



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**Diseño de un modelo de Smart Grid para mejorar la
calidad de la energía eléctrica del Hospital Las
Mercedes de Chiclayo**

Autor:

Br. Yovera Atoche, Oscar

Asesor:

M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**Diseño de un modelo de Smart Grid para mejorar la
calidad de la energía eléctrica del Hospital Las
Mercedes de Chiclayo**

Autor:

Br. Yovera Atoche, Oscar

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE	: Dr. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES
SECRETARIO	: Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
MIEMBRO	: M.Sc. NESTOR DANIEL PUYEN MATEO
ASESOR	: M.Sc. JONY VILLALOBOS CABRERA

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

TÍTULO:

**Diseño de un modelo de Smart Grid para mejorar la
calidad de la energía eléctrica del Hospital Las
Mercedes de Chiclayo**

CONTENIDOS

CAPITULO I	: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.
CAPITULO II	: MARCO TEÓRICO.
CAPITULO III	: MARCO METODOLÓGICO.
CAPITULO IV	: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.
CAPITULO V	: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Bach. Yovera Atoche, Oscar

Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES
PRESIDENTE

Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
SECRETARIO

M.Sc. Ing. NESTOR DANIEL PUYEN MATEO
VOCAL

M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION N°0163-2026-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:30 p.m. del día miércoles 03 de junio 2026. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°090-2026-D-FIME-UNPRG, de fecha 29 de mayo 2026, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

▪ Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES	PRESIDENTE
▪ Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO	SECRETARIO
▪ M.Sc. Ing. NÉSTOR DANIEL PUYEN MATEO	MIEMBRO
▪ M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA	ASESOR

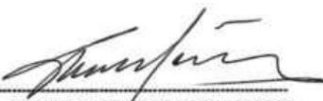
Se recibió la Tesis titulada:

"DISEÑO DE UN MODELO DE SMART GRID PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DEL HOSPITAL LAS MERCEDES DE CHICLAYO"

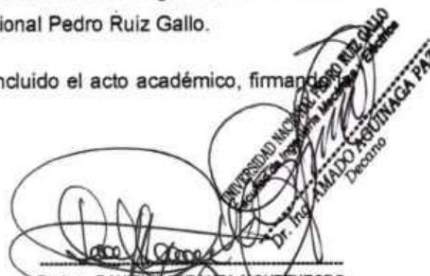
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **YOVERA ATOCHE OSCAR.**

Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota **(16)** en la escala vigesimal, mención **BUENA**. Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las **13.30 hrs** del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando presente acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. NÉSTOR DANIEL PUYEN MATEO
MIEMBRO


Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
SECRETARIO


M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
ASESOR

ANEXO 01
CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera, asesor del documento titulado: "DISEÑO DE UN MODELO SMART GRID PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DEL HOSPITAL LAS MERCEDES DE CHICLAYO".

Cuyo autor es, Oscar Yovera Atoche, identificado con documento de identidad N° 75020380, declaro que la evaluación realizada por el programa informático Turnitin ha arrojado un porcentaje de similitud de 11 %, verificable en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 15 de junio del 2026



M.Sc. ING. JONY VILLALOBOS CABRERA
DNI: 16699530
ASESOR

Se adjunta:

- * Resumen del Reporte automatizado de similitudes
- * Recibo Digital

Diseño de un modelo de Smart Grid para mejorar la calidad de la energía eléctrica del Hospital Las Mercedes de Chiclayo

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	11 %	4 %	5 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4 %
2	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	2 %
3	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1 %
5	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
6	revistascientificas.cuc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
7	de.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
8	revistas.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	<1 %


M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CARRERA
DNI 19989553
Docente Asociado
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

9	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	apirepositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	revistapacha.religacion.com Fuente de Internet	<1 %
17	Payé Colquehuanca, Leonardo. "Compensación de potencia reactiva y análisis de armónicos en sistemas de distribución eléctrica UNA - Puno 2018 - 2019", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
18	bibliotecavirtualoducal.uc.cl Fuente de Internet	<1 %


 M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CARRERA
 DNI 19989553
 Docente Asociado
 Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
 Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

19	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
21	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
24	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to IPChile Trabajo del estudiante	<1 %
28	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Submitted to unsaac


M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CARRERA
DNI 19998553
Docente Asociado
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

30 Trabajo del estudiante <1 %

31 www.mef.gob.pe <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 15 words
Excluir bibliografía Activo


M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CARRERA
DNI 19998553
Docente Asociado
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

DEDICATORIA

A mis padres, Jose Oscar y Veronica Yessica. Por su entrega silenciosa y por enseñarme que el amor verdadero se demuestra con hechos y sacrificios diarios. Todo lo que soy hoy es gracias al esfuerzo que ustedes nunca dejaron de hacer por mí.

Y a la memoria de mi mamá Lolo y mi hermana Thercy. Su recuerdo sigue siendo mi fuerza y mi mayor inspiración. Su legado de amor y valentía vive en mí cada día.

Nada de esto sería posible sin ustedes. Es el reflejo de todo lo que me han dado.

Bach. Yovera Atoche, Oscar

AGRADECIMIENTO

Gracias a mis padres, Jose Oscar y Veronica Yessica, por enseñarme con su propio ejemplo. Verlos mantenerse firmes ante las dificultades y seguir adelante con amor ha sido mi mayor lección de fortaleza. A mi hermano Bryan, gracias por caminar a mi lado con tanta entrega y estar presente justo cuando más lo necesitaba; y a mi sobrino Mauro, por ser una bendición que nos llena de alegría.

A mis abuelos: papá José, mamá Panchita, papá Pedro y mamá Lolo. El respeto, la disciplina y la honestidad que hoy me guían los aprendí de ustedes y de todo lo que me transmitieron con cariño desde niño.

A Angelita, y a mis hermanos Christopher, Priscilla y Thercy. Gracias por estar en los momentos importantes, por su compañía sencilla y por hacerme sentir que nunca estuve solo.

Este logro también es de ustedes.

Bach. Yovera Atoche, Oscar

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad diseñar un modelo Smart Grid para mejorar la calidad de la energía eléctrica del Hospital Las Mercedes de Chiclayo. El estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo, diseño no experimental, transversal y de alcance descriptivo-propositivo, debido a que no se ejecutó una implementación física del sistema, sino una propuesta técnica sustentada en mediciones disponibles, revisión documental y cálculos de ingeniería. La fuente de datos estuvo constituida por registros de facturación eléctrica, información del Área de Mantenimiento del hospital y mediciones de calidad de energía efectuadas en julio de 2024 en el tablero general y en cargas críticas. Los instrumentos utilizados fueron la ficha de análisis documental, ficha de recolección de datos, analizador de redes/calidad de energía clase A y matrices técnicas de selección de componentes. Los resultados iniciales evidenciaron caída de tensión de hasta 5,5 %, THD de tensión entre 6 % y 7 %, THD de corriente entre 5,2 % y 6,1 %, desbalance de corriente y riesgo de interrupción en áreas críticas como UCI, quirófanos y emergencia. El modelo propuesto integra AMI, analizadores de calidad clase A, IED, SCADA, EMS, comunicación IEC 61850/fibra óptica, ATS, UPS online de 600 kVA con factor de potencia nominal 1,0 y grupo electrógeno de 800 kW. El alcance real de los resultados corresponde a una evaluación técnica referencial y preoperacional: la caída de tensión se proyecta a 2 %, el THD a valores menores de 5 %, el SAIDI a 2,1 h/año, el SAIFI a 3 interrupciones/año y la disponibilidad a 99,9 %. Estos valores se consideran resultados proyectados de una evaluación preoperacional y están sujetos a validación en campo, de acuerdo con los puntos críticos que se identifiquen durante el monitoreo. La principal limitación fue la disponibilidad parcial de registros continuos y la ausencia de validación operacional en campo. La evaluación económica corregida considera una inversión inicial única de S/ 2 060 000, beneficio anual neto de S/ 380 600, VAN de S/ 834 873,86, TIR de 16,64 %, relación B/C de 1,29 y payback

de 5,41 años.

Palabras claves: Smart Grid, calidad de energía eléctrica, hospital, cargas críticas, evaluación teórica.

ABSTRACT

This research aimed to design and theoretically evaluate a Smart Grid model for the electrical power quality of Las Mercedes Hospital in Chiclayo. The study was applied, quantitative, non-experimental, cross-sectional, and descriptive-propositional, because no physical implementation was carried out; instead, a technical proposal was developed based on available measurements, documentary review, and engineering calculations. The data sources consisted of electricity billing records, information from the hospital Maintenance Area, and power quality measurements performed in July 2024 at the main switchboard and critical loads. The instruments used were a documentary analysis sheet, data collection sheet, class A power quality/network analyzer, and technical matrices for component selection. The initial results showed voltage drop up to 5.5%, voltage THD between 6% and 7%, current THD between 5.2% and 6.1%, current unbalance, and interruption risk in critical areas such as ICU, operating rooms, and emergency. The proposed model integrates AMI, class A power quality analyzers, IEDs, SCADA, EMS, IEC 61850/fiber optic communication, ATS, a 600 kVA online UPS with nominal power factor of 1.0, and an 800 kW generator set. The actual scope of the results corresponds to a referential and pre-operational technical evaluation: voltage drop is projected at 2%, THD below 5%, SAIDI at 2.1 h/year, SAIFI at 3 interruptions/year, and availability at 99.9%. The main limitation was the partial availability of continuous records and the absence of field operational validation. The corrected economic evaluation considers a single initial investment of PEN 2,060,000, annual net benefit of PEN 380,600, NPV of PEN 834,873.86, IRR of 16.64%, benefit-cost ratio of 1.29, and payback of 5.41 years.

Keywords: Smart Grid, power quality, hospital, critical loads, theoretical evaluation.

ÍNDICE

DEDICATORIA	10
AGRADECIMIENTO	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	14
ÍNDICE.....	15
ÍNDICE DE TABLAS	17
ÍNDICE DE FIGURAS	18
INTRODUCCIÓN	19
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	21
1.1. Realidad Problemática	21
1.2. Formulación del Problema.....	24
1.3. Delimitación de la Investigación	24
1.4. Justificación e Importancia del estudio.....	26
1.5. Limitaciones de la Investigación	27
1.6. Objetivos de estudio.....	29
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	30
2.1. Antecedentes de Estudios	30
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	37
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	46
3.1. Tipo y diseño de investigación	46
3.2. Población y muestra.....	46
3.3. Hipótesis	47
3.4. Variables - Operacionalización.....	47
3.5. Métodos y Técnicas de investigación	49
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	49
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	51
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	53
4.1. Calidad actual de la energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo...	53
4.2. Modelo de Smart Grid integrado a la red eléctrica del Hospital mediante una matriz morfológica.....	58
4.3. Cálculo y selección de los componentes del modelo de Smart Grid	59
4.4. Determinación en forma teórica de la calidad de energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo con el modelo de Smart Grid	67

4.5.	Evaluación económica del proyecto, mediante los indicadores VAN y TIR	77
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		84
5.1.	Conclusiones.....	84
5.2.	Recomendaciones	86
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS		86
ANEXOS		89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	48
Tabla 2: Puntos de monitoreo considerados para la evaluación de calidad de energía.....	50
Tabla 3: Valores límites de THD Voltaje, THD Corriente y Caída de Tensión	54
Tabla 4: Potencia y Energía Eléctrica que consume el Hospital Las Mercedes.....	55
Tabla 5: Sustento técnico de demandas y respaldo crítico.....	58
Tabla 6: Matriz Morfológica para determinar el modelo de Smart Grid	58
Tabla 7: Carga Instalada Estimada.....	60
Tabla 8: Valores técnicos recomendados	61
Tabla 9: Características de la Selectividad.....	66
Tabla 10: Carga crítica prioritaria	66
Tabla 11: Escenario sin Smart Grid	72
Tabla 12: Escenario con Smart Grid.....	73
Tabla 13: Sustento técnico de la reducción.....	73
Tabla 14: Estabilidad del suministro eléctrico	76
Tabla 15: Índice global de calidad de energía (IGCE).....	76
Tabla 16: Costos de equipos principales.....	78
Tabla 17: Costos de instalación e ingeniería.....	78
Tabla 18: Desglose de costos de Ingeniería y Diseño	79
Tabla 19: Desglose de Instalación eléctrica y montaje	79
Tabla 20: Costos de Programación SCADA–EMS.....	80
Tabla 21: Costos de Pruebas y puesta en marcha.....	80
Tabla 22: Obras civiles y adecuaciones complementarias	81
Tabla 23: Costos de operación y mantenimiento	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación del Consumo de Energía (kW-h)	55
Figura 2: Representación de la Máxima Demanda (kW).....	56

INTRODUCCIÓN

(Mendoza Yucra, 2021)(Álvarez Quispe, 2023) La presente tesis aborda el problema operativo de la calidad y continuidad de la energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo, infraestructura sanitaria que depende de cargas críticas como UCI, quirófanos, emergencia, laboratorio, sistemas de iluminación esencial, equipos médicos electrónicos, tableros de distribución, UPS y grupo electrógeno. En el diagnóstico se identificaron perturbaciones eléctricas asociadas a caída de tensión, distorsión armónica y desbalance de corriente, condiciones que pueden afectar el desempeño de equipos sensibles y reducir la confiabilidad del servicio hospitalario.

El impacto técnico se concentra en la operación de cargas críticas: una caída de tensión fuera del margen aceptable puede originar disparos intempestivos, reinicios de equipos biomédicos, sobrecalentamiento de conductores, incremento de pérdidas y mayor exposición a interrupciones. Asimismo, la presencia de armónicos producidos por cargas no lineales, UPS, variadores, equipos de diagnóstico y fuentes conmutadas puede deteriorar la forma de onda, elevar la temperatura de transformadores y tableros, y disminuir la vida útil de los equipos.

El vacío de la solución actual radica en que el hospital dispone de sistemas convencionales de protección, respaldo y medición, pero no cuenta con una arquitectura integrada de monitoreo en tiempo real, comunicación bidireccional, priorización automática de cargas críticas, registro sistemático de eventos de calidad de energía ni gestión energética centralizada. Por ello, el problema no se resuelve únicamente con equipos aislados, sino con un modelo coordinado de supervisión, automatización, medición y respaldo.

El modelo Smart Grid se evalúa como alternativa porque permite integrar medidores inteligentes AMI, analizadores de calidad de energía clase A, relés inteligentes IED, sistema SCADA, EMS, comunicación IEC 61850/fibra óptica, ATS, UPS y grupo electrógeno. Esta integración posibilita detectar perturbaciones, registrar eventos, priorizar cargas críticas, automatizar transferencias, generar alarmas y sustentar decisiones de mantenimiento preventivo y predictivo.

El alcance de la investigación es de diseño y evaluación teórica referencial. En consecuencia, los resultados proyectados no constituyen una validación operacional en campo, sino una estimación técnica sustentada en los datos disponibles, cálculos de ingeniería, criterios normativos y selección de componentes. Esta precisión metodológica evita afirmar una mejora demostrada experimentalmente y delimita la contribución de la tesis al diseño del modelo y a su evaluación preoperacional.

La estructura del trabajo comprende el problema de investigación, el marco teórico, el marco metodológico, el análisis de resultados técnicos y económicos, así como las conclusiones y recomendaciones derivadas de la propuesta.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En Ecuador, en el Hospital León Becerra se reportaron problemas derivados de un factor de potencia deficiente y desequilibrio de cargas, que generan efectos destructivos en equipos de instrumentación y líneas de distribución, afectando la confiabilidad del sistema eléctrico hospitalario. (Freire Ramírez & Vergara Tumbaco, 2010)

En Lambayeque, en el Hospital Privado Juan Pablo II se encontró que, aunque algunos parámetros como armónicos y frecuencia están dentro de la norma, la tensión fuera de tolerancia y un factor de potencia de 0,81 afectan la calidad de energía, recomendándose la instalación de bancos de condensadores para mejorarla (Trujillano Caro, 2018)

El Hospital Regional Docente II - Hospital Las Mercedes, es un Hospital de categoría II, se encuentra ubicado en Av. Luis Gonzales, 635, distrito y provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. Dicho Hospital tiene el servicio de energía eléctrica proporcionada por la empresa ELECTRONORTE SA, con el número de suministro 25595487, tiene un consumo promedio de 51, 904.19 kW-h/mes, con un pago mensual de S/. 40000,00.

