



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES  
SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ**

**Ing. Mario Roberto Castellanos Aguilar**

Asesorado por el MSc. Víctor Manuel De León Contreras

Guatemala, agosto de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES  
SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. MARIO ROBERTO CASTELLANOS AGUILAR**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. VÍCTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA     | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| VOCAL I    | Ing. José Francisco Gómez Rivera      |
| VOCAL II   | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez   |
| VOCAL III  | Ing. José Milton de León Bran         |
| VOCAL IV   | Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente       |
| VOCAL V    | Br. Fernando José Paz González        |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez       |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                           |
|------------|-------------------------------------------|
| DECANA     | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada     |
| EXAMINADOR | Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti       |
| EXAMINADOR | Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque |
| EXAMINADOR | Mtro. Ing. Josué Miguel Ramírez Lemus     |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez           |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 11 de agosto de 2018.

**Ing. Mario Roberto Castellanos Aguilar**

LNG.DECANATO.OI.567.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ**, presentado por: **Mario Roberto Castellanos Aguilar**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, agosto de 2022

AACE/gaoc



**Guatemala, agosto de 2022**

LNG.EEP.OI.567.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ”**

presentado por **Mario Roberto Castellanos Aguilar** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 05 de noviembre de 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **"ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ"** presentado por el Ingeniero **Mario Roberto Castellanos Aguilar** quien se identifica con carné **200312759**.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
**Coordinador de Maestría**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 03 de noviembre de 2021

Ingeniero M.Sc.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12

**Distinguído Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Mario Roberto Castellanos Aguilar, Carné número 200312759, cuyo título es "**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS PRINCIPALES SISTEMAS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE SOLOLÁ**", para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Castellanos Aguilar, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



**Ing. Víctor Manuel De León Contreras**  
M.Sc. Formulación y Evaluación de Proyectos  
Asesor

**VÍCTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS**  
**INGENIERO ELECTRICISTA COL. 7739**  
**FORM. Y EVALUAC. DE PROYECTOS MSc**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

|                   |                                                                                                                                        |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dios</b>       | Por proveer salud, fuerza y guardarme en todo momento.                                                                                 |
| <b>Mi madre</b>   | María Magdalena Aguilar García, como un reconocimiento por todo su amor, dedicación, confianza, esfuerzos y apoyo cada día de mi vida. |
| <b>Mi hermana</b> | Heidi Lisbeth Castellanos Aguilar, por su cariño, apoyo y comprensión.                                                                 |
| <b>Mi esposa</b>  | Brenda Aracely Yol Castro de Castellanos, por su compañía y apoyo en todo momento.                                                     |
| <b>Mis hijas</b>  | Mariana Magdalena y Abigail Aracely Castellanos Yol, por ser luz que ilumina mi vida.                                                  |
| <b>Mi sobrina</b> | Morelia Elisabeth Chavarría, por sus detalles tan originales.                                                                          |
| <b>Mis tíos</b>   | Juan, Micaela, Thelma Yolanda, Marta Luz Aguilar, con especial cariño por sus sabios consejos.                                         |
| <b>Mis primas</b> | Leslie Yohana y Brenda Liseth García, por                                                                                              |

compartir conmigo tantos recuerdos de los momentos vividos.

**Mis abuelos**

Timoteo Aguilar y Candelaria García.

**Mis familiares**

En general, por su aprecio, apoyo y consejos en los momentos que he compartido con cada uno.

**Mis amigos**

Oscar René León Coloma, Levi Gamaliel Chavarría y muchos más que me han apoyado en el camino, hasta alcanzar la meta.

## AGRADECIMIENTOS A:

|                                               |                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por ser mi <i>alma máter</i> , entidad en donde logré mi formación académica.                                                   |
| <b>Escuela de Estudios de Postgrado</b>       | Escuela que permite adquirir conocimientos, que son de gran aporte en la industria energética del país.                         |
| <b>Mi familia</b>                             | Por ser parte fundamental en el apoyo para alcanzar esta meta.                                                                  |
| <b>Mi asesor</b>                              | MSc. Ing. Víctor Manuel de León, por haberme acompañado con su experiencia y profesionalismo en la realización de este trabajo. |
| <b>Dr. José A. Rosal</b>                      | Por su orientación académica y dedicación en la revisión de este proyecto de graduación.                                        |
| <b>Coordinador de la maestría</b>             | Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes, por su apoyo y orientación en las revisiones al presente trabajo.                               |

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                        |      |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                                          | III  |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                                                | V    |
| GLOSARIO .....                                                         | VII  |
| RESUMEN .....                                                          | IX   |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                                        | XI   |
| OBJETIVOS.....                                                         | XIII |
| RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....                                   | XV   |
| INTRODUCCIÓN .....                                                     | XVII |
| <br>                                                                   |      |
| 1. MARCO TEÓRICO.....                                                  | 1    |
| 1.1. Antecedentes de la investigación .....                            | 1    |
| 1.2. Calidad de la energía y eficiencia energética .....               | 9    |
| 1.3. Beneficios de la eficiencia energética.....                       | 12   |
| 1.4. Análisis de consumos .....                                        | 12   |
| 1.5. Sistemas de emergencia o respaldo .....                           | 13   |
| 1.6. Equipo de transferencia.....                                      | 14   |
| 1.7. Análisis financiero.....                                          | 15   |
| 1.8. Marco legal .....                                                 | 15   |
| <br>                                                                   |      |
| 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....                                 | 19   |
| 2.1. Evaluación de instalaciones existentes .....                      | 19   |
| 2.1.1. Caracterización del banco de transformación.....                | 19   |
| 2.1.2. Tablero eléctrico de distribución principal.....                | 21   |
| 2.1.3. Alimentador eléctrico principal .....                           | 21   |
| 2.2. Diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas existentes .... | 22   |

