



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta de mejora del sistema eléctrico aislado en los
ambientes críticos del Hospital de Apoyo Sullana II-2**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico - Eléctrico

Frank Felipe Santamaria Bocanegra

Asesor(es):
Dr. Ing. Miguel Buenaventura Castro Sánchez

Piura, julio de 2024

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Frank Felipe Santamaria Bocanegra, egresado del Programa Académico de Ingeniería Mecánico-eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 48520005.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Propuesta de mejora del sistema eléctrico aislado en los ambientes críticos del Hospital de Apoyo Sullana II-2"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniero Mecánico-eléctrico.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Dr. Ing. Miguel Buenaventura Castro Sánchez, identificado con DNI N° 02821943
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 04/07/2024.



Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

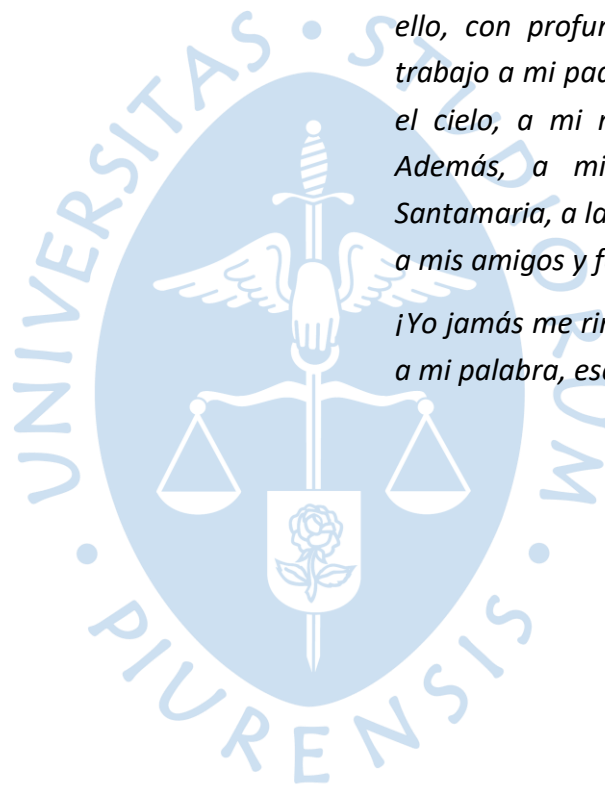
² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al ONI; no se admite digital, salvo certificado.

Dedicatoria:

Agradezco a Dios por su guía constante en mi vida, reflexionando con su palabra: "Honra a tu padre y a tu madre, que es el primer mandamiento con promesa". Por ello, con profundo afecto, dedico este trabajo a mi padre Felipe Santamaria en el cielo, a mi madre Rosa Bocanegra. Además, a mi hermano ing. Jhairo Santamaria, a la Mgtr. Caroline Tamayo, a mis amigos y familiares.

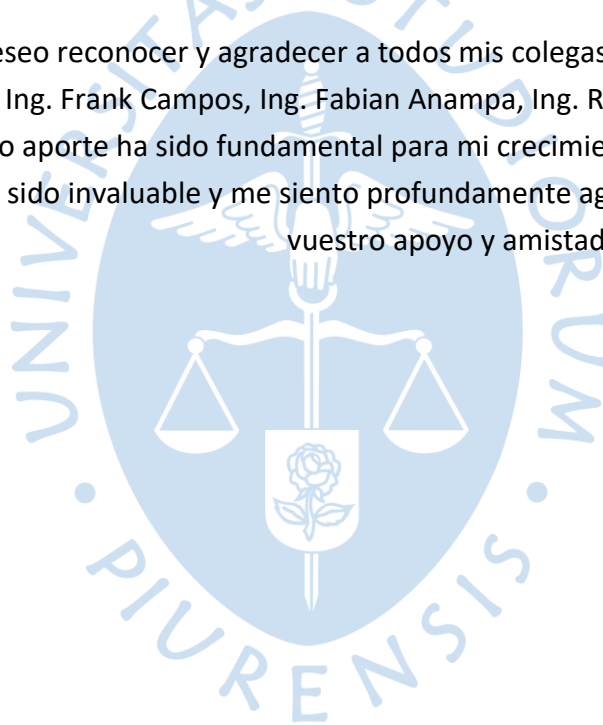
¡Yo jamás me rindo, y jamás retrocederé a mi palabra, ese es mi Nindō!



Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis profesores en la universidad, especialmente a mi asesor de tesis el Dr. Ing. Miguel Castro y al Dr. Ing. Hugo Fiestas, por su invaluable orientación y apoyo durante mi formación académica. Además, agradezco profundamente a los ingenieros Ing. Hilter Suarez, Ing. Luiz Guevara, Ing. Carlos Troncos, Ing. José Mendoza e Ing. Giuseppe Bregante por su constante respaldo durante esta etapa crucial de mi desarrollo universitario.

Asimismo, deseo reconocer y agradecer a todos mis colegas de INTELEC, en especial al Mgtr. Jimmy Ávila, Ing. Frank Campos, Ing. Fabian Anampa, Ing. Rosmery Del Carpio e Ing. Ray Jara, cuyo aporte ha sido fundamental para mi crecimiento profesional. Vuestra colaboración ha sido invaluable y me siento profundamente agradecido por contar con vuestro apoyo y amistad a lo largo de mi carrera.



Resumen

La mejora del sistema eléctrico aislado en los ambientes críticos del Hospital de Apoyo Sullana II-2 presenta una propuesta detallada y técnica a través del análisis de los riesgos eléctricos, la definición de criterios de diseño y la realización de cálculos específicos, se propone un rediseño que cumple con las normativas nacional e internacional vigentes y garantiza un entorno seguro y eficiente en las áreas críticas del hospital.

El capítulo 1 aborda la seguridad eléctrica en un centro médico, centrándose en los riesgos eléctricos y su impacto en la seguridad de pacientes y personal médico. Se describen los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano y se analizan los métodos de protección y los grados de seguridad requeridos para los equipos médicos. Además, se detalla la clasificación de los ambientes hospitalarios y las infraestructuras técnicas necesarias para asegurar un entorno seguro y confiable.

Luego se enfoca en el rediseño del sistema eléctrico aislado del Hospital de Apoyo Sullana II-2, esencial para garantizar un suministro eléctrico seguro en áreas críticas. Se define el criterio de diseño, los tipos de tableros de distribución, y se detallan los cálculos necesarios para dimensionar los conductores eléctricos y seleccionar los conductores de tierra. Este rediseño se enfoca en cumplir con las normativas nacionales e internacionales, asegurando la protección contra fallas a tierra y la estabilidad del suministro eléctrico.

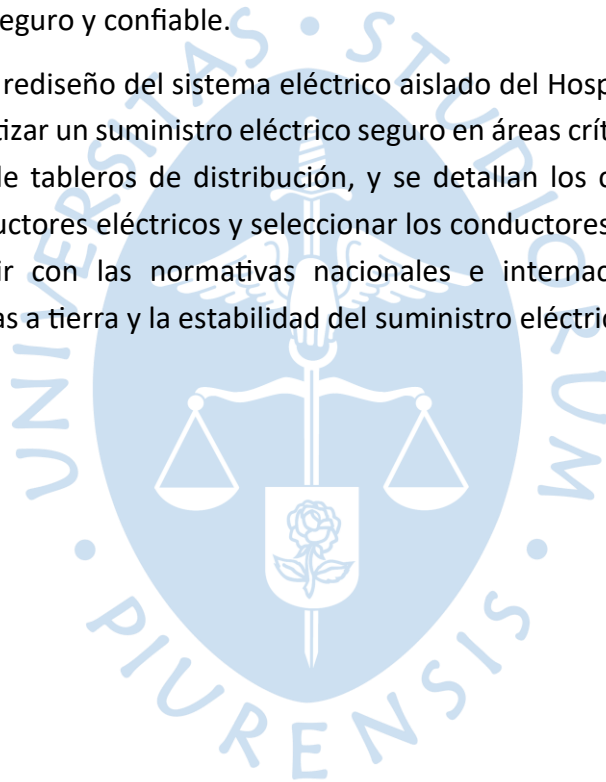


Tabla de contenido

Introducción	10
Capítulo 1 Seguridad eléctrica en hospital.....	11
1.1 Impacto de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.....	11
1.1.1 Riesgos eléctricos en ambientes hospitalarios.	11
1.1.2. Métodos y grados de protección de los equipos médicos	17
1.2 Definiciones técnicas sobre infraestructuras médicas.....	21
1.2.1 Categorías de los establecimientos de salud	22
1.2.2 Clasificación de ambientes en hospitales	23
1.2.3 Salas críticas	25
1.3 Distribución de energía eléctrica, protección e iluminación	28
1.3.1 Distribución de energía eléctrica dentro del hospital.....	28
1.3.2 Sistema eléctrico aislado.....	31
1.3.3 Tableros generales y de distribución en baja tensión.....	31
1.3.4 Sistema de puesta a tierra en hospitales y salas críticas.....	32
1.4 Memoria del proyecto.....	35
1.4.1 Instalaciones eléctricas	37
1.4.2 Normativa aplicable	38
1.4.3 Criterios de diseño	39
1.4.4 Planos contractuales	40
Capítulo 2 Rediseño del sistema eléctrico aislado	42
2.1 Criterio de diseño	42
2.2 Análisis de cargas eléctricas	43
2.2.1 Identificación de aparatos eléctricos en ambientes críticos.....	45
2.2.2 Elaboración de cuadros de carga	46
2.3 Cálculo para dimensionar los conductores	46
2.3.1 Cálculo de conductores	47
2.3.2 Selección de conductores a tierra	48
2.4 Cálculo de diámetro de tubería para conductores	49
2.5 Tableros aislados de distribución	51
2.5.1 Sistema de monitoreo de fallas.....	52
2.5.2 Transformador de aislamiento.....	53
2.6 Sistema ininterrumpido de potencia	54

2.7 Puesta a tierra	55
2.8 Aspecto económico	58
2.9 Elaboración de planos eléctricos.....	59
2.10 Fase de comisionamiento del sistema eléctrico aislado.....	62
Conclusiones.....	64
Referencias.....	65
Apéndices	67
Apéndice A. Cuadro de cargas del tablero TA-2.1.1.....	67
Apéndice B. Cuadro de cargas del tablero TA-2.1.2.....	68
Apéndice C. Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.1.....	69
Apéndice D. Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.2	70
Apéndice E. Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.3.....	71
Apéndice F. Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.4.....	73
Apéndice G. Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.5	74
Apéndice H. Cuadro de cargas del tablero TA-2.3.1	75
Apéndice I. Cuadro de cargas del tablero TA-2.4.1.....	76
Apéndice J. Cuadro de cargas del tablero TA-2.4.2.....	77
Apéndice K. Cuadro de cargas del tablero TA-UCI-2.....	78
Apéndice L. Cuadro de cargas del tablero TA-UCIN-2.....	79
Apéndice M. Cuadro de cargas del tablero TA-NEO-2	80
Anexos	82
Anexo A. Plano eléctrico de tomacorrientes contractual del segundo nivel.....	82
Anexo B. Plano eléctrico de tomacorrientes actualizado del segundo nivel.....	83
Anexo C. Cálculo de alimentadores para tableros adicionales.....	84

Lista de tablas

Tabla 1. Zonas de tiempo/corriente para corriente alterna a 15 Hz a 100 Hz.....	11
Tabla 2. Algunos símbolos encontrados en equipos médicos.	20
Tabla 3. Niveles de atención, complejidad y categorías e institutos de centros médicos.....	22
Tabla 4. Lista de ejemplos de localizaciones en hospitales.	23
Tabla 5. Ambientes donde se requiere el sistema eléctrico aislado.....	27
Tabla 6. Ramales de eléctricos esenciales y sus suministros.	29
Tabla 7. Resultados del análisis de cargas del sistema normal.....	39
Tabla 8. Resultados del análisis de cargas del sistema de emergencia.	39
Tabla 9. Tableros eléctricos aislados instalados.....	44
Tabla 10. Equipos electro médicos permanentemente conectados.	45
Tabla 11. Características de los tableros adicionales.....	47
Tabla 12. Conductor de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna.	48
Tabla 13. Característica de los cables de distribución.	49
Tabla 14. Máximo porcentaje de llenado de conductor y tuberías eléctricas.....	50
Tabla 15. Máximo número de conductores de una dimensión en tuberías pesadas o livianas.	50
Tabla 16. Factores de la malla del sistema de puesta a tierra.	57
Tabla 17. Resultados del método de Schwarz para malla a tierra.....	58
Tabla 18. Costo referencial de rediseño del sistema eléctrico aislado.....	59

Lista de figuras

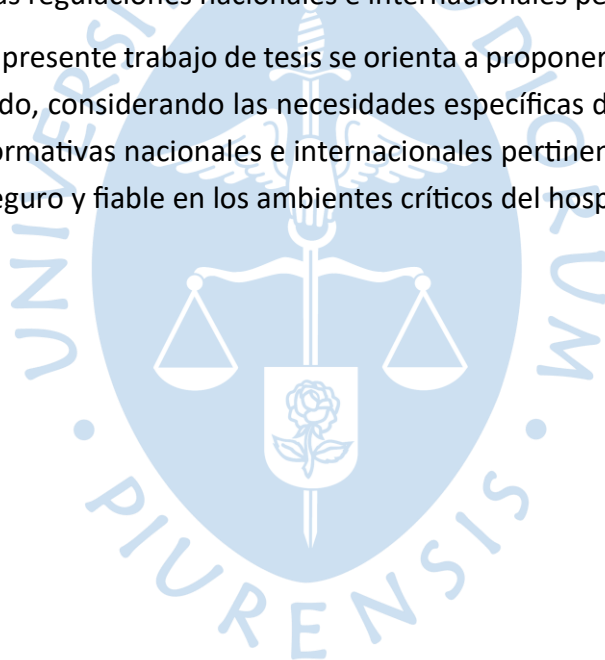
Figura 1. Regiones convencionales de tiempo/corriente alterna (de 15 a 100 Hz).....	13
Figura 2. Ejemplo de macroschock con equipo considerando su fuga a tierra.	14
Figura 3. Intervalo de susceptibilidad de los ventrículos e inicio de fibrilación durante el ciclo cardíaco.	16
Figura 4. Ejemplo de equipo electro médico de clase I.	18
Figura 5. Ejemplo de equipo electro médico de clase II.	19
Figura 6. Aspectos de la demanda y su correlación con las particularidades de la oferta.	21
Figura 7. Típicos ambientes del UPSS centro obstétrico.....	25
Figura 8. Típicos ambientes del UPSS centro quirúrgico.....	26
Figura 9. Típicos ambientes del UPSS unidad de cuidados intensivos.....	27
Figura 10. Disposición de los sistemas eléctricos en hospitales.	30
Figura 11. Representación del sistema eléctrico aislado	31
Figura 12. Típicos tableros eléctricos de distribución en hospitales	32
Figura 13. Codificación usada para describir un sistema de protección de descargas.....	33
Figura 14. Representación del sistema TN-S.....	34
Figura 15. Representación del sistema TT.....	34
Figura 16. Representación del sistema IT.	35
Figura 17. Ubicación del proyecto Hospital de Apoyo Sullana II-2	36
Figura 18. Hospital de Apoyo Sullana II-2.....	37
Figura 19. Hospital de Apoyo Sullana II-2.....	42
Figura 20. Ejemplos de equipos electro médicos.....	45
Figura 21. Cableado en tubería.....	51
Figura 22. Tablero TA-UCI-2	52
Figura 23. Monitor de Aislamiento de Línea (LIM).....	53
Figura 24. Transformador de aislamiento de 10kVA.....	53
Figura 25. SAI usado para el sistema IT para uso médicos.	55
Figura 26. Sistema de puesta a tierra interconectado del Hospital de Apoyo Sullana II-2.....	56
Figura 27. Sala de operaciones de especialidades.	60
Figura 28. Sala cuidados intensivos.....	61
Figura 29. Sala cuidados intermedios.....	61
Figura 30. Sala de cuidados intensivos neonatal.	62

Introducción

Durante la ejecución de la obra del Hospital de Apoyo Sullana II-2, debido a la modalidad FastTrack del proyecto, se definieron las características de los equipos electro médicos complejos pertenecientes a ambientes críticos, los cuales son alimentados por el sistema eléctrico aislado. Este sistema se instaló en salas de operaciones, salas de partos, unidades de cuidados intensivos, unidades de cuidados intermedios, unidades de cuidados intensivos neonatales y salas de parto. Dichos equipos requieren un tipo de alimentación especializada que difiere significativamente de la propuesta inicial en los planos contractuales.

La necesidad de esta reevaluación surgió de la identificación de requisitos técnicos específicos para el funcionamiento óptimo de los equipos médicos, como la estabilidad del suministro eléctrico, la protección contra fallas a tierra y la minimización de interferencias electromagnéticas. Además, se consideraron los estándares de seguridad y calidad aplicables a instalaciones eléctricas en entornos médicos críticos, conforme a normativas como la NTP IEC 60364-7-710 y otras regulaciones nacionales e internacionales pertinentes.

Por lo tanto, el presente trabajo de tesis se orienta a proponer un rediseño integral del sistema eléctrico aislado, considerando las necesidades específicas de los equipos médicos y cumpliendo con las normativas nacionales e internacionales pertinentes, garantizando así un suministro eléctrico seguro y fiable en los ambientes críticos del hospital.



Capítulo 1

Seguridad eléctrica en hospital

El objetivo de las instituciones de salud, en términos de infraestructura, es garantizar un entorno adecuado para los servicios médicos. La seguridad de estos establecimientos depende de una planificación eficaz de sus instalaciones. Para mitigar los riesgos eléctricos, es crucial identificarlos, comprender sus repercusiones y desarrollar estrategias para su eliminación o minimización.

1.1 Impacto de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.

La presencia de equipos biomédicos eléctricos en entornos críticos hospitalarios, como salas de operaciones, implica la manifestación de riesgos eléctricos contemplados en la planificación de estos espacios. Estos peligros constituyen una preocupación constante para la seguridad de pacientes y profesionales de la salud. Se evaluarán los riesgos asociados al uso inapropiado de dispositivos eléctricos y las condiciones adversas del entorno.

1.1.1 Riesgos eléctricos en ambientes hospitalarios.

Los incidentes eléctricos en entornos hospitalarios se originan en dos factores principales: comportamientos inseguros de los individuos y condiciones inadecuadas debido al deterioro de equipos médicos y áreas de trabajo. Aunque los accidentes son imprevistos, son prevenibles mediante medidas apropiadas.

Las corrientes eléctricas que circulan por el cuerpo humano pueden generar tres tipos de efectos fisiológicos, clasificados según su frecuencia. El primer efecto es la electrólisis, comúnmente asociada con corriente continua, implica el desplazamiento de iones dentro del tejido, causando migración de átomos de sodio y cloro entre electrodos, lo que desencadena reacciones químicas y destrucción celular. Corrientes de 50 mA pueden ulcerar la piel bajo los electrodos tras exposición prolongada, pero este efecto disminuye a frecuencias superiores a 10 Hz, donde la corriente iónica es reemplazada por corriente capacitiva.

Tabla 1

Zonas de tiempo/corriente para corriente alterna a 15 Hz a 100 Hz

Zona	Límites	Efectos fisiológicos
AC-1	Hasta 0,5 mA. Curva A	Percepción posible, pero normalmente no hay reacción de "sobresalto".
AC-2	0,5 mA hasta Curva B	Percepción y contracciones musculares involuntarias probables, pero por lo general ningún efecto fisiológico eléctrico perjudicial.

AC-3	Curva superior	B y	Fuertes contracciones musculares involuntarias. Dificultad para respirar. Alteraciones reversibles de la función cardiaca. Puede producirse inmovilización. Efectos crecientes con la magnitud de la corriente. Generalmente no cabe esperar daños orgánicos.
	Por encima de la curva c_1		Pueden producirse efectos fisiopatológicos como paro cardíaco, paro respiratorio y quemaduras u otros daños celulares. Probabilidad de fibrilación ventricular creciente con la magnitud y el tiempo de la corriente.
AC-4	c_1-c_2		AC-4.1 Probabilidad de que aumente la fibrilación ventricular hasta aproximadamente un 5%.
	c_2-c_3		AC-4.2 Probabilidad de fibrilación ventricular hasta aproximadamente el 50%.
	Más allá de la curva c_3		AC-4.3 Probabilidad de fibrilación ventricular superior al 50%.