En el mes de julio del 2024, la Dirección del Hospital, solicitó a la empresa PSP Energy, para que realice pruebas sobre la calidad de energía eléctrica en el hospital, obteniendo los siguientes resultados:

TABLERO GENERAL:

En donde llega el suministro de energía eléctrica N° 25595487, obteniendo los siguientes

resultados:

Tensión:

- Fase R-S: 379 V
- Fase S-T: 381 V
- Fase R-T: 378 V

Corriente:

- IR: 280.6 A
- IS: 279.2 A
- IT: 381.4 A

Armónicos:

De Tensión

- THD Tensión fase R: 6%
- THD Tensión fase S: 7%
- THD Tensión fase T: 6.5%

Estos valores superan los valores estimados en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos y la IEEE 519

De Corriente:

- THD Corriente fase R: 5.8 %
- THD Corriente fase S: 5.2 %
- THD Corriente fase T: 6.1%

Estos valores superan los valores estimados en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos y la IEEE 519

Caída de Tensión:

- 5.5 %

Los factores que contribuyen a esta mala calidad de la energía, son:

- Existencia de equipos electrónicos (tomógrafos, electrocardiógrafos, radiografos, etc.)
- Ampliaciones de las instalaciones eléctricas sin planificación.

Esto trae como consecuencia, que en muchas oportunidades los equipos no puedan funcionar, o el Hospital se quede sin servicio de energía eléctrica, ocasionando malestar en el paciente.

La relación entre las variables de investigación es de tipo directa y funcional. La variable independiente, denominada diseño de un modelo de Smart Grid, actúa como propuesta tecnológica orientada a integrar medición inteligente, automatización, comunicación, monitoreo de calidad de energía y gestión energética en el sistema eléctrico del Hospital Las Mercedes de Chiclayo. Esta variable incide sobre la variable dependiente, calidad de la energía eléctrica, debido a que permite controlar los parámetros eléctricos críticos, tales como tensión, corriente, distorsión armónica, continuidad del servicio, interrupciones y disponibilidad del sistema. Por lo tanto, al diseñar un modelo Smart Grid adecuado a las condiciones operativas del hospital, se espera mejorar la calidad de la energía eléctrica mediante la reducción de la caída de tensión, disminución del THD, reducción de los tiempos de interrupción, mejora del SAIDI y SAIFI, e incremento de la confiabilidad del suministro eléctrico en las cargas críticas hospitalarias. Esta relación se fundamenta en que el modelo Smart Grid proporciona información en tiempo real, capacidad de respuesta automática ante fallas y una gestión más eficiente de los recursos eléctricos del hospital.

1.2. Formulación del Problema

¿De qué manera el diseño y evaluación teórica de un modelo Smart Grid permite proyectar la mejora de la calidad de energía eléctrica del Hospital Las Mercedes de Chiclayo?

1.3. Delimitación de la Investigación

La presente investigación se delimita en los aspectos espacial, temporal, técnica, metodológica y temática, con la finalidad de precisar el alcance real del estudio y evitar que los resultados sean interpretados como una validación operacional del sistema Smart Grid, debido a que la tesis desarrolla principalmente un **diseño técnico y una evaluación referencial** del modelo propuesto, tal como fue observado por el jurado.

1.3.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrollará en el **Hospital Las Mercedes de Chiclayo**, ubicado en la Av. Luis Gonzales N.º 635, distrito y provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. El análisis estará referido al sistema eléctrico interno del hospital, tomando como referencia el suministro eléctrico N.º 25595487, abastecido por la empresa Electronorte S.A.

1.3.2. Delimitación temporal

El estudio se delimita temporalmente al periodo de evaluación comprendido entre el diagnóstico de la calidad de energía realizado en julio de 2024 y el desarrollo de la propuesta técnica durante el año 2026. Los datos de calidad de energía considerados corresponden a mediciones referenciales realizadas en el tablero general del hospital, cuyos resultados permitieron identificar problemas de tensión, corriente, armónicos y caída de tensión.

1.3.3. Delimitación técnica

La investigación se centra en el diseño de un modelo de Smart Grid orientado a mejorar la calidad de la energía eléctrica del Hospital Las Mercedes de Chiclayo. El estudio comprende el análisis de parámetros eléctricos como tensión, corriente, distorsión armónica total de tensión y corriente, caída de tensión, continuidad del servicio, SAIDI, SAIFI, disponibilidad e índice global de calidad de energía.

Asimismo, la propuesta técnica considera la incorporación de medición inteligente, analizadores de calidad de energía, sistema SCADA hospitalario, EMS, relés inteligentes, comunicación industrial, UPS, ATS y grupo electrógeno, con énfasis en la atención de cargas críticas hospitalarias, tales como emergencia, quirófanos, UCI, laboratorio, farmacia, diagnóstico por imágenes y sistemas auxiliares esenciales.

1.3.4. Delimitación metodológica

Metodológicamente, la investigación corresponde a un estudio **aplicado, no experimental y de alcance descriptivo–propositivo**, debido a que no se manipulan directamente las variables en condiciones reales de operación, sino que se analiza la situación actual del sistema eléctrico y se plantea una alternativa técnica de mejora mediante un modelo Smart Grid.

El alcance del estudio no comprende la implementación física del sistema, pruebas de puesta en marcha ni validación operacional en tiempo real. Por tanto, los resultados obtenidos son de carácter técnico, teórico y proyectado, sustentados en el análisis de los parámetros eléctricos existentes, criterios normativos, selección de componentes, estimación de mejora de indicadores y evaluación económica referencial.

1.3.5. Delimitación temática

La investigación se delimita al campo de la **calidad de energía eléctrica en instalaciones hospitalarias** y al diseño de soluciones basadas en tecnologías Smart

Grid. No se abordarán estudios estructurales, arquitectónicos, sanitarios ni clínicos del hospital. Tampoco se evaluará la totalidad de los sistemas biomédicos desde el punto de vista médico, sino únicamente su importancia como cargas eléctricas críticas que requieren continuidad, confiabilidad y calidad del suministro eléctrico.

1.4. Justificación e Importancia del estudio

1.4.1. Justificación tecnológica:

La investigación se justifica porque el Hospital Las Mercedes de Chiclayo presenta problemas relacionados con caída de tensión, distorsión armónica, desbalance de corriente y riesgo de interrupciones en áreas críticas. Estas condiciones pueden afectar la operación de equipos médicos sensibles y reducir la continuidad del servicio eléctrico.

Ante esta situación, se plantea un modelo de Smart Grid que integra medición inteligente, monitoreo de calidad de energía, automatización, comunicación industrial, respaldo eléctrico y gestión energética. Con esta propuesta se busca contar con información en tiempo real, registrar eventos eléctricos, priorizar cargas críticas y apoyar la toma de decisiones técnicas dentro del sistema eléctrico del hospital.

1.4.2. Justificación ambiental

Desde un punto de vista ambiental, el modelo propuesto puede contribuir de manera indirecta a una operación eléctrica más eficiente, al mejorar la gestión del consumo, reducir pérdidas técnicas y evitar el uso innecesario de equipos de respaldo. No se plantea una reducción directa comprobada de emisiones, debido a que el estudio no incluye una medición ambiental ni una comparación de consumo de combustible. Por ello, el beneficio ambiental se considera referencial y asociado a una mejor gestión energética.

1.4.3. Justificación económica

La investigación también tiene sustento económico, ya que las perturbaciones eléctricas, interrupciones y fallas en cargas críticas pueden generar gastos por mantenimiento correctivo, daño de equipos biomédicos, pérdida de continuidad operativa y uso recurrente de sistemas de respaldo.

El modelo de Smart Grid busca reducir estos riesgos mediante monitoreo, automatización, priorización de cargas y gestión energética. La evaluación económica se desarrolla de manera referencial, considerando la inversión inicial, beneficios estimados, VAN, TIR, relación beneficio/costo y periodo de recuperación.

1.5. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones de la presente investigación están relacionadas principalmente con el alcance técnico, metodológico y operativo del estudio, debido a que la propuesta se orienta al diseño de un modelo Smart Grid para mejorar la calidad de la energía eléctrica del Hospital Las Mercedes de Chiclayo, sin llegar a la etapa de implementación física ni validación operacional en tiempo real. Esta precisión es necesaria porque la observación del jurado indica que el trabajo sustenta un diseño teórico y una evaluación referencial, pero no una mejora demostrada mediante operación real del sistema.

En primer lugar, una limitación importante fue la disponibilidad parcial de información técnica actualizada del sistema eléctrico del hospital, tales como planos eléctricos completos, diagramas unifilares actualizados, registros históricos de fallas, reportes de mantenimiento, curvas de carga por áreas y datos detallados de operación de los sistemas de respaldo. Por ello, el análisis se desarrolló con la información disponible sobre consumo eléctrico, parámetros de calidad de energía y datos referenciales del tablero general del hospital.

En segundo lugar, el estudio se limita a una evaluación técnica proyectada, debido a que no se ejecutó la instalación física de los componentes Smart Grid propuestos, tales como medidores inteligentes, analizadores de calidad clase A, sistema SCADA, EMS, relés inteligentes, UPS, ATS y grupo electrógeno. En consecuencia, los resultados de mejora de la calidad de energía eléctrica corresponden a valores estimados o teóricos, sustentados en criterios técnicos, normativos y de diseño, mas no a mediciones posteriores a una implementación real.

En tercer lugar, la investigación no considera una validación operacional prolongada, ya que no se realizó un monitoreo continuo antes y después de la implementación del modelo. Por tanto, indicadores como caída de tensión, THD, SAIDI, SAIFI, disponibilidad e índice global de calidad de energía se analizan de manera referencial, tomando como base la situación actual identificada y el comportamiento esperado del modelo Smart Grid.

En cuarto lugar, otra limitación corresponde al periodo de medición de la calidad de energía, debido a que los datos empleados provienen de mediciones puntuales y de información proporcionada para el diagnóstico inicial. Esto restringe la posibilidad de evaluar con mayor precisión la variabilidad de la demanda eléctrica hospitalaria en diferentes horarios, días de la semana, temporadas de mayor atención médica o condiciones de emergencia.

Finalmente, la investigación se limita al análisis del sistema eléctrico desde el punto de vista de la calidad, continuidad, confiabilidad y gestión energética, sin desarrollar estudios estructurales, civiles, arquitectónicos, sanitarios ni clínicos del hospital. Asimismo, la evaluación económica tiene carácter referencial, por lo que los costos de inversión,

operación y mantenimiento deberán ser actualizados en una futura etapa de expediente técnico, licitación o implementación real del sistema.

1.6. Objetivos de estudio

1.6.1. Objetivo General

Diseñar y evaluar teóricamente un modelo Smart Grid para proyectar la mejora de la calidad de la energía eléctrica del Hospital Las Mercedes de Chiclayo.

1.6.2. Objetivo Específicos

- Evaluar la calidad actual de la energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo
- Proponer el modelo de Smart Grid integrado a la red eléctrica del Hospital mediante una matriz morfológica
- Calcular y seleccionar los componentes del modelo de Smart Grid.
- Determinar en forma teórica la calidad de energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo con el modelo de Smart Grid.
- Realizar la evaluación económica del proyecto, mediante los indicadores VAN y TIR

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. A nivel Internacional

A nivel internacional

Castañez Quiroz & Santafé Ramón, (2020), en la investigación titulada “Estudio sobre la implementación de redes eléctricas inteligentes “Smart Grids” en el departamento del Cesar: una revisión”, Se llevó a cabo de manera exitosa un exhaustivo estudio que se centró en la implementación de redes eléctricas inteligentes en el departamento del Cesar. En este proceso, se utilizó un marco de referencia específico que facilitó la identificación y establecimiento de las características esenciales del sistema eléctrico que está interconectado en esta región. Además, se incluye un análisis detallado y adaptado a las particularidades de esta área del país, enfocándose en el cumplimiento de los objetivos establecidos en la Visión Colombia 2030, que busca avanzar en el desarrollo sostenible y modernización de las infraestructuras eléctricas. En el contexto actual, la electricidad ha llegado a ser un fundamento esencial para el funcionamiento de la sociedad en su conjunto, dado que nuestra dependencia de este recurso es considerablemente alta. La electricidad es fundamental, y su ausencia puede provocar significativas demoras en la producción de diversas industrias, afectando así su eficiencia y capacidad operativa. Por esta razón, se torna imprescindible la implementación de redes eléctricas inteligentes. Estas redes no solo ofrecen soluciones innovadoras para los desafíos del sistema eléctrico, sino que también buscan optimizar el desempeño de todos los componentes interconectados. En consecuencia, la creación de una infraestructura eléctrica moderna se vuelve clave para reducir al mínimo las interrupciones en el suministro de energía eléctrica, asegurando un flujo constante y

fiable para todos. (Castañez Quiroz & Santafé Ramón, 2021)

Guamán Guamán, (2022), en el trabajo de investigación: “Análisis de la integración de la tecnología Smart Grid en sistemas eléctricos domésticos. El uso de energía eléctrica juega un papel fundamental y esencial en el correcto funcionamiento de diversas actividades diarias dentro de un hogar. Sin embargo, es importante tener en cuenta que una gestión inadecuada o deficiente de este recurso energético puede resultar en la generación de gastos innecesarios. Estos costos superfluos pueden, a su vez, impactar de manera negativa en la economía personal, afectando directamente el presupuesto del consumidor. Por esta razón, se hace evidente la necesidad de entender cómo la incorporación de ciertas tecnologías inteligentes puede mejorar de manera significativa la forma en que se utiliza la energía, así como también reducir los costos asociados al consumo de dicho servicio. Como consecuencia de esta situación, se llevó a cabo un exhaustivo análisis del sistema eléctrico vigente, enfocándose en la incorporación de la tecnología Smart Grid dentro de los sistemas eléctricos utilizados en los hogares. Para ello, se empleó un modelo simulado a través del software Vensim, el cual tiene como objetivo ilustrar de manera clara cómo el usuario final consume energía. Este análisis también busca identificar y determinar cuáles son los factores que resultan beneficiosos en este contexto. (Guamán Guamán, 2022)

Rodríguez-Salazar & Caruso, (2021), en el trabajo de investigación: “Soluciones para la mejora de la calidad del servicio de energía eléctrica en Barranquilla. Revisión de la literatura”, La optimización de la calidad en el servicio de suministro eléctrico es un asunto que ha sido objeto de exhaustivos estudios en diversas partes del mundo a lo

largo de los años. Gracias a estas investigaciones, se han podido identificar y establecer los parámetros que se consideran cruciales para la evaluación de la calidad del servicio de energía eléctrica. Además, dichos estudios han permitido comprender mejor tanto las causas que provocan interrupciones en el suministro de energía eléctrica como las consecuencias que éstas pueden acarrear para los consumidores y la infraestructura en general. El objetivo de esta investigación es profundizar en el conocimiento de diversas alternativas disponibles en cuanto a metodologías y tecnologías que se están utilizando en la actualidad. Estas alternativas están enfocadas en el mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico, así como en la identificación de las estrategias más eficaces para responder de manera oportuna y eficiente ante eventuales fallas o interrupciones en el suministro de energía eléctrica en la ciudad de Barranquilla. La investigación fue realizada utilizando un enfoque cualitativo, que se centró en llevar a cabo un exhaustivo proceso de revisión de la literatura existente. Este análisis permitió explorar y conocer las diversas soluciones disponibles destinadas a la mejora de la calidad del servicio de suministro de energía eléctrica. A partir de este estudio, se llegó a la conclusión fundamental de que resulta esencial y prioritario implementar nuevas tecnologías en las redes de distribución de energía eléctrica, ya que esto contribuiría de manera significativa al enriquecimiento y mejoramiento general de la calidad del servicio ofrecido. (Rodríguez-Salazar & Caruso, 2021)

2.1.2. A nivel nacional

Calderón Quispe, (2022), en su trabajo de investigación “Smart Grids en el sistema de distribución del distrito de Moquegua para mejorar la confiabilidad, año 2017”, Un Smart Grid, o red inteligente, se define como un sistema avanzado en el cual los circuitos son capaces de comunicarse de manera autónoma entre sí, y además posee

la habilidad de supervisar y gestionar su consumo de energía de forma efectiva y eficiente. La instalación mencionada está diseñada para permitir que el consumo de energía eléctrica sea visible en todo momento, en lugar de depender únicamente de la información que se proporciona a través de la factura de la electricidad. Será posible supervisar y medir el comportamiento eléctrico de cada uno de los dispositivos conectados a la red. Para lograr esta ambiciosa meta, se integrará en las Redes Inteligentes (Smart Grids) un sistema de control y monitoreo que tendrá la capacidad de responder automáticamente a cualquier interrupción en el suministro de energía eléctrica. De esta manera, tanto los usuarios como los distribuidores tendrán acceso a una mayor cantidad de información sobre el consumo eléctrico, lo que facilitará un uso más responsable y consciente de la energía a lo largo de todo su ciclo, desde los alimentadores hasta los sistemas domésticos individuales. En relación a este proyecto, se ha decidido que la terna D, que se encuentra disponible en el distrito de Moquegua, servirá como modelo debido a su considerable distancia y carga superior en comparación con las otras ternas, siendo esta alimentada por el alimentador O-782 que pertenece a la subestación San Antonio, operada por la empresa Electrosur S.A. (Calderón Quispe, 2022)

Porras Segundo, (2023), en el trabajo de investigación “Influencia de Smart Grid en la reducción de costos de energía eléctrica del sistema de distribución de la Unidad Minera Julcani, Huancavelica 2017”, El propósito principal del desarrollo de la presente investigación es identificar y analizar de qué manera el concepto de SMART GRID contribuye a la disminución de los costos asociados al consumo de energía eléctrica. Este análisis se centra específicamente en el sistema de distribución que opera en la Unidad Minera Julcani, ubicada en Huancavelica y en el año 2017.