|        |                                                                                                        |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.   | Consumo de energía eléctrica del hospital .....                                                        | 23 |
| 2.3.1. | Conexión del analizador de redes eléctricas .....                                                      | 23 |
| 2.3.2. | Instalación del equipo analizador de redes<br>eléctricas en el tablero de distribución principal ..... | 24 |
| 2.4.   | Identificación de las oportunidades de mejora a las<br>instalaciones eléctricas existentes .....       | 26 |
| 2.5.   | Sistema de iluminación normal .....                                                                    | 27 |
| 2.6.   | Iluminación de rótulos de emergencia.....                                                              | 27 |
| 2.7.   | Sistema de rótulos iluminados de salida dentro de cada sala<br>de atención.....                        | 28 |
| 3.     | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....                                                                        | 29 |
| 3.1.   | Mediciones eléctricas realizadas.....                                                                  | 29 |
| 3.2.   | Luminarias existentes.....                                                                             | 35 |
| 3.3.   | Ahorro energético.....                                                                                 | 36 |
| 4.     | DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....                                                                           | 39 |
|        | CONCLUSIONES.....                                                                                      | 43 |
|        | RECOMENDACIONES .....                                                                                  | 45 |
|        | REFERENCIAS .....                                                                                      | 47 |
|        | APÉNDICE .....                                                                                         | 53 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |                                                                                                                          |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Diagrama unifilar de un sistema de emergencia .....                                                                      | 14 |
| 2.  | Banco de transformación en poste.....                                                                                    | 20 |
| 3.  | Tablero de distribución principal.....                                                                                   | 21 |
| 4.  | Diagrama unifilar existente .....                                                                                        | 22 |
| 5.  | Equipo analizador de redes eléctricas.....                                                                               | 23 |
| 6.  | Conexión del equipo analizador de redes eléctricas .....                                                                 | 24 |
| 7.  | Equipo analizador de redes conectado en tablero de distribución principal.....                                           | 25 |
| 8.  | Propuesta de mejora de instalación de luminarias de emergencia y rótulos indicadores de salida dentro de las salas ..... | 28 |
| 9.  | Comportamiento de la corriente en el período de medición .....                                                           | 29 |
| 10. | Potencia real en el período de medición .....                                                                            | 30 |
| 11. | Potencia aparente en el período de medición .....                                                                        | 31 |
| 12. | Factor de potencia en el período de medición .....                                                                       | 32 |
| 13. | Voltaje fase a fase en el período de medición.....                                                                       | 33 |
| 14. | Frecuencia en el período de medición .....                                                                               | 34 |
| 15. | Detalle de facturación.....                                                                                              | 37 |

### TABLAS

|      |                                                                |    |
|------|----------------------------------------------------------------|----|
| I.   | Información del banco de transformación .....                  | 20 |
| II.  | Parámetros de voltaje y corriente en el tablero principal..... | 26 |
| III. | Corriente en el período de medición .....                      | 30 |

|       |                                                                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.   | Potencia real en el período de medición.....                                                    | 31 |
| V.    | Potencia aparente en el período de medición.....                                                | 32 |
| VI.   | Factor de potencia en el período de medición .....                                              | 33 |
| VII.  | Voltaje fase a fase en el período de medición .....                                             | 34 |
| VIII. | Frecuencia en el período de medición .....                                                      | 35 |
| IX.   | Luminarias del sistema de iluminación existente .....                                           | 35 |
| X.    | Luminarias propuestas.....                                                                      | 36 |
| XI.   | Diferencia de potencia de luminarias existentes y luminarias<br>propuestas para reemplazo ..... | 37 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado            |
|---------|------------------------|
| A       | Amperios               |
| f.p.    | Factor de potencia     |
| Hz      | Hertz                  |
| kVA     | Kilovoltio amperios    |
| kV      | Kilovoltios            |
| kW      | Kilowatts o kilovatios |
| %       | Porcentaje             |
| S       | Potencia aparente      |
| P       | Potencia real          |
| Q       | Quetzales              |
| V       | Voltaje                |
| W       | Watts o vatio          |



## GLOSARIO

|                       |                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACHEE</b>          | Agencia Chilena de Eficiencia Energética.                                                                                                                                   |
| <b>AMM</b>            | Administrador del Mercado Mayorista.                                                                                                                                        |
| <b>ATS</b>            | <i>Automatic transfer switch</i> (interruptor de transferencia automática).                                                                                                 |
| <b>AWG</b>            | <i>American wire guage</i> (calibre de alambre americano).                                                                                                                  |
| <b>CNEE</b>           | Comisión Nacional de Energía Eléctrica.                                                                                                                                     |
| <b><i>Flicker</i></b> | Es una variación rápida y cíclica de la tensión, que causa una fluctuación correspondiente en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano. |
| <b>Frecuencia</b>     | La frecuencia nominal del sistema eléctrico nacional, tiene un valor de 60 Hertz, cómo lo indica la NTSD.                                                                   |
| <b>LED</b>            | <i>Light emitting diode</i> (diodo emisor de luz).                                                                                                                          |
| <b>NEC</b>            | <i>National Electrical Code</i> (código eléctrico nacional).                                                                                                                |
| <b>NFPA</b>           | <i>National Fire Protection Association</i> (Asociación nacional de protección contra el fuego).                                                                            |

|              |                                                                                                          |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NTSD</b>  | Norma Técnica del Servicio de Distribución.                                                              |
| <b>NTGDR</b> | Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía. |
| <b>TIR</b>   | Tasa interna de retorno.                                                                                 |
| <b>UPS</b>   | <i>Uninterrupted power system</i> (sistema de energía ininterrumpida).                                   |

## RESUMEN

El trabajo realizado tuvo por objetivo principal la evaluación del sistema eléctrico del hospital departamental de Sololá, para identificar las oportunidades de mejora al mismo.

Para la evaluación de las instalaciones eléctricas del hospital, se realizaron visitas técnicas con el fin de realizar un levantamiento. Se analizó las condiciones de operación de los equipos, también se realizó un diagrama unifilar, con el fin de representar de manera gráfica el sistema eléctrico existente.

Para conocer el consumo y los parámetros eléctricos del sistema, se instaló un analizador de redes marca Circutor. Las mediciones muestran que la potencia real máxima de operación es de 41.03 kW, la potencia aparente es de 42.05 kVA, con un factor de potencia mínimo 0.93. Para la gráfica de corriente, se aprecia un desbalance entre las fases, el cual es necesario trabajar.