Nota: International Electrotechnical Commission (2016, p. 25)

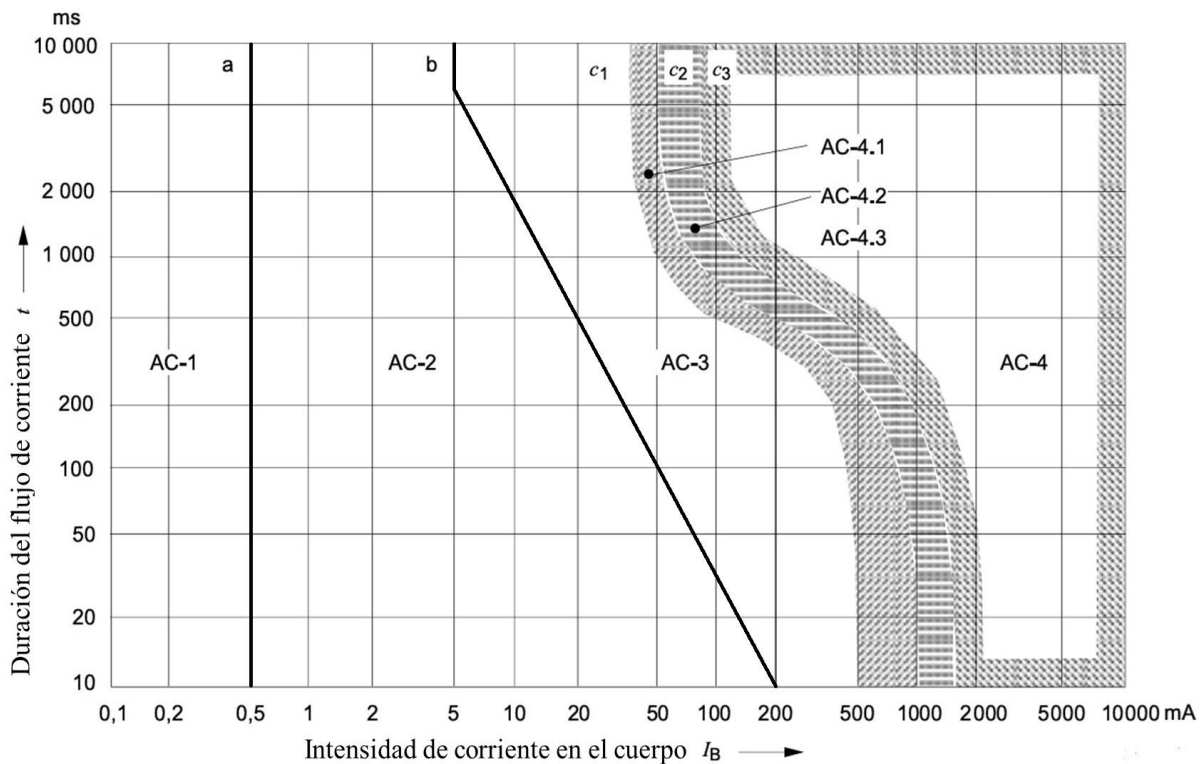
En el diseño de dispositivos médicos, es esencial mantener las corrientes de corriente continua por debajo de niveles perjudiciales. Según la norma IEC 60601-1, se permite una fuga máxima de 10 mA en corriente continua y 50 mA en situaciones de fallo.

Otro efecto fisiológico son las alteraciones neuromusculares, predominantes a frecuencias de 15 Hz a 100 Hz. Los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica en estas condiciones son resumidos en la **Tabla 1** y representada en la **Figura 1**.

En la **Tabla 1**, para períodos de flujo de corriente menores a 200 ms, la fibrilación ventricular solamente se inicia durante el intervalo vulnerable (**Figura 1**) si se exceden los umbrales pertinentes.

Figura 1

Regiones convencionales de tiempo/corriente alterna (de 15 a 100 Hz)



Nota. Se describen los efectos de las corrientes en el cuerpo humano, en un trayecto de corriente que va desde la mano izquierda hasta los pies. *Fuente.* International Electrotechnical Commission (2016, p. 45)

Por último, se aborda el calentamiento, un efecto fisiológico manifestado principalmente entre los 100 kHz – 30 MHz, diferenciándose en dos tipos: óhmico o dieléctrico. El calentamiento óhmico ocurre hasta frecuencias de aproximadamente de 100 kHz debido al componente resistivo de la impedancia (I^2R), esto provoca quemaduras importantes en la piel.

La impedancia total de la piel consta de los componentes resistivos y capacitivos. Entonces, a frecuencias más altas (>100 kHz), la impedancia de la piel se reduce y la corriente capacitiva se vuelve predominante, provocando un calentamiento dieléctrico. (International Electrotechnical Commission, 2016, p.15)

El término "descarga eléctrica" describe la corriente eléctrica que atraviesa la piel y produce los efectos fisiológicos mencionados previamente. En el ámbito médico, es crucial diferenciar entre este tipo de shock, conocido como macroshock, y la corriente aplicada directamente a un órgano sensible como lo es el corazón o cerebro, que ocurre exclusivamente durante procedimientos médicos, conocido como microshock, conocida desde los primeros trasplantes cardíacos en los años sesenta. Se observó que corrientes tan

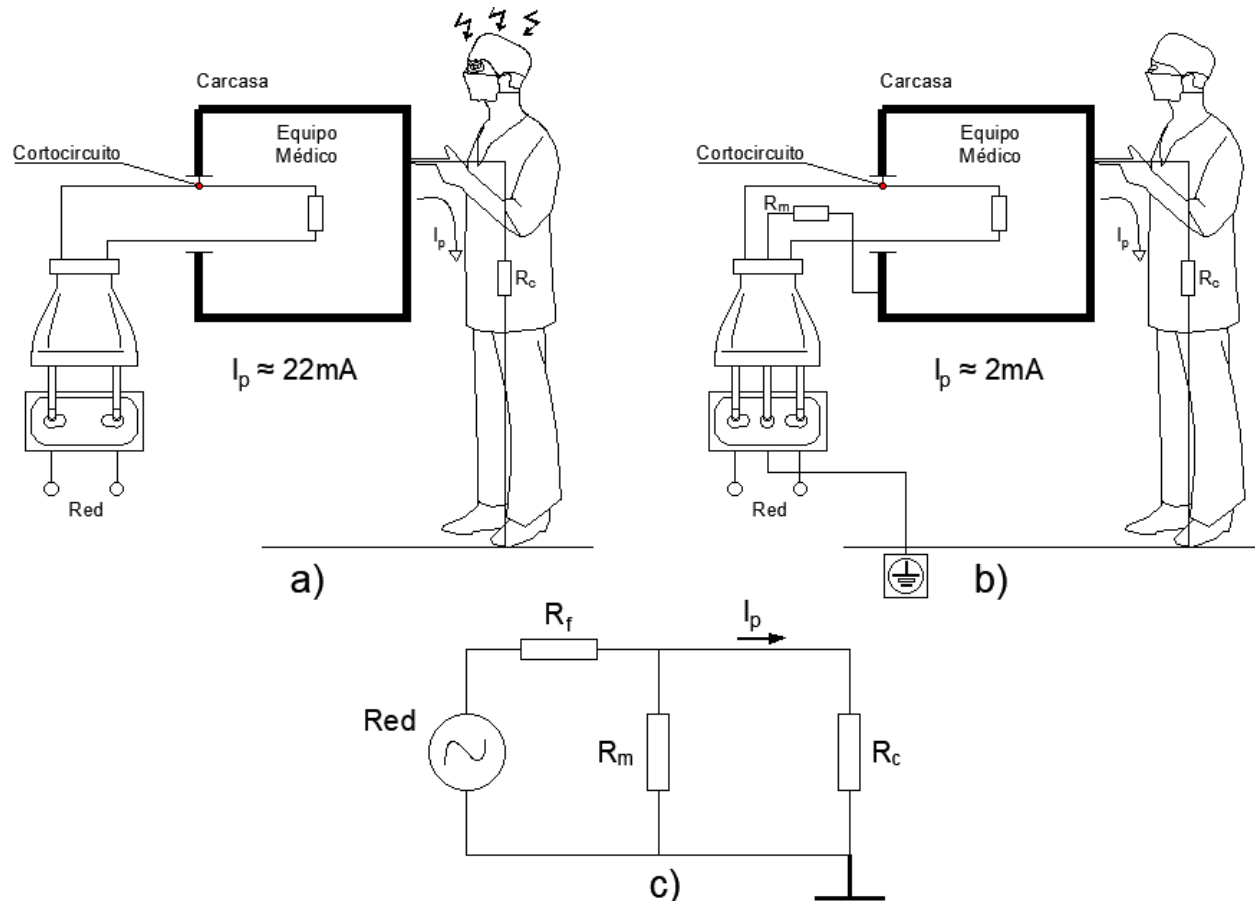
bajas como 50 mA, aplicadas al corazón, podían interferir con su funcionamiento, sin poder ser percibidas. (Taktak & McCarthy, 2020)

El macroshock ocurre cuando una corriente significativa atraviesa la piel, provocando sensaciones, movimiento, fibrilación y quemaduras. Un ejemplo práctico es cuando se produce un cortocircuito, o las partes metálicas de un equipo no están aterradas, o hay una pérdida de aislamiento en el cable de alimentación, energizando partes que no deberían estar bajo tensión.

En la **Figura 2** ilustra un cortocircuito típico, donde la carcasa del equipo médico contacta con un circuito cuyo aislante ha fallado. Para evidenciar la gravedad de la situación, se asignarán valores y se reemplazarán en el circuito equivalente representado en la parte c de la **Figura 2**.

Figura 2

Ejemplo de macroshock con equipo considerando su fuga a tierra



Nota. Situación típica de cortocircuito producido por el desgaste del aislamiento y su circuito equivalente. *Fuente:* Galván & Pallas-Areny (1980)

Considerando una resistencia de pérdida de aislamiento $R_f = 1\ \Omega$, una resistencia desde la carcasa a tierra a través del operario de $R_c = 10\ \text{k}\Omega$ y una resistencia de puesta a tierra ausente $R_m \approx \infty$ para una tensión de red de 220 voltios, se concluye que una corriente

de aproximadamente 22 mA circularía a través del usuario. Este valor, contrastado con la **Figura 2** se ubica en la zona “AC-2”, donde probablemente se experimenten percepciones y contracciones musculares involuntarias, pero sin efecto fisiológico eléctrico adverso significativo.

La solución evidente es conectar la carcasa del equipo a tierra mediante un cable, tal como lo muestra la **Figura 2.b)** proporcionando un camino de baja impedancia (suponiendo un valor para $R_m = 0.1 \Omega$) en paralelo con el usuario reduciendo la corriente que atraviesa al usuario a solo 2 mA. La conclusión extraída es que todos los dispositivos en entornos hospitalarios deben contar con un tercer conductor para puesta a tierra.

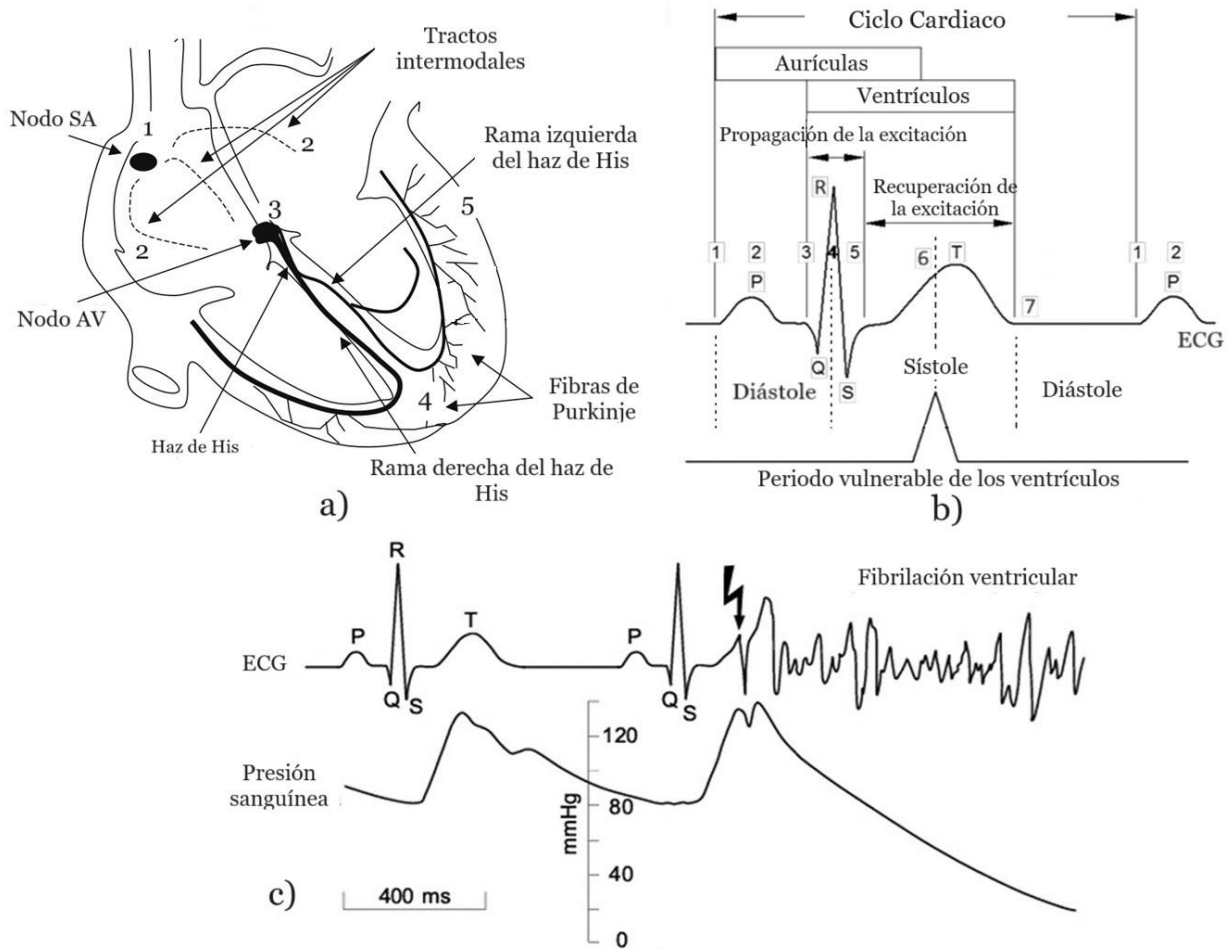
Este escenario ejemplifica un problema común; aunque la mayoría de los equipos hospitalarios ya incluyen este tercer conductor y surgen otras situaciones imprevistas como las provocadas por microshock.

La descarga eléctrica conocida como microshock se refiere a situaciones en las que pequeñas cantidades de corriente, indetectables para el sujeto, pueden provocar graves consecuencias, como la fibrilación cardíaca, al introducir un conductor debajo de la piel o cerca de órganos vitales como el corazón.

Es esencial comprender el concepto de corriente de fuga, que se hace referencia a la corriente que circula entre las partes energizadas del equipo y las partes metálicas accesibles. Esta corriente consta de una parte resistiva, causada por pérdidas de aislamiento en los cables de alimentación, y una parte reactiva, originada por acoplamientos inductivos y capacitivos entre componentes del equipo y su carcasa. (Galván & Pallas-Areny, 1980)

Figura 3

Intervalo de susceptibilidad de los ventrículos e inicio de fibrilación durante el ciclo cardíaco



Nota. Esta imagen está complementada para su mejor comprensión. *Fuente.* (International Electrotechnical Commission, 2016; Romanò, 2015)

La corriente de fuga puede ser conducida a través de implementos médicos conectados de forma subcutánea al paciente, afectando órganos sensibles como el corazón y el tronco cerebral. El límite de corriente considerado seguro para una parte aplicada al corazón es de $10 \mu\text{A}$ en condiciones normales y $50 \mu\text{A}$ en situaciones de falla única.

Durante el intervalo de repolarización del corazón, especialmente durante la onda T del electrocardiograma, existe una alta susceptibilidad a una descarga eléctrica. Si la corriente pasa durante los aproximadamente 100 ms de la onda T, puede alterarla, y si persiste durante más de un ciclo cardíaco, puede provocar la detención cardíaca. La coincidencia con la onda T es crucial para el riesgo de detención cardíaca en períodos de corriente cortos inferiores a 1 s. (Grimnes & Martinsen, 2015)

La actividad eléctrica del corazón se muestra en la **Figura 3**, está regulada por el nódulo sinoauricular (SA), compuesto por células marcapasos que generan impulsos eléctricos rítmicos, usualmente entre 60 y 100 latidos por minuto. Estos impulsos se propagan a través

de vías preformadas hacia las aurículas y el nódulo auriculoventricular (AV), que es la única conexión normal entre las aurículas y los ventrículos, ejerciendo como punto de paso ineludible para los impulsos hacia los ventrículos.

La propagación de los impulsos eléctricos desde el nódulo auriculoventricular (AV) hacia los ventrículos se realiza mediante un sistema de conducción especializado. El haz de His, que se origina en el nódulo AV y se divide en ramas derecha e izquierda dentro del tabique ventricular, forma parte de este sistema. Estas ramas se subdividen en una red de fibras subendocárdicas conocida como la red de fibras de Purkinje (punto 4), que distribuye la corriente de despolarización por todo el miocardio ventricular (punto 5).

El proceso de eyección ventricular, que ocurre entre los puntos 5 y 7 de la **Figura 3.b)**, se divide en fases rápida y lenta, y representa el periodo vulnerable ante una corriente de fuga, donde también ocurre la repolarización ventricular.

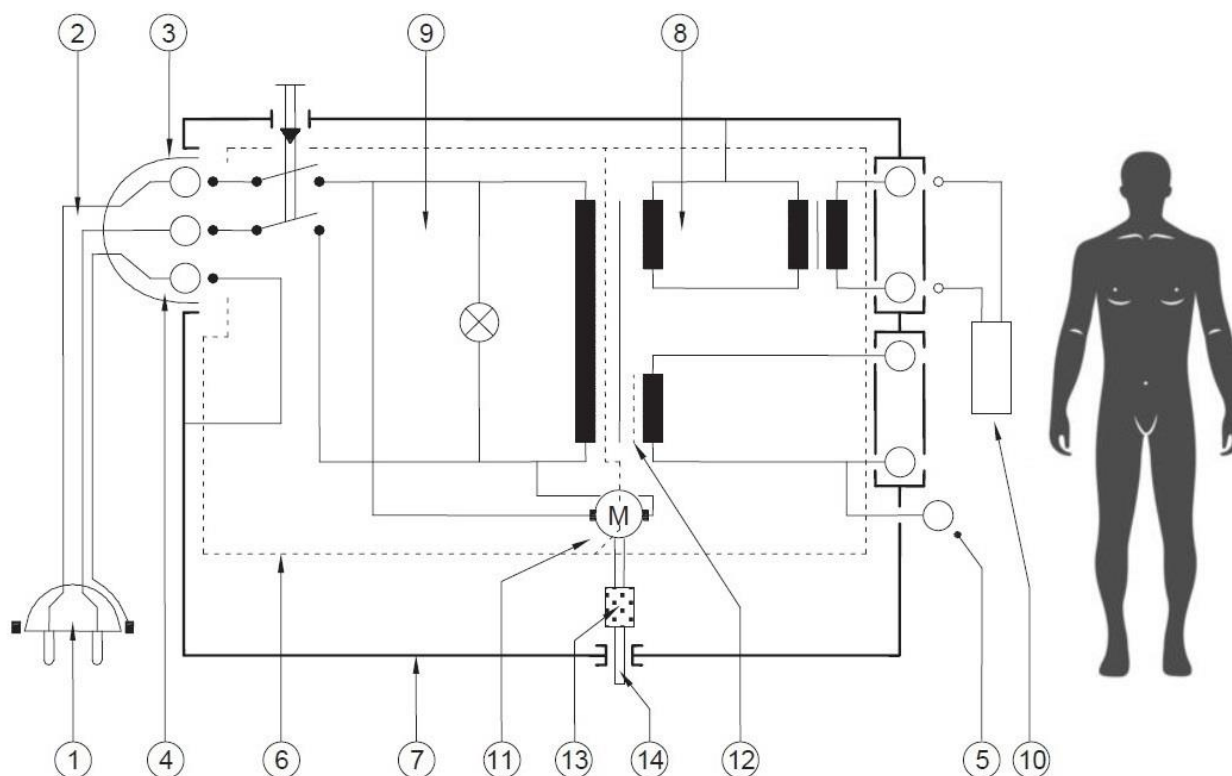
Por último, se aprecia en la **Figura 3.c)** el desencadenamiento de la fibrilación ventricular durante el intervalo vulnerable representado en el electrocardiograma y la presión arterial. (International Electrotechnical Commission, 2016; Romanò, 2015)

1.1.2. Métodos y grados de protección de los equipos médicos

De acuerdo con la norma IEC 60601-1, que establece requisitos de seguridad eléctrica para equipos médicos, existen dos métodos de protección contra la electrocución en función de la clase de seguridad eléctrica del equipo.

Los equipos de clase I, como se muestra en la **Figura 4**, emplean aislamiento básico junto con la conexión a tierra de todas las partes conductoras accesibles, excepto aquellas que están doblemente aisladas. Este método proporciona dos medios de protección del operador (MOOP). El terminal de tierra de protección está identificado, generalmente de manera no visual para el operador, mediante el símbolo que se muestra en la **Tabla 2**, elemento 5.