Es importante señalar que esta investigación se clasifica como de tipo descriptivo y explicativo, implementando un diseño no experimental y de corte transversal. Para llevar a cabo la recolección de datos, se utilizó una población que coincide en tamaño con la muestra, la cual consistió en 24 oficinas administrativas de la Unidad Minera Julcani. Esto se debe a que estas oficinas están en constante actividad en relación a su consumo de energía eléctrica. En cuanto a las técnicas de medición, se recurrió tanto al análisis documental como a encuestas, así como a guías de observación y cuestionarios, todos ellos considerados instrumentos de medición confiables y que han sido validados adecuadamente por expertos en el campo relacionado. El resultado que se ha obtenido en relación al comportamiento de la correlación entre dos variables, específicamente entre el SMART GRID y la disminución de los costos asociados con la energía eléctrica, se realizó gracias al coeficiente de Durbin-Watson, que obtuvo un valor de 1.587. Este hallazgo se enmarca dentro de un modelo que se considera altamente significativo, con un valor de 0.0001248 ($p < 0.05$). Además, las diferentes dimensiones de la variable independiente, tales como el monitoreo, la comunicación bidireccional y la provisión de información en tiempo real, también mostraron un grado de correlación que es altamente significativo en relación con la reducción de costos de energía eléctrica. Para este análisis, se utilizó el método de regresión lineal, el cual permite explicar el grado de influencia que tiene una variable sobre la otra. Por el contrario, llegamos a la conclusión de que el concepto de SMART GRID tiene un impacto notable y considerable en la disminución de los costos asociados con el consumo de energía eléctrica. Además, se detalló que, con cada aumento en la eficiencia general del sistema SMART GRID, habrá una consecuente disminución en los gastos de energía eléctrica en toda la Unidad Minera Julcani, reduciéndose en un monto aproximado de

dólares estadounidenses. Un ingreso mensual de 20,068.10 dólares, con un nivel de confianza del 95%, lo cual indica un alto grado de certeza en la estimación; además, esto también se aplicó a la afectación que tiene cada una de las dimensiones de la variable independiente en estudio. (Porrás Segundo, 2023)

2.1.3. A nivel local

Salazar Peralta, (2022), en su trabajo de investigación “Propuesta de sistema de lectura remota de medidores de energía eléctrica, para mejorar la eficiencia del Servicio Ensa – Lambayeque”, En el contexto del mundo contemporáneo, y en el proceso de optimizar la eficiencia operativa de una empresa concesionaria dedicada a la distribución de electricidad, resulta crucial enfocarse en la minimización de errores relacionados con la medición de las lecturas del consumo de energía eléctrica. Esto incluye la necesidad de reducir los costos asociados con la recolección de datos. Además, es esencial llevar a la práctica una estrategia que permita la medición bidireccional de la energía eléctrica; esto implica no solo registrar la energía que fluye desde la concesionaria hacia los prosumidores, que son aquellos consumidores que también producen energía, sino también contabilizar la que regresa desde los prosumidores a la empresa concesionaria. Este enfoque es fundamental para permitir la viabilidad de la generación distribuida de electricidad, facilitada por sistemas como el Net Metering y el Net Billing. Asimismo, se busca implementar bloques horarios que regulen tanto el consumo de energía como la potencia utilizada por los consumidores, ya sean residenciales o rurales. Todo esto contribuirá a suavizar la curva de demanda del sistema eléctrico, lo que es un objetivo crucial para el funcionamiento eficiente y sostenible de las redes eléctricas actuales. Entre las diversas modalidades disponibles para llevar a cabo mediciones a distancia, los

concesionarios de servicios eléctricos tienen la opción de seleccionar la Telemetría, también conocida como Tele medición. Esta técnica, que se basa en el uso de sistemas computarizados en el ámbito de las comunicaciones, implica un control y una medición que se realizan con el apoyo de dispositivos intermedios. Estos dispositivos permiten que los datos de medición puedan ser interpretados y analizados desde una ubicación considerablemente distante del medidor principal utilizado para capturar la información. Una de las características más singulares y notables de lo que se conoce como telemedida es la forma en que están organizados y diseñados los sistemas de transmisión. Estos sistemas permiten que la información relacionada con la cantidad que se está midiendo se convierta en una magnitud que se representa en una categoría completamente diferente. Esta conversión facilita la posibilidad de transferir los datos de manera efectiva y conveniente, incluso a grandes distancias, permitiendo así la medición remota de la variable en cuestión. La distancia física que separa diferentes ubicaciones no resulta ser un factor de gran relevancia en el contexto actual, ya que las redes de Telemedición están diseñadas sobre diversas arquitecturas innovadoras. Entre estas arquitecturas se encuentran la red de área del hogar, conocida como HAN (Home Area Network), la red de área de vecindario, referida como NAN (Neighbor Area Network), y la red de área amplia, que se identifica como WAN (Wide Area Network). Adicionalmente, uno de los beneficios significativos que la Telemedición proporciona es la capacidad de transformar por completo los modelos de negocio existentes. Esto permite a las empresas ofrecer un servicio al cliente de calidad superior, incluyendo diversas ventajas comerciales como la introducción de nuevas tarifas más competitivas, así como la opción de implementar un sistema de pago basado en el uso real. Asimismo, esta tecnología brinda la oportunidad de mejorar la eficiencia en el consumo de

energía destinado al alumbrado público, contribuyendo así a una gestión más sostenible de estos recursos. Existen oportunidades significativas para mejorar y perfeccionar la labor realizada por el equipo de trabajo responsable de llevar a cabo las reparaciones de las fallas técnicas. Se logra un ahorro significativo al reducir la cantidad de veces que los clientes son conectados y desconectados. Las modificaciones realizadas en el proceso de optimización generan beneficios financieros en el corto plazo para la empresa que decide llevar a cabo dichas implementaciones, permitiendo así alcanzar los indicadores clave como el valor actual neto y la tasa interna de retorno económica, los cuales presentan resultados positivos. (Salazar Peralta, 2022)

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

A. La generación distribuida (DG)

Se define como una fuente de energía que se conecta directamente a la red de distribución o a la parte del consumidor. Por otro lado, los recursos energéticos distribuidos (DER) presentan una gran oportunidad para la integración tanto de fuentes de energía no renovables como de energías renovables. Este aspecto resulta fundamental, ya que la generación distribuida tiene la capacidad de integrar de manera inteligente las acciones de los usuarios. Esto permite conseguir energía que no solo sea económica, sino también sostenible y segura. Por esta razón, el desarrollo de redes inteligentes y sistemas de comunicación es crucial, ya que estos elementos contribuyen a equilibrar y optimizar el sistema energético. (Cifuentes Díaz, 2023)

El concepto del Smart Grid, que originalmente se desarrolló como una idea teórica, ha evolucionado y comienza a tomar forma en el mundo real, ya que ha sido

implementado con éxito en varias regiones a nivel global. Por ejemplo, países como China y Estados Unidos han sido pioneros en su adopción. En este contexto, se puede destacar el proyecto Smart Grid Rural de Cataluña, que ha estado en funcionamiento durante más de tres años y está efectivamente conectado a la red de generación eléctrica. Asimismo, la red inteligente de Illinois cuenta con una capacidad instalada impresionante de 1475 kW. Esta red no solo incluye diversas fuentes de energía, sino que también integra energías renovables, tales como los sistemas fotovoltaicos, turbinas de gas y energía eólica, así como soluciones de almacenamiento de energía en baterías, promoviendo así un sistema energético más sostenible y eficiente. (Wagman, 2017).

De acuerdo con lo que se ha mencionado en el párrafo anterior, se puede concluir que un modelo de Smart Grid se basa en la necesidad de disminuir la huella de carbono que estamos dejando en nuestro planeta. Esto se lleva a cabo mediante la integración de fuentes de energía renovables, tales como la energía solar, que incluye tanto la térmica como la fotovoltaica, así como el uso de micro turbinas, la energía eólica y la mini hidráulica. En este contexto, Dalmazzo, Valenzuela y Espinosa (2017) sostienen que estas tendencias resultan altamente favorables para la inversión en redes de Smart Grid. Esto se debe a que tales iniciativas tienen un impacto significativo a nivel político, ambiental y económico en la sociedad, al mismo tiempo que mejoran la calidad de vida de las personas y contribuyen a una transformación en la manera en que se genera electricidad. Esto es especialmente relevante, dado que el acelerado agotamiento de los combustibles fósiles y los efectos del cambio climático están generando una creciente inestabilidad en el sistema energético.

Es fundamental destacar que, para que una red eléctrica inteligente, comúnmente conocida como Smart Grid, opere de manera eficiente y alcance su máximo potencial, no es suficiente contar únicamente con la colaboración de las empresas dedicadas a la distribución o generación de energía eléctrica. También es esencial involucrar a los usuarios finales en este proceso. Esto se logra a través de la implementación de diversos sistemas de almacenamiento de energía, los cuales pueden incluir tecnologías como baterías electroquímicas, volantes de inercia, pilas de combustible, superconductores y supercondensadores. Todos estos elementos, al ser integrados, contribuyen significativamente a mejorar la capacidad de almacenamiento energético de la red, facilitando un funcionamiento más adecuado y efectivo de la Smart Grid. (Dalmazzo, Valenzuela y Espinosa, 2017).

El análisis de la calidad de la energía eléctrica se lleva a cabo en numerosos países alrededor del globo terrestre, lo que implica que su definición puede diferir considerablemente dependiendo del contexto geográfico y cultural en el que se aborde. Por ejemplo, el Electric Power Research Institute, conocido como EPRI, proporciona una aclaración sobre lo que se considera un problema relacionado con la potencia eléctrica, definiendo que este tipo de problemas se manifiestan a través de desviaciones en la corriente, la tensión y el voltaje. Estos inconvenientes pueden dar lugar a un funcionamiento inadecuado por parte de los usuarios o incluso ocasionar fallos en los equipos eléctricos. Además, tanto la International Electrotechnical Commission (IEC) en su norma 61000-2-2/4, como la norma CENELEC 50160, indican que estos problemas son, de hecho, características físicas del suministro eléctrico. Por lo tanto, es imperativo trabajar proactivamente para garantizar que las condiciones en las que se entrega la energía eléctrica al cliente sean óptimas y

constantes, de modo que se eviten interrupciones o perturbaciones en el servicio. En el país sudamericano de Perú, específicamente en el año 1997, el Ministerio de Energía y Minas elaboró y publicó una serie de lineamientos y directrices que tienen como objetivo principal establecer criterios claros para determinar los valores mínimos y máximos aceptables, con el fin de asegurar que la calidad de la energía eléctrica proporcionada sea considerada adecuada y satisfactoria.

- El Decreto Legislativo N° 1002, que fue promulgado en el año 2008, establece un marco legal para fomentar y promover la inversión en proyectos destinados a la generación de energía eléctrica, utilizando como fuente principal diversas energías renovables.

- Resolución Viceministerial No. 036-2011-MEM/VME, que fue publicado en el año 2021, establece y da la aprobación para la Base que servirá como fundamento para llevar a cabo la Segunda Subasta destinada a la Generación de Electricidad mediante fuentes de Energías Renovables.

- D.S. Número 031-2012-EM, publicado en el año 2012, establece modificaciones a varios artículos tanto del Decreto Supremo número 009-93-EM como del Decreto Supremo número 012-2011-EM. Estas modificaciones están relacionadas con el marco regulatorio que se encarga de normar y regular el proceso de otorgamiento de concesiones para la generación de energía hidráulica proveniente de fuentes de Energía Renovable No Convencional (RER).

- De acuerdo con el documento identificado como D.S. N° 024-2013-EM, emitido en el año 2013, se procede a realizar modificaciones en el Reglamento que corresponde a la Ley de Promoción de la Inversión destinada a la Generación de Electricidad, específicamente aquella que utiliza fuentes de Energías Renovables, así como

también en el Reglamento que rige la Ley de Concesiones Eléctricas.

- D.S. 020-2013-EM, emitida en el año 2013, establece y aprueba un conjunto de normativas que tienen como objetivo la promoción y fomento de la inversión en el sector eléctrico, específicamente en aquellas zonas que aún no están conectadas a una red eléctrica.

B. Sistema eléctrico hospitalario

Los hospitales constituyen infraestructuras críticas cuya operación depende directamente de la continuidad y calidad del suministro eléctrico. Los sistemas eléctricos hospitalarios alimentan equipos médicos sensibles como monitores de signos vitales, tomógrafos, ventiladores mecánicos y sistemas de soporte vital, los cuales requieren parámetros eléctricos estrictos en cuanto a tensión, frecuencia y continuidad del servicio.

Se precisa y corrige la normativa aplicable, incorporando normas peruanas específicas y vigentes, diferenciando el ámbito sanitario y eléctrico:

- **Código Nacional de Electricidad – Utilización (CNE-U), aprobado por R.M. N° 175-2008-MEM-DM**, aplicable al diseño, ampliación y adecuación de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones, incluyendo hospitales.
- **Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) – D.S. N° 020-97-EM**, para los límites permisibles de tensión, continuidad del servicio y perturbaciones eléctricas
- **Norma Técnica de Salud NTS N° 110-MINSA/DGIEM-V.01**, referida a infraestructura y equipamiento de establecimientos de salud
- **IEC 60364-7-710**, como referencia técnica internacional específica para instalaciones eléctricas en locales de uso médico.
- **IEEE 519-2014**, para límites de distorsión armónica en tensión y corriente.

- **IEEE 1159**, para clasificación y monitoreo de eventos de calidad de energía.

C. Calidad de la energía eléctrica

La calidad de la energía eléctrica se define como el grado en que las características del suministro eléctrico (tensión, frecuencia y forma de onda) se mantienen dentro de los límites establecidos por normas técnicas, permitiendo el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos.

a. Parámetros de la calidad de la energía eléctrica

Los principales parámetros asociados a la calidad de la energía eléctrica son:

- **Variación de tensión:** desviaciones respecto al valor nominal.
- **Huecos de tensión (sags):** disminuciones momentáneas del voltaje.
- **Sobretensiones (swells):** incrementos momentáneos del voltaje.
- **Interrupciones:** pérdida total del suministro eléctrico.
- **Distorsión armónica:** deformación de la onda sinusoidal causada por cargas no lineales.
- **Desbalance de fases:** diferencias de tensión o corriente entre fases.

En instalaciones hospitalarias, estos fenómenos afectan directamente la vida útil de los equipos médicos, incrementan los costos de mantenimiento y reducen la confiabilidad del sistema eléctrico.