Entre las recomendaciones de mejora a corto plazo, se pueden mencionar, el reemplazo del alimentador principal, debido a que identificó una caída de tensión del voltaje de fase a fase de 193.94 VAC; el reemplazo del tablero de distribución principal, debido a que no tiene interruptor termomagnético principal, para la protección y seccionamiento del mismo; trabajos de obra civil necesarios para la correcta ventilación del generador de emergencia y el balance de cargas en los tableros de distribución locales, entre otras.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Un suministro de energía eléctrica adecuado, es decir sostenible, sin interrupciones, es un respaldo importante para las actividades que se desarrollan en el hospital departamental de Sololá.

El hospital data del 8 de mayo de 1948, como en todo edificio, sufre remodelaciones y ampliaciones en sus instalaciones, de este concepto nace la oportunidad de evaluar el sistema eléctrico del Hospital Departamental de Sololá, para identificar las oportunidades de mejora.

Es pertinente realizar un análisis a las instalaciones eléctricas del Hospital de Nacional de Sololá, debido a que la Norma Técnica del Servicio de Distribución (NTSD), indica que, entre las obligaciones del usuario, está realizar las modificaciones necesarias para evitar introducir perturbaciones en la red del distribuidor que afecten la calidad del servicio eléctrico de distribución. “Entre las perturbaciones se puede mencionar, la distorsión armónica y el factor de potencia” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 12).

Entre las causas, que mueve a realizar el análisis: un sistema de iluminación ineficiente, debido a luminarias con tecnologías antiguas u obsoletas, mejorar el nivel de iluminación y la falta de un diagnóstico de las instalaciones eléctricas en general, ya que por el cableado antiguo que se tiene conlleva un riesgo de sobrecarga, calentamiento de los conductores y, por ende, el peligro de que al fallar el aislamiento se produzcan cortocircuitos, lo que puede provocar un incendio y llevar a pérdidas humanas y materiales.

Los efectos que se consideraron son: baja eficiencia energética, altos costos de facturación por el servicio de energía eléctrica y riesgo de cortocircuito por tener instalaciones antiguas, llegando a tener una probabilidad de la suspensión de las actividades de consultas del hospital por falta del suministro de energía eléctrica por fallas propias.

La pregunta central del planteamiento es: ¿Es energéticamente eficiente el Hospital Departamental de Sololá?

La cual responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el diagnóstico de las instalaciones eléctricas existentes?
- ¿Cuál es el consumo de energía eléctrica del hospital departamental de Sololá?
- ¿Cuáles son las oportunidades de mejora en las instalaciones eléctricas del hospital?

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el sistema eléctrico del hospital departamental de Sololá, para identificar las oportunidades de mejora al mismo.

### **Específicos**

- Evaluar el estado de las instalaciones eléctricas existentes.
- Conocer el consumo de energía eléctrica del hospital.
- Identificar las oportunidades de mejora a las instalaciones eléctricas.



## **RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO**

Se evaluó el estado de las instalaciones eléctricas existentes del hospital, realizando una auditoría energética, la cual proporcionó información para realizar el diagnóstico energético. Con esta información, se formuló la propuesta técnica para la mejora del sistema eléctrico.

En la auditoría energética, fue necesario la toma de los datos de los sistemas de iluminación, sistemas de fuerza normal y de emergencia y demanda energética de los equipos médicos. Con la información recopilada se procedió al análisis de la potencia instalada, la potencia consumida o demandada y poder tener un diagnóstico energético.

Para analizar otros parámetros eléctricos propios de la instalación del hospital, se instaló temporalmente un analizador de redes, para evaluar la regulación de voltaje y frecuencia, desbalance de fases, potencia consumida, factor de potencia y análisis de armónicos, datos que son necesario para presentar las propuestas de la mejoras que se pueden realizar al sistema eléctrico.

Luego se procedió a identificar las oportunidades de mejora para las instalaciones eléctricas del Hospital Departamental de Sololá.



## INTRODUCCIÓN

Ante la vulnerabilidad de las redes aéreas de distribución, como las que tienen las empresas que brindan el servicio de energía eléctrica en el país, se hace necesario, en los hospitales, tener un suministro de energía que sea sostenible, en caso de una eventualidad que desencadene en una suspensión del servicio eléctrico.

Debido a que el Hospital Departamental de Sololá está en operación desde el año de 1948, es conveniente realizar la evaluación al sistema eléctrico.

En el capítulo 1, se analizan los antecedentes relevantes y el marco conceptual, que se utilizó de referencia para el desarrollo del presente trabajo.

En el capítulo 2, se presenta el desarrollo de la investigación, en este caso la evaluación de las instalaciones existentes y los parámetros eléctricos, luego de la medición realizada por medio de analizador de redes eléctricas, siendo los datos medidos la carga instalada, la potencia consumida del sistema, factor de potencia, desbalance de cargas, los cuales son de referencia para las propuestas de mejoras correspondiente a sistema.

En el capítulo 3, se proporciona la discusión de los resultados significativos de la investigación.

En los siguientes capítulos se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del presente trabajo.



## **1. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se presentan los antecedentes de la investigación.

### **1.1. Antecedentes de la investigación**

La tesis doctoral *Hospitales eficientes: una revisión del consumo energético óptimo*, desarrollada en la Universidad de Salamanca, centra el trabajo en un problema relevante, el consumo de energía en los hospitales. “De tal forma que define al consumo de energía, como la relación que existe entre la energía demandada y el rendimiento que muestra la instalación” (López, 2011, p. 33).

Como lo describe López (2011), se considera que un edificio es eficiente energéticamente, si consume menos energía exterior, en otras palabras, si consume menos energía que no ha sido generada por el edificio mismo a partir de tecnologías consideradas renovables. También indica que para hospitales no se puede considerar eficiencia energética si esta medida conlleva sacrificar el confort de los pacientes o del personal que ahí labora. Para ello anota que la iluminación en los hospitales debe satisfacer de tal manera que garantice las condiciones óptimas para que el personal desempeñe sus tareas adecuadamente y para lograr un ambiente confortable para el paciente.