En contraste, los equipos de clase II (**Figura 5**) prescinden de una conexión a tierra de protección, sino que tienen un doble aislamiento entre la red y cualquier parte conductora accesible para proporcionar los dos MOOP requeridos. Este doble aislamiento puede ser una combinación de aislamiento básico y suplementario, o ambos pueden integrarse en una sola capa de aislamiento reforzado. Estos equipos están identificados con el símbolo que se muestra en la **Tabla 2**, elemento 6. (Taktak & McCarthy, 2020)

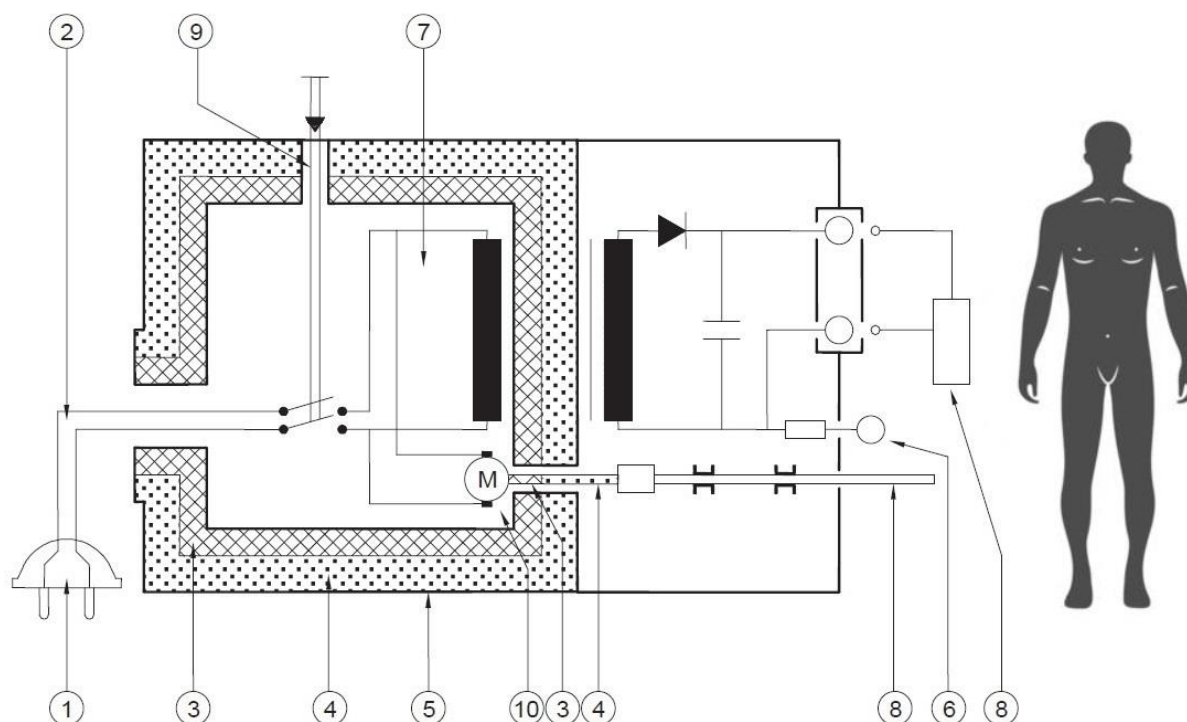
Figura**4.***Ejemplo de equipo electro médico de clase I*

- ① Enchufe de red con el contacto de protección a tierra. ② Cable de alimentación desmontable ③ Acoplador del aparato. ④ Contacto de red de puesta a tierra y su clavija. ⑤ Borne de tierra funcional. ⑥ Aislamiento básico. ⑦ Carcasa. ⑧ Circuito secundario. ⑨ Parte principal. ⑩ Parte aplicada. ⑪ Motor. ⑫ Pantalla de protección puesta a tierra. ⑬ Aislamiento suplementario. ⑭ Eje que es parte accesible.

Nota. (International Electrotechnical Commission, 2012)

El término "equipo clase III" no está formalmente definido en la norma IEC 60601-1, pero se utiliza para identificar aquellos equipos que funcionan con una tensión de red muy baja y cuya seguridad depende principalmente de la instalación y de otros equipos conectados a ella, factores que escapan al control del operador y, por lo tanto, no son aceptables para equipos médicos.

Figura 5
Ejemplo de equipo electro médico de clase II















- ① Enchufe de red. ② Cable de alimentación. ③ Aislamiento básico. ④ Aislamiento suplementario. ⑤ Carcasa. ⑥ Borne de tierra funcional. ⑦ Parte principal. ⑧ Parte aplicada
⑨ Aislamiento reforzado. ⑩ Motor.

Nota. (International Electrotechnical Commission, 2012)

Además de los métodos de protección, la norma establece tres tipos de piezas aplicadas en función del nivel de protección entre el equipo y la pieza aplicada: tipo B, tipo BF y tipo CF.

Las piezas aplicadas tipo B (“body”; **Tabla 2**, elemento 7) proporcionan protección para un rango limitado de corrientes de fuga permisibles, mientras que las piezas aplicadas aisladas tipo F (“floating”), están completamente aisladas del equipo, evitando que fluya una corriente superior a la corriente de escape del paciente en caso de que se conecte a una tensión no intencionada de origen externo.

Tabla 2*Algunos símbolos encontrados en equipos médicos*

Ítem	Símbolo	Título	Ítem	Símbolo	Título
1		Corriente alterna.	7		Parte aplicada tipo B.
2		Corriente alterna trifásica.	8		Parte aplicada tipo BF.
3		Corriente alterna trifásica con conductor neutro.	9		Parte aplicada tipo CF.
4		Corriente continua.	10		Parte aplicada a prueba de desfibrilación tipo B.
5		Tierra de protección (aterramiento). Clase I.	11		Parte aplicada a prueba de desfibrilación tipo BF.
6		Equipamiento de clase II.	12		Parte aplicada a prueba de desfibrilación tipo CF.

Nota. Estos son solo algunos ejemplos de la simbología usada en equipos médicos. *Fuente.* (International Electrotechnical Commission, 2012)

La pieza aplicada tipo BF (“body floating”; **Tabla 2**, elemento 8) es una variante de la pieza aplicada tipo F con un grado adicional de protección proporcionado por las partes aplicadas tipo B. Por último, la pieza aplicada tipo CF (“Cardiac Floating”; **Tabla 2**, elemento 9) es adecuada para aplicaciones cardíacas directas. (International Electrotechnical Commission, 2012)

Un equipo médico puede tener varias partes de diferentes tipos; por ejemplo, en un desfibrilador, la parte del ECG es tipo CF y los respiradores mecánicos son tipo BF. La **Tabla 2**

muestra la simbología eléctrica típica utilizada en equipos médicos para identificar las partes, su tipo de alimentación y otras características relevantes para su uso adecuado.

1.2 Definiciones técnicas sobre infraestructuras médicas

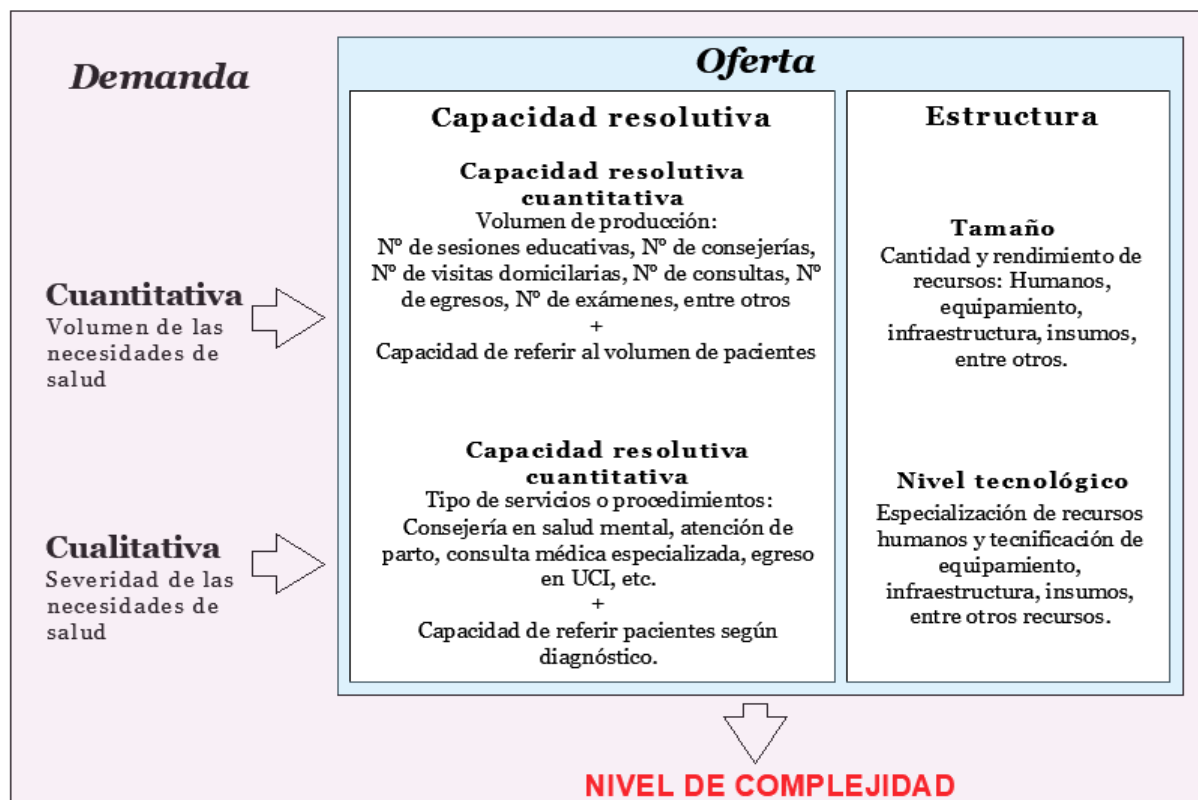
La creación de un centro de salud surge de la necesidad de brindar atención médica a una población específica, y la complejidad de sus instalaciones estará determinada por esta demanda. Se consideran elementos humanos, tecnológicos y físicos para evaluar la capacidad de resolución de los servicios de salud (**Figura 6**).

Basándose en esta evaluación, se organizan las Unidades Productoras de Servicios de Salud (UPSS), lo que afecta su tamaño y nivel tecnológico. El tamaño se refiere a la relación entre los recursos necesarios para ofrecer servicios médicos y las necesidades de salud de la población, mientras que el nivel tecnológico aborda la especialización y sofisticación tecnológica requerida en relación con las necesidades de salud de la población. (Ministerio de Salud, 2005)

Este enfoque integral garantiza que los centros de salud estén estratégicamente ubicados, lo que facilita una atención médica oportuna y efectiva para todos los miembros de la comunidad, especialmente aquellos en áreas remotas o de difícil acceso.

Figura 6

Aspectos de la demanda y su correlación con las particularidades de la oferta



Nota: Ministerio de Salud (2005).

1.2.1 Categorías de los establecimientos de salud

En el Perú, el Ministerio de Salud (MINSA) clasifica los establecimientos de salud según su nivel de atención, aumentando en complejidad de acuerdo con la **Tabla 3**. Esta categorización sirve como herramienta de regulación para el MINSA y otros sectores, como las fuerzas armadas, policiales y centros privados de salud. Esta clasificación facilita la planificación de nuevas instalaciones y la identificación de los servicios que albergan.

El proyecto del Hospital de Apoyo Sullana II-2 se clasifica como categoría II-2, lo que implica ciertas características específicas. Los centros de esta categoría deben contar con una serie mínima de Unidades Prestadoras de Servicios de Salud (UPSS), que incluyen consulta externa, emergencia, hospitalización, centro obstétrico, centro quirúrgico, unidad de cuidados intensivos, entre otros. Los centros de atención general y hospitales también entran en esta categoría.

Tabla 3

Niveles de atención, complejidad y categorías e institutos de centros médicos

Niveles de atención	Niveles de complejidad	de establecimientos de salud	Categorías de Institutos del sector salud
Primer nivel de atención	1° nivel	I-1	Puesto de salud
	2° nivel	I-2	Puesto de salud con médico
	3° nivel	I-3	Centro de salud sin internamiento
	4° nivel	I-4	Centro de salud con internamiento
Segundo Nivel de Atención	5° nivel	II-1	Hospital I
	6° nivel	II-2	Hospital II
		II-E	Hospital II especializado
Tercer Nivel de Atención	7° nivel	III-1	Hospital III
	8° nivel	III-E	Hospital III especializado
		III-2	Instituto especializado

Nota. Esta tabla esta actualizada según la NTP 021-MINSA/DGSO versión 3. *Fuente.* (Ministerio de Salud, 2011)

Asimismo, el MINSA presenta esta categorización como un instrumento de regulación del sector salud para categorizar las infraestructuras del propio ministerio de salud, como también, de las fuerzas armadas, policiales y centros de salud del sector privado.

Por consiguiente, se pueden discernir los centros de atención médica en función de las unidades prestadoras de servicios de salud que albergan, o bien, planificar la edificación de una nueva instalación en base a esta información.

El sistema eléctrico aislado en un centro de la categoría II-2 se centra principalmente en alimentar las UPSS del centro obstétrico, centro quirúrgico y unidad de cuidados intensivos, debido a la naturaleza invasiva de los equipos presentes en estos ambientes. Esto asegura un suministro eléctrico confiable para equipos críticos y garantiza la continuidad de la atención médica en estas áreas sensibles.

1.2.2 Clasificación de ambientes en hospitales

La clasificación de ambientes en hospitales se basa en el uso de equipos y sistemas electro médicos. Estos equipos, destinados a diagnosticar, tratar o controlar al paciente bajo supervisión médica, se dividen en tres grupos según su relación con el paciente y el riesgo asociado con la interrupción del suministro eléctrico.

En el grupo cero, no hay presencia de equipos o sistemas electro médicos. En el grupo uno, se utilizan externa o invasivamente equipos que, aunque conectados al paciente, no representan un riesgo significativo si se interrumpe el suministro eléctrico. Por último, en el grupo dos, se emplean equipos de manera invasiva, externa o intrusiva, y la interrupción del suministro eléctrico podría suponer un riesgo para la seguridad del paciente. Esta clasificación, orienta la gestión de riesgos y la planificación de seguridad en entornos médicos. (International Electrotechnical Commission, 2021)

Tabla 4

Lista de ejemplos de localizaciones en hospitales

Localización médica	Grupo		
	0	1	2
Área de terapias de masajes	X	X	
Baños		X	
Área de maternidad		X	
Sala de ECG, EEG, EHG		X	

Localización médica	Grupo		
	0	1	2
Área de procedimientos endoscópicos		X	
Sala de examen o tratamiento		X	
Sala de urología		X	
Área de diagnóstico y tratamiento radiológico		X	
Sala de hidroterapia	X		
Sala de fisioterapia	X		
Sala de anestesia			X
Quirófanos			X
Sala de preparación quirúrgica			X
Quirófano de escayolas			X
Sala de recuperación quirúrgica			X
Sala de cateterización cardíaca			X
Sala de cuidados intensivos			X
Área de estudios angiográficos			X
Sala de hemodiálisis		X	
Sala de resonancia magnética		X	
Medicina nuclear		X	
Habitación para bebés prematuros			X
Sala de cuidados intermedios			X

Nota. (International Electrotechnical Commission, 2021)

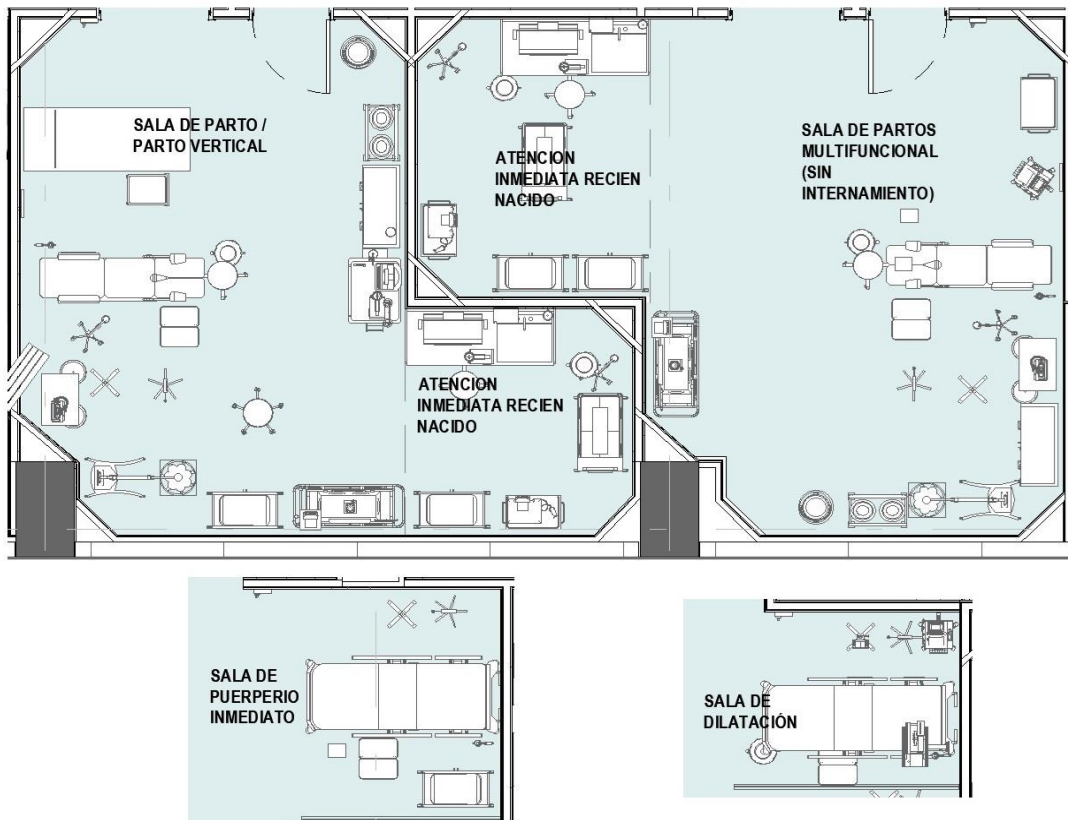
1.2.3 Salas críticas

Las salas críticas hospitalarias, destinadas a intervenciones invasivas, requieren un suministro eléctrico especial para mitigar riesgos, especialmente los asociados con micro choques. Estas salas, presentes en unidades de obstetricia, cirugía y cuidados intensivos, son de vital importancia y serán detalladamente analizadas.

El centro obstétrico, esencial en un hospital, se dedica al parto vaginal y al cuidado del puerperio y del recién nacido (**Figura 7**). Su infraestructura incluye salas específicas para diferentes etapas del proceso, atendidas por especialistas en ginecología, obstetricia, pediatría, enfermería y personal técnico.

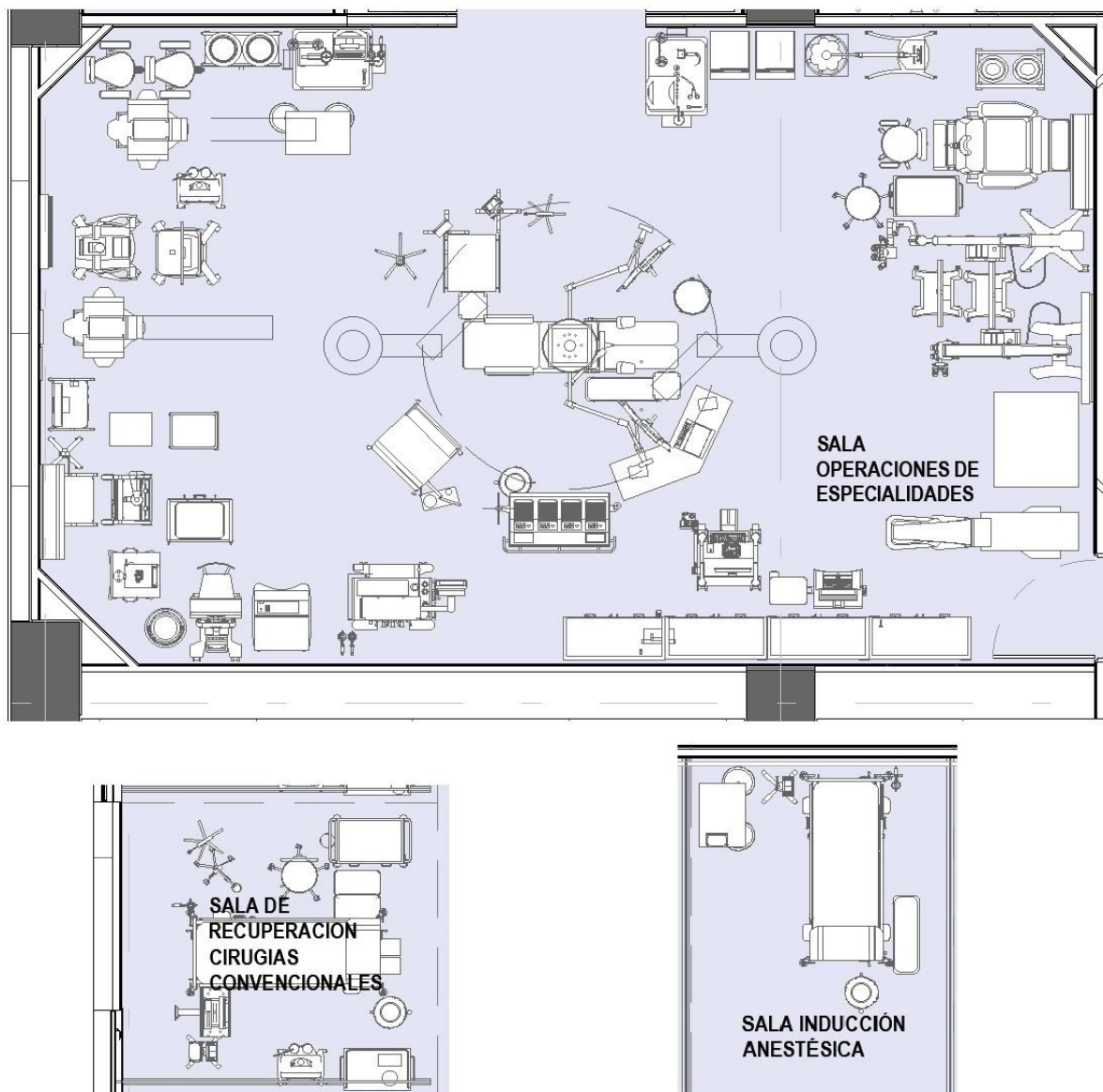
Figura 7

Típicos ambientes del UPSS centro obstétrico



Nota. Imágenes del plano de arquitectura del proyecto.

El centro quirúrgico está especializado en anestesia, procedimientos quirúrgicos, además se encarga también de la recuperación posanestésica y está conformado por áreas libre, semirrestringida y restringida (**Figura 8**), este centro cuenta con un equipo profesional diverso que incluye anesthesiólogos, enfermeros y técnicos en enfermería, además de especialistas en diversas ramas de la cirugía.