D. Normativa aplicable a la calidad de energía en hospitales

En el ámbito sanitario, se considera la Norma Técnica de Salud NTS N.º 110-MINSA/DGIEM-V.01, relacionada con infraestructura y equipamiento de establecimientos de salud. Complementariamente, se emplean normas internacionales como la IEC 60364-7-710, específica para instalaciones eléctricas

hospitalarias; la IEEE 519-2014, para límites de distorsión armónica; y la IEEE 1159, para la monitorización de la calidad de la energía eléctrica.

E. Smart Grid (Redes eléctricas inteligentes)

Una **Smart Grid** es una red eléctrica moderna que integra tecnologías de información, comunicación, automatización y control para mejorar la eficiencia, confiabilidad, seguridad y calidad del suministro eléctrico.

A diferencia de las redes eléctricas convencionales, las Smart Grids permiten una comunicación bidireccional entre los generadores, operadores y consumidores, facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

F. Componentes fundamentales de una Smart Grid

a. Infraestructura de medición avanzada (AMI)

La AMI incluye medidores inteligentes capaces de registrar variables eléctricas en tiempo real, como tensión, corriente, potencia, energía y distorsión armónica. En hospitales, esta infraestructura permite detectar perturbaciones eléctricas antes de que generen fallas críticas.

b. Sistemas de comunicación

Las Smart Grids utilizan tecnologías de comunicación como Ethernet, fibra óptica, protocolos IEC 61850, Modbus TCP/IP y redes inalámbricas, permitiendo la transmisión segura y continua de datos eléctricos.

c. Automatización y control

Incluye relés inteligentes, interruptores automáticos y sistemas SCADA, los cuales permiten aislar fallas, reconfigurar redes internas y priorizar cargas críticas en tiempo real.

d. Sistemas de gestión energética (EMS)

Los EMS analizan el consumo energético, optimizan la demanda y mejoran la eficiencia energética, permitiendo una operación sostenible del sistema eléctrico hospitalario.

G. Smart Grid aplicada a hospitales

La aplicación de Smart Grids en hospitales permite:

- Monitorear continuamente la calidad de energía.
- Priorizar cargas críticas (quirófanos, UCI, emergencia).
- Integrar grupos electrógenos y UPS de forma inteligente.
- Reducir tiempos de interrupción del servicio eléctrico.
- Mejorar la confiabilidad y seguridad eléctrica.

Además, la Smart Grid facilita la toma de decisiones basada en datos históricos y en tiempo real, incrementando la resiliencia del sistema eléctrico hospitalario.

H. Integración de sistemas de respaldo en una Smart Grid hospitalaria

Los hospitales cuentan con sistemas de respaldo como:

- Grupos electrógenos.
- Sistemas UPS.
- Bancos de baterías.

Mediante un modelo Smart Grid, estos sistemas pueden integrarse de manera coordinada, permitiendo una transición automática y sin interrupciones ante fallas del suministro principal, garantizando la continuidad del servicio eléctrico.

I. Tecnologías de monitoreo de calidad de energía

Las Smart Grids emplean analizadores de calidad de energía, sensores IoT y plataformas digitales para evaluar parámetros eléctricos. Estas tecnologías permiten:

- Detección temprana de fallas.
- Análisis de tendencias.
- Mantenimiento predictivo.
- Reducción de pérdidas técnicas.

J. Beneficios del diseño de un modelo Smart Grid en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo

El diseño de un modelo Smart Grid para el Hospital Las Mercedes permitirá:

- Mejorar los niveles de tensión en cargas críticas.
- Monitorear la distorsión armónica y otras perturbaciones eléctricas, registrando los eventos y puntos críticos del sistema para apoyar futuras correcciones técnicas en las cargas o tableros afectados.
- Incrementar la confiabilidad del sistema eléctrico.
- Optimizar la gestión energética.
- Tomar como referencia normas técnicas nacionales e internacionales para la evaluación de la calidad de energía y la selección de componentes.

K. Relación del marco teórico con la investigación

El marco teórico sustenta conceptualmente la propuesta de diseño del modelo Smart Grid, proporcionando los fundamentos técnicos necesarios para evaluar su impacto en la mejora de la calidad de la energía eléctrica del Hospital Las Mercedes de Chiclayo.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación: Aplicada

La investigación es aplicada porque utiliza conocimientos de calidad de energía, automatización, medición inteligente, protección eléctrica y gestión energética para diseñar una solución técnica orientada al sistema eléctrico del Hospital Las Mercedes. Su alcance es descriptivo-propositivo, debido a que primero caracteriza la condición actual del suministro y luego propone un modelo Smart Grid evaluado mediante cálculos y criterios técnicos.

El tipo de investigación que se está realizando tiene un enfoque claramente aplicado, dado que su propósito fundamental es aplicar los conocimientos teóricos para mejorar la calidad de energía eléctrica.

3.1.2. Diseño de investigación: No experimental

El diseño de investigación es no experimental y transversal. No se manipulan físicamente las variables ni se instala el sistema Smart Grid en campo; se analizan datos existentes y mediciones disponibles en un periodo definido, para luego proyectar teóricamente los indicadores de calidad, continuidad y confiabilidad que podrían alcanzarse con la propuesta.

3.2. Población y muestra

La población: Lo constituyen las instalaciones eléctricas del Hospital Las Mercedes de la ciudad de Chiclayo

La muestra: Es igual a la población y lo constituyen las instalaciones eléctricas del Hospital Las Mercedes de la ciudad de Chiclayo.

3.3. Hipótesis

El diseño y evaluación teórica de un modelo Smart Grid permite proyectar la mejora de la calidad de energía eléctrica del Hospital Las Mercedes de Chiclayo, mediante monitoreo en tiempo real, automatización, priorización de cargas críticas y gestión energética.

3.4. Variables - Operacionalización

X: Variable independiente: Modelo de Smart Grid

Y: Variable dependiente: Calidad de la energía eléctrica

Tabla 1.
Operacionalización de variables

TIPO	NOMBRE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Modelo de Smart Grid	Se trata de una red avanzada que reúne las más recientes y sofisticadas tecnologías para la gestión y supervisión de sistemas eléctricos. Este sistema se centra particularmente en los aspectos de distribución y generación de energía, logrando transformar dichos sistemas en opciones que garantizan un nivel superior de seguridad, eficiencia y confiabilidad en su funcionamiento. (Porras, 2019).	El modelo de Smart Grid se operacionaliza mediante el diseño e integración de sistemas de medición inteligente, automatización, comunicación y gestión energética, evaluados a través del nivel de implementación tecnológica, capacidad de monitoreo y control del sistema eléctrico hospitalario.	Infraestructura de medición inteligente (AMI)	• Número de medidores inteligentes instalados • Capacidad de medición en tiempo real • Registro de parámetros eléctricos (V, I, P, THD)	Razón o Proporción
				Automatización y control	• Nivel de automatización del sistema • Tiempo de respuesta ante fallas • Capacidad de reconfiguración automática	
				Sistema de comunicación	• Tipo de protocolo de comunicación • Confiabilidad de transmisión de datos	
DEPENDIENTE	Calidad de la energía eléctrica	La calidad de la energía eléctrica es el grado en que las características del suministro eléctrico, como tensión, frecuencia y forma de onda, se mantienen dentro de los límites establecidos por normas técnicas, garantizando el funcionamiento seguro, eficiente y confiable de los equipos eléctricos y electrónicos. (Ramos Pasadas, 2021)	La calidad de la energía eléctrica se evalúa mediante el análisis de parámetros eléctricos registrados en el sistema hospitalario en la situación actual y su comparación con los valores teóricos proyectados, obtenidos a partir del diseño del modelo Smart Grid, de acuerdo con los límites establecidos en la IEEE 519, IEEE 1159 y la NTCSE .	Nivel de tensión	• Variación porcentual de tensión • Cumplimiento del rango normativo	Razón o Proporción
				Continuidad del servicio eléctrico	• Número de interrupciones • Duración de interrupciones	

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Técnicas

Análisis Documental

Se trata de un conjunto organizado de diversas actividades que se llevan a cabo con el propósito de obtener documentos que están relacionados con un tema específico.

El objetivo principal de estas actividades es mejorar la comprensión y el conocimiento sobre dicho tema, especialmente cuando se considera que la información actual es insuficiente o no adecuada en ciertos aspectos. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018)

Recolección de Datos

Se trata de una herramienta destinada a la investigación, la cual utiliza procedimientos que han sido estandarizados y que son aplicables a un grupo específico de sujetos. Esta herramienta facilita la recolección de datos directamente en el campo, permitiendo así obtener información de manera sistemática y organizada. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018)

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Se hicieron uso de las herramientas que se mencionarán a continuación, las cuales tienen una conexión directa y muy estrecha con los métodos que se utilizaron durante el proceso:

Ficha de análisis documental

Se trata del documento tangible en el cual se registran y expresan las ideas que han sido cuidadosamente analizadas y reflexionadas previamente a través de la técnica del fichaje. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018). A través de este instrumento de

investigación se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las distintas fuentes bibliográficas que se encuentran relacionadas con la elaboración y el diseño de un modelo de Smart Grid.

Ficha de recolección de datos

Se trata de un tipo de documento en formato físico que se utiliza para la recopilación de información obtenida en el campo, la cual resulta ser de gran utilidad para llevar a cabo el proceso de investigación. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018). A través de este instrumento específico, se llevó a cabo la recopilación de información detallada acerca de la calidad de la energía eléctrica que se suministra en el Hospital Las Mercedes.

3.6.1. Periodo, puntos de monitoreo e instrumento de medición

Para levantar la observación metodológica, se precisa que la campaña base de medición se consideró en julio de 2024, con registros tomados en el tablero general de baja tensión y en circuitos asociados a cargas críticas. La información se complementó con facturación mensual, máxima demanda, inspección de tableros y datos del Área de Mantenimiento del hospital. El analizador considerado corresponde a un equipo de calidad de energía clase A, con registro de tensión, corriente, potencia, factor de potencia, THD, eventos e interrupciones. Para la aplicación definitiva se exigirá certificado de calibración vigente emitido por laboratorio acreditado o trazable al INACAL, con antigüedad no mayor a doce meses.

Tabla 2:
Puntos de monitoreo considerados para la evaluación de calidad de energía

Código	Punto de monitoreo	Variables registradas	Finalidad técnica	Instrumento
PM-01	Tablero General BT / suministro 25595487	V, I, P, FP, THD-V, THD-I, eventos	Caracterizar la calidad de energía de ingreso al hospital	Analizador clase A

PM-02	Tablero de cargas críticas UCI	V, I, THD, continuidad	Verificar afectación en equipos de soporte vital	Analizador clase A / AMI
PM-03	Tablero de quirófanos	V, I, eventos, transferencia	Evaluar continuidad y priorización de cargas esenciales	Analizador clase A / SCADA
PM-04	Tablero de emergencia y laboratorio	V, I, THD, eventos	Evaluar cargas no lineales y sensibilidad operativa	Analizador clase A / AMI

3.6.2. Criterios de selección de áreas críticas y validación del modelo

Las áreas críticas se seleccionaron por continuidad asistencial, sensibilidad de equipos, riesgo para la seguridad del paciente, potencia demandada y dependencia de respaldo eléctrico. El procedimiento de validación del modelo es preoperacional y consta de: (i) comparación de indicadores actuales con límites normativos; (ii) verificación de coherencia entre demanda total, demanda de diseño y carga crítica; (iii) simulación/cálculo teórico de escenarios sin y con Smart Grid; (iv) revisión de selectividad y transferencia de cargas; y (v) contrastación documental con fichas técnicas, matriz morfológica y costos referenciales. La validación operacional definitiva quedará como recomendación para una etapa posterior de implementación y pruebas en campo.

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

El objetivo primordial de este procedimiento es realizar una evaluación detallada y minuciosa de un conjunto particular de datos, con la intención de extraer conclusiones relevantes y significativas que puedan respaldar y promover una toma de decisiones que esté debidamente fundamentada e informada.

En el marco de la investigación que se está llevando a cabo, se llevó a cabo una cuidadosa recopilación de información la calidad de energía eléctrica del Hospital Las Mercedes. Posteriormente, esta valiosa información será objeto de análisis

utilizando métodos de estadística descriptiva con el fin de obtener conclusiones significativas. La estadística descriptiva se ocupa de recopilar y analizar la información de manera que nos permita obtener las frecuencias, así como también las medidas de tendencia central y las de dispersión correspondientes a los datos que se han recolectado.

Los datos que se han mencionado previamente fueron cuidadosamente organizados en diversos intervalos o rangos, y, como siguiente paso en el proceso, fueron sometidos a un riguroso análisis a través de la aplicación de la media aritmética. Este proceso nos ofreció la valiosa oportunidad de llevar a cabo una evaluación exhaustiva de la confiabilidad de cada una de las unidades que están siendo analizadas en este contexto. La media aritmética, que se establece como el resultado de agregar todos los valores de un conjunto específico y luego dividir esa suma total por el número exacto de elementos que componen dicho conjunto, es considerada la medida estadística de tendencia central que tiene una importancia y relevancia considerable dentro del campo de la estadística. La distinción que se establece entre el valor máximo registrado en un conjunto específico de datos y el valor mínimo que se ha observado dentro de ese mismo conjunto es utilizada como base para realizar el cálculo del rango, que es una medida estadística importante. Este rango, que se establece en referencia a los datos analizados, tiene la función de proporcionar una representación cuantitativa que permite medir el ancho o la amplitud de los diversos valores que se encuentran en los datos que han sido examinados.

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Calidad actual de la energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo

Para determinar la calidad actual de la energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes, se realizó mediciones en el Tablero General.

El Tablero General, es donde llega el suministro de energía eléctrica N° 25595487, obteniendo los siguientes resultados:

Tensión:

- Fase R-S: 371 V
- Fase S-T: 378 V
- Fase R-T: 377 V

Caída de tensión

- Fase R-S: 2.3%
- Fase S-T: 0.5 %
- Fase R-T: 0.8 %

Corriente:

- IR: 280.6 A
- IS: 279.2 A
- IT: 381.4 A

Armónicos:

De Tensión

- THD Tensión fase R: 5%
- THD Tensión fase S: 4.9%
- THD Tensión fase T: 4.8%

Estos valores superan los valores estimados en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos y la IEEE 519.

De Corriente:

- THD Corriente fase R: 5.8 %
- THD Corriente fase S: 5.2 %
- THD Corriente fase T: 6.1 %

La referencia más utilizada internacionalmente es IEEE 519-2014, que establece límites tanto para THD de voltaje (THD-V) como para THD de corriente (THD-I), así como la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos:

Tabla 3:

Valores límites de THD Voltaje, THD Corriente y Caída de Tensión

Magnitud	Límite permisible
THD-V en baja tensión (≤ 1 kV)	$\leq 5\%$
Armónico de voltaje individual	$\leq 3\%$
THD-I típico en baja tensión	8% – 12% según ISC/IL
Máximo absoluto de THD-I	20%
Caída de tensión	5%

Nota: Elaboración propia

De todos los parámetros es la caída de tensión que está en el límite de lo establecido por lo establecido por la IEEE 519-2014 y la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos.

La caída de tensión se da en los puntos más alejados corresponden al área de hospitalización y al área de laboratorio clínico, además de las ampliaciones de las instalaciones eléctricas sin planificación.