López (2011) considera a la energía eléctrica como la fuente más necesaria, debido a que alimenta los sistemas de iluminación, permite el funcionamiento de las instalaciones de ventilación y climatización, ascensores, equipos de cómputo, equipos médicos, entre otros.

En su trabajo López (2011), indica que como medidas estratégicas para eficiencia energética en los hospitales se puede mencionar: aprovechar la iluminación natural y mejorar el sistema de iluminación artificial, con tecnología eficiente. Asimismo, recomienda diseñar los circuitos de iluminación de tal manera que se apaguen cuando estén próximos a la iluminación natural, así como instalar detectores de presencia y temporizadores para disminuir el consumo energético.

López (2011) indica que es necesario diseñar sistemas fotovoltaicos para generar energía eléctrica y térmica para aguas calientes, calefacción y deshumidificación.

En la tesis de maestría de López (2015) titulada *Sistema de gestión de la energía, mediante la metodología ISO 50001:2011, para la Ciudad Universitaria, zona 12*, se indica que por medio de su investigación se logrará establecer una metodología para monitorear y evaluar los recursos energéticos en los edificios de la universidad y que el objetivo de la norma ISO 50001 es apoyar con establecer las medidas necesarias para optimizar el consumo energético y llevarlo a una eficiencia óptima.

Cómo eficiencia energética describe López (2015), el seguimiento para reducir las pérdidas producidas en el proceso o servicio, con la incorporación de hábitos adecuados de uso y con el cambio de tecnologías antiguas por otras más eficientes, se logra optimizar el consumo de los recursos energéticos disponibles. De tal manera que una auditoría energética es una herramienta que permite identificar el consumo de energía.

López (2015) indica que, para realizar un mapeo del edificio para la revisión energética, es necesario un recorrido por los edificios, para conocer sus

instalaciones y áreas de servicio, con esto se logra establecer una ruta para recopilar los datos necesarios.

En la tesis de maestría, *Estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del Hospital Vicente Corral Moscoso*, Becerra y Riquetti (2015), enfocan el estudio en el consumo energético, basado en los sistemas de vapor y eléctrico, por ser las de que tienen mayor consumo. Para el consumo de energía eléctrica se pueden enlistar los sistemas de iluminación, climatización, ascensores, compresores, bombas, calderas, lavandería y cocina.

Para conocer el consumo real de energía eléctrica del hospital, Becerra y Riquetti (2015), realizaron mediciones en los parámetros de calidad de energía, definida para este estudio como la ausencia de interrupciones, caídas de tensión y sobretensiones de la energía eléctrica suministrada al usuario. Teniendo en cuenta que el objetivo de la calidad de energía está enfocado en los parámetros que influyen en el correcto funcionamiento de los equipos y dispositivos en el hospital, se analizaron los siguientes: los niveles de voltaje, la potencia demandada, *flicker*, distorsión armónica y factor de potencia.

Para el hospital el consumo de energía eléctrica por concepto de iluminación representa el 52.55 % del consumo anual, según el estudio realizado. Como lo indican los autores, “el objetivo de un adecuado diseño del sistema de iluminación, no solo es proporcionar luz, sino permitir a las personas que reconozcan lo que ven y que no provoque fatiga en el trabajo” (Becerra y Riquetti, 2015, p. 99).

Para analizar la factibilidad de la inversión a las mejoras al sistema térmico y al sistema eléctrico, Becerra y Riquetti (2015), utilizan los indicadores

financieros como la tasa interna de retorno, TIR y el período de recuperación de la inversión.

En el estudio que Molina y Taracena (2011), realizaron como tesis de maestría denominada *Propuesta para el mejoramiento del sistema de energía, vapor y agua del hospital de accidentes 7-19, área de quirófanos*, indican que un hospital sustentable tiene como objetivo atender, diagnosticar y dar seguimiento o tratamiento a los pacientes, con el uso de tecnologías denominadas inteligentes.

Diseñar un hospital sustentable, según explican Molina y Taracena (2011), es crear un hospital que sea saludable, viable económicamente, que sea amigable con el ambiente y que cubra las necesidades de la sociedad.

La recomendación que proporcionan Molina y Taracena (2011), es que la planta de emergencia deberá estar conectada a las áreas de las unidades de salud que se consideren vulnerables y sensibles, esto con el fin de afrontar cualquier contingencia que suspenda el suministro de energía eléctrica. También recalcan que la planta de emergencia debe tener un mantenimiento programado, revisión periódica de los controles de funcionamiento y abastecimiento de combustible necesario.

En el análisis que describe Juárez (2013), en la tesis *Estudio de calidad de la energía eléctrica en los quirófanos de adultos, para el Hospital San Juan de Dios*, se indica que se pretende recabar información para reconocer los parámetros (tales como el bajo factor de potencia, sobre voltajes, sobretensiones, entre otros) que afectan el suministro eléctrico.

En el mismo documento se indica que el fin del estudio del análisis de calidad de energía eléctrica es tener un sistema robusto, eficiente y que sea confiable, tanto para el personal que labora en el Hospital General San Juan de Dios, como en los pacientes que requieren utilizar los quirófanos de adultos.

Se resalta que el estudio de la calidad de energía eléctrica “es necesario, para caracterizar los parámetros eléctricos en un sector particular, para el caso en análisis, el circuito que alimenta los quirófanos de adultos, para determinar soluciones eficientes” (Juárez, 2013, p. 23).

Como resultado del análisis de calidad de energía para el circuito eléctrico que alimenta los quirófanos, tenemos: corrección del factor de potencia, balance de cargas y sustitución de tableros de distribución y la implementación de una unidad de respaldo. Juárez (2013), anota que la metodología utilizada para calcular la rentabilidad de las mejoras al circuito que alimenta los quirófanos es la relación beneficio / costo.

En el trabajo titulado *Planificación para la remodelación del sistema eléctrico del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social*, Robles (2007), indica que se hace necesario realizar un diseño nuevo debido a que el hospital ha tenido crecimiento por el número de personas afiliadas a la institución y por ende crece la demanda de atención médica.

Robles (2007) hace la observación acerca de que es necesario realizar un inventario de todos los equipos que se alimentan, para tener el cálculo de la demanda máxima estimada, con este dato se realiza en nuevo diseño eléctrico.