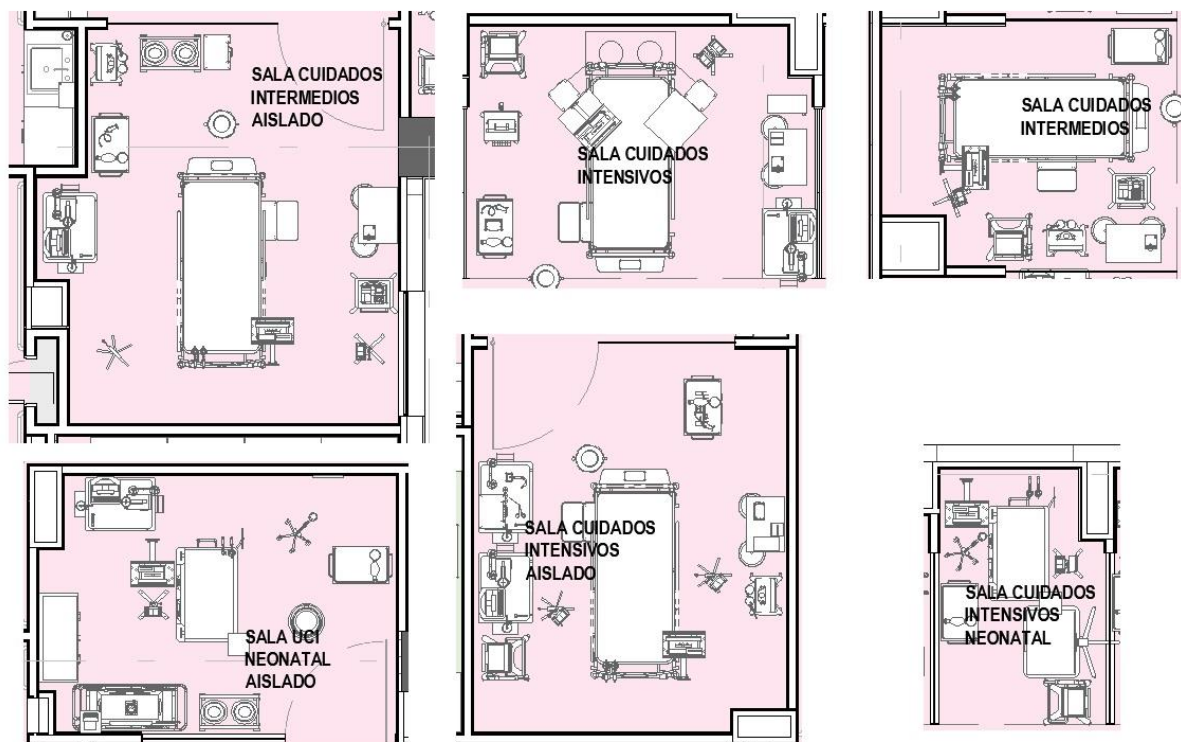
Figura 8*Típicos ambientes del UPSS centro quirúrgico*

Nota. Imágenes del plano de arquitectura del proyecto.

Por último, la unidad de cuidados intensivos (**Figura 9**) se enfoca en brindar atención médica intensiva a pacientes con condiciones médicas inestables y graves persistentes. Su infraestructura se divide en tres zonas: administrativa, de apoyo al personal asistencial y asistencial. La última incluye áreas para cuidados intensivos generales, intermedios y neonatales, y en algunos casos, pediátricos. El equipo está encabezado por un médico especializado en cuidados críticos o medicina interna, una enfermera con formación en cuidados intensivos y un técnico capacitado, este último especializado en pediatría y cuidados neonatales. (Ministerio de Salud, 2011)

Figura 9

Típicos ambientes del UPSS unidad de cuidados intensivos



Nota. Imágenes del plano de arquitectura del proyecto.

Según lo planificado, las UPSS del Hospital de Apoyo Sullana II-2 están conformada por lo mencionado en la **Tabla 5**.

Tabla 5

Ambientes donde se requiere el sistema eléctrico aislado

UPSS	Ambientes
	Sala de operaciones especiales.
Centro quirúrgico	Sala de operaciones cirugía general – urología. Sala de operaciones de emergencia. Sala de operaciones ginecología y obstetricia. Sala de legrados y AMEU.
	Sala de parto/parto vertical.
Centro obstétrico	Atención inmediata para recién nacido. Sala de partos multifuncional (sin internamiento).

UPSS	Ambientes
	Sala de cuidados intensivos Sala de cuidados intensivos aislado. Sala de cuidados intermedios.
UCI	Sala de cuidados intermedios aislado. Sala de cuidados intensivos neonatal. Sala cuidados intermedios neonatal. Sala UCI neonatal aislado.

Nota. Ambientes del plano de arquitectura del proyecto.

1.3 Distribución de energía eléctrica, protección e iluminación

Para cumplir con los estándares requeridos en proyectos de instalaciones eléctricas en establecimientos de salud, se debe adherir estrictamente a las normativas establecidas por el Código Nacional de Electricidad (CNE) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en especial al artículo 140. Estos lugares deben asegurar un suministro eléctrico ininterrumpido y contar con un sistema de energía alternativa, como generadores eléctricos de autoencendido, capaces de satisfacer la totalidad de las necesidades críticas del servicio. Además, se debe garantizar la viabilidad del suministro eléctrico por parte de la concesionaria correspondiente, mediante un estudio de factibilidad en media tensión que incluya el punto de diseño y los parámetros especificados por la concesionaria. (Ministerio de Salud, 2014)

1.3.1 Distribución de energía eléctrica dentro del hospital

Para la distribución eléctrica en un centro médico de esta categoría, se implementa un sistema tetrapolar compuesto por cinco hilos, incluyendo tres fases, neutro y tierra, con una tensión nominal de 380/220. Se instala una subestación equipada con protección homopolar y de secuencia negativa, transformadores de potencia tipo seco, y celdas de media tensión modular con protección de arco interno y gas SF₆, colocadas estratégicamente fuera de áreas subterráneas. Además, se incluye una sala técnica central que alberga los tableros de distribución generales, filtros armónicos, bancos de condensadores y supresores de pico de sobrevoltaje (TVSS) para garantizar la calidad del suministro energético.

Según la norma NFPA 90, el artículo 517 establece tres ramales esenciales para los sistemas eléctricos en instalaciones de salud: equipo, seguridad humana y crítico. Siguiendo esta directriz, la distribución eléctrica en el hospital se organiza en sistemas normal, de emergencia, estabilizado y aislado. (**Figura 10**).

Tabla 6*Ramales de eléctricos esenciales y sus suministros*

Ramal	Suministra a
Seguridad Humana	<ul style="list-style-type: none"> - Iluminación de las rutas de evacuación. -Señalización de salida. -Sistemas de alarma y alerta. -Sistemas de comunicación. - Ubicaciones de los generadores eléctricos y los interruptores de transferencia. -Accesorios del grupo electrógeno. -Elevadores. -Puertas automáticas.
Crítico	<ul style="list-style-type: none"> -Áreas de cuidado crítico. -Ambientes especiales. -Áreas de cuidado de pacientes. -Iluminación de trabajo y tomas adicionales para el cuidado especializado. -Sistemas de llamada de enfermeras. -Bancos de sangre, de huesos y de tejidos. -Cuartos y armarios para teléfonos y equipos de datos. -Tomacorrientes e iluminación en lugares seleccionados como laboratorios, área de hemodiálisis, UCI, sala de recuperación postoperatoria y otras especificadas en la norma NFPA 90-517.33
Del equipo	<ul style="list-style-type: none"> -Sistemas centralizados de succión para funciones médicas y quirúrgicas. -Bombas de sumideros y sus equipos necesarios. -Sistemas de aire comprimido. -Sistemas de control de humos y presurización de escaleras. -Sistemas de inyección o extracción de campanas de cocina.

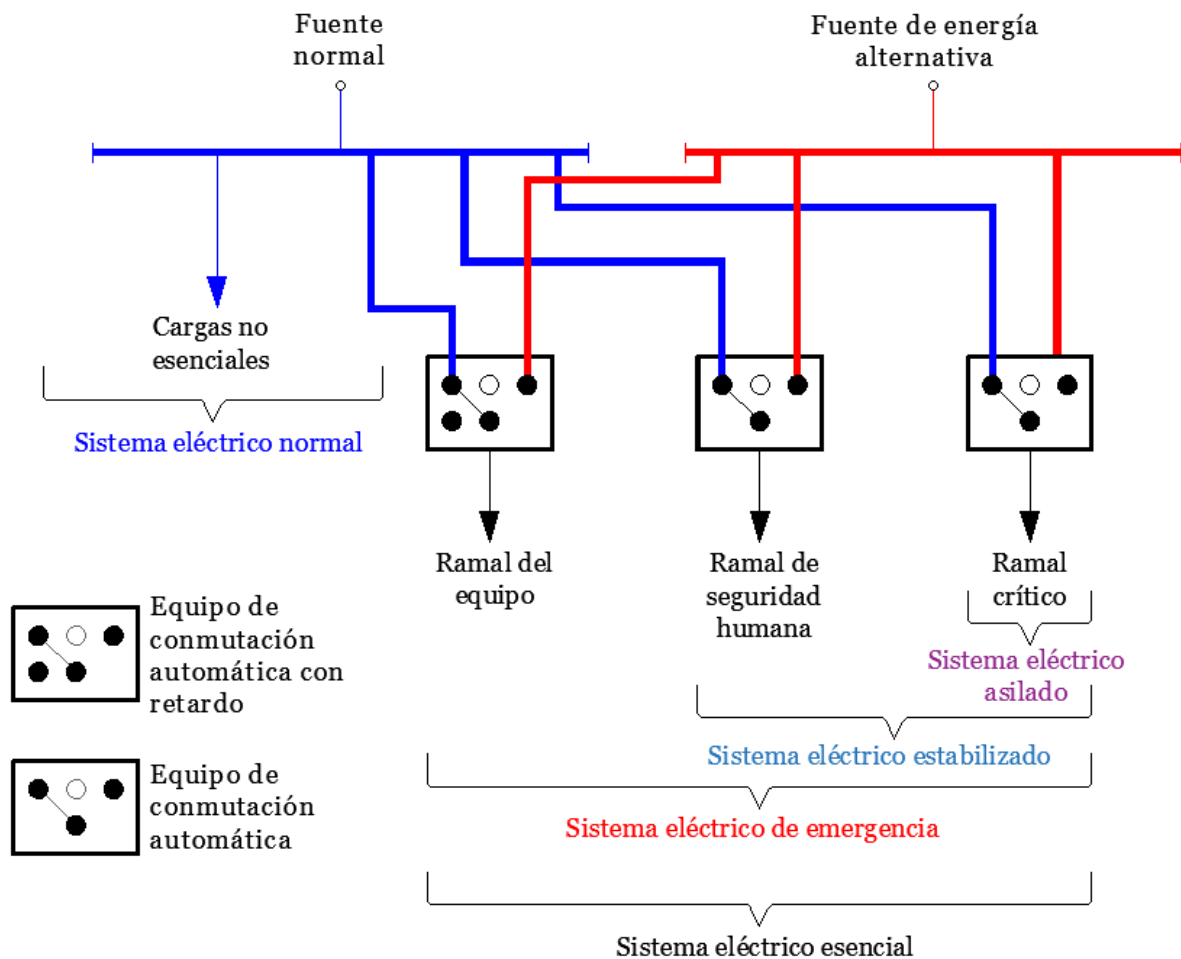
Ramal Suministra a

-Sistemas de inyección, retorno y extracción de ventilación en diferentes ambientes especificado en la norma NFPA 90-517.33.

Nota. (National Fire Protection Association, 2014)

Figura 10

Disposición de los sistemas eléctricos en hospitales



Nota. La representación ha sido modificada para comprender mejor el proyecto. *Fuente.* (National Fire Protection Association, 2014)

El sistema eléctrico normal del hospital abastece cargas no esenciales, como equipos HVAC específicos, dispositivos de desinfección y maquinaria para la gestión de residuos. En contraste, el sistema eléctrico de emergencia asegura la continuidad del servicio mediante una fuente alternativa, priorizando cargas críticas como los equipos HVAC vitales, sistemas de bombeo y suministros de gases medicinales. El sistema eléctrico estabilizado garantiza un suministro estable y continuo para cargas esenciales, utilizando un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) y un tablero de derivación. Este sistema alimenta dispositivos de comunicación, equipos de laboratorio y puntos de control de acceso.

Por último, el sistema eléctrico aislado, que será analizado a más detalle.

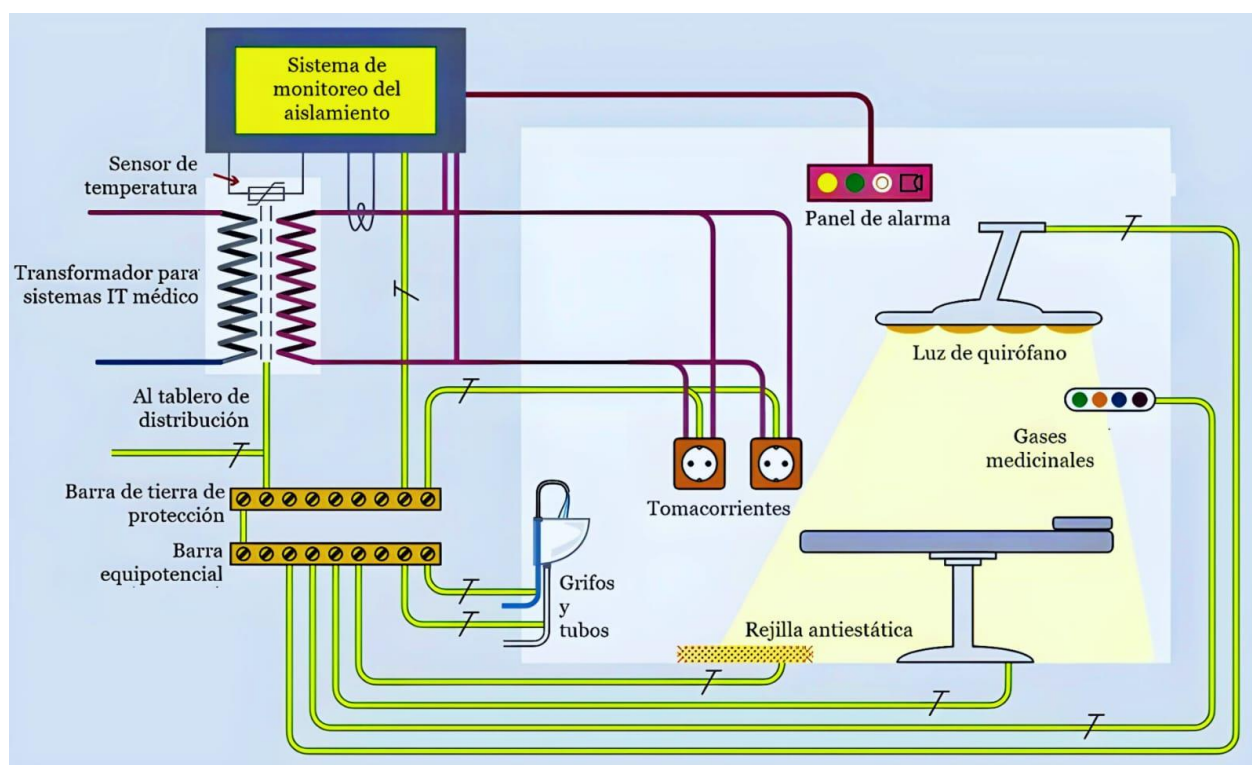
1.3.2 Sistema eléctrico aislado

El sistema eléctrico aislado provee energía al ramal crítico, ofreciendo máxima protección contra cortocircuitos, fallos de conexión a tierra y cortes del suministro, esencial para cargas vinculadas al tratamiento directo o indirecto del paciente.

Este sistema, segregado de otros, emplea un sistema de alimentación ininterrumpida y un tablero de aislamiento equipado con un transformador y monitor de aislamiento para salvaguardar contra fluctuaciones y contaminación armónica. Incorpora alarmas audibles, sensores de temperatura y protecciones como interruptores térmicos y diferenciales para garantizar la continuidad y seguridad eléctrica en áreas críticas hospitalarias.

Figura 11

Representación del sistema eléctrico aislado



Nota. Es una representación simplificada del sistema IT para uso médico. *Fuente.* (Siemens, 2016)

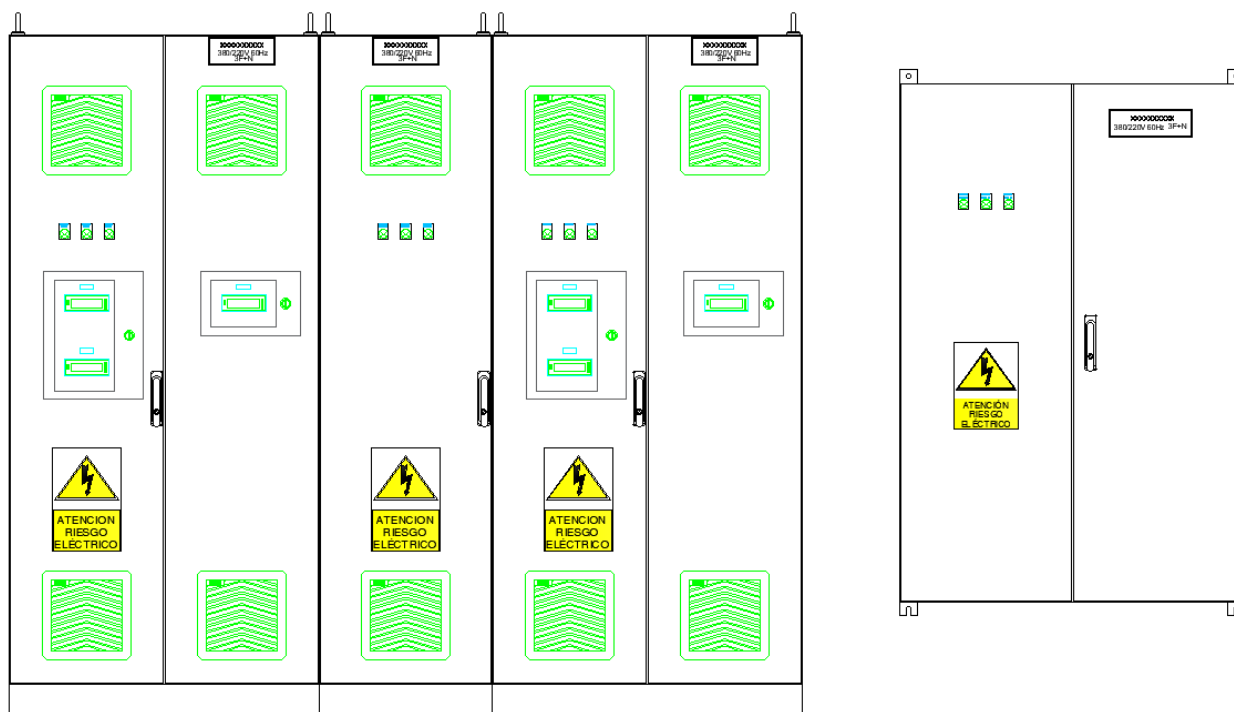
1.3.3 Tableros generales y de distribución en baja tensión

Los tableros generales, ya sea un solo panel o conjunto de paneles, sirven para montar interruptores, dispositivos de protección y conexiones para manejar y controlar corrientes máximas de falla. Son accesibles por ambas partes y albergan varios instrumentos. Mientras tanto, los tableros de distribución, formados por uno o más paneles, incluyen barras, dispositivos automáticos y, opcionalmente, interruptores para el control de circuitos. Se

instalan en gabinetes adosados o empotrados, siendo accesibles solo desde el frente. (Ministerio de Energía y Minas, 2006)

Figura 12

Típicos tableros eléctricos de distribución en hospitales



Nota. Tablero auto soportado (izquierda) y tablero adosado (derecha).

Para la distribución de energía en el hospital, se establecerán cuartos técnicos secundarios en cada nivel, con tableros específicos para áreas designadas. Los tableros terciarios, dedicados al equipamiento médico, se colocan cerca de los equipos correspondientes; los tableros de distribución y terciarios están dimensionados con un excedente del 20% para futuras expansiones.

Los cuartos técnicos, accesibles y ventilados, cuentan con ventilación natural o forzada si es necesario. En edificios de varios niveles, se distribuyen en cada piso, conectados por ductos verticales para los cables alimentadores.

1.3.4 Sistema de puesta a tierra en hospitales y salas críticas.

Existen diversos sistemas de puesta a tierra para la protección contra descargas eléctricas, seleccionados según las necesidades y características de la infraestructura eléctrica. En Perú, los sistemas más comunes son TN-S, TT e IT, cada uno con impacto significativo en la seguridad contra descargas.

Figura 13*Codificación usada para describir un sistema de protección de descargas*

Primera letra	Denota la relación que existe entre el sistema eléctrico y tierra.
---------------	--

T	Conexión directa mediante un punto del sistema eléctrico a tierra
I	Todas las partes activas se encuentran aisladas de la tierra, o se encuentra conectado a tierra mediante una impedancia.

Segunda letra	Es relación entre las partes conductoras expuestas de la instalación y tierra.
---------------	--

T	Existe una conexión directa de las partes conductoras expuestas con la tierra, de forma independiente de la puesta a tierra de cualquier punto del sistema eléctrico.
N	Tiene conexión eléctrica directa de las piezas conductoras expuestas al punto de puesta a tierra de la red eléctrica, comúnmente en una red de corriente alterna, el punto puesto a tierra es el neutro o, en caso no se cuente con neutro, una fase.

