *DISEÑO DE INSTALACIONES ELECTRICAS HOSPITALARIAS*. electricaplicada.com. <https://electricaplicada.com/instalaciones-medicas-hospitales/>