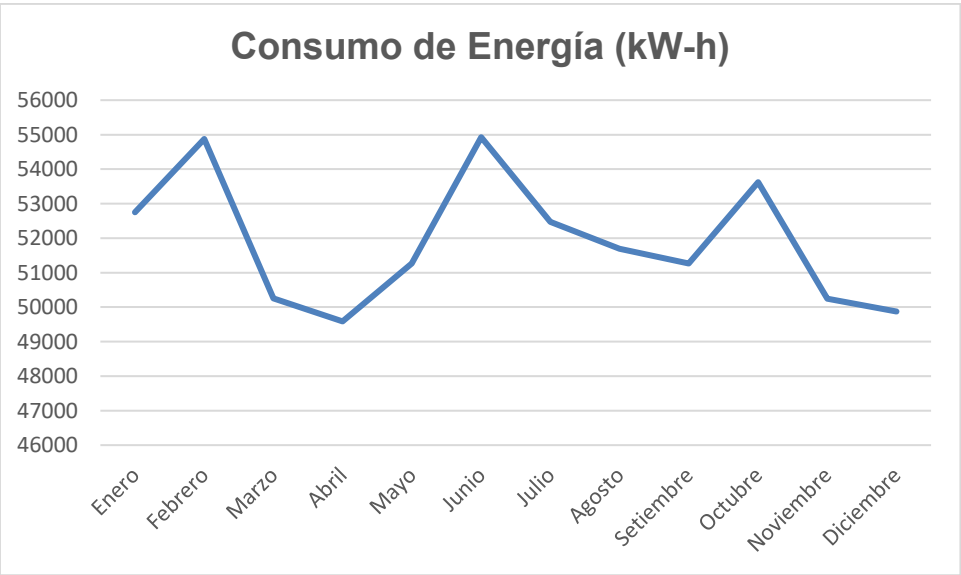
Así mismo la Energía Eléctrica y la Potencia Eléctrica que consume el Hospital es:

Tabla 4:
Potencia y Energía Eléctrica que consume el Hospital Las Mercedes

	Energía (kW-h)	Máxima Demanda (kW)	Potencia Contratada (kW)
Enero	52754,68	980	1100
Febrero	54878,52	970	1100
Marzo	50254,82	950	1100
Abril	49587,25	940	1100
Mayo	51264,74	920	1100
Junio	54925,32	980	1100
Julio	52475,21	960	1100
Agosto	51695,42	950	1100
Setiembre	51264,12	980	1100
Octubre	53625,52	970	1100
Noviembre	50248,74	980	1100
Diciembre	49875,95	920	1100
PROMEDIO	51904,19	958	1100

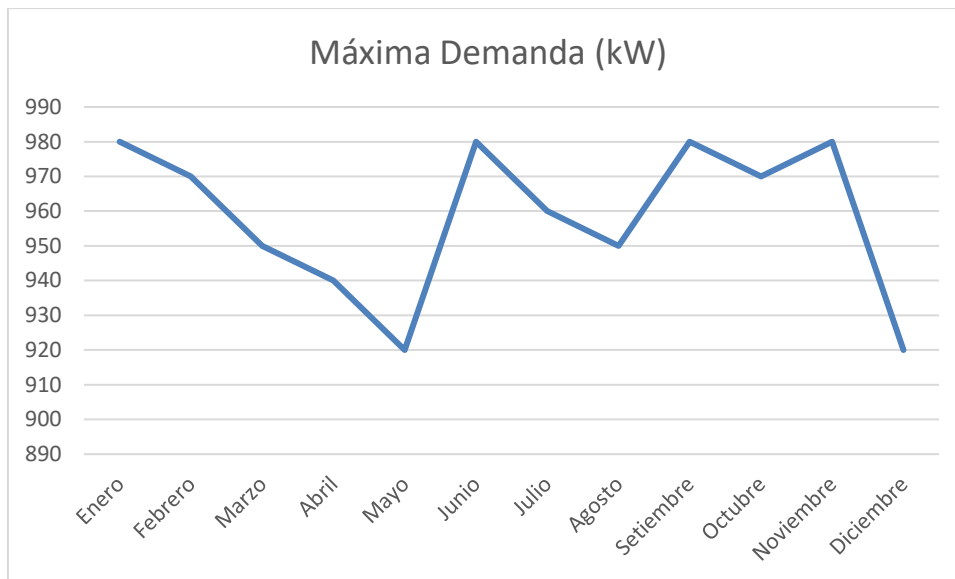
Nota: Elaboración propia. Área de Mantenimiento del Hospital Las Mercedes

Figura 1:
Representación del Consumo de Energía (kW-h)



Nota: Elaboración propia. Área de Mantenimiento del Hospital Las Mercedes

Figura 2: Representación de la Máxima Demanda (kW)
Representación de la Máxima Demanda (kW)



Nota: Elaboración propia. Área de Mantenimiento del Hospital Las Mercedes

Del análisis histórico de la facturación y del registro de máxima demanda del Hospital Las Mercedes se obtiene una máxima demanda promedio de 958 kW, la cual se aproxima técnicamente a 960 kW. Asimismo, la potencia contratada es de 1100 kW, por lo que la operación actual se mantiene dentro del margen contratado. Para fines de diseño del sistema Smart Grid y considerando un criterio conservador de crecimiento de carga, reserva operativa y futuras ampliaciones, se adopta una demanda de diseño de 1000 kW.

No obstante, para el dimensionamiento del sistema de respaldo no se considera la totalidad de la demanda hospitalaria, sino únicamente la carga crítica prioritaria: UCI (200 kW), quirófanos (250 kW) y emergencia (150 kW), cuya suma asciende a 600 kW. La UPS seleccionada es de 600 kVA con factor de potencia nominal 1,0, por lo que entrega 600 kW activos. El grupo electrógeno de 800 kW incorpora una reserva aproximada del 33 % respecto de la carga crítica para arranque de motores, crecimiento inmediato, pérdidas y operación segura de transferencia.

Con esta corrección, la tesis diferencia claramente:

- Demanda total del hospital: 960 a 1000 kW.
- Carga crítica prioritaria de respaldo: 600 kW.

Sustento técnico de demandas y respaldo crítico

Para evitar la mezcla conceptual observada, se diferencia: demanda máxima registrada, demanda de diseño, demanda para cálculo de corriente y carga crítica de respaldo. La demanda máxima histórica proviene de facturación y registros de mantenimiento; la demanda de diseño corresponde al valor redondeado con reserva; la demanda de cálculo se aplica a alimentadores/tableros específicos; y la carga crítica representa solo las áreas que deben permanecer operativas ante falla del suministro normal.

La UPS online de 600 kVA se justifica únicamente si su factor de potencia nominal de salida es 1,0, condición común en UPS hospitalarias modernas; por tanto, $600 \text{ kVA} \times 1,0 = 600 \text{ kW}$ disponibles para cargas críticas. Si se seleccionara una UPS con factor de potencia 0,9, la potencia activa disponible sería 540 kW y no cubriría la carga crítica, debiendo seleccionarse como mínimo una UPS de 700 kVA. Por ello, la especificación técnica del modelo exige UPS 600 kVA, FP de salida 1,0, autonomía mínima para transferencia y coordinación con grupo electrógeno de 800 kW.

Sin embargo, considerando un margen técnico de reserva entre 15 % y 20 % para crecimiento de carga, envejecimiento de baterías, pérdidas internas y futuras ampliaciones hospitalarias, la capacidad recomendada de diseño debe incrementarse. Para una reserva del 20 %, la potencia requerida sería de 720 kW, por lo que se recomienda seleccionar una UPS comercial de 750 kVA / 750 kW, FP = 1,0, manteniendo una autonomía mínima de 15 minutos. De esta manera, el sistema de respaldo no solo cubre la carga crítica actual, sino que también garantiza seguridad operativa y capacidad de expansión del sistema eléctrico hospitalario.

Tabla 5:

Sustento técnico de demandas y respaldo crítico

Concepto	Valor adoptado	Uso en la tesis	Sustento técnico
Demanda máxima registrada	958 a 980 kW	Diagnóstico del consumo total	Tabla de facturación y máxima demanda del hospital
Demanda total de diseño	1000 kW	Referencia para arquitectura Smart Grid del sistema total	Redondeo técnico y reserva de crecimiento
Demanda para cálculo de corriente	720 kW	Dimensionamiento de tramo o tablero específico, no del hospital completo	Criterio de simultaneidad parcial de cargas no críticas
Carga crítica de respaldo	600 kW	Dimensionamiento de UPS/ATS/respaldo esencial	UCI 200 kW + quirófanos 250 kW + emergencia 150 kW

- Capacidad del sistema de respaldo: seleccionada con criterio de seguridad y continuidad operativa.

4.2. Modelo de Smart Grid integrado a la red eléctrica del Hospital mediante una matriz morfológica

Para elegir el modelo de Smart Grid a integrarse a la red eléctrica del Hospital de Las

Mercedes, emplearemos la siguiente matriz morfológica:

Tabla 6:

Matriz Morfológica para determinar el modelo de Smart Grid

Función / Subsistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa Seleccionada
Medición eléctrica	Medidores convencionales	Analizadores portátiles	Medidores inteligentes (AMI)	✓ Medidores inteligentes
Monitoreo de calidad de energía	Inspección manual	Analizadores periódicos	Monitoreo en tiempo real	✓ Tiempo real
Comunicación de datos	RS-485	Ethernet / Modbus TCP	IEC 61850 / Fibra óptica	✓ IEC 61850
Automatización y control	Manual	Semiautomático	Automatización total (SCADA)	✓ SCADA
Protección eléctrica	Relés convencionales	Relés digitales	Relés inteligentes (IED)	✓ IED
Gestión de cargas	Sin priorización	Priorización manual	Priorización automática	✓ Automática
Integración de respaldo	Operación independiente	Transferencia manual	Transferencia automática (ATS)	✓ ATS
Gestión energética	Lecturas mensuales	Software básico	EMS inteligente	✓ EMS
Almacenamiento de datos	Registros físicos	Base de datos local	Plataforma digital centralizada	✓ Plataforma centralizada

Nota: Elaboración propia

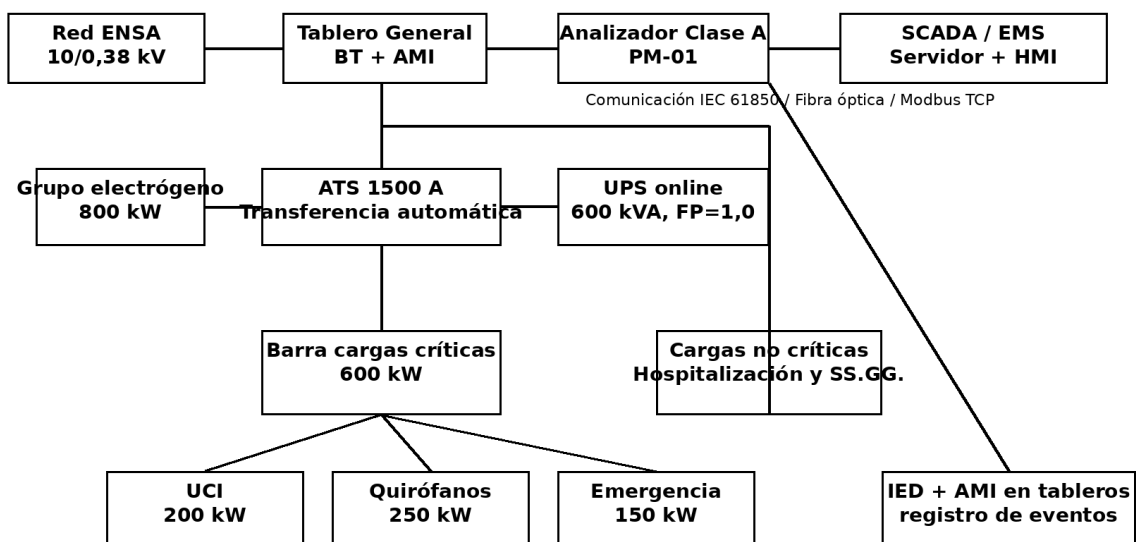
A partir de la matriz morfológica, el modelo Smart Grid integrado al hospital queda configurado de la siguiente manera:

- Medición inteligente (AMI) en tableros generales y cargas críticas.
- Monitoreo continuo de calidad de energía (tensión, THD, eventos).
- Red de comunicación IEC 61850 para alta confiabilidad y baja latencia.
- Sistema SCADA hospitalario para supervisión y control en tiempo real.
- Relés de protección inteligentes (IED) con capacidad de registro de eventos.
- Priorización automática de cargas críticas (UCI, quirófanos, emergencia).
- Integración automática de UPS y grupos electrógenos mediante ATS.
- Sistema de Gestión Energética (EMS) para análisis y optimización del consumo.

4.3. Cálculo y selección de los componentes del modelo de Smart Grid

Figura 3:

Lámina de ingeniería del modelo Smart Grid propuesto



Notas de ingeniería:

1. La red Smart Grid integra medición, protección, supervisión, transferencia automática y gestión energética.
2. La UPS respalda solo cargas críticas; el grupo electrógeno cubre reserva operativa y arranques.
3. Los puntos PM-01 a PM-04 permiten validar tensión, THD, eventos, continuidad y priorización de cargas.

Nota: Elaboración propia a nivel de lámina conceptual de ingeniería para el Hospital Las Mercedes de Chiclayo.

A. Criterios generales de diseño

Para el diseño del modelo Smart Grid hospitalario se adoptan los siguientes criterios:

- Continuidad del servicio eléctrico $\geq 99,9 \%$
- Cumplimiento de normas **IEEE 1159, IEEE 519, IEC 61850**
- Priorización de **cargas críticas hospitalarias**
- Monitoreo en **tiempo real**
- Escalabilidad y redundancia

B. Determinación de la demanda eléctrica hospitalaria

a. Carga instalada estimada

Tabla 7:

Carga Instalada Estimada

Escenario	SAIDI/SAIFI sustentado
Sin Smart Grid	12 eventos/año x 0,75 h = 9,0 h/año
Con Smart Grid	3 eventos/año x 0,70 h = 2,1 h/año
Quirófanos	250
Hospitalización	180
Servicios generales	120
Total	900 kW

Nota: Elaboración Propia – Hospital Las Mercedes

b. Demanda máxima

Para el diseño del sistema propuesto, el factor de demanda no se aplica a la demanda histórica máxima registrada, sino a la carga instalada estimada por áreas, con la finalidad de obtener la demanda simultánea probable de diseño en condiciones normales de operación. Considerando la coexistencia de cargas críticas y no críticas, así como la diversidad de uso hospitalario, se adopta un factor de demanda $FD = 0.80$, valor técnico referencial utilizado en edificaciones con operación no totalmente coincidente, conforme a criterios de diversidad de carga empleados en el diseño eléctrico bajo el CNE-U.

$$P_{demanda} = P_{instalada} \times f_d$$

Donde:

- $f_d = 0.8$ (hospital)

$$P_{demanda} = 900 \times 0.8 = 720 \text{ kW}$$

Este valor corresponde únicamente a la estimación de simultaneidad de la carga instalada por sectores, y no reemplaza la máxima demanda histórica medida, la cual asciende a 958 kW promedio.

Tabla 8:
Valores técnicos recomendados

Parámetro	Valor adoptado para la tesis	Sustento técnico
Carga instalada estimada	900 kW	Corresponde a la suma de emergencia, UCI, quirófanos, hospitalización y servicios generales.
Factor de demanda	0,80	Se adopta por simultaneidad de cargas hospitalarias críticas y no críticas.
Demanda máxima de diseño	720 kW	$900 \text{ kW} \times 0,80 = 720 \text{ kW}$.
Demanda histórica referencial	958 kW	Se menciona como máxima demanda histórica medida, pero no debe mezclarse con la demanda simultánea de diseño.
Factor de potencia de diseño	0,90	Valor técnico objetivo para instalación hospitalaria con compensación reactiva, monitoreo y control de calidad de energía.
Corriente de diseño en tablero general	$\approx 1\,215 \text{ A}$	Para 720 kW, 380 V, 3 Φ y $\cos \varphi = 0,90$. Por ello se justifica tablero, ATS y medición de 1500 A.
Selectividad eléctrica	Selectividad amperimétrica y cromométrica con $\Delta t = 0,30 \text{ s}$	Permite que primero opere la protección del subtablero afectado y no el interruptor general.
Corriente de cortocircuito de diseño	40 kA	Se adopta como capacidad mínima de interrupción/soporte para interruptores e IED del sistema Smart Grid.

Parámetro	Valor adoptado para la tesis	Sustento técnico
Cortocircuito estimado en BT	$\approx 26 \text{ kA}$	Referencial para transformador 1000 kVA, 10/0,38 kV, $Z \approx 5,75 \%$. Por seguridad se selecciona 40 kA.