Letra Subsecuente	Configuración de los conductores del neutro y de protección.
-------------------	--

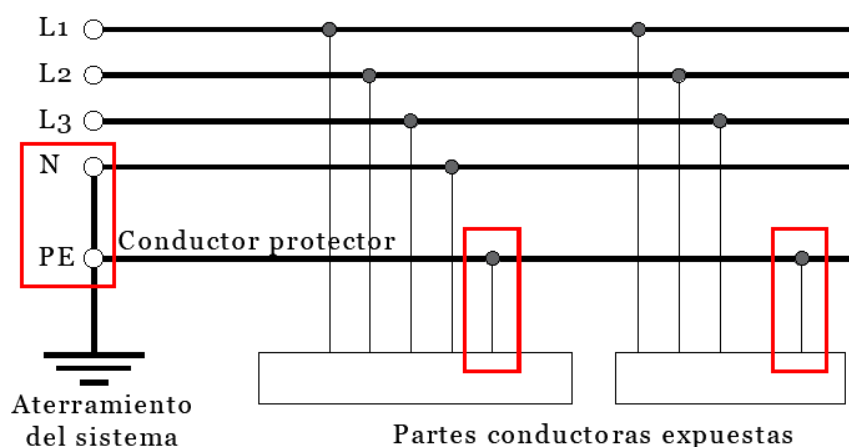
S	Función de protección dada por un conductor independiente del neutro o del conductor de línea conectado a tierra.
C	Funciones de neutro y protecciones combinadas en un único conductor (conductor PEN).

Nota. (International Electrotechnical Commission, 2021)

Los sistemas TN tienen un punto de conexión a tierra, donde las partes conductoras están unidas a través de conductores de protección. En el caso específico del sistema TN-S, se emplea un conductor de protección separado en toda la instalación (**Figura 14**).

Figura 14

Representación del sistema TN-S

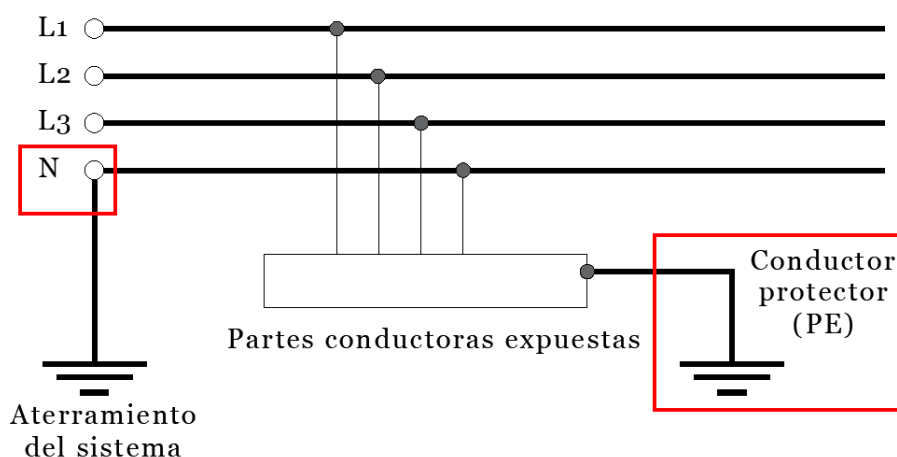


Nota. (International Electrotechnical Commission, 2021)

El sistema de alimentación IT (**Figura 15**) posee un punto conectado a tierra, las partes conductoras expuestas de la instalación están conectadas a electrodos de tierra, estos son eléctricamente independientes de los electrodos de tierra del aterramiento del sistema.

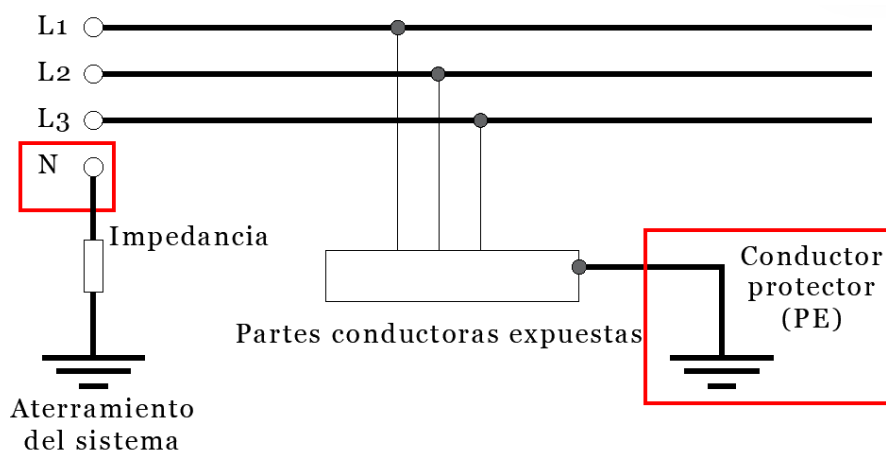
Figura 15

Representación del sistema TT



Nota. (International Electrotechnical Commission, 2021)

Por último, el sistema IT (**Figura 16**) tiene todas las partes activas aisladas de tierra o punto conectado a tierra mediante una impedancia, las partes conductoras expuestas están conectadas a tierra de manera independiente, colectiva o al aterramiento del sistema.

Figura 16*Representación del sistema IT*

Nota. (International Electrotechnical Commission, 2021)

En instalaciones médicas de Grupo 2, se implementa el sistema eléctrico IT médico para alimentar equipos y sistemas críticos como aplicaciones quirúrgicas, asegurando la seguridad del paciente. Para prevenir descargas eléctricas, se utiliza una conexión equipotencial complementaria para igualar potenciales entre conductores de protección, partes conductoras, red de piso conductorivo y envoltente metálica del transformador de aislamiento.

1.4 Memoria del proyecto

El proyecto del nuevo Hospital de Apoyo Sullana II-2 se sitúa en una vasta área en la Av. Los Médanos, Urbanización Popular Villa Perú-Canadá, distrito de Sullana, provincia de Sullana, región Piura, Perú, abarcando 43,381 m² con un perímetro de 837.50 metros lineales.

La realización de este proyecto está a cargo del consorcio Hospitalario OHLA – HV, seleccionado por la Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN), antes conocida como Autoridad de la Reconstrucción con Cambios (ARCC). Cabe resaltar que este proyecto está incluido en el paquete 6 de contratos NEC 3 de la ANIN en el marco de acuerdo entre Gobierno a Gobierno (G2G) con el Reino Unido. El contrato, de modalidad mixta, incluye componentes en "suma alzada" y otros en "open book".

Figura 17

Ubicación del proyecto Hospital de Apoyo Sullana II-2



Nota. Imagen extraída de Google mapas.

En la fase de licitación, el Consorcio OHLA-HV encargó a la empresa IDOM la estimación del costo del diseño y la asistencia de obra como parte de los servicios de estudio, incluidos en la parte de "sumaalzada". Esto se debe a que el proyecto se desarrolla bajo la modalidad FastTrack, donde el diseño y la construcción avanzan de forma simultánea, reduciendo significativamente el tiempo total del proyecto. Sin embargo, es esencial que el expediente técnico esté aprobado para generar paquetes de trabajo viables. (Espinoza Villanueva et al., 2014)

Figura 18*Hospital de Apoyo Sullana II-2*

Nota. Imagen extraída de la aplicación Dalux.

1.4.1 Instalaciones eléctricas

La instalación eléctrica del hospital está conformada de acuerdo a las exigencias que demandan las normas, esto incluye:

- Red de media tensión, esto incluye suministro y la instalación de la subestación eléctrica.
- Tableros eléctricos, tanto generales como de distribución.
- Banco de condensadores automático.
- Grupo electrógeno.
- Sistema ininterrumpido de potencia o sistemas UPS.
- Red de alumbrado interior y exterior.
- Sistema de tomacorrientes generales y regulados, salidas especiales y puntos específicos en BT.
- Instalación eléctrica especial para requerimientos específicos como ascensores, equipamiento médico especializado, equipos contra incendios, equipos del sistema de climatización y ventilación, equipos de gases medicinales y sistema mecánico, equipos de telecomunicaciones y cualquier otro equipamiento que requiera suministro eléctrico.
- Sistema de puesta a tierra y de protección atmosférica.

- Canalización y cableado por bandejas y tuberías.

1.4.2 Normativa aplicable

Para el proyecto del nuevo Hospital de Apoyo de Sullana II-2 se emplearon las siguientes normas:

Del Reglamento Nacional de Edificaciones se utilizó el Título III.4, correspondiente a Instalaciones Eléctricas y Mecánicas, con especial atención a EM.010, que se refiere a Instalaciones Eléctricas Interiores, y EM.100, que aborda Instalaciones de Alto Riesgo.

Código Nacional de Electricidad, tomo utilización 2006 y suministro 2011, contemplando todas sus modificaciones.

Normas técnicas peruanas como:

- NPT-IEC 60598-2-22: Luminarias. Parte 2-22: Requisitos particulares. Luminarias para alumbrado de emergencia.
- NPT-IEC 60884-1: Enchufes y tomacorrientes para uso doméstico y propósitos similares. Parte 1: requerimientos generales.
- NTP-IEC 60364-7-710: Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 7-710: Requisitos para instalaciones o emplazamientos especiales. Locales de uso médico.
- NTS N°110-MINSA/DGIEM-V.01: Infraestructura y equipamiento de los establecimientos de salud del segundo nivel de atención.

Normas técnicas internacionales como la IEC 60364-1: Electrical installations of building.

Los siguientes decretos supremos, resoluciones ministeriales y leyes:

- DS N° 034-2008-EM: Medidas para el ahorro de energía en el sector público.
- DS N° 020-97-EM: Niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos.
- RM N° 038-2009-MEM/DM: Indicadores de consumo energético y la metodología de monitoreo de los mismos.
- RM N° 469-2009-EM/DM: Plan referencial del uso eficiente de la energía.
- RM N° 660-2014-MINSA: Criterios y parámetros sectoriales para la aplicación de los contenidos mínimos específicos (CME) 12 en estudios de pre-inversión de establecimientos de salud estratégicos.
- RM N° 175-2008-MEM/DM: Conductores no propagantes de llama, libre de halógenos y ácidos corrosivos.
- Ley de concesiones eléctricas N°25844 y su reglamento.

1.4.3 Criterios de diseño

Para el suministro e instalación de los elementos mencionados previamente, se efectuó un análisis exhaustivo de las cargas presentes en el hospital. Este análisis se basó inicialmente en la información provista por los planos arquitectónicos, así como en los planos de equipamiento, telecomunicaciones y maquinaria.

Con el fin de diseñar la infraestructura eléctrica del hospital de manera efectiva, se dividió el sistema en dos partes principales: el sistema estándar y el sistema de contingencia. Previo al análisis de carga, fue esencial determinar la superficie total de construcción del Hospital de Sullana, que se estableció en 25,000 metros cuadrados según los datos de los planos arquitectónicos. Este análisis de carga se segmentó en cuatro sistemas de consumo eléctrico, a saber: iluminación, tomas de corriente, motores y equipos médicos, cuyos resultados se presentan en las **Tabla 7** y **Tabla 8**.

Tabla 7

Resultados del análisis de cargas del sistema normal

Resultados del sistema normal	
Carga total de demanda	1 892 kW
Carga de reserva	559 kW
Carga total	2 271 kW
Factor de servicio	0.6
Carga final	1 363 kW / 1 514 kVA

Con base en el análisis de la **Tabla 7**, se seleccionó el transformador TR-01 para cargas operando en condiciones normales. Este equipo es de tipo seco con una capacidad de 2,000 kVA, un sistema de enfriamiento AN (Air Natural), diseñado para operar a una altitud de 65 metros sobre el nivel del mar. Sus especificaciones eléctricas son: 22.9 kV en el lado de alta tensión y 0.38-0.22 kV en el lado de baja tensión, con una conexión estrella-estrella (YNyn6) y una impedancia del 6.0% y un factor de uso del 75% para este transformador.

Tabla 8

Resultados del análisis de cargas del sistema de emergencia

Resultados del sistema emergencia	
Carga total de demanda	1 948 kW

Resultados del sistema emergencia

Carga de reserva	390 kW
Carga total	2 338 kW
Factor de servicio	0.6
Carga final	1 403 kW / 1 559 kVA

En base al análisis en la **Tabla 8**, se seleccionó el transformador TR-02 para cargas operando en condiciones de emergencia. Este equipo es de tipo seco con una capacidad de 2,000 kVA, un sistema de enfriamiento AN (Air Natural), diseñado para operar a una altitud de 65 metros sobre el nivel del mar. Sus especificaciones eléctricas son: 22.9 kV en el lado de alta tensión y 0.38-0.22 kV en el lado de baja tensión, con una conexión estrella-estrella (YNyn6) y una impedancia del 6.0% y un factor de uso del 78% para este transformador.

Con base en los datos proporcionados, se ha planificado la red de media tensión para el proyecto del Hospital de Apoyo Sullana II-2. Esta red se conectará a la red pública mediante una conexión tipo D-E desde un poste exterior, con una tensión establecida de 22.9 kV y configuración trifásica. La infraestructura contempla tres transformadores de potencia de 2MW cada uno, con protocolo de comunicación MOD BUS para monitoreo, asignando dos para los sistemas normal y de emergencia, y uno como respaldo.

La subestación eléctrica se instalará en el "Edificio de Mantenimiento", cumpliendo con las dimensiones establecidas en la Norma Técnica de Salud NTS 110. Esta albergará transformadores y el tren de celdas de media tensión. Además, se implementarán tableros auto soportados como "TGN-01" y "TGE-01", con capacidades de 2300 y 2368 amperios respectivamente para la distribución de energía en condiciones normales y de emergencia respectivamente, dotados con dispositivos y estándares de seguridad pertinentes.

Para atender las necesidades específicas del hospital, se diseñaron sistemas de alimentación ininterrumpida divididos en tres categorías: para áreas esenciales, equipos biomédicos críticos y áreas administrativas. Además, se ha contemplado un sistema de alumbrado por áreas que incorpora tecnologías avanzadas para el ahorro energético y el control eficiente de la iluminación.

1.4.4 Planos contractuales

El Consorcio Hospitalario OHLA-HV emitió los planos contractuales para las instalaciones eléctricas del proyecto, los cuales fueron sometidos a revisión por parte de ARCC para su posterior ejecución. Dichos planos se adjuntan en el anexo para su consulta.

Es importante tener en cuenta que, a lo largo del desarrollo del proyecto, se produjeron modificaciones en los planos originales debido a diversos factores, como la inclusión de trabajos adicionales, deducciones, limitaciones encontradas en el terreno, mejoras en el diseño de ingeniería y la necesidad de complementar la información existente.



Capítulo 2

Rediseño del sistema eléctrico aislado

El rediseño del sistema eléctrico aislado se originó a partir de la definición técnica de los equipos destinados a ambientes críticos en una fase avanzada del proyecto, cuando el sistema eléctrico aislado ya se encontraba casi completamente instalado. El desafío reside en implementar el nuevo sistema teniendo en cuenta las restricciones de tiempo, el equipamiento preexistente, los aspectos económicos y la normativa pertinente.

Figura 19

Hospital de Apoyo Sullana II-2



Nota. Proyecto culminado.

2.1 Criterio de diseño

El diseño del sistema eléctrico aislado, conforme a la establecido en el CNE-U 140-200 y complementado por norma NTP IEC 60364-7-710 para instalaciones en entornos médicos, se estructura según los siguientes parámetros:

- Un dispositivo de control de aislamiento, con impedancia interna de al menos 100 k Ω en corriente alterna, incluyendo una alarma para indicar la reducción del aislamiento a 50 k Ω .
- Sistema de alarma con señales visual y acústica, codificadas por colores para indicar el estado del sistema: verde para operación normal, amarillo para

advertir valores mínimos de resistencia de aislamiento o la solución de fallas, y rojo para alertar sobre valores críticos de aislamiento.

- Una caja equipotencial para la conexión de cables complementarios, vinculados a una barra de compensación para igualar potenciales.
- El transformador de aislamiento estará ubicado en el mismo tablero de aislamiento que alberga los circuitos de la sala correspondiente. La tensión en su lado secundario no excederá los $250 V_{C.A.}$. La corriente de fuga del devanado de salida hacia tierra, así como la corriente de fuga del recinto del transformador bajo tensión y frecuencia nominales, no superará los 0,5 mA cuando el transformador esté sin carga. Adicionalmente, será un transformador monofásico con una potencia nominal en el rango de 0,5 kVA a 10 kVA.
- Protección contra sobre corriente, cortocircuitos y sobrecargas, sin protección aguas arriba o abajo del transformador de aislamiento.
- Iluminación dual, con luz ambiental proveniente del sistema eléctrico de emergencia y luz quirúrgica del sistema aislado.
- Tomacorrientes de cabecera protegidos individualmente contra sobre corrientes, con al menos dos circuitos de alimentación separados.
- Identificación clara y permanente de los tomacorrientes pertenecientes al sistema aislado.
- La transferencia de alimentación se hará en menos de 0,5 s y capacidad para mantener el servicio durante al menos 24 h en caso de interrupción.
- Verificación de estos requisitos durante la etapa de comisionamiento y mantenimiento periódico posterior.

2.2 Análisis de cargas eléctricas

El análisis de cargas se efectuó empleando la información actualizada de los equipos y sus requisitos específicos. El procedimiento inició con la identificación de estos equipos en sus respectivos entornos, seguida de la determinación de la potencia instalada derivada del equipamiento. Se redistribuyen los circuitos de los tableros eléctricos aislados ya instalados para satisfacer los requisitos del equipamiento, se añadió tableros en nuevos cuartos eléctricos para cumplir con la demanda, además que se reacondicionó el tablero principal para cumplir la demanda.

Tabla 9*Tableros eléctricos aislados instalados*

Nombre del tablero	UPSS que alimenta	Ambiente que alimenta	Estado
TGR-A	Quirúrgico, Obstétrico y Unidades de cuidado	Todos los tableros aislados	Redistribuido
TA-2.1.1	UCI	Sala de cuidados intensivos aislado	Redistribuido
TA-2.1.2	UCIN	Sala cuidados intermedios	Redistribuido
TA-2.2.1	Centro quirúrgico	Sala operaciones de especialidades	Redistribuido
TA-2.2.2	Centro quirúrgico	Sala de operaciones cirugía general - Urología	Redistribuido
TA-2.2.3	Centro quirúrgico	Sala de operaciones de emergencia	Redistribuido
TA-2.2.4	Centro quirúrgico	Sala de operaciones ginecología u obstetricia - cesáreas	Redistribuido
TA-2.2.5	Centro quirúrgico	Sala de legrados y AMEU	Redistribuido
TA-2.3.1	UCI neonatal	Sala UCI neonatal aislado	Redistribuido
TA-2.4.1	Obstétrico	Sala de parto / parto vertical	Redistribuido
TA-2.4.2	Obstétrico	Sala de partos multifuncional	Redistribuido

Nombre del tablero	UPSS que alimenta	Ambiente que alimenta	Estado
TA-UCI-2	UCI	Todos los módulos de UCI.	Adicional
TA-UCIN-2	UCIN	Todos los módulos de UCIN.	Adicional
TA-NEO-2	UCI neonatal	Todos los módulos de UCI neonatal.	Adicional

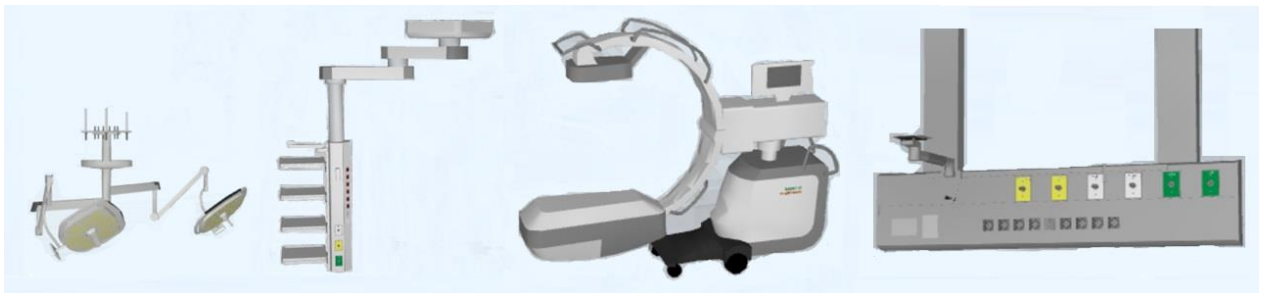
Nota. Todos los tableros se encuentran en el nivel 2.

2.2.1 Identificación de aparatos eléctricos en ambientes críticos

Para comenzar, el sistema eléctrico aislado alimenta ciertos ambientes de los UPSS mencionados en la **Tabla 5**. Enfocándose en estos UPSS, se identificó los equipos médicos presentes en estas salas, distinguiendo entre los dispositivos permanentemente conectados y aquellos que no lo están. Un equipo médico eléctrico permanentemente conectado es un dispositivo diseñado para estar continuamente conectado a la red de suministro eléctrico sin necesidad de ser desenchufado regularmente. Este tipo de equipo está instalado de manera fija y no se mueve de su ubicación designada, lo que permite una operación constante y estable.

Figura 20

Ejemplos de equipos electro médicos



Nota. Imágenes de los dispositivos extraídos de visualizador DALUX.

Tabla 10

Equipos electro médicos permanentemente conectados

UPSS	Código del MD	Descripción
Centro Quirúrgico	D-31	Lámpara cialítica

UPSS	Código del MD	Descripción
	D-222	Estativa
	D-223	Panel cabecero
	D-497	Máquina de circulación extracorpórea
	D-524	Arco en C neuro cardiovascular
Unidades de cuidado (UCI, UCIN, NEO)	D-223	Panel cabecero Estativa
Centro obstétrico	D-223	Panel cabecero

Nota. Estos dispositivos son seleccionados de acuerdo a criterio.

Cada ambiente posee equipos electro médicos cuya conexión es permanente, pero tienen a repetirse algunos equipos si el ambiente donde se encuentran pertenece al mismo UPSS.

2.2.2 Elaboración de cuadros de carga

Los cálculos detallados de los cuadros de carga de cada tablero redistribuido y adicional se encuentran en la sección de apéndices (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. al Apéndice M**). Se ha observado que los tableros redistribuidos han sido equipados con transformadores monofásicos de 10 kVA de manera contractual para asegurar un suministro adecuado, que, según la normativa vigente, representa la capacidad máxima permitida para este tipo de transformadores.