Para determinar la calidad de energía eléctrica del hospital, Robles (2007) indica que se instaló un analizador de redes, que le proporcionó diferentes

parámetros eléctricos, entre los que se puede indicar, la corriente de fase, el desbalance entre fases, el voltaje de línea y de fase, el factor de potencia, entre otros. El análisis de calidad de energía permitió visualizar problemas que afectan a la eficiencia del sistema eléctrico del hospital y otorga la oportunidad de realizar propuestas de mejoras.

Robles (2007), menciona que los armónicos son producto de cargas no lineales conectadas al sistema eléctrico, las cuales ocasionan perturbaciones sobre la red de distribución y una consecuencia es el calentamiento en los motores, alimentadores eléctricos, transformadores, entre otros. Entre las cargas no lineales se pueden enlistar las siguientes: variadores de velocidad, rectificadores de corriente, equipos de soldadura y hornos de arco.

Asimismo, el autor explica que: “tener un sistema de protección contra rayos es blindar a un edificio, a las personas que están ahí y a los equipos de las descargas atmosféricas” (Robles, 2007, p. 131).

Robles (2007), propone en su diseño instalar un sistema de alimentación ininterrumpida, por sus siglas en inglés UPS, *Uninterrupted Power System*, para los quirófanos.

La recomendación de Robles (2007), de implementar la remodelación de las instalaciones eléctricas del Hospital de Ginec Obstetricia, es para evitar fallas tanto en los conductores o en las protecciones eléctricas y que desencadene en accidentes que pueden ser lamentables para el personal administrativo, de mantenimiento, médicos, pacientes y visitantes y daños a equipos conectados al sistema.

En el estudio técnico económico que realizó Pérez (2013) para la utilización de paneles solares, como suministradores de energía eléctrica para alimentar el sistema de iluminación del Hospital Distrital de La Tinta, ubicado en el departamento de Alta Verapaz, identificó que el 74 % del consumo energético corresponde al sistema de iluminación, por lo que recomienda utilizar tecnologías más eficientes.

En los hospitales, salas de consulta, entre otros, la iluminación artificial debe servir para dos objetivos principales: “garantizar las condiciones adecuadas para desarrollar las tareas correspondientes y contribuir a generar una atmósfera en la que el paciente se sienta confortable, esto garantiza la máxima eficiencia energética” (Ezquerro, Gandolfo, Ramos y Urraca, 2001, p. 7).

Siguiendo con el trabajo desarrollado por Pérez (2013), es viable alimentar el sistema de iluminación del Hospital Distrital de La Tinta, con energía proveniente de un sistema de generación por paneles solares, debido a que su recuperación se realizará en un período de siete años.

En el análisis energético que realizó Pérez (2013), se recomienda que el Hospital Distrital de La Tinta debe realizar una gestión ante la distribuidora local de energía eléctrica para modificar la potencia contratada en su momento, para obtener un ahorro, respecto de este rubro.

Martínez (2016), se toma la tarea de indicar en su trabajo que la energía solar, es la energía en forma de radiación electromagnética, luz, calor, y rayos ultravioletas que proviene del sol, también hace mención que este tipo de energía se puede aprovechar en dos formas: conversión térmica y conversión fotovoltaica.

Según indica De León (2008), la energía solar es la procedente del sol. Para el caso de las energías renovables, se comprende por energía solar la luz solar que incide en la tierra en sus componentes visibles e invisibles, infrarrojos y ultravioleta.

González (2009), expresa que la energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, y que se logra generar corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares.

Pérez (2013), anota que los componentes básicos necesarios para una instalación fotovoltaica conectada a la red son: el generador fotovoltaico, inversor y las protecciones respectivas.

Como herramientas de evaluación financiera Pérez (2013), utiliza el valor actual neto (VAN), la relación beneficio / costo, la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación.

De León (2008), da la recomendación de que la planta de emergencia deberá estar conectada a las áreas más vulnerables y críticas de las unidades de salud, para afrontar cualquier emergencia y/o contingencia que represente la suspensión del suministro de energía eléctrica por parte del distribuidor. Por lo tanto, debe tener un mantenimiento programado, controles de funcionamiento y suficiente combustible para generar energía eléctrica durante las jornadas de servicio.

El énfasis que hacen Bratu y Campero (1995), es que gran cantidad de instalaciones eléctricas, es decir complejos comerciales, centro asistenciales y edificios para la industria, cuentan con una planta de emergencia, también llamado grupo electrógeno, para protegerse contra posibles fallas en el suministro de energía eléctrica. Debido al servicio público que brindan, especialmente en hospitales, se requiere de una fuente de energía eléctrica que funcione mientras la red suministrada por el distribuidor presente interrupción en el servicio.

En la descripción González, Pérez y Santos (2009), comentan que la conexión del generador fotovoltaico a la red general de distribución no deberá provocar averías o fallas, ni disminución de las condiciones de seguridad o alteraciones superiores.

## **1.2. Calidad de la energía y eficiencia energética**

La calidad de la energía se puede definir, según indica Harper (2008), como la ausencia de interrupciones al servicio de energía eléctrica, sobretensiones, frecuencia y variaciones del voltaje suministrado al usuario.

Harper (2008) indica que una fluctuación de voltaje es una disminución momentánea en el voltaje nominal del distribuidor de energía eléctrica y este puede ser causado por una falla remota en algún punto en el sistema de potencia.

Según lo describe Serra (2007), la eficiencia energética eléctrica, es la reducción de las potencias y energía demandadas al sistema eléctrico sin tener que afectar a las actividades cotidianas en edificios, industrias o cualquier proceso de transformación.

En el análisis que da Autonell *et. al.* (2012), definen a la eficiencia energética y uso racional de la energía eléctrica, como el rendimiento de la energía que se ha consumido y de las instalaciones necesarias para su generación, transporte y utilización, a fin de garantizar un funcionamiento adecuado de los equipos conectados a la red de distribución.

Conviene resaltar que se entiende como eficiencia energética de un proceso “al cociente entre la energía efectivamente aprovechada y la energía consumida” (Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2013, p. 9).