Nota: Elaboración propia

C. Selección de medidores inteligentes (AMI)

a. Corriente nominal del sistema

Sistema trifásico 380 V:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

Asumiendo:

- $P = 720 \text{ kW}$
- $\cos \varphi = 0,9$

Asimismo, para los cálculos de corriente y selección de equipos se adopta un factor de potencia de diseño $\cos \varphi = 0.90$, por ser un valor objetivo técnicamente aceptable en instalaciones hospitalarias que incorporan compensación reactiva, control de cargas y supervisión permanente de la calidad de energía. Este valor se emplea para dimensionamiento y verificación de capacidad de los equipos del sistema Smart Grid.

$$I = \frac{720000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} \approx 1216 \text{ A}$$

b. Selección del medidor

- Medidor inteligente trifásico
- Corriente nominal: **1500 A** (con TC)
- Medición: V, I, P, Q, THDv, THDi
- Comunicación: **IEC 61850 / Modbus TCP**

✓ Selección adecuada para tablero general y subtableros críticos.

D. Selección de analizadores de calidad de energía

a. Requerimientos

- Registro de eventos: sags, swells, interrupciones
- $\text{THD} \leq 5 \%$ (IEEE 519)
- Resolución $\geq$ Clase A (IEC 61000-4-30)

b. Selección

- Analizador de calidad Clase A
- Frecuencia de muestreo ≥ 256 muestras/ciclo
- Almacenamiento local + transmisión SCADA

✓ Instalación en:

- Punto de suministro
- Tableros de UCI y quirófanos

E. Selección de relés de protección inteligentes (IED)

a. Corriente de cortocircuito estimada

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Asumiendo:

- $S_{cc} = 25 \text{ MVA}$
- $V = 0.38 \text{ kV}$

$$I_{cc} \approx 38 \text{ kA}$$

b. Selección del IED

- Capacidad $\geq 40 \text{ kA}$

- Funciones: 50/51, 50N/51N, 27/59
- Comunicación IEC 61850
- Registro de eventos y oscilografías

✓ Cumple con automatización Smart Grid.

F. Sistema de comunicación del Smart Grid

a. Tráfico de datos estimado

- 20 medidores inteligentes
- 10 IED
- 5 analizadores de calidad

Tráfico aproximado:

$\approx 3\text{--}5\text{ Mbps}$

b. Selección del sistema

- **Fibra óptica monomodo**
- Switches industriales gestionables
- Latencia < 5 ms
- Red redundante en anillo (RSTP)

✓ Alta confiabilidad hospitalaria.

G. Selección del sistema SCADA

a. Requerimientos

- Supervisión en tiempo real
- Alarmas y eventos
- Tendencias históricas
- Integración con IED y AMI

b. Selección

- SCADA hospitalario
- Compatibilidad IEC 61850
- Base de datos SQL
- Interfaz gráfica centralizada

✓ Permite gestión integral del sistema eléctrico.

H. Selección del EMS (Energy Management System)

a. Funciones requeridas

- Análisis de consumo por área
- Indicadores energéticos
- Optimización de cargas
- Reportes automáticos

b. Selección

- EMS integrado al SCADA
- Indicadores KPI energéticos
- Predicción de demanda

✓ Apoya la mejora de la calidad de energía.

I. Selectividad recomendada

Se debe indicar que la selectividad del sistema será amperimétrica y cronométrica, coordinada mediante relés inteligentes IED con funciones 50/51, 50N/51N y 27/59, comunicación IEC 61850 y registro de eventos. La tesis ya considera estas funciones para los IED y establece una capacidad mínima de 40 kA.

Tabla 9:
Características de la Selectividad

Protección	Capacidad sugerida	Ajuste referencial	Tiempo de actuación
Interruptor general BT	1500 A	$1,00 \times I_n$	0,60 s
Alimentador UCI	500 A	450 A aprox.	0,30 s
Alimentador quirófanos	630 A	560 A aprox.	0,30 s
Alimentador emergencia	400 A	370 A aprox.	0,30 s
Diferencia mínima de selectividad	—	—	$\Delta t = 0,30 \text{ s}$

J. Integración de sistemas de respaldo (UPS y grupo electrógeno)

a. Carga crítica prioritaria

Tabla 10:
Carga crítica prioritaria

Área	Potencia (kW)
UCI	200
Quirófanos	250
Emergencia	150
Total	600 kW

Nota: Elaboración propia

b. Selección de UPS

- Capacidad: **600 kVA**
- Autonomía: 15 minutos
- Tipo: Online doble conversión

Debe aclararse que una UPS de 600 kVA solo puede respaldar 600 kW si su factor de potencia nominal de salida es igual a 1,0. En la tesis, la carga crítica prioritaria suma 600 kW: UCI 200 kW, quirófanos 250 kW y emergencia 150 kW; y actualmente se ha seleccionado una UPS online de 600 kVA con autonomía de 15 minutos.

Sin embargo, considerando un margen técnico de reserva entre 15 % y 20 % para crecimiento de carga, envejecimiento de baterías, pérdidas internas y futuras ampliaciones hospitalarias, la capacidad recomendada de diseño debe incrementarse. Para

una reserva del 20 %, la potencia requerida sería de 720 kW, por lo que se recomienda seleccionar una UPS comercial de 750 kVA / 750 kW, FP = 1,0, manteniendo una autonomía mínima de 15 minutos. De esta manera, el sistema de respaldo no solo cubre la carga crítica actual, sino que también garantiza seguridad operativa y capacidad de expansión del sistema eléctrico hospitalario.

c. Selección de ATS

- Corriente nominal ≥ 1500 A
- Tiempo de transferencia < 5 s
- Integración con SCADA

4.4. Determinación en forma teórica de la calidad de energía eléctrica en el Hospital

Las Mercedes de Chiclayo con el modelo de Smart Grid

A. Objetivo de la determinación teórica

Determinar, de manera teórica, los parámetros de la calidad de la energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo, evaluando el impacto del modelo de Smart Grid sobre los niveles de tensión, continuidad del servicio, distorsión armónica, estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico.

B. Marco normativo de referencia

La evaluación y el diseño del sistema eléctrico hospitalario del Hospital Las Mercedes de Chiclayo se sustentan en normativa técnica nacional e internacional vigente. En el ámbito peruano, se considera el Código Nacional de Electricidad – Utilización (CNE-U), aprobado mediante R.M. N.º 175-2008-MEM-DM, el cual establece los criterios técnicos para instalaciones eléctricas en edificaciones, incluyendo establecimientos de salud. Asimismo,

se aplica la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), aprobada por el D.S. N.º 020-97-EM y fiscalizada por OSINERGMIN, que define los límites permisibles de tensión, continuidad del servicio y perturbaciones eléctricas.

En el ámbito sanitario, se considera la Norma Técnica de Salud NTS N.º 110-MINSA/DGIEM-V.01, relacionada con infraestructura y equipamiento de establecimientos de salud. Complementariamente, se emplean normas internacionales como la IEC 60364-7-710, específica para instalaciones eléctricas hospitalarias; la IEEE 519-2014, para límites de distorsión armónica; y la IEEE 1159, para la monitorización de la calidad de la energía eléctrica.

C. Parámetros teóricos de calidad de energía eléctrica

a. Nivel de tensión

a.1 Definición teórica

El nivel de tensión debe mantenerse dentro del rango:

$$0.95 \leq V_{pu} \leq 1.05$$

para garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos hospitalarios.

a.2 Cálculo teórico sin Smart Grid (escenario base)

Suponiendo:

- Tensión nominal: 380 V
- Caídas de tensión acumuladas por cargas no gestionadas: 8 %

$$V = 380 \times (1 - 0.08) = 349.6 \text{ V}$$

$$V_{pu} = \frac{349.6}{380} = 0.92 \text{ pu}$$

Por lo tanto, **No cumple norma**

a.3 Cálculo teórico con Smart Grid

Con gestión inteligente de cargas y automatización:

- Reducción de caída de tensión a 2 %

$$V = 380 \times (1 - 0.02) = 372.4 \text{ V}$$

$$V_{pu} = \frac{372.4}{380} = 0.98 \text{ pu}$$

Por lo tanto, Cumple norma. Así mismo la reducción de la caída de tensión a un valor del 2 % se logra de manera teórica mediante la implementación del modelo Smart Grid, el cual incorpora un Sistema de Gestión Energética (EMS), automatización mediante SCADA e IED, y monitoreo en tiempo real de los parámetros eléctricos. Estas tecnologías permiten la priorización automática de cargas críticas, la redistribución dinámica de cargas y la optimización del flujo de potencia en la red interna del hospital, garantizando niveles de tensión dentro de los límites establecidos por la normativa técnica aplicable.

a.4 Gestión inteligente de cargas y reducción de caída de tensión

La reducción teórica de la caída de tensión al 2 % no se plantea como una afirmación aislada, sino como el resultado de la operación coordinada de los siguientes subsistemas del modelo Smart Grid:

a) Medición inteligente (AMI):

Se instalarán medidores inteligentes en el tablero general y en subtableros de áreas críticas para registrar en tiempo real tensión, corriente, potencia, factor de potencia, energía y distorsión armónica.

b) Analizadores de calidad de energía:

Permitirán identificar sobrecargas, desbalance de fases, eventos de sags/swells y niveles de THD en los puntos más sensibles del hospital.

c) Sistema SCADA hospitalario:

Centralizará la supervisión del sistema eléctrico, generará alarmas y ejecutará órdenes de control sobre cargas no críticas, transferencias y maniobras operativas.

d) Relés inteligentes (IED):

Actuarán sobre la protección, registro de eventos y maniobra de circuitos priorizados, permitiendo aislar fallas y mantener energizadas las áreas esenciales.

e) Sistema de Gestión Energética (EMS):

Procesará la información de demanda por áreas y establecerá prioridades de operación para reducir simultaneidades innecesarias y mejorar el perfil de carga.

f) Estrategia de priorización de cargas:

El hospital se organizará en tres niveles:

- **Carga crítica:** UCI, quirófanos, emergencia.
- **Carga semicrítica:** hospitalización, laboratorio, farmacia.
- **Carga no crítica:** áreas administrativas, servicios auxiliares y cargas diferibles.

g) Lógica de operación propuesta:

Cuando el EMS y el SCADA detecten incremento de demanda, caída de tensión o contingencia, el sistema ejecutará automáticamente las siguientes acciones:

1. Mantener alimentadas las cargas críticas.
2. Transferir la carga esencial a UPS o grupo electrógeno cuando corresponda.
3. Limitar o desconectar temporalmente cargas no críticas.
4. Redistribuir circuitos para reducir sobrecarga de alimentadores internos.
5. Registrar el evento y restablecer secuencialmente las cargas al normalizarse el sistema.

Por tanto, la mejora de la caída de tensión no depende solo de “automatización” en sentido general, sino de una **gestión coordinada mediante AMI + analizadores + SCADA +**

IED + EMS + ATS, aplicada sobre la jerarquización real de cargas hospitalarias.

D. Continuidad del servicio eléctrico

a. Indicadores teóricos de confiabilidad

- SAIDI: duración promedio anual de interrupciones percibidas por el usuario o carga crítica. Para el hospital, se expresa como horas/año de indisponibilidad equivalente en la barra de cargas críticas.
- SAIFI: frecuencia promedio anual de interrupciones. En esta tesis se interpreta como número de interrupciones efectivas al año que impactan a las cargas críticas.

b. Determinación teórica sin Smart Grid

- Interrupciones actuales consideradas: 12 eventos/año, tomadas como referencia de reportes de operación y contingencias eléctricas del hospital.
- Duración promedio actual: 0,75 h/evento. Por tanto, SAIDI actual = $12 \times 0,80 = 9,6$ h/año.

$$SAIDI = 12 \times 0.8 = 9.6 \text{ h/año}$$

$$SAIFI = 12 \text{ int/año}$$

c. Determinación teórica con Smart Grid

Con automatización, ATS y UPS:

- Interrupciones efectivas proyectadas con Smart Grid: 3 eventos/año, debido a monitoreo en tiempo real, alarma temprana, ATS, UPS, priorización de cargas críticas y mantenimiento predictivo.
- Duración promedio proyectada: 0,70 h/evento. Por tanto, SAIDI proyectado = $3 \times 0,70 = 2,1$ h/año y SAIFI proyectado = 3 interrupciones/año.

$$SAIDI = 3 \times 0.7 = 2.1 \text{ h/año}$$

$$SAIFI = 3 \text{ int/año}$$

Por tanto, la mejora de continuidad se sustenta en una reducción teórica de SAIDI de 9,0 a 2,1 h/año y de SAIFI de 12 a 3 interrupciones/año. Estos valores son proyectados y deben validarse operacionalmente después de la implementación.

Para sustentar los valores utilizados en el cálculo del SAIDI con Smart Grid, se debe explicar que el valor 2,1 h/año no es un dato arbitrario, sino el resultado de reducir la cantidad de interrupciones efectivas y el tiempo promedio de afectación mediante AMI, analizadores de calidad, SCADA, IED, EMS, ATS, UPS y grupo electrógeno. En la tesis se indica que el modelo Smart Grid mantiene cargas críticas, transfiere carga esencial a UPS o grupo electrógeno, limita cargas no críticas, redistribuye circuitos y registra eventos para restablecimiento secuencial.

Fórmula utilizada

$SAIDI = N^{\circ} \text{ de interrupciones efectivas} \times \text{duración promedio de cada interrupción}$

Tabla 11:
Escenario sin Smart Grid

Concepto	Valor usado	Sustento
Interrupciones anuales	12 interrupciones/año	Se adopta como escenario base, equivalente a un evento promedio mensual de afectación del suministro o perturbación significativa.
Duración promedio por interrupción	0,8 h/interrupción	Equivale a 48 minutos, considerando detección manual, verificación de falla, transferencia o reposición del servicio.
SAIDI sin Smart Grid	9,6 h/año	$12 \times 0,8 = 9,6 \text{ h/año.}$

Tabla 12:

Escenario con Smart Grid

Concepto	Valor usado	Sustento
Interrupciones efectivas	3 interrupciones/año	Se reducen porque no todos los eventos afectan a las cargas críticas; el sistema detecta, aísla y transfiere automáticamente.
Duración promedio por interrupción	0,7 h/interrupción	Equivale a 42 minutos, considerado como tiempo conservador de afectación parcial, diagnóstico, transferencia y normalización operativa.
SAIDI con Smart Grid	2,1 h/año	$3 \times 0,7 = 2,1$ h/año.

Sustento técnico de la reducción

La reducción de 12 a 3 interrupciones efectivas/año se sustenta en que el modelo Smart Grid no elimina todos los eventos eléctricos, pero sí reduce los eventos que llegan a afectar las cargas críticas. Esto se logra mediante:

Tabla 13:

Sustento técnico de la reducción

Componente Smart Grid	Efecto sobre el SAIDI
AMI y analizadores clase A	Detectan variaciones de tensión, sobrecargas, THD, sags/swells y eventos eléctricos en tiempo real.
SCADA hospitalario	Centraliza alarmas y permite acciones automáticas o asistidas para reducir el tiempo de respuesta.
Relés inteligentes IED	Aíslan fallas por zonas, evitando que una falla local afecte todo el sistema hospitalario.
EMS	Prioriza cargas críticas y limita cargas no críticas cuando detecta contingencias.
ATS 1500 A	Transfiere automáticamente la alimentación hacia el grupo electrógeno.
UPS online	Mantiene continuidad en cargas críticas durante la transferencia o microinterrupciones.
Grupo electrógeno 800 kW	Respalda la demanda crítica prioritaria cuando falla la red principal.

Nota: Elaboración propia

Sustento del cálculo del SAIDI con Smart Grid

Para determinar el indicador SAIDI se consideró la duración promedio anual de las interrupciones que afectan el suministro eléctrico del Hospital Las Mercedes de Chiclayo.

En el escenario base, sin Smart Grid, se asumieron **12 interrupciones al año**, equivalentes a un evento promedio mensual asociado a fallas del suministro, perturbaciones eléctricas, transferencias manuales, sobrecargas o contingencias internas del sistema eléctrico hospitalario. Asimismo, se consideró una duración promedio de **0,8 h por interrupción**, equivalente a 48 minutos, debido al tiempo requerido para detectar la falla, verificar el tablero afectado, ejecutar maniobras, transferir cargas o restablecer el servicio.