Se puede evidenciar que tanto los tableros redistribuidos y adicionales, están conformados de transformadores de 10 kVA, esto para que el sistema sea robusto.

Se ha procedido a la fabricación de tres tableros compuestos por múltiples gabinetes, en los cuales se ha distribuido adecuadamente los circuitos. Cada gabinete está equipado con su respectivo transformador monofásico de aislamiento de 10 kVA, lo que permite satisfacer la demanda energética exigida de manera eficiente y conforme a los requerimientos técnicos específicos. Esta estrategia de distribución asegura una operación segura y fiable, optimizando el rendimiento del sistema eléctrico en su conjunto.

2.3 Cálculo para dimensionar los conductores

En la mejora del sistema eléctrico aislado del Hospital de Apoyo Sullana II-2, uno de los aspectos importante es el dimensionamiento adecuado de los conductores. Esta sección proporciona una metodología detallada para calcular y seleccionar los conductores eléctricos necesarios para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema. El dimensionamiento correcto no solo garantiza la capacidad de carga adecuada, sino que también previene problemas como el sobrecalentamiento y la pérdida de eficiencia energética.

2.3.1 Cálculo de conductores

En ambientes de clase 2, donde los dispositivos de mayor demanda son equipos electro médicos alimentados por tomacorrientes, el dimensionamiento de los cables se fundamenta en la demanda energética de estos dispositivos. Debido que la demanda es baja, se utiliza un cableado de pequeña sección.

La norma IEC 60364-5-52, en su sección 524, establece que la sección transversal mínima de los conductores en instalaciones eléctricas es de 4 mm², además del CNE-U 140-102. Esta especificación es básica para garantizar la seguridad y eficiencia, advirtiendo el sobrecalentamiento de los conductores y asegurando una capacidad adecuada para la alimentación eléctrica. La norma proporciona seguridad, costo y facilidad de instalación para la mayoría de las aplicaciones eléctricas. (International Electrotechnical Commission, 2003)

Para el dimensionamiento de los alimentadores para tableros de distribución adicionales, se consideró tanto la demanda energética como la caída de voltaje, especialmente dado que estos tableros se ubican a unos sesenta metros del tablero general del sistema IT; para aquellos que son contractuales no se modificó los cables alimentadores. Se optó por el cable N2XOH, reconocido por su resistencia a la intemperie, capacidad para altas corrientes, baja pérdida dieléctrica y cumplimiento con estándares de calidad y seguridad. No obstante, la selección precisa de la sección del cable se encuentra detallada en la tabla 12.

Tabla 11

Características de los tableros adicionales

	UCI	UCIN	NEO
Distancia (m)	48.9	60.7	53.3
Corriente (A)	45.6	59.5	89.6

Nota. La distancia se calculó mediante el programa AUTODESK REVIT.

La sección de cable determinado fue de 35 mm^2 debido a su capacidad de transportar corriente, su baja caída de voltaje, teniendo en cuenta el factor económico. Esta elección se hizo tomando en cuenta un solo requerimiento de cable para los tres tableros.

2.3.2 Selección de conductores a tierra

Los conductores de protección y de puesta a tierra deben seleccionarse y dimensionarse considerando las peculiaridades eléctricas de la instalación y el entorno, garantizando una sección transversal conveniente para soportar corrientes de falla sin daños. Se prefieren conductores de cobre por su alta conductividad y durabilidad, aunque también se aceptan aluminio y otros materiales equivalentes. La sección mínima del conductor depende de la corriente de falla y del tiempo de operación del dispositivo de protección, con valores específicos. Además, los conductores deben ser resistentes a la corrosión y se deben utilizar recubrimientos determinados en entornos corrosivos. Las conexiones y empalmes deben garantizar continuidad eléctrica y protección mecánica, cumpliendo con estándares de resistencia y durabilidad.

Tabla 12

Conductor de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Sección nominal del conductor mayor de la acometida o su equivalente para conductores en paralelo [mm^2]	Sección nominal del conductor de puesta a tierra (cobre) [mm^2]
35 o menor	10
50	16
70	25
95 a 185	35
240 a 300	50
400 a 500	70
Más de 500	95

Nota. (Ministerio de Energía y Minas, 1999)

Se seleccionó el conductor de protección conforme a la sección nominal del conductor, adoptando un criterio conservador. La sección definida para la protección entre el tablero aislado general y los tableros de distribución adicionales fue de 16 mm^2 ; aunque según la **Tabla 12** se podría considerar elegir un calibre de cable de 10 mm^2 , en este caso se consideró que la distancia es un factor relevante, entonces el criterio fue mantener un elevado factor de

seguridad. De igual manera que los cables de alimentación, se tuvo en cuenta un criterio económico en relación con el requerimiento.

Para el cableado del conductor de protección de cada circuito, se consideró la norma IEC 60364-5-54, la cual establece que "para conductores de protección que forman parte de un cable o están en una envoltura común con el conductor de línea, la sección transversal mínima es de 2,5 mm² si se proporciona protección contra daños mecánicos, o 4 mm² si no se proporciona dicha protección". No obstante, aunque el cable tiene protección mecánica, se optó por un conductor de 4 mm² ya que este calibre es el mínimo usado para este tipo de proyectos. (International Electrotechnical Commission, 2011)

2.4 Cálculo de diámetro de tubería para conductores

Los cables alimentadores y de distribución se transportan mediante bandejas porta cables; sin embargo, la bandeja de distribución solo alcanza hasta una zona estratégica para maximizar la distribución de cables. En este punto, se utiliza tubería EMT para transportar los cables desde la bandeja hasta un punto específico para alimentar un dispositivo.

Para el cálculo de la tubería a usar, se considerará que, al ser un sistema aislado, los circuitos son independientes, y el cableado se distribuirá en tuberías que contengan un solo circuito, excepto en los paneles cabeceros y estativas, que contienen varios circuitos en un solo equipamiento.

Tabla 13

Característica de los cables de distribución

Cable	Calibre [mm ²]	Diámetro exterior [mm]	Res. Elect. Max 20°C [Ω/km]	CC N° Hilos	Amperaje	
					Aire [A]	Ducto [A]
NHX-90	4	4	4.61	7	45	34
NH-80	4	4	4.61	7	35	31

Nota. Fichas técnicas de los materiales.

En conclusión, se utilizarán dos tipos de tuberías: una para circuitos independientes, como tomacorrientes y puntos de fuerza, cuyo diámetro será el mínimo permitido, y otra para varios circuitos en un mismo punto.

El diámetro mínimo interior de la tubería para cables de un solo circuito debe ser superior a 15 mm según la norma, siendo una opción común la tubería EMT de ¾".

El mayor número de cables para un dispositivo fue para las estativas de los módulos UCI con 8 circuitos, distribuidos en dos canalizaciones para evitar un canalizado mayor.

El canalizado con más circuitos fue para la estativa de la sala de operaciones con 5 circuitos, y esta situación se usará para calcular la tubería adecuada.

Siguiendo el procedimiento del CNE-U- 070-1014, se define el máximo porcentaje de llenado, según la **Tabla 14**, será el 40% de llenado.

Tabla 14

Máximo porcentaje de llenado de conductor y tuberías eléctricas

Tipo de conductor o cable	Número de conductores o cables multiconductores				
	1	2	3	4	Más de 4
Sin cubierta de plomo	53	31	40	40	40
Con cubierta de plomo	55	30	40	38	35

Nota. Ministerio de Energía y Minas, 2006, Anexo B

Teniendo este dato, se determina el área que ocupa los cables:

$$A_{cable} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (4 \text{ mm})^2}{4} = 12,57 \text{ mm}^2; A_{TOTAL,cables} = 12,57 \text{ mm}^2(3)(5) = 188,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{mín,tubería} = \frac{188,5 \text{ mm}^2}{0,4} = 471,2 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow D_{mín,tubería} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{mín,tubería}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(471,2 \text{ mm}^2)}{\pi}} = 24,5 \text{ mm}$$

$$\therefore D_{comercial,tubería} = 1''$$

Los cálculos determinan una tubería de $\varnothing 1''$ sin embargo, según la **Tabla 15** un diámetro adecuado es de 35 mm cuya medida próxima en pulgadas es de $1\frac{1}{2}''$, este tipo de tubería se usó para todos los puntos con múltiples circuitos. Se canalizó con el mismo tipo de tubería para mantener uniformidad en los requisitos y garantizar un factor de seguridad.

Tabla 15

Máximo número de conductores de una dimensión en tuberías pesadas o livianas

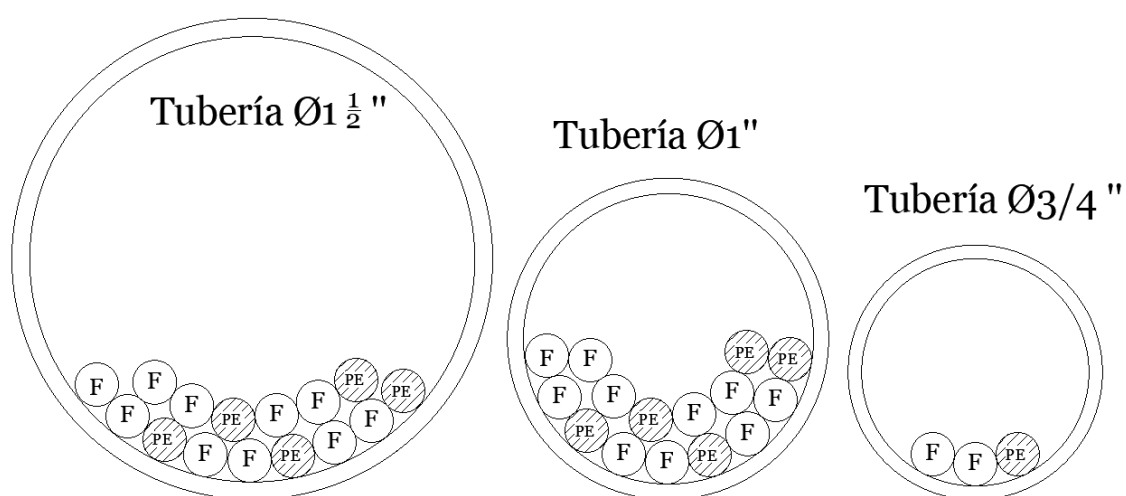
Sección nominal [mm ²]	Dimensión de la tubería pesada o liviana								
	15 [mm]	20 [mm]	25 [mm]	35 [mm]	40 [mm]	55 [mm]	65 [mm]	80 [mm]	90 [mm]
2.5	4	7	11	20	28	46	66	102	136

Sección nominal [mm ²]	Dimensión de la tubería pesada o liviana								
	15 [mm]	20 [mm]	25 [mm]	35 [mm]	40 [mm]	55 [mm]	65 [mm]	80 [mm]	90 [mm]
4	3	6	9	17	23	38	54	84	113
6	2	4	8	13	18	30	44	68	91

Nota. (Ministerio de Energía y Minas, 2006)

Figura 21

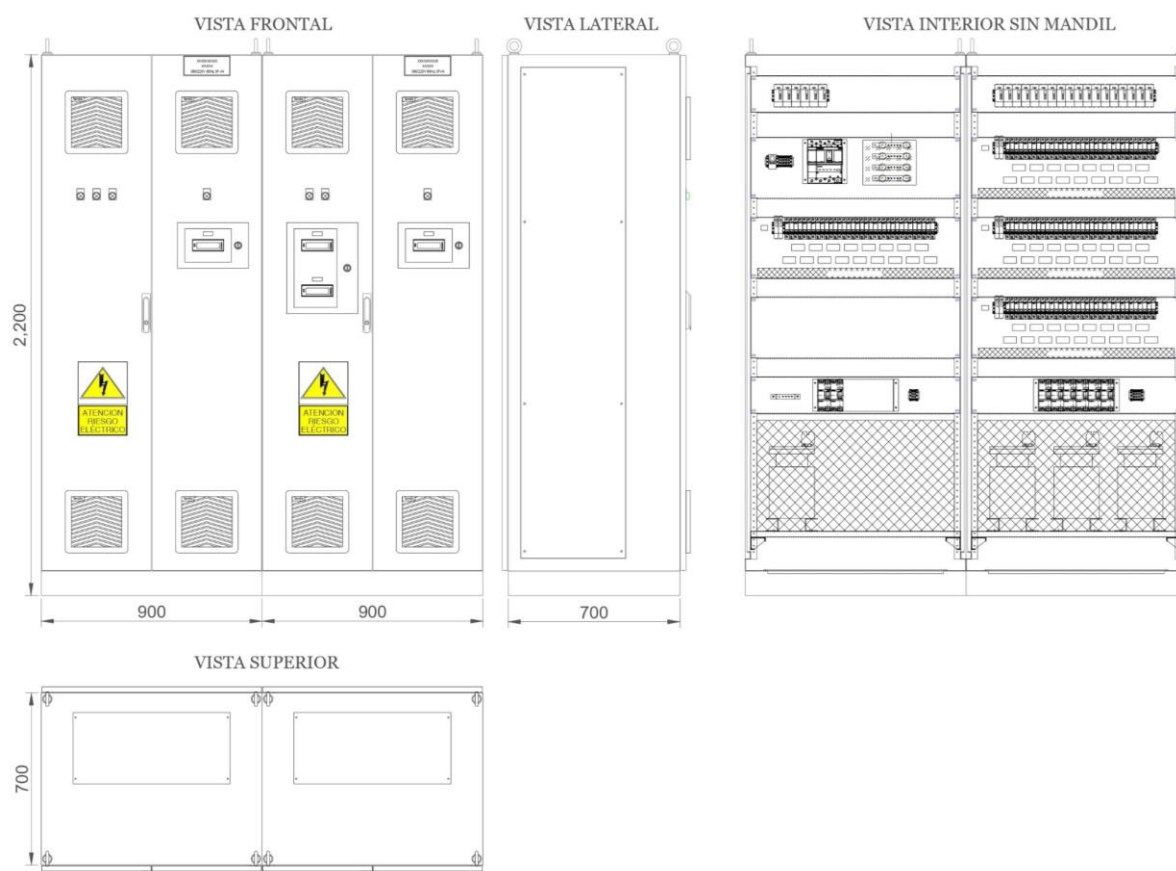
Cableado en tubería



2.5 Tableros aislados de distribución

Los tableros de distribución del sistema IT, tanto contractuales como los adicionales, fueron suministrados por GESCEL S.A.C., empresa especializada en la distribución y fabricación de equipos y tableros eléctricos según normas nacionales e internacionales. Además de su fabricación, GESCEL programó los equipos para la localización y monitoreo de fallas. Además de proporcionar apoyo técnico durante y después de la instalación.

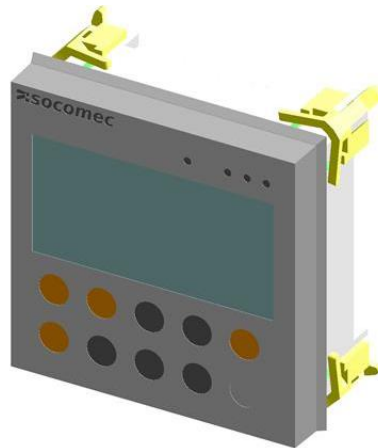
Figura 22
Tablero TA-UCI-2



Los tres nuevos tableros de aislamiento son autoportados y tienen múltiples gabinetes debido a la cantidad de circuitos a alimentar, a diferencia de los tableros de aislamiento contractuales, que también son autoportados, pero tableros conformados por un solo gabinete. Estos gabinetes contienen barras de cobre, interruptores termo magnéticos principales (caja moldeada) y de distribución (en riel DIN), dispositivos de supervisión de aislamiento, módulos de medición de corriente y tensión, módulos de localización de fallas, transformadores toroidales por circuitos y transformadores de aislamiento de 10 kVA, entre otros. La ubicación de los tableros se determinó estratégicamente para la distribución y la adecuación de un ambiente ya instalado a un cuarto eléctrico para su instalación.

2.5.1 Sistema de monitoreo de fallas

Como se tiene entendido, dentro del tablero de aislamiento contiene equipos para monitorear y detectar fallas. Pero en entornos médicos, el sistema debe ser accesible e interactivo para personal no especializado, por lo que se instala un Monitor de Aislamiento de Línea (LIM) en varios puntos específicos, de preferencia cerca de la estación de enfermeras. Este dispositivo proporciona alarmas visuales y sonoras para alertar sobre fallas de línea a tierra en el equipo conectado, se muestran el estado del sistema y parámetros de funcionamiento en una pantalla LCD grande.

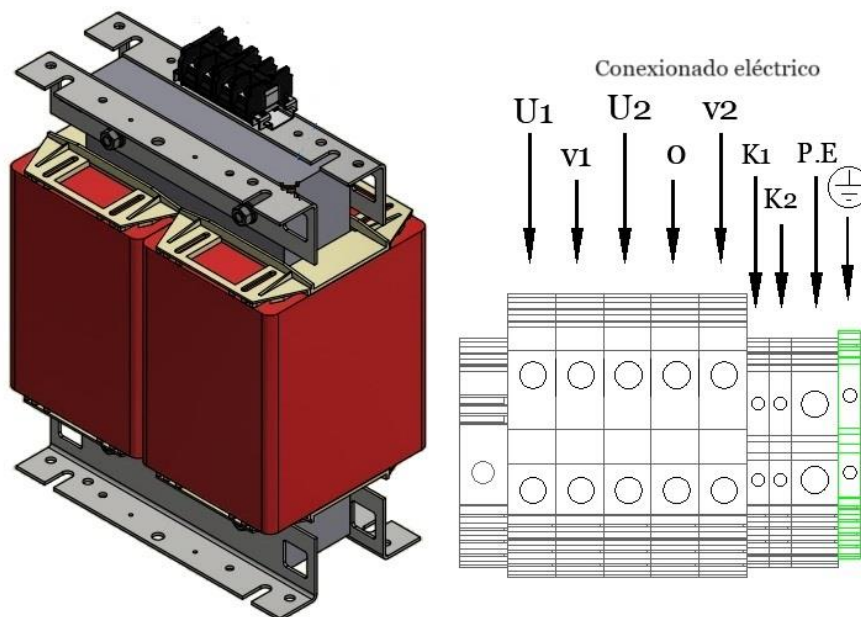
Figura 23*Monitor de Aislamiento de Línea (LIM)*

Nota. El dispositivo instalado fue ISOM Digiware D-55h. *Fuente.* Ficha técnica.

El LIM se coloca cerca de los circuitos monitoreados, es compatible con el módulo localizador de fallas del tablero y se conecta mediante cable UTP para transferir información.

2.5.2 Transformador de aislamiento

Este componente es crucial en el sistema, ya que aísla las líneas de alimentación de perturbaciones como ruido y fallos de potencia. Cuenta con una malla electrostática entre el primario y el secundario del transformador, conectada a tierra, que disipa perturbaciones eléctricas y protege el transformador en caso de pérdida de aislamiento entre los devanados.

Figura 24*Transformador de aislamiento de 10kVA*

Nota. Transformador de aislamiento POLYLUX. *Fuente.* Ficha técnica.

Es un transformador de factor K-9, comúnmente usado en entornos médicos, diseñado para reducir el calentamiento debido a corrientes armónicas generadas por cargas no lineales. El factor K indica la capacidad del transformador para soportar contenido armónico manteniendo los límites de temperatura de su sistema de aislamiento. Los transformadores Factor K tienen clasificaciones de K-1, K-4, K-13 y K-20. Por ello, utiliza aislamiento tipo H, que soporta temperaturas continuas de hasta 180°C y está compuesto por materiales como mica, fibra de vidrio y resina epoxi, ofreciendo alta resistencia térmica y dieléctrica. Este tipo de aislamiento es usado en transformadores, motores y generadores que operan en altas temperaturas.

En los tableros de aislamiento para ambientes críticos se seleccionó transformadores de 10KVA, ya que genera menos corrientes de fuga. (Pauca, 2023)

2.6 Sistema ininterrumpido de potencia

Para prevenir el aumento de la demanda en el sistema IT de uso médico, se instaló contractualmente un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) "MULTI POWER" de la marca Riello, de tipo modular y con una capacidad de 100 kW. Este sistema incluye un gabinete MPX 130 PWC, que alberga cuatro módulos POWER MODULE 25, cada uno con una capacidad de 25 kW, y un banco de baterías.

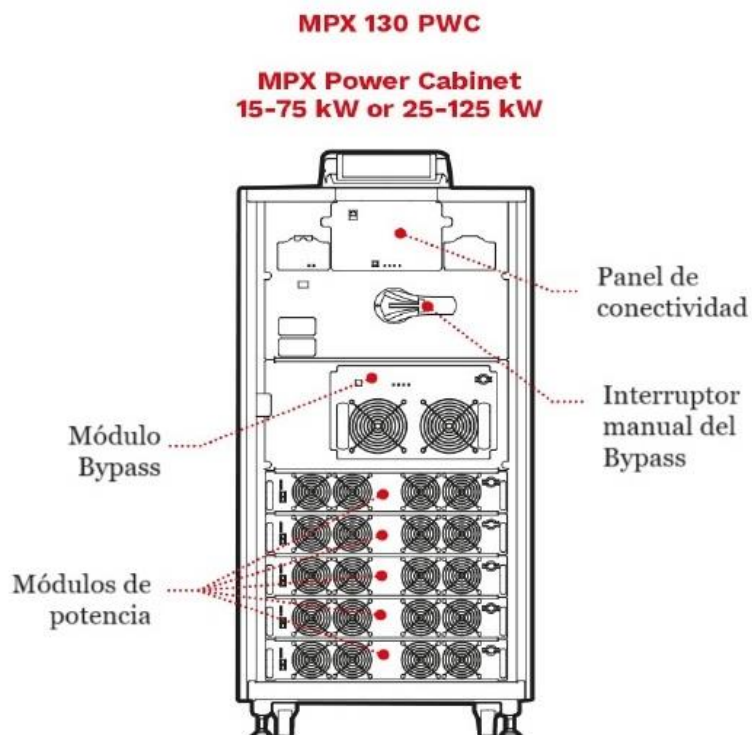
La modificación que se realizó al SAI no fue significativa, ya que se aumentó otro módulo de 25 kW, llegando a la capacidad de 125 kW para poder suplir las cargas adicionales y la instalación de otro banco de baterías para cumplir con la autonomía.