También se le puede entender como el conjunto de acciones que permiten la optimización entre la energía consumida y los servicios finales, sin sacrificar la producción, así se refiere la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2013), a la eficiencia energética. En otras palabras, es hacer más con menos consumo de energía.

Herramienta que permite al cliente o empresa conocer su consumo energético, es como define López (2015), a la auditoría energética.

Para la evaluación de parámetros eléctricos tales como distorsión armónica, factor de potencia, desbalance de cargas, consumo típico, entre otros, es necesario instalar un equipo de medición o analizador de redes, a lo cual Monnéy (2017) indica que la tarea de un registrador es la de almacenar registros de los parámetros eléctricos durante un período establecido.

Se conoce como analizador de redes, “a los instrumentos de medida que son capaces de medir varios parámetros eléctricos de manera simultánea” (Autonell *et. al.*, 2012, p. 172).

Las armónicas como lo comenta Harper (2008), distorsionan la forma de onda del voltaje y la corriente de 60 Hz.

El factor de potencia, como lo visualiza Cantos (2016), permite cuantificar la utilización de la potencia activa, es decir la potencia útil, respecto de la potencia aparente, en otras palabras, la potencia total.

Para el cálculo del factor de potencia, se representa en la ecuación 1:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Donde:

$\cos \varphi$ : es el factor de potencia

P: la potencia real (kW)

S: la potencia aparente (kVA)

Entre las ventajas de compensar la energía reactiva están la “disminución de pérdidas, mejora de la tensión de red, aumento de la capacidad de las líneas de alimentación y transformadores y la reducción de costos por penalizaciones” (Autonell *et. al.*, 2012, p. 70).

El parpadeo del sistema de iluminación o *flicker*, “es una consecuencia de las fluctuaciones de tensión, cuya consecuencia se manifiesta en forma de fluctuaciones de intensidad luminosa” (Autonell *et. al.*, 2012, p. 137).

### **1.3. Beneficios de la eficiencia energética**

Entre los beneficios que se adquieren por implementar un plan de eficiencia energética se pueden mencionar “los económicos, ambientales y ya para el país, los descritos a continuación” (AChEE, 2013, p. 9).

Beneficios económicos, debido a que reduce los costos de producción y operación. La AChEE (2013), anota que entre los beneficios ambientales se tiene la reducción de consumo de recursos de hidrocarburos y, por lo tanto, disminuye la emisión de gases contaminantes.

Beneficios para el país, según indica la AChEE (2013), aumenta la seguridad de abastecimiento de energía eléctrica y disminuye la dependencia de fuentes de generación no renovables.

### **1.4. Análisis de consumos**

Como perfil de consumo eléctrico o perfil de carga, denomina Cantos (2016), a la curva que presenta la distribución diaria de potencia que se demanda en cada hora.

La curva de demanda, como lo presenta Cantos (2016), proporciona información de simultaneidad de algunos consumos, esto es importante para determinar la potencia máxima demandada.

### **1.5. Sistemas de emergencia o respaldo**

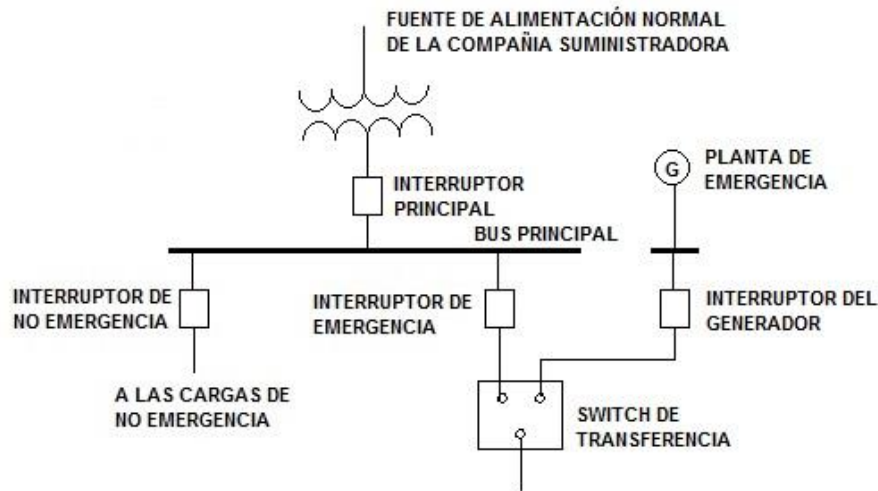
Los sistemas de emergencia están proyectados “para transferir de manera automática energía eléctrica a sistemas de iluminación, de fuerza o ambos, para las áreas y equipos designados en caso de falla de la alimentación comercial, para la seguridad de las personas” (National Fire Protection Association, 2007, p. 689).

Según Miralles y Zubiaurre (2015), se entiende como generador eléctrico, “a todo aparato, equipo o máquina que sea capaz de producir energía eléctrica por medio de otra clase de energía” (p. 21).

El sistema de emergencia comúnmente empleado, según lo indica Enríquez (2006), es la llamada planta de emergencia, consistente de un motor de combustión acoplado a un generador de corriente eléctrica. Estas operan por medio de transferencias eléctricas o *switch* de transferencia, que pueden ser manuales o eléctricas.

Bratu y Campero (1995), explican que las plantas de emergencia constan de un motor de combustión interna que está acoplado a un generador de corriente alterna. El cálculo de la capacidad de una planta eléctrica se hace en función de las cargas que deben operar permanentemente.

Figura 1. **Diagrama unifilar de un sistema de emergencia**



Fuente: Enríquez. (2006). *Diagrama unifilar de un sistema de emergencia*.

La figura anterior representa el diagrama unifilar de una instalación eléctrica general, el cual tiene un sistema de emergencia de respaldo, como lo anota Enríquez (2006), teniendo como alimentación principal la red de la empresa distribuidora de energía eléctrica.

Como indica el Código Eléctrico Nacional, “el suministro de corriente debe ser tal que, si falla el suministro de energía comercial al edificio, la alimentación del sistema de emergencia debe estar disponible, pero no debe demorar más de 10 segundos” (National Fire Protection Association, 2007, p. 691).