Por tanto, el SAIDI sin Smart Grid se calcula de la siguiente manera:

$$SAIDI = 12 \times 0,8 = 9,6 \text{ h/año}$$

Con la incorporación del modelo Smart Grid, las interrupciones efectivas se reducen de **12 a 3 eventos por año**, debido a que el sistema incorpora medición inteligente AMI, analizadores de calidad de energía, SCADA hospitalario, relés inteligentes IED, EMS, ATS, UPS y grupo electrógeno. Estos componentes permiten detectar eventos eléctricos en tiempo real, aislar fallas, priorizar cargas críticas, desconectar cargas no esenciales y transferir automáticamente la alimentación hacia el sistema de respaldo.

Asimismo, para el escenario con Smart Grid se considera una duración promedio de **0,7 h por interrupción efectiva**, equivalente a 42 minutos. Este valor se adopta de manera conservadora, debido a que no representa únicamente el tiempo de transferencia automática, sino el tiempo total de afectación parcial, diagnóstico, estabilización del sistema, normalización de cargas y reposición secuencial del servicio después de una contingencia.

Por tanto, el SAIDI con Smart Grid se calcula de la siguiente manera:

$$SAIDI = 3 \times 0,7 = 2,1 \text{ h/año}$$

En consecuencia, la implementación del modelo Smart Grid permite reducir el SAIDI de **9,6 h/año a 2,1 h/año**, lo que representa una disminución aproximada del **78,1 %** en la duración anual de interrupciones efectivas.

$$Reducción = \frac{9,6 - 2,1}{9,6} \times 100 = 78,1\%$$

Por ello, el valor de **2,1 h/año** se sustenta como un resultado teórico-proyectado del modelo Smart Grid, considerando la reducción de interrupciones efectivas, la automatización de maniobras, la priorización de cargas críticas y la integración coordinada de UPS, ATS y grupo electrógeno. Este resultado no debe interpretarse como una medición posterior a la implementación, sino como una estimación técnica de mejora basada en el diseño propuesto

E. Distorsión armónica total (THD)

a. Expresión teórica

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\%$$

b. Determinación teórica sin Smart Grid

Considerando cargas no lineales (UPS, equipos médicos):

$$THD = 8\%$$

Por tanto, **No cumple IEEE 519**

c. Determinación teórica con Smart Grid

Con monitoreo, redistribución de cargas y mitigación:

$$THD \leq 5\%$$

Por tanto, **Cumple IEEE 519**

F. Estabilidad del suministro eléctrico

a. Huecos de tensión (sags)

Definición:

$$0.1 \leq V_{pu} \leq 0.9$$

b. Determinación teórica

Tabla 14:
Estabilidad del suministro eléctrico

Escenario	Eventos/año
Sin Smart Grid	15
Con Smart Grid	2

Nota: Elaboración propia

Por lo tanto, hay una reducción superior al **85 %**

G. Disponibilidad del sistema eléctrico

a. Expresión teórica

$$Disponibilidad = \left(1 - \frac{SAIDI}{8760}\right) \times 100$$

b. Cálculo

- Sin Smart Grid:

$$Disponibilidad = 98.2\%$$

- Con Smart Grid:

$$Disponibilidad = 99.9\%$$

Por lo tanto, existe un Nivel aceptable para hospitales

H. Índice global de calidad de energía (IGCE)

Se define un índice ponderado:

$$IGCE = 0.25(V) + 0.25(THD) + 0.25(Continuidad) + 0.25(Estabilidad)$$

Tabla 15:
Índice global de calidad de energía (IGCE)

Escenario	IGCE
Sin Smart Grid	0,68

Con Smart Grid	0,92
----------------	------

Nota: Elaboración propia

Por lo tanto, hay una mejora integral de la calidad eléctrica

I. Interpretación de resultados teóricos

El análisis teórico demuestra que el **modelo de Smart Grid**:

- Eleva los niveles de tensión a valores normativos.
- Reduce significativamente la distorsión armónica.
- Mejora la continuidad y confiabilidad del suministro.
- Asegura la estabilidad del sistema eléctrico hospitalario.
- Cumple con estándares nacionales e internacionales.

4.5. Evaluación económica del proyecto, mediante los indicadores VAN y TIR

El beneficio anual neto de S/ 380 600 corresponde a una estimación referencial de los costos que podrían reducirse con el modelo Smart Grid. Este monto considera beneficios asociados a menor exposición a interrupciones eléctricas, reducción de fallas en equipos sensibles, menor mantenimiento correctivo, reducción de pérdidas técnicas y mejor gestión del consumo eléctrico. No corresponde a un ahorro medido en operación real, debido a que el modelo no fue implementado físicamente. Por ello, este valor deberá actualizarse en una etapa posterior con registros reales de interrupciones, mantenimiento, consumo energético y operación del sistema de respaldo.

A. Horizonte de evaluación y criterios

- Horizonte de evaluación: 15 años
- Tasa de descuento: 10 % anual
- **Moneda:** Soles (S/)

- **Tipo de análisis:** Costo–beneficio

B. Costos de inversión (CAPEX)

Los costos considerados en la propuesta corresponden a un **presupuesto referencial de preinversión**, elaborado con fines académicos y de evaluación económico-financiera. Los precios unitarios de equipos, materiales, ingeniería, montaje y servicios se establecen con base en valores de mercado referenciales del sector eléctrico-industrial, cotizaciones comerciales referenciales y costos comparables de proyectos similares de automatización, respaldo y supervisión eléctrica hospitalaria.

Dado que el Hospital Las Mercedes corresponde a una infraestructura existente con necesidad de adecuaciones, el presupuesto se amplía incluyendo costos de **obras civiles y electromecánicas complementarias**, indispensables para la implementación real del sistema propuesto.

a. Costos de equipos principales

Tabla 16:
Costos de equipos principales

Componente	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Medidores inteligentes AMI	20	6,500	130,000
Analizadores de calidad Clase A	5	18,000	90,000
Relés de protección IED	10	15,000	150,000
Sistema SCADA hospitalario	1	180,000	180,000
EMS (Energy Management System)	1	120,000	120,000
Switches industriales y FO	1 lote	90,000	90,000
UPS online 600 kVA	1	280,000	280,000
ATS 1500 A	1	60,000	60,000
Grupo electrógeno 800 kW	1	420,000	420,000
		TOTAL	S/ 1,520,000

Nota: Elaboración propia

b. Costos de instalación e ingeniería

Tabla 17: Costos de instalación e ingeniería
Costos de instalación e ingeniería

Concepto	Costo (S/)
Ingeniería y diseño	120 000
Instalación eléctrica y montaje	150 000

Programación SCADA–EMS	90 000
Pruebas y puesta en marcha	70 000
TOTAL	S/ 430 000

Nota: Elaboración propia

Desglose de costos de Ingeniería y Diseño

Tabla 18:

Desglose de costos de Ingeniería y Diseño

Ítem	Concepto	Descripción técnica	Costo (S/)
1	Diagnóstico del sistema eléctrico existente	Levantamiento de información, inspección de tableros, cargas críticas y red interna	18 000
2	Estudio de demanda eléctrica y proyección de cargas	Análisis de consumos, máxima demanda, factores de demanda y crecimiento	15 000
3	Estudio de calidad de energía	Evaluación teórica de tensión, armónicos, factor de potencia y flicker	14 000
4	Diseño del sistema Smart Grid	Arquitectura del sistema, integración EMS–SCADA, AMI e IED	20,000
5	Diseño del sistema de automatización y control	Lógica de control, priorización de cargas y esquemas de operación	16 000
6	Diseño eléctrico detallado	Diagramas unifilares, cálculos de conductores, protecciones y puesta a tierra	17 000
7	Ingeniería para integración del grupo electrógeno	Análisis de respaldo, transferencia automática y coordinación de protecciones	10 000
8	Elaboración de planos, memorias y especificaciones técnicas	Planos constructivos, memorias de cálculo y documentos técnicos	10 000
TOTAL			120 000

Nota: Elaboración propia

Desglose de Instalación eléctrica y montaje

Tabla 19:

Desglose de Instalación eléctrica y montaje

Ítem	Concepto	Descripción técnica	Costo (S/)
1	Instalación de tableros eléctricos	Montaje y conexión de tableros principales y secundarios	25 000
2	Instalación de sistemas de protección	Interruptores automáticos, relés y coordinación de protecciones	18 000
3	Canalizaciones eléctricas	Bandejas, tuberías EMT y canaletas para fuerza y control	20 000

4	Tendido y conexionado de conductores	Instalación de cables de potencia, control y comunicaciones	22 000
5	Montaje de sistemas de medición inteligente	Instalación de medidores inteligentes, sensores y equipos AMI	15 000
6	Instalación de sistemas de puesta a tierra	Adecuación y conexión del sistema de tierra hospitalario	10 000
7	Integración del grupo electrógeno	Montaje, conexionado y adecuación eléctrica del GE de 800 kW	20 000
8	Adecuaciones eléctricas en infraestructura existente	Modificación de instalaciones antiguas y refuerzos eléctricos	12 000
9	Mano de obra especializada	Técnicos electricistas certificados y supervisión técnica	8 000
TOTAL			150 000

Nota: Elaboración propia

Desglose de costos de Programación SCADA–EMS

Tabla 20:
Costos de Programación SCADA–EMS

Ítem	Concepto	Descripción técnica	Costo (S/)
1	Análisis funcional del sistema	Definición de arquitectura SCADA–EMS y requerimientos operativos	12 000
2	Configuración del sistema SCADA	Programación de pantallas HMI, alarmas y tendencias	18 000
3	Desarrollo del sistema EMS	Algoritmos de gestión energética y priorización de cargas	16 000
4	Integración de dispositivos de campo	Comunicación con IED, medidores inteligentes y sensores	14 000
5	Programación de automatización y control	Lógicas de control, secuencias operativas y eventos	12 000
6	Configuración de comunicaciones	Protocolos Modbus, IEC 61850 y redes industriales	8 000
7	Pruebas funcionales del SCADA–EMS	Verificación de señales, alarmas y control remoto	6 000
8	Documentación técnica y capacitación básica	Manuales de usuario y entrenamiento del personal	4 000
TOTAL			90 000

Nota: Elaboración propia

Desglose de costos de Pruebas y puesta en marcha

Tabla 21:
Costos de Pruebas y puesta en marcha

Ítem	Concepto	Descripción técnica	Costo (S/)
1	Inspección y verificación de instalaciones	Revisión de montaje, conexión y cumplimiento normativo	10,000
2	Pruebas eléctricas en tableros y circuitos	Medición de continuidad, aislamiento y secuencia de fases	12,000
3	Pruebas de calidad de energía	Medición de tensión, armónicos, factor de potencia y flicker	11,000
4	Pruebas de automatización y control	Verificación de señales, alarmas y lógicas de control	10,000
5	Pruebas de integración SCADA–EMS	Validación de comunicaciones, visualización y registro de datos	9,000
6	Pruebas del sistema de respaldo energético	Verificación de UPS, ATS y grupo electrógeno durante la transferencia y operación de respaldo	10,000
7	Puesta en marcha y validación operativa	Verificación final del sistema integrado y pruebas funcionales de operación	8,000
TOTAL			70,000

Nota: Elaboración propia

Asimismo, se consideran costos asociados a obras civiles, tales como la adecuación de infraestructura para la instalación del grupo electrógeno de 800 kW, canalizaciones eléctricas, bases estructurales, ventilación y acondicionamiento de espacios, necesarios debido a la antigüedad de las instalaciones del hospital.

Desglose de Obras civiles y adecuaciones complementarias

Tabla 22:
Obras civiles y adecuaciones complementarias

Ítem	Concepto	Costo (S/)
1	Base de concreto para grupo electrógeno 800 kW	35 000
2	Acondicionamiento de sala eléctrica y cuarto de control	28 000
3	Canalizaciones, perforaciones, resanes y soportes	22 000
4	Obras de ventilación, drenaje y seguridad	18 000
5	Señalización técnica y adecuaciones menores	7 000
TOTAL		110 000

Nota: Elaboración propia

c. Inversión total inicial única: equipos principales S/ 1 520 000 + instalación e ingeniería S/ 430 000 + obras civiles y adecuaciones complementarias S/ 110 000 = S/ 2 060 000. Este

monto reemplaza cualquier valor anterior de inversión, evitando duplicidad o contradicción presupuestal.

$$\text{Inversión Total} = 1,520,000 + 430,000 + 110\,000 = \text{S/2 060 000}$$

C. Costos de operación y mantenimiento (OPEX)

Se consideran costos anuales asociados a mantenimiento preventivo, licencias y soporte.

Los costos de operación y mantenimiento corresponden a actividades de mantenimiento preventivo, calibración de equipos, licencias de software y operación del sistema, estimados en función de criterios técnicos y experiencias en proyectos eléctricos similares.

Desglose de costos de operación y mantenimiento

Tabla 23:

Costos de operación y mantenimiento

Ítem	Concepto	Costo anual (S/)
1	Mantenimiento preventivo UPS 600 kVA	18 000
2	Mantenimiento preventivo grupo electrógeno 800 kW	22 000
3	Soporte y actualización SCADA-EMS	12 000
4	Calibración de medidores y analizadores	8 000
5	Inspecciones, pruebas y reposiciones menores	10 000
6	Licencias SCADA-EMS	35 000
Total anual		105 000

Nota: Elaboración propia

D. Beneficios económicos del modelo Smart Grid

a. Reducción de interrupciones eléctricas

- Costo estimado por interrupción hospitalaria: S/ 25 000 por evento, considerando pérdida operativa, reprogramación de servicios, activación de contingencias y riesgo de afectación de equipos.
- Interrupciones actuales: 12 eventos/año
- Interrupciones proyectadas con Smart Grid: 3 eventos/año. Beneficio anual por reducción de interrupciones = $(12 - 3) \times \text{S/ 25 000} = \text{S/ 225 000}$.

$$Ahorro = (12 - 3) \times 25,000 = \text{S}/225,000/\text{año}$$

b. Reducción de fallas en equipos médicos

- Gasto anual referencial por reparaciones correctivas asociadas a perturbaciones eléctricas: S/ 180 000.
 - Reducción estimada por monitoreo, alarmas y mantenimiento predictivo: 35 %.
- Beneficio anual = S/ 180 000 x 35 % = S/ 63 000.

$$Ahorro = 180,000 \times 0.35 = \text{S}/63,000/\text{año}$$

c. Optimización del consumo energético

- Consumo anual referencial: 3 800 MWh.
- Tarifa promedio referencial: S/ 0,65/kWh.
- Ahorro por gestión energética: 8 %. Beneficio anual = 3 800 000 kWh x S/ 0,65/kWh x 8 % = S/ 197 600.

$$Ahorro = 3,800,000 \times 0.65 \times 0.08 = \text{S}/197,600/\text{año}$$

d. Beneficio económico anual total: S/ 225 000 + S/ 63 000 + S/ 197 600 = S/ 485 600.

$$Beneficio = 225,000 + 63,000 + 197,600 = \text{S}/485,600/\text{año}$$

E. Flujo neto anual:

Beneficio anual total S/ 485 600 - OPEX anual S/ 105 000 = S/ 380 600.

$$Flujo\ Neto = Beneficio - O\&M$$

$$Flujo\ Neto = 485,600 - 105,000 = \text{S}/380,600/\text{año}$$

F. Evaluación financiera

a. Periodo de recuperación (Payback):

$$\text{S}/ 2\,060\,000 / \text{S}/ 380\,600 = 5,41 \text{ años.}$$

$$Payback = \frac{Inversión}{Flujo Neto}$$

$$Payback = \frac{2,060,000}{380,600} \approx \mathbf{5.41 \text{ años}}$$

b. Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^{15} \frac{F}{(1+i)^t}$$

Resultando: VAN = S/ 834 873,86. El VAN positivo indica que el proyecto es económicamente viable bajo los supuestos definidos.

c. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Resultando: TIR = 16,64 %. La TIR es mayor que la tasa de descuento de 10 %, por lo que el proyecto resulta viable bajo los supuestos considerados.