El SAI tiene entrada y salida trifásica; mientras exista voltaje de la red o del generador en la entrada del inversor, mantendrá un voltaje continuo en la salida para los tableros aislados de tierra, además de poder corregir el voltaje de salida para compensar las caídas de tensión y brindar un servicio continuo y estabilizado de 220 V en el punto de alimentación. Además, el sistema interno utiliza este voltaje para mantener cargadas las baterías. En caso de fallo de la red normal o de emergencia, el inversor emplea las baterías para generar un voltaje sinusoidal modificado, permitiendo a las salas del sistema IT continuar funcionando hasta que se restablezca la red normal o el generador de emergencia entre en operación, la situación típica es suplir los 15 s que demora el sistema de respaldo en entrar al sistema.

Las baterías de estos equipos, cargadas por la energía eléctrica provista por el inversor, alimentan exclusivamente los tableros aislados, que a su vez suministran energía a todas las instalaciones en los ambientes críticos. La tecnología utilizada para estos ambientes críticos es UPS online.

Figura 25

SAI usado para el sistema IT para uso médicos



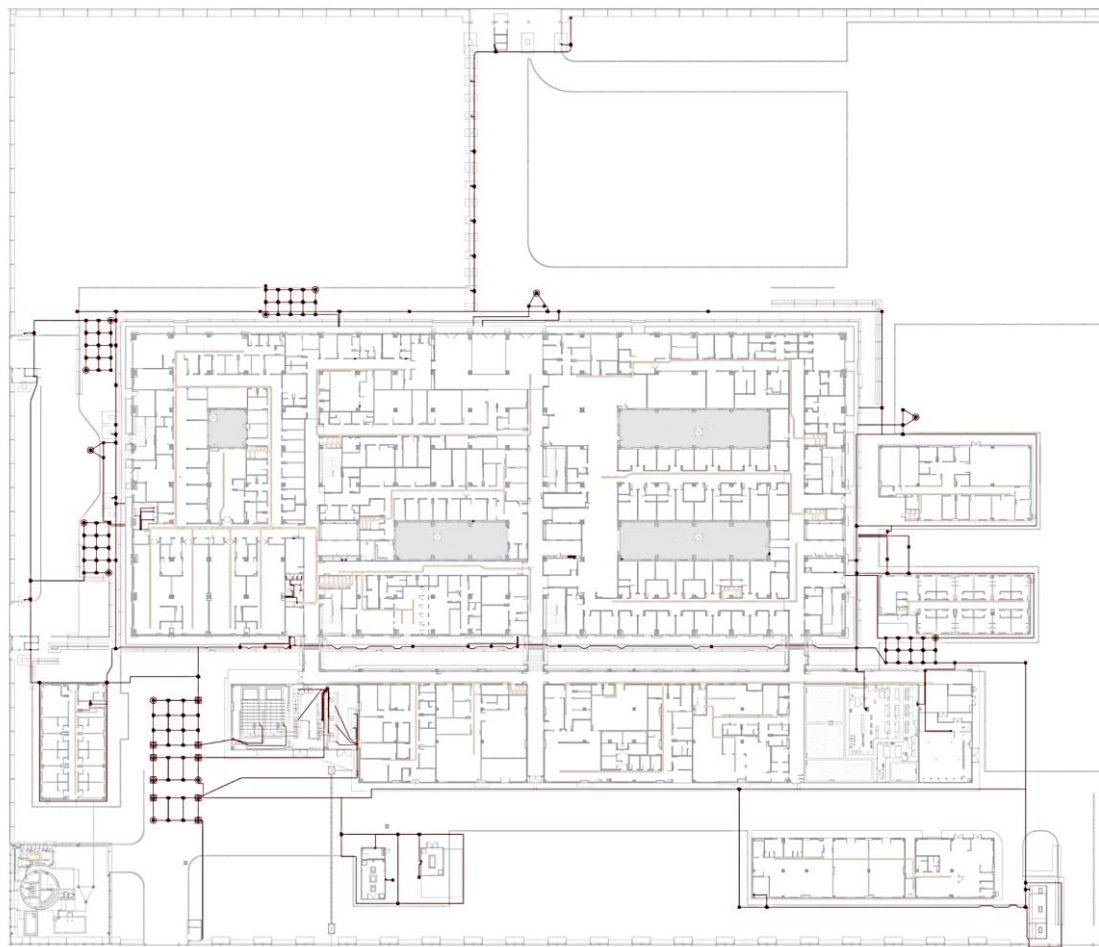
Nota. Imagen extraída de ficha técnica.

2.7 Puesta a tierra

El proyecto del Hospital de Apoyo Sullana II-2 implementa un sistema de puesta a tierra diversificado. Este sistema consta de varias mallas y pozos de puesta a tierra que están interconectados por un anillo de cable de cobre desnudo (**Figura 26**), el cual rodea el edificio principal H, con la excepción de la malla de media tensión.

Figura 26

Sistema de puesta a tierra interconectado del Hospital de Apoyo Sullana II-2



Nota. Planos del proyecto.

Para el sistema IT de uso médico del hospital, se ha diseñado una malla de puesta a tierra exterior de 5x10 metros, destinada exclusivamente al equipamiento electro médico conectados al sistema. El diseño de esta malla se realizó utilizando el método de Schwarz, que permite calcular de manera precisa la resistencia de la malla para asegurar que cumpla con la normativa, que exige una resistencia inferior a 5 ohmios. Este requisito es crucial para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de los equipos médicos.

Previo al inicio del proyecto, se llevaron a cabo análisis de suelo para determinar la resistividad del terreno. Estos estudios fueron esenciales para diseñar una malla de puesta a tierra eficiente. Además, se seleccionaron cuidadosamente los materiales, optando por conductores de cobre de alta calidad y baja resistividad, lo que contribuyó a reducir la resistencia total del sistema (**Tabla 16**).

Tabla 16*Factores de la malla del sistema de puesta a tierra*

Factor	Descripción	Valor
ρ	Resistencia del suelo [$\Omega \cdot m$]	124
L_c	Longitud de todos los conductores conectados a la malla [m]	55
h	Profundidad [m]	0.8
C	Calibre del cable [mm^2]	70
2a	Diámetro del cable [m]	0.0094
w	Ancho de la malla [m]	5
l	Largo de la malla [m]	10
A	Área cubierta por la malla [m^2]	50
L_r	Longitud de la varilla [m]	2.4
2b	Diámetro de las varillas [m]	0.01905
n_R	Número de varillas	4

La malla de puesta a tierra incluye conexiones robustas y se instaló a una profundidad adecuada para asegurar un buen contacto con el suelo y una durabilidad prolongada. El sistema se complementa con pruebas periódicas de resistividad para asegurar que se mantenga dentro de los parámetros normativos a lo largo del tiempo.

Tabla 17*Resultados del método de Schwarz para malla a tierra*

Factor	Descripción	Fórmula	Valor
a'	Factor para conductores enterrados a cierta profundidad	$\sqrt{a \cdot 2h}$	0.0869
K_1	Coeficiente	$1.43 - \frac{2.3h}{\sqrt{A}} - 0.044 \frac{w}{l}$	1.148
K_2	Coeficiente	$5.5 - \frac{8h}{\sqrt{A}} + \left(0.15 - \frac{h}{\sqrt{A}}\right) \left(\frac{w}{l}\right)$	4.61
R_1	Resistencia a tierra de los conductores de la malla [Ω]	$\frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right]$	8.22
R_2	Resistencia a tierra de todas las varillas de tierra [Ω]	$\frac{\rho}{2\pi n_R L_r} \left[\ln \left(\frac{4L_r}{b} \right) - 1 + \frac{2K_1 L_r}{L_c} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right]$	12.34
R_m	Resistencia mutua entre R_1 y R_2 [Ω]	$\frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{L_r} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right]$	6.56
R_g	Resistencia de malla	$\frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$	7.85

Aplicando el método de Schwarz y sustituyendo los valores de la **Tabla 16**, se obtienen los resultados de la **Tabla 17**. La resistencia obtenida fue de 7.85 ohmios teóricamente, pero al usar relleno de suelos artificiales como el cemento conductor, tierra de chacra y otros aditivos, se reduce la resistencia en un 90%. Por ello la resistencia total teórica será aproximadamente 0.8 Ω . (Pauca, 2023)

2.8 Aspecto económico

Desde un aspecto económico, se observa que, además del gasto asociado a la redistribución de los tableros contractuales, existe un costo económico adicional correspondiente a los nuevos tableros. Estos costos específicos de los tableros se detallan en la tabla 3, siendo estos valores meramente referenciales.

Tabla 18*Costo referencial de rediseño del sistema eléctrico aislado*

Ítem	Concepto	Total, S/.
1	Suministro e instalación del tablero TA-UCIN-2	204, 791.84
2	Suministro e instalación del tablero TA-UCI-2	224, 272.46
3	Suministro e instalación del tablero TA-NEO-2	324, 273.37
4	Canalizado, cableado e instalación de sello cortafuego.	207, 717.03
5	Cableado de alimentadores	22, 068.79
6	Modificación de los tableros aislados contractuales	16, 272.00
7	Módulos UPS	33, 644.00
8	Logística de equipos y materiales	45, 800.00
	Costo total (referencial)	1' 078, 839.50

Nota. Cifras obtenidas de cotizaciones con los proveedores.

Para un análisis más exhaustivo del rediseño del sistema eléctrico aislado, es necesario analizar detalladamente los costes de horas hombre, cableado, canalización, dispositivos adicionales, y entre otros factores; este trabajo no lo detalla debido a que abarca el problema desde aspecto meramente técnico.

2.9 Elaboración de planos eléctricos

La elaboración de los planos eléctricos se llevó a cabo a través del programa Autodesk AUTOCAD; la información aceptada fue enviada al área BIM para su modelado y actualización del proyecto. Los planos se pueden ver en los Anexo B.

Vemos la comparación de algunas salas desde la **Figura 27** al **Figura 30**, donde se muestra módulos y ambientes con su respectivo cambio en los puntos eléctricos.

Figura 27
Sala de operaciones de especialidades

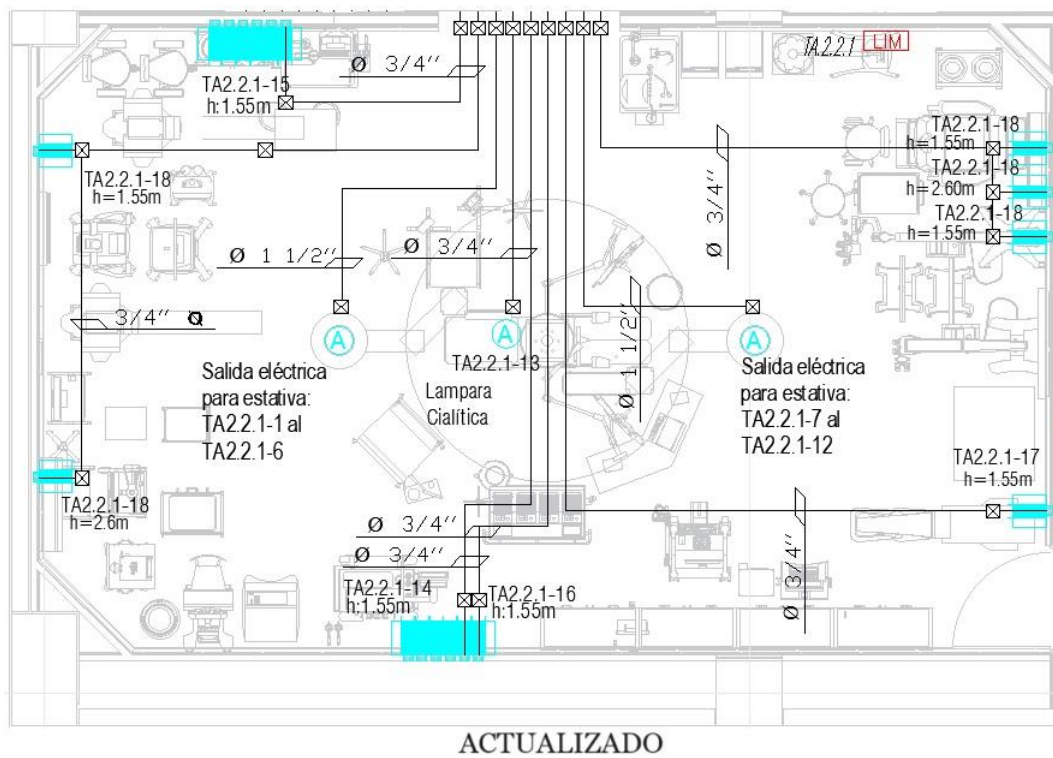
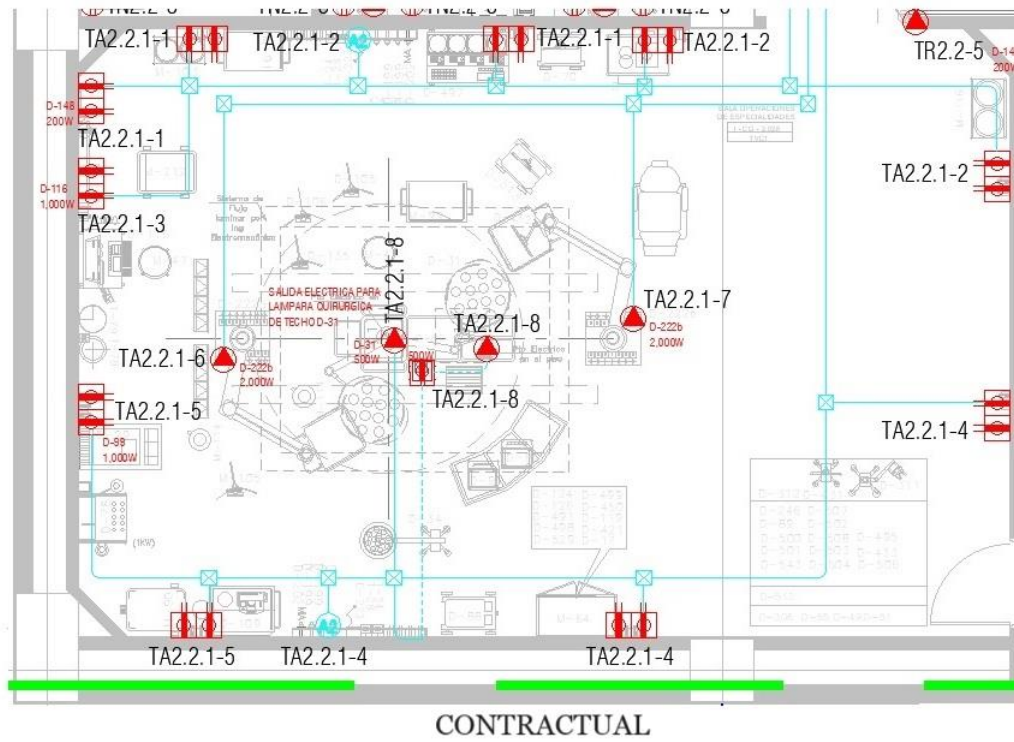


Figura 28

Sala cuidados intensivos

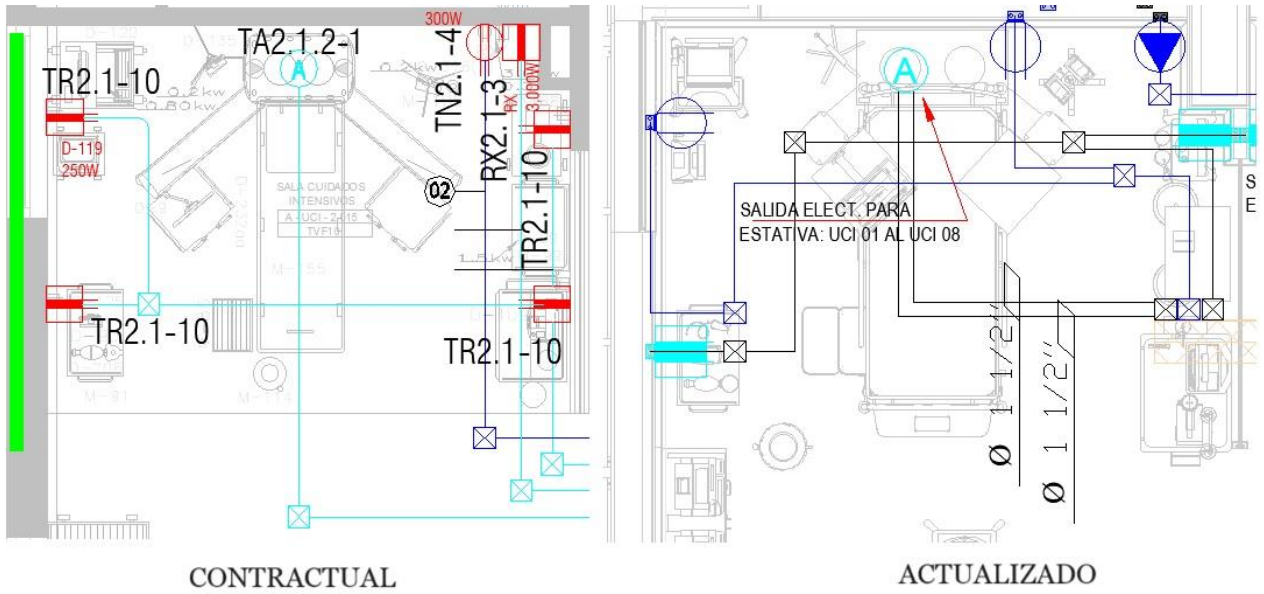


Figura 29

Sala cuidados intermedios

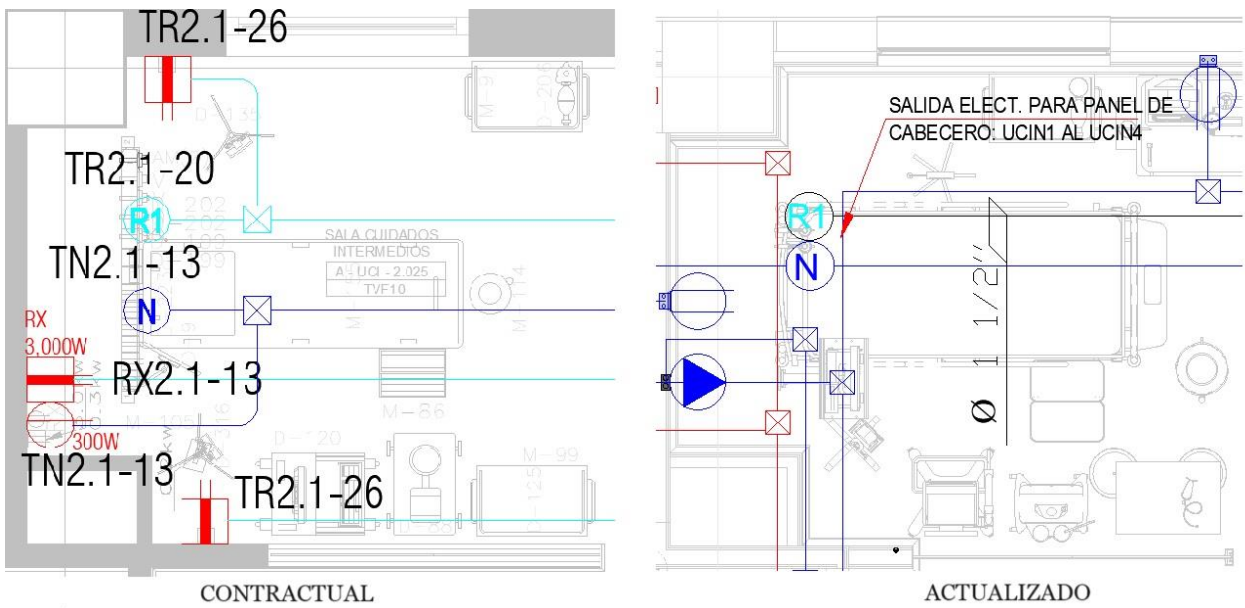
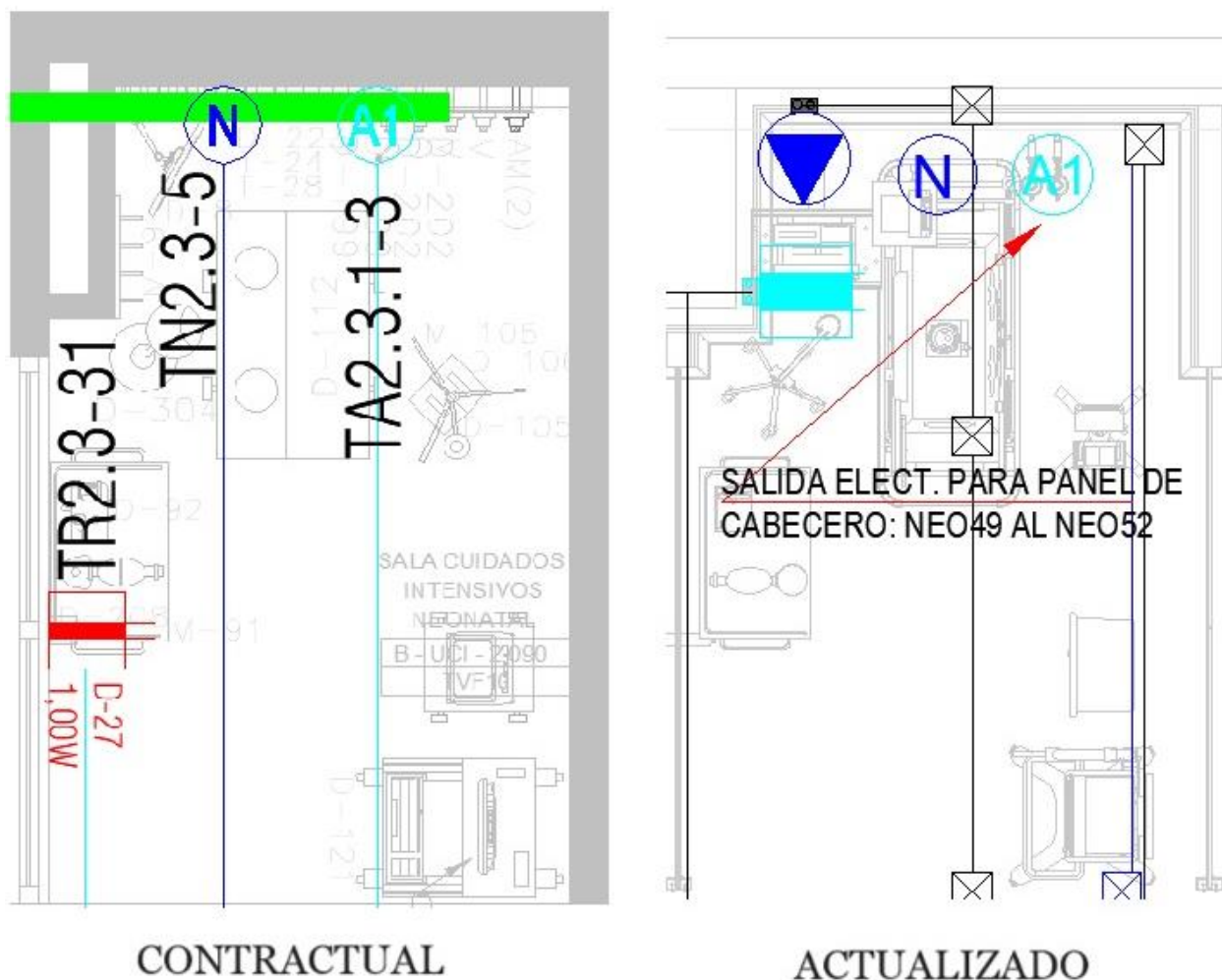


Figura 30

Sala de cuidados intensivos neonatal



2.10 Fase de comisionamiento del sistema eléctrico aislado

El comisionamiento o puesta en marcha es un proceso de calidad aplicado a los sistemas de un proyecto, mediante el cual se verifica y documenta que el edificio, sus sistemas y componentes cumplan con los objetivos y criterios especificados. Esta actividad facilita una transición fluida entre las diferentes fases del proyecto, desde el diseño conceptual hasta la operación, asegurando instalaciones seguras y funcionales para garantizar la operación óptima de los sistemas, basándose en parámetros dictados por normas nacionales como internacionales.

En esta etapa del proyecto, se confirma el funcionamiento adecuado del sistema eléctrico aislado, mediante pruebas que simulan diferentes situaciones que podría enfrentar el sistema, además de corroborar los estándares de calidad del sistema.

Estas pruebas son:

- Falla de aislamiento.
- Falla de corriente de fuga.
- Medición de la impedancia de conductores.
- Temperatura del transformador de aislamiento.
- Alarma de desconexión de cable a tierra.
- Medición del voltaje.
- Alarma de falla de comunicación.
- Medición de corriente de fuga en el transformador de aislamiento.
- Equipotencialidad entre superficies conductoras.

Estas pruebas fueron realizadas en cada tablero del sistema eléctrico aislado, obteniendo resultados satisfactorios en todos los casos.



Conclusiones

El rediseño del sistema eléctrico aislado del Hospital de Apoyo Sullana II-2 se logró de manera segura y confiable, estableciendo los requerimientos necesarios para el óptimo servicio de las áreas del centro quirúrgico, unidades de vigilancia intensiva y centro obstétrico. Este proceso cumplió con criterios técnicos y normativas nacionales e internacionales, utilizando cálculos justificativos en el dimensionamiento de tableros, cables y el sistema de puesta a tierra. Además, se empleó software especializado para estudios de selectividad y la programación de sistemas de monitoreo de fallas, así como equipamiento adecuado para realizar pruebas de calidad que garantizan la confiabilidad del sistema.

Estos proyectos de infraestructura, implementados en diversas regiones del Perú, no solo fomentan el desarrollo profesional de numerosos peruanos, incluyendo técnicos e ingenieros, sino que también ofrecen la oportunidad de enriquecer nuestra base normativa en múltiples sectores como infraestructura, electricidad y mecánica, entre otros, estableciendo una base sólida para futuros proyectos similares.

Aunque la modalidad fast track en un proyecto reduce significativamente los plazos de entrega, es crucial definir con mayor precisión los sistemas cuya función es esencial para el objetivo del proyecto. En el caso de sistemas eléctricos, además de incorporar un adecuado factor de seguridad ante el incremento de la demanda, es indispensable que estos sistemas sean perfilados correctamente por profesionales especializados. Estos expertos deben determinar los requisitos del servicio conforme a las normativas vigentes, desarrollando un adecuado expediente técnico antes de la ejecución de trabajos.

La realización de retrabajos en fases avanzadas de un proyecto es inherentemente compleja debido a las restricciones propias del mismo, lo cual se traduce en un aumento de los costos. En el caso de la instalación de sistemas eléctricos, las complicaciones surgen de las limitaciones impuestas por otras disciplinas, como la falta de espacio en el falso cielo raso para la canalización. Esto incrementa el tiempo de ejecución, resultando en un costo más elevado. Se recomienda la formación de mesas de trabajo para la planificación coordinada de la ejecución de tareas, asegurando una integración eficiente entre las diferentes especialidades involucradas.

Por último, el proyecto del Hospital de Apoyo Sullana II-2 utiliza un contrato de tipo NEC 3, el cual se caracteriza por su flexibilidad y enfoque colaborativo, contemplando eventos compensables y facilitando la gestión de riesgos y cambios. Esta estructura contractual ha permitido que las situaciones imprevistas no afecten la entrega del proyecto. Esto contrasta con muchas obras públicas, donde las indefiniciones y contratiempos generan controversias entre las partes involucradas, provocando retrasos y, en algunos casos, la paralización indefinida de la obra.

Referencias

- Espinoza Villanueva, O., Chagua Reyes, M., & Sandoval Máximo, F. (2014). *Aspectos centrales para la gestión de proyectos en la modalidad Fast Track*. <http://hdl.handle.net/10757/594621>
- Galván, J., & Pallas-Areny, R. (1980, febrero). Seguridad eléctrica en equipos e instalaciones hospitalarias (I). *mundo electrónico n°93*, 43–56.
- Grimnes, S., & Martinsen, Ø. G. (2015). Selected Applications. En *Bioimpedance and Bioelectricity Basics* (pp. 405–494). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411470-8.00010-6>
- International Electrotechnical Commission. (2003). *Electrical installations of buildings - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment - wiring systems*.
- International Electrotechnical Commission. (2011). *Low-voltage electrical installations - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements and protective conductors (IEC 60364-5-54)*.
- International Electrotechnical Commission. (2012). *Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for basic safety and essential performance (IEC 60601-1)*. www.iec.ch
- International Electrotechnical Commission. (2016). *Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects (IEC TS 60479-1)*. www.iec.ch
- International Electrotechnical Commission. (2021). *Electrical installations of buildings (IEC 60364-1)*.
- Ministerio de Energía y Minas. (1999). *SEGURIDAD ELÉCTRICA. Elección de los materiales eléctricos en las instalaciones interiores para puesta a tierra. Conductores de protección de cobre. NTP 370.053*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Código Nacional de Electricidad-Utilización (Decreto Supremo N°057-04-PCM)*.
- Ministerio de Salud. (2005). *Categorías de establecimientos del sector salud. (Norma técnica NT 021-MINSA/DGSP V.01)*.
- Ministerio de Salud. (2011). *Categorías de establecimientos del sector salud. (Norma técnica NT 021-MINSA/DGSP V.03)*.
- Ministerio de Salud. (2014). *Infraestructura y equipamiento de los establecimientos de salud del segundo nivel de atención. (Norma técnica de salud N°110-MINSA/DGIEM-V.01)*.
- National Fire Protection Association. (2014). *NFPA 70® Código eléctrico nacional Edición 2014*. <http://www.nfpa.org/docinfo>

- Paucca, L. (2023). *Seguridad de las instalaciones eléctricas en ambientes críticos del Hospital de Pomabamba*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Romanò, M. (2015). *Text Atlas of Practical Electrocardiography*. Springer Milan. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-5741-8>
- Siemens. (2016). Totally integrated power - Consultant support. Application models for power distribution hospitals. *Siemens AG*, 1–114.
- Taktak, A., & McCarthy, J. (2020). Electrical safety of medical equipment and systems. En *Clinical Engineering* (pp. 217–225). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102694-6.00013-9>



Apéndices

Tableros redistribuidos:

Apéndice A.

Cuadro de cargas del tablero TA-2.1.1

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-2	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-3	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-4	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-5	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-6					Panel cabecero	1500	0.75	1125
	Reserva (25%)	1500	1	1500	Reserva	2250	0.75	1687
Total (W)		7500			8438			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		5625			6328			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (kVA)		6250			7031			
Transformador de aislamiento comercial (kVA)		10			10			

Apéndice B.*Cuadro de cargas del tablero TA-2.1.2*

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-2	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-3	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-4	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-5	tomacorrientes	600	1	600	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-6					Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-7					Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-8					Panel cabecero	1500	0.75	1125
	Reserva (25%)	1050	1	1050	Reserva	3000	0.75	2250
Total (W)		5250			11250			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		3938			8437			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (kVA)		4375			9375			
Transformador de aislamiento comercial (kVA)		10			10			

Apéndice C.*Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.1*

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1200	1	1200	Estativa	600	0.75	450
C-2	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-3	tomacorrientes	1200	1	1200	Estativa	600	0.75	450
C-4	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-5	tomacorrientes	1200	1	1200	Estativa	600	0.75	450
C-6	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-7	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-8	tomacorrientes	1200	1	1200	Estativa	600	0.75	450
C-9					Estativa	600	0.75	450
C-10					Estativa	600	0.75	450
C-11					Estativa	600	0.75	450
C-12					Estativa	600	0.75	450
C-13					Lámpara cialítica	500	0.75	375
C-14					D-223	1500	0.75	1125
C-15					D-223	1500	0.75	1125
C-16					D-497	2500	0.75	1875
C-17					D-524	2000	0.75	1500
C-18					Tomacorrientes	800	0.75	600

	Reserva (25%)	3100	1	3100	Reserva	4000	0.75	3000
Total (W)		15500			15000			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		11625			1125			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (kVA)		12917			12500			

Apéndice D.

Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.2

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1400	1	1400	Estativa	600	0.75	450
C-2	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-3	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-4	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-5	tomacorrientes	1200	1	1200	Estativa	600	0.75	450
C-6	tomacorrientes	1500	1	1500	Estativa	600	0.75	450
C-7	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-8	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-9					Estativa	600	0.75	450
C-10					Estativa	600	0.75	450

C-11					Estativa	600	0.75	450
C-12					Estativa	600	0.75	450
C-13					Lámpara cialítica	500	0.75	375
C-14					D-223	1500	0.75	1125
C-15					D-223	1500	0.75	1125
C-16					Tomacorrientes	800	0.75	600
	Reserva (25%)	3225	1	3225	Reserva	2875	0.75	2156
Total (W)		16125			10781			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		12094			8086			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (kVA)		13438			8984			

Apéndice E.

Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.3

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1000	1	1000	Estativa	600	0.75	450
C-2	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-3	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450

C-4	tomacorrientes	1200	1	1200	Estativa	600	0.75	450
C-5	tomacorrientes	700	1	700	Estativa	600	0.75	450
C-6	tomacorrientes	1500	1	1500	Estativa	600	0.75	450
C-7	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-8	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-9					Estativa	600	0.75	450
C-10					Estativa	600	0.75	450
C-11					Estativa	600	0.75	450
C-12					Estativa	600	0.75	450
C-13					Lámpara cálitica	500	0.75	375
C-14					D-223	1500	0.75	1125
C-15					D-223	1500	0.75	1125
C-16					Tomacorrientes	800	0.75	600
	Reserva (25%)	2900	1	2900	Reserva	2875	0.75	2156
Total (W)		14500			10781			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		10875			8086			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (kVA)		12083			8984			

Apéndice F.*Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.4*

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1200	1	1200	Estativa	600	0.75	450
C-2	tomacorrientes	1400	1	1400	Estativa	600	0.75	450
C-3	tomacorrientes	1500	1	1500	Estativa	600	0.75	450
C-4	tomacorrientes	1400	1	1400	Estativa	600	0.75	450
C-5	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-6	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-7	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-8	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-9					Estativa	600	0.75	450
C-10					Estativa	600	0.75	450
C-11					Estativa	600	0.75	450
C-12					Estativa	600	0.75	450
C-13					Lámpara cialítica	500	0.75	375
C-14					D-223	1500	0.75	1125
C-15					D-223	1500	0.75	1125
C-16					Tomacorrientes	800	0.75	600
	Reserva (25%)	3175	1	3175	Reserva	2875	0.75	2156
Total (W)		15875			10781			

Factor de simultaneidad (%)	0.75	0.75
Máxima demanda diversificada (W)	11906	8086
Factor de potencia	0.9	
Potencia del transformador (kVA)	13229	8984

Apéndice G.

Cuadro de cargas del tablero TA-2.2.5

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1200	1	1200	Estativa	600	0.75	450
C-2	tomacorrientes	700	1	700	Estativa	600	0.75	450
C-3	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-4	tomacorrientes	1400	1	1400	Estativa	600	0.75	450
C-5	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-6	tomacorrientes	1600	1	1600	Estativa	600	0.75	450
C-7	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-8	tomacorrientes	2000	1	2000	Estativa	600	0.75	450
C-9					Estativa	600	0.75	450
C-10					Estativa	600	0.75	450
C-11					Estativa	600	0.75	450
C-12					Estativa	600	0.75	450

C-13					Lámpara cialítica	500	0.75	375
C-14					D-223	1500	0.75	1125
C-15					D-223	1500	0.75	1125
C-16					Tomacorrientes	800	0.75	600
	Reserva (25%)	3025	1	3025	Reserva	2875	0.75	2156
Total (W)		15875			10781			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		11906			8086			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (kVA)		13229			8984			

Apéndice H.

Cuadro de cargas del tablero TA-2.3.1

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1600	0.75	1200
C-2	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1600	0.75	1200
C-3	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1600	0.75	1200
C-4	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1600	0.75	1200
C-5	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1600	0.75	1200

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-6	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1600	0.75	1200
C-7	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1600	0.75	1200
	Reserva (25%)	2100	1	2100	Reserva	2800	0.75	2100
Total (W)		10500			10500			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		7875			7875			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (kVA)		8750			8750			
Transformador de aislamiento comercial (kVA)		10			10			

Apéndice I.

Cuadro de cargas del tablero TA-2.4.1

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	1200	1	1200	Tomacorrientes	200	0.75	150
C-2	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-3	tomacorrientes	1200	1	1200	Panel cabecero	1500	0.75	1125

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-4	tomacorrientes	1200	1	1200	Tomacorrientes	200	0.75	150
C-5					Tomacorrientes	1000	0.75	750
	Reserva (25%)	2100	1	2100	Reserva	5500	0.75	825
Total (W)		6000			4125			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		4500			3094			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (kVA)		5000			3437			
Transformador de aislamiento comercial (kVA)		10			10			

Apéndice J.

Cuadro de cargas del tablero TA-2.4.2

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	tomacorrientes	833	1	833	Tomacorrientes	200	0.75	150
C-2	tomacorrientes	600	1	600	Panel cabecero	1500	0.75	1125
C-3	tomacorrientes	1500	1	1500	Panel cabecero	1500	0.75	1125

Diseño contractual					Diseño actual			
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-4	tomacorrientes	1000	1	1000	Tomacorrientes	200	0.75	150
C-5					Tomacorrientes	1100	0.75	750
	Reserva (25%)	983	1	983	Reserva	5500	0.75	825
Total (W)		4916			4125			
Factor de simultaneidad (%)		0.75			0.75			
Máxima demanda diversificada (W)		3687			3094			
Factor de potencia		0.9						
Potencia del transformador (VA)		4097			3437			
Transformador de aislamiento comercial (kVA)		10			10			

Apéndice K.

Cuadro de cargas del tablero TA-UCI-2

Diseño				
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	Panel cabecero	153	0.70	107
C-2	Panel cabecero	153	0.70	107
C-3	Panel cabecero	1000	0.70	700
C-4	Panel cabecero	1200	0.70	840

Diseño				
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-5	Panel cabecero	153	0.70	107
C-6	Panel cabecero	153	0.70	107
C-7	Panel cabecero	153	0.70	107
C-8	Panel cabecero	153	0.70	107
Total, de potencia instalada (W) por módulo UCI. Circuitos del 1-8.				2183
Total, de potencia instalada (W) de los 8 módulos. Circuitos del 1-64.				17461
Reserva (25%)				4365
Total, de potencia instalada (W)				21826
Factor de simultaneidad				1
Máxima demanda diversificada (W)				21826
Factor de potencia				0.9
Potencia de transformación de aislamiento (VA)				24251
Potencia de transformador monofásico, tomando en cuenta la instalación de 4 transformadores monofásicos de aislamiento (VA).				6063

Apéndice L.

Cuadro de cargas del tablero TA-UCIN-2

Diseño				
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	Panel cabecero	153	0.70	107
C-2	Panel cabecero	153	0.70	107
C-3	Panel cabecero	1000	0.70	700

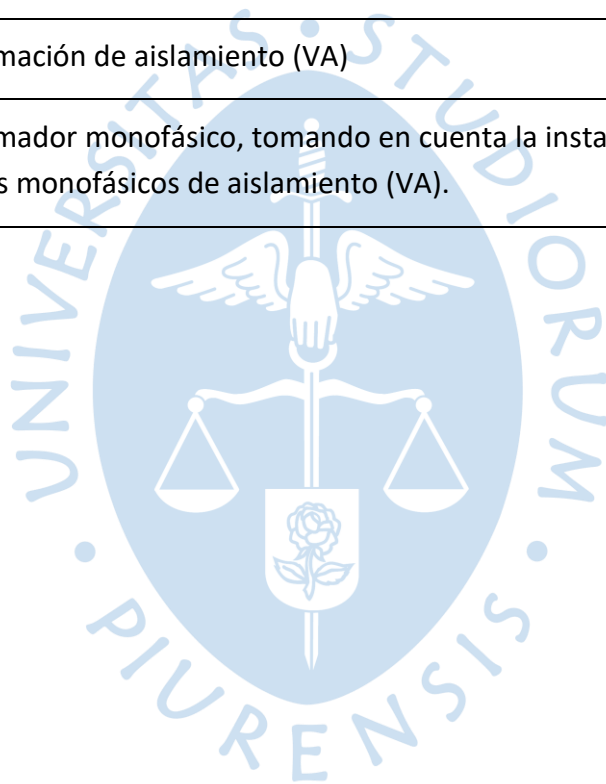
Diseño				
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-4	Panel cabecero	1200	0.70	840
Total, de potencia instalada (W) por módulo UCI. Circuitos del 1-4.				1754
Total, de potencia instalada (W) de los 13 módulos. Circuitos del 1-52.				22805
Reserva (25%)				5701
Total, de potencia instalada (W)				28506
Factor de simultaneidad				1
Máxima demanda diversificada (W)				28506
Factor de potencia				0.9
Potencia de transformación de aislamiento (VA)				31673
Potencia de transformador monofásico, tomando en cuenta la instalación de 4 transformadores monofásicos de aislamiento (VA).				7918

Apéndice M.

Cuadro de cargas del tablero TA-NEO-2

Diseño				
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
C-1	Panel cabecero	153	0.70	107
C-2	Panel cabecero	153	0.70	107
C-3	Panel cabecero	1000	0.70	700
C-4	Panel cabecero	1200	0.70	840
Total, de potencia instalada (W) por módulo UCI. Circuitos del 1-4.				1754
Total, de potencia instalada (W) de los 22 módulos. Circuitos del 1-88.				38592

Diseño				
Ítem	Concepto	P.I. (W)	F.D. (%)	M.D. (W)
	Reserva (25%)			9648
	Total, de potencia instalada (W)			48241
	Factor de simultaneidad			1
	Máxima demanda diversificada (W)			48241
	Factor de potencia			0.9
	Potencia de transformación de aislamiento (VA)			53601
	Potencia de transformador monofásico, tomando en cuenta la instalación de 6 transformadores monofásicos de aislamiento (VA).			5956



Anexo C.*Cálculo de alimentadores para tableros adicionales.*

Sección [mm ²]	Resis. 20°C [Ω/km]	Cond.	Cap. 30°C [A]	corriente	Resist. [Ω]	UCI ΔV [V]	UCIN ΔV [V]	NEO ΔV [V]
6	3.08		55		0.30	7.9	10.4	15.6
10	1.83		77		0.18	4.7	6.2	9.3
16	1.15		105		0.11	3.0	3.9	5.8
25	0.727		141		0.07	1.9	2.4	3.7
35	0.524		176		0.05	1.3	1.8	2.6
50	0.387		216		0.04	1.0	1.3	2.0

Nota. Los datos son extraídos de la ficha técnica del FREETOX N2XOH 0.6/1 kV.