### 1.6. **Equipo de transferencia**

Según el Código Eléctrico Nacional, el equipo de transferencia se debe diseñar e instalar de modo que prevenga la interconexión accidental de las fuentes de alimentación de la red comercial y la red de emergencia, al realizar

cualquier operación del equipo de transferencia. De igual manera, “debe permitir el funcionamiento paralelo del sistema de emergencia con la red de alimentación comercial” (National Fire Protection Association, 2007, p. 690).

### **1.7. Análisis financiero**

Los métodos principales que utilizan el concepto de flujo de caja descontando son: “el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)” (Sapag y Sapag, 2008, p. 317).

El criterio del valor actual neto o VAN, plantea que un proyecto debe aceptarse si su valor actual neto es igual o mayor a cero, según lo indica Sapag y Sapag (2008), en otras palabras, el VAN es la diferencia de todos los ingresos y todos los egresos expresados actualmente.

Sapag y Sapag (2008) indica que el criterio de la tasa de retorno o TIR evalúa el proyecto en función de una tasa de rendimiento por período, con la cual el total de los beneficios actualizados son iguales a los egresos o desembolsos expresados al tiempo actual.

Un proyecto debe aceptarse, según Sapag y Sapag (2008), si la tasa que se calcula es mayor al compararla con la tasa de descuento de la empresa, en caso contrario debe rechazarse el proyecto.

### **1.8. Marco legal**

En lo que se refiere al diseño de las instalaciones eléctricas nos basaremos en el Código Eléctrico Nacional, por sus siglas en inglés NEC, *National Electrical Code*, que indica que “un hospital es un edificio o parte de este, utilizado para

cuidados médicos, obstétricos o quirúrgicos, las 24 horas del día” (National Fire Protection Association, 2007, p. 490).

El sistema de emergencia se debe enfocar a los circuitos denominados esenciales de seguridad para “salvaguardar la vida del paciente y brindar la operación efectiva del hospital durante el período en que el servicio de energía normal esté interrumpido por cualquier razón” (National Fire Protection Association, 2007, p. 495).

Para la evaluación del servicio de energía eléctrica, la base serán las Normas Técnicas del Servicio de Distribución, NTSD, dado que “establece los derechos y obligaciones, tanto de la empresa distribuidora de energía eléctrica como del usuario” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 6).

El artículo 13 de la NTSD, indica que entre las obligaciones del usuario están “realizar las instalaciones interiores, incluyendo modificaciones y reparaciones necesarias para evitar introducir perturbaciones a la red eléctrica del distribuidor, y, por ende, que afecte la calidad del servicio de energía eléctrica” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 12).

Para la frecuencia nominal del sistema nacional interconectado, la Norma de Coordinación Operativa No. 4, define que:

Es de 60 Hz, para operación la frecuencia eléctrica deberá estar en los límites establecidos de la norma indicada, tanto en condición normal y de emergencia, con esta indicación se tiene que en condiciones de operación normal los límites son 59.9 Hz y 60.01 Hz, para las condiciones de emergencia son 59.8 Hz y 60.2 Hz. (AMM, 2000, p. 4)

Según lo establece la NTSD, los indicadores de referencia para calificar el suministro de energía eléctrica de la distribuidora y del usuario son: “regulación de tensión, desbalance de tensión en servicios trifásicos, distorsión armónica, factor de potencia, entre otros” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1999, p. 13).

Para el caso del factor de potencia la CNNE (1999), establece que el valor mínimo admitido para el factor de potencia está de acuerdo con la potencia del usuario. Para usuarios con potencia hasta 11 kW, el valor mínimo de factor de potencia es 0.85, para usuarios con potencias superiores a 11 kW de 0.90, referido en el artículo 49 de la NTSD.

Para la determinar del factor de potencia, según el artículo 50 de la NTSD, se utiliza la ecuación 2:

$$F_{potp} = \text{EnergActp} / \sqrt{(\text{EnergActp}^2 + \text{EnergReactp}^2)} \quad (2)$$

Donde:

$F_{potp}$ : factor de potencia para el período horario

$\text{EnergActp}$ : energía activa registrada en el período medido

$\text{EnergReact}$ : energía reactiva registrada en el período medido

La Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía, NTGDR, indica que son tecnologías “con recursos renovables aquellas que utilizan para generar energía eléctrica las siguientes fuentes: biomasa, eólica, geotérmica, hidráulica, solar y otras” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 7).



## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

Se realizó la inspección de las instalaciones eléctricas para determinar las condiciones de las mismas

### **2.1. Evaluación de instalaciones existentes**

Se realizó la evaluación de los componentes del sistema eléctrico principales, siendo estos: el banco de transformación, alimentador eléctrico, el tablero de distribución principal, la transferencia eléctrica, el generador de emergencia, entre otros.

#### **2.1.1. Caracterización del banco de transformación**

Se procede con la identificación del punto de entrega de la distribuidora de energía eléctrica local, para ello se identifica el banco de transformación principal, en este caso un banco de transformación de tres transformadores de 25 kVA cada uno.

La acometida principal tiene capacidad instalada de 75 kVA, voltaje primario de operación 13.8 kV, voltaje secundario de operación 120/208 VAC, estrella aterrizada.

Figura 2. **Banco de transformación en poste**



Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Sololá. 2021). Colección particular. Guatemala.

Tabla I. **Información del banco de transformación**

| Parámetro              | Medición  |
|------------------------|-----------|
| Potencia (kVA)         | 75        |
| Voltaje primario (kV)  | 13.8      |
| Voltaje secundario (V) | 208 / 120 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### **2.1.2. Tablero eléctrico de distribución principal**

En la imagen se logra apreciar el tablero de distribución principal del hospital. El alimentador eléctrico se conecta a los bornes de las barras de distribución del tablero eléctrico.

Figura 3. **Tablero de distribución principal**



Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Sololá. 2021). Colección particular. Guatemala.

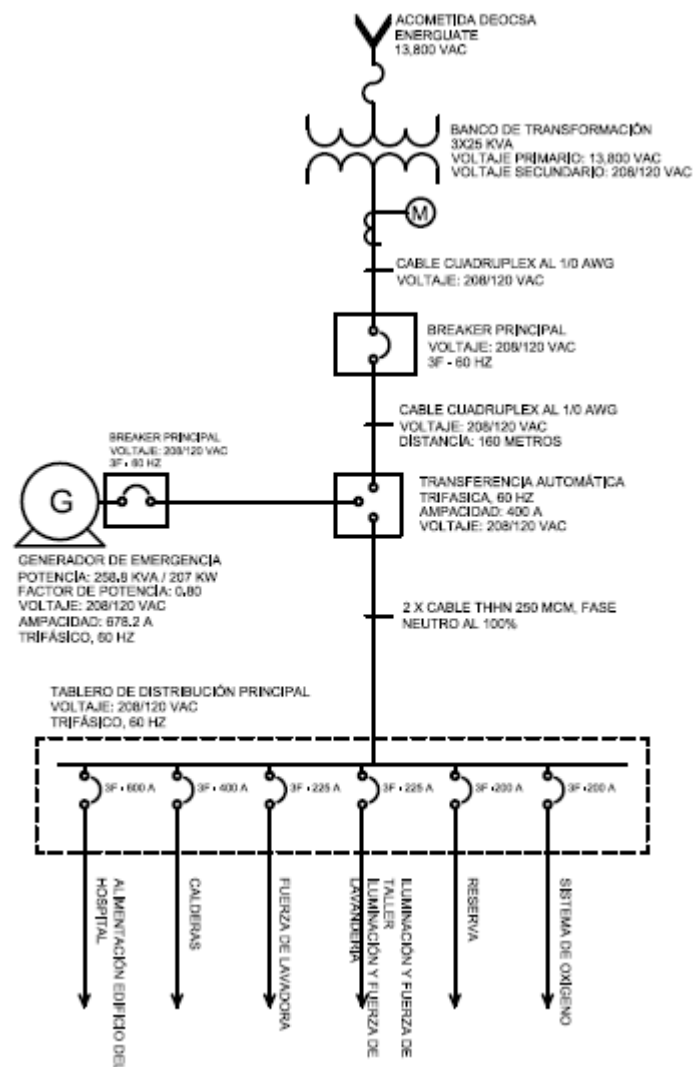
### **2.1.3. Alimentador eléctrico principal**

El alimentador eléctrico principal es cable cuádruplex de aluminio 1/0 AWG, el cual se va de aéreo entre postes, desde el banco de transformación en poste hasta el tablero de distribución principal.

## 2.2. Diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas existentes

Con el levantamiento de información, se procede a realizar el diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas del hospital departamental de Sololá.

Figura 4. Diagrama unifilar existente



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

### **2.3. Consumo de energía eléctrica del hospital**

Para determinar el consumo de energía eléctrica del Hospital Departamental de Sololá, se instaló el equipo de medición de calidad de energía marca Circutor, serie MYeBOX, para determinar el consumo de energía eléctrica (kWh), la potencia del sistema (kW, kVA), el factor de potencia y la potencia reactiva (kVAR), es decir nos permitirá realizar un análisis de consumos, obtener curvas de carga, de perturbaciones de tensión de la instalación y visualización de las formas de onda.

Figura 5. **Equipo analizador de redes eléctricas**

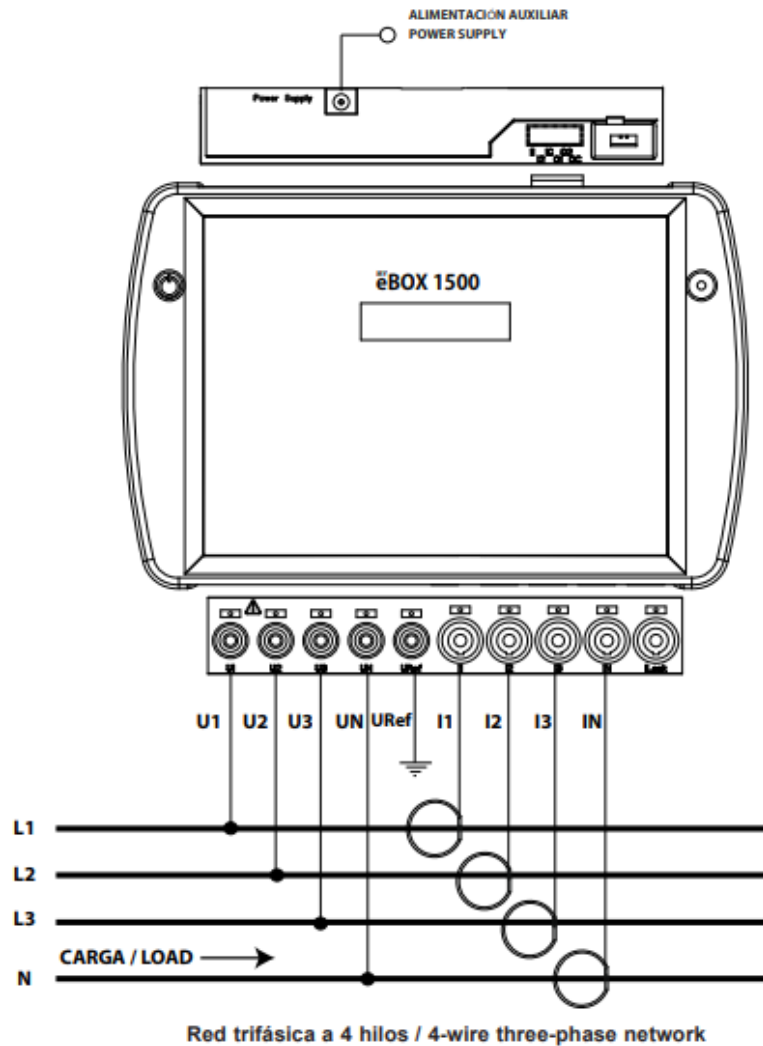


Fuente: Circutor (2021). *Equipo analizador de redes eléctricas*. Consultado el 15 de octubre de 2021. Recuperado de [http://circutor.es/images/stories/virtuemart/product/FO\\_MYeBOX\\_250x250.jpg](http://circutor.es/images/stories/virtuemart