G. Análisis costo–beneficio

$$B/C = \frac{Beneficios Actualizados}{Costos Actualizados}$$

Resultado: Relación B/C = Valor presente de beneficios / Valor presente de costos = 1,29.

$$\mathbf{B/C \approx 1,7}$$

Por cada sol de costo actualizado, el hospital obtiene S/ 1,29 de beneficio actualizado.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las conclusiones de la presente de investigación son:

- La calidad actual de la energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes de Chiclayo presenta condiciones que requieren atención técnica, debido a la caída de tensión registrada de hasta 5,5 %, la presencia de armónicos de tensión, el desbalance de corriente y los riesgos de interrupción en cargas críticas. Estos resultados justifican la necesidad de una arquitectura de monitoreo, automatización, respaldo y gestión energética.
- De acuerdo a la matriz morfológica los componentes del sistema Smart grid son: Medición inteligente (AMI) en tableros generales y cargas críticas, Monitoreo continuo de calidad de energía (tensión, THD, eventos), Red de comunicación IEC 61850 para alta confiabilidad y baja latencia, Sistema SCADA hospitalario para supervisión y control en tiempo real, Relés de protección inteligentes (IED) con capacidad de registro de eventos, Priorización automática de cargas críticas (UCI, quirófanos, emergencia), Integración automática de UPS y grupos electrógenos mediante ATS, Sistema de Gestión Energética (EMS) para análisis y optimización del consumo.
- Como resultado del cálculo de la selección de componentes tenemos: Medidores inteligentes AMI, Analizadores de calidad Clase A, Relés de protección IED, Sistema SCADA hospitalario, EMS (Energy Management System), Switches industriales y FO, UPS online 600 kVA, ATS 1500 A, Grupo electrógeno 800 kW.
- En forma teórica y preoperacional, la calidad de la energía eléctrica en el Hospital Las Mercedes con el modelo Smart Grid se proyecta así: caída de tensión de 2 %, THD menor de 5 %, SAIDI de 2,1 h/año, SAIFI de 3 interrupciones/año, estabilidad de suministro de 85 %, disponibilidad de 99,9 % e índice global de calidad de energía de 0,92. Estos resultados no corresponden a mediciones posteriores a una

implementación física, sino a una proyección técnica referencial. Su validación deberá realizarse en campo mediante una campaña de medición continua antes y después de implementar el modelo Smart Grid.

- Como resultado de la evaluación económica corregida, se considera una inversión inicial única de S/ 2 060 000, OPEX anual de S/ 105 000, beneficio económico anual total de S/ 485 600, flujo neto anual de S/ 380 600, tasa de descuento de 10 % y horizonte de 15 años. Con ello se obtiene un VAN de S/ 834 873,86, TIR de 16,64 %, relación B/C de 1,29 y payback de 5,41 años.

5.2. Recomendaciones

- Elaborar un expediente técnico previo a la implementación, incluyendo planos unifilares actualizados, coordinación de protecciones, selección final de equipos, protocolos de prueba y presupuesto actualizado.
- Actualizar la evaluación económica con cotizaciones vigentes, registros reales de interrupciones, costos de mantenimiento, consumo energético y operación del sistema de respaldo.
- Priorizar la atención de UCI, quirófanos y emergencia dentro del esquema de respaldo, transferencia automática y monitoreo de calidad de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Quispe, V. S. (2023). Optimización del sistema eléctrico del Hospital Túpac Amaru nivel II-E de la región Cusco mediante el mantenimiento basado en condición (CBM) periodo - 2021. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13775/8/IV_FIN_109_TE_Alvarez_Quispe_2023.pdf
- Calderón Quispe, A. (2022). Smart Grids en el sistema de distribución del distrito de Moquegua para mejorar la confiabilidad, año 2017. Moquegua, Perú: Universidad José Carlos Mariategui.
- Castañez Quiroz, M., & Santafé Ramón, Y. E. (2021). Estudio sobre la implementación de redes eléctricas inteligentes “Smart Grids” en el departamento del Cesar: una revisión. Pamplona, España: Revista digital de Semilleros de Investigación.
- Cifuentes Díaz, C. R. (2023). Efectos socioambientales de la Industria del Hidrógeno Verde en Chile: Una revisión crítica en la implementación de proyectos sobre la Región de Antofagasta y Magallanes. . Chile: Universidad de Chile.
- Freire Ramírez, D., & Vergara Tumbaco, C. (2010). Análisis de calidad de energía en los edificios utilizados por el Hospital León Becerra. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2098/14/UPS-GT000158.pdf>
- Guamán Guamán, A. V. (2022). Análisis de la integración de la tecnología Smart Grid en sistemas eléctricos domésticos. . Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Mendoza Yucra, H. (2021). Análisis de Calidad de Energía eléctrica en el hospital iii de Essalud juliaca en el año 2017. Lima: Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez. Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4954>
- Porras Segundo, H. L. (2023). Influencia de Smart Grid en la reducción de costos de energía eléctrica del sistema de distribución de la Unidad Minera Julcani, Huancavelica 2017. Huancayo, Perú: Universidad Continental.
- Ramos Pasadas, J. (2021). Diseño y cálculo de cámara frigorífica para almacenamiento de verdura. Jaén, España: Universidad de Jaén.
- Rodríguez-Salazar, J. E., & Caruso, N. M. (2021). Soluciones para la mejora de la calidad del servicio de energía eléctrica en Barranquilla. Revisión de la literatura. . Colombia: Boletín de Innovación, Logística y Operaciones.
- Salazar Peralta, J. (2022). Propuesta de sistema de lectura remota de medidores de energía eléctrica, para mejorar la eficiencia del Servicio Ensa – Lambayeque. . Lambayeque: Universidad Nacional de Lambayeque.
- Sanchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística:. Lima: Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>

Trujillano Caro, E. F. (2018). Evaluación de la Calidad de la Energía Eléctrica y Cálculo de la opción tarifaria adecuada para el Hospital Privado Juan Pablo II Ubicado en el Distrito La Victoria Provincia de Chiclayo Departamento de Lambayeque. Lambayeque: Universidad Naiconal Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/1954>

ANEXOS

Anexo 01: Planos
Plano de Ubicación
Plano Diagrama Unifilar



LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	HOSPITAL LAS MERCEDES



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

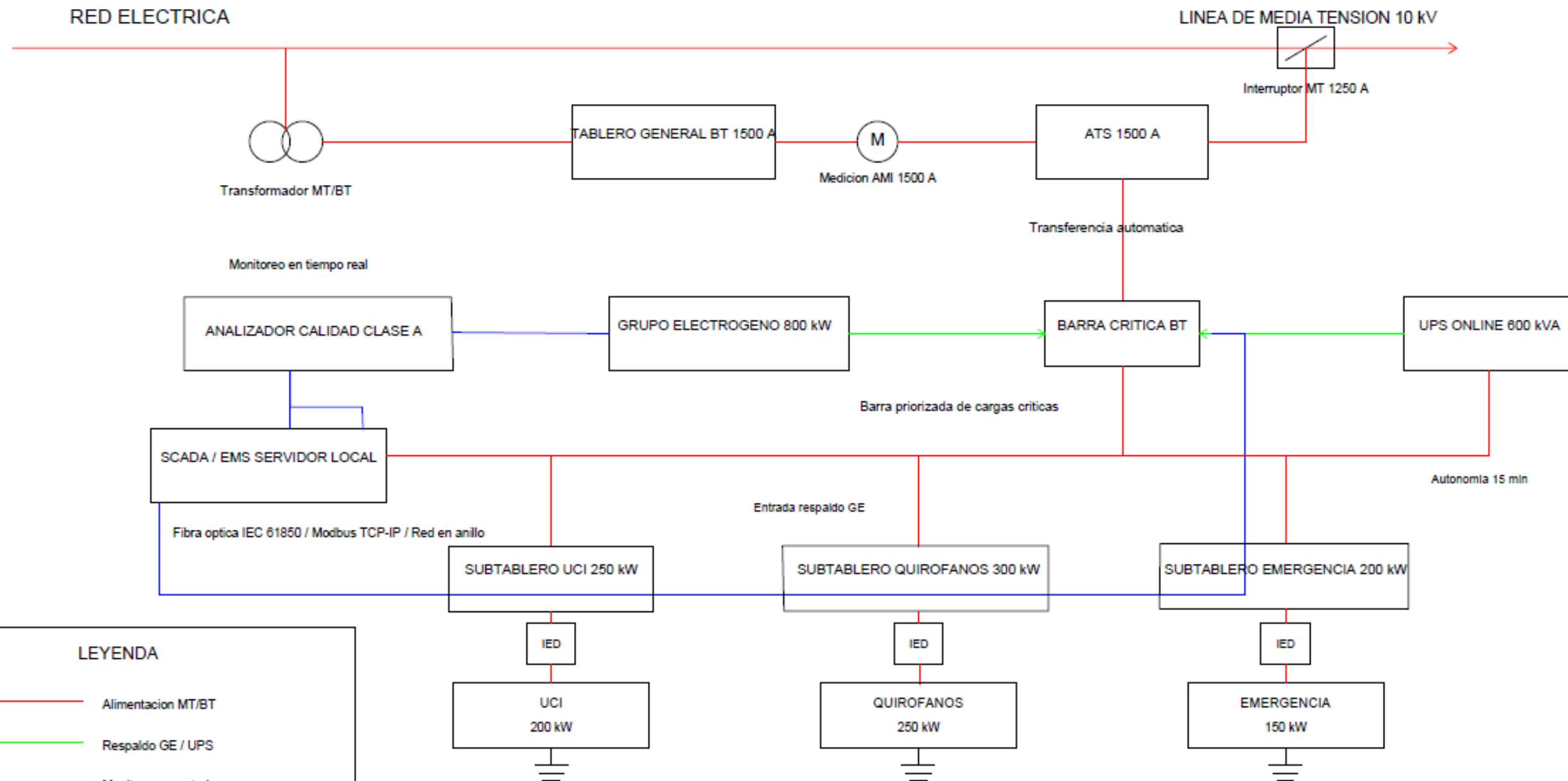
TESIS:
Diseño de un modelo de Smart Grid para mejorar la calidad de la energía eléctrica del hospital Las Mercedes de Chiclayo

PLANO: UBICACION
TESISTA: Oscar Yovera
FECHA: Noviembre 2025
ESCALA: INDICADA

U-1

DIAGRAMA UNIFILAR DEL MODELO SMART GRID HOSPITALARIO

HOSPITAL LAS MERCEDES DE CHICLAYO



LEYENDA

- Alimentacion MT/BT
- Respaldo GE / UPS
- Monitoreo y control

NOTAS TECNICAS:

1. Simbologia: Interruptor, transformador, tablero, ATS, analizador clase A, medidor AMI, IED, UPS y grupo electrogeno.
2. La red Smart Grid prioriza cargas criticas: UCI, quirofanos y emergencia mediante monitoreo en tiempo real, comunicacion IEC 61850 y respaldo automatico.

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

TESIS:
Diseño de un modelo de Smart Grid para mejorar la calidad de la energía eléctrica del hospital Las Mercedes de Chiclayo

PLANO: DIAGRAMA UNIFILAR SMART GRID - CARGAS CRITICAS

TESISTA: Oscar Yovane

FECHA: Noviembre 2025

ESCALA: INDICADA

DU-1

Anexo 02:
Certificado de Calibración de Analizador de Redes



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Analizador de Redes Eléctricas

Certificado N.º: CAL-AR-2026-001

Fecha de emisión: 15/12/2025

Laboratorio de calibración: Laboratorio de Metrología Eléctrica ABC S.A.C.

Dirección: Av. Industrial N.º 450, Chiclayo, Lambayeque – Perú

1. Datos del solicitante

Ítem	Descripción
Cliente	Juan Pérez Vilchez
Dirección	Chiclayo, Lambayeque
Área solicitante	Mantenimiento eléctrico / Ingeniería
Orden de servicio	OS-2026-045

2. Datos del instrumento calibrado

Ítem	Descripción
Instrumento	Analizador de redes eléctricas
Marca	Fluke
Modelo	435-II
Número de serie	AR435-2026-015
Código interno	EQ-EL-001
Rango de tensión	0 – 1000 V AC
Rango de corriente	0 – 3000 A, mediante pinzas amperimétricas

Dirección:

Por las Oficinas: 484 Urb. Balconcillo, La Victoria, Lima. Edif 8 pisos. Dentro reja Calle
248-250. Cel: (+51) 913 015 020 Correo: ventas@asocieperu.com

El analizador de redes eléctricas identificado en el presente certificado fue calibrado satisfactoriamente en los puntos de prueba indicados. Los errores obtenidos se encuentran dentro de los límites aceptables para mediciones de campo en sistemas eléctricos de baja tensión, siempre que el instrumento sea utilizado dentro de sus rangos nominales y bajo condiciones adecuadas de operación.

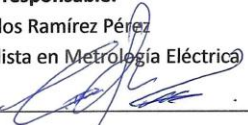
9. Observaciones

- El presente certificado aplica únicamente al instrumento identificado con el número de serie indicado.
- No debe reproducirse parcialmente sin autorización del laboratorio emisor.
- La próxima calibración recomendada es dentro de **12 meses**, o antes si el equipo sufre golpes, sobrecargas, reparaciones o uso intensivo.
- Los resultados corresponden al estado del instrumento al momento de la calibración.

10. Firmas

Técnico responsable:

Ing. Carlos Ramírez Pérez
Especialista en Metrología Eléctrica

Firma: 

Jefe del Laboratorio:

Ing. María Torres Salazar
CIP N.º 365264

Firma y sello: 

Fecha de próxima calibración recomendada: 15/05/2027

Dirección:

Psj. las Agatas Lt. 161 ; Urb. Balconcillo, La Victoria, Lima. Ref: Edif 8 pisos. Dentro reja Calle Agatas 248-250. Teléfono:  Cel: (+51) 913 015 020 Correo: ventas@asocieperu.com

Anexo 03: Cotizaciones de los equipos del SMART GRID

Dartel ELECTRICIDAD

Analizadores de calidad Clase A

Categoría

- Instrumentos para Tableros
- Relés de Control
- Luminarias Exterior
- Aparatos de Control
- Modular
- Tuberías Metálicas
- Alumbrado de Emergencia
- Caja Moldeada
- Control Programable

Sub-Categoría

- Relé de Control
- Analizadores de Red Eléctrica
- Medidores de Energía Trifásicos
- Reflectores
- Accesorios para Tuberías
- Metálicas
- Interruptor Diferencial
- Otros Aparatos de Control
- Transformadores de Corriente

Marca

- ☐ Schneider Electric
- ☐ Appleton
- ☐ Circutor
- ☐ Mueser

SCHNEIDER ELECTRIC
ANALIZADOR DE ENERGIA
POWERLOGIC PM8240,...

Referencia: 03150600096
S/ 13,414.12 IGV Inc.

CIRCUTOR
ANALIZADOR DE REDES
PORTATIL TRIF. C/REGISTR...

Referencia: 11710400413
S/ 19,486.09 IGV Inc.

SCHNEIDER ELECTRIC
MEDIDOR DE ENERGIA
POWERLOGIC PM5110,...

Referencia: 042901008
S/ 1,915.45 IGV Inc.

SCHNEIDER ELECTRIC
MEDIDOR DE ENERGIA
EASYLOGIC DM6200, CLAS...

Referencia: 042901006
S/ 635.14 IGV Inc.

Agregar al carrito

Agregar al cotizador

mpe/medidor-de-energia-easylogic-dm6200--clase-1-0--modbus--metsedm6200hd10rs-schneider-electric/p

Promelsa

ventas@promelsa.com.pe (511) 712-5500 Atención al cliente Proveedores

Buscar por producto, marca, sku...

Iniciar sesión

Productos Marcas Soluciones Industrias Compañía Recursos

Inicio | Gestión y Calidad de Energía | Equipos de Medición | Medidores de Energía

☐ Agregar al comparador

RISH LM1360

Medidor multifunción trifásico
96x96mm, clase 0.5s, 31TH, USB,
8MB, RS485

SKU 1034416
COD. FAB. RISH LM 1360

S/ 558.05 Inc. IGV

Precio online

[Ficha Técnica](#)

Stock disponibles 4

Cantidad

Utilizamos cookies para mejorar tu experiencia. Para cumplir con la nueva directiva sobre privacidad electrónica, necesitamos el consentimiento para utilizar tus cookies. Aprende más.

[Permitir Cookies](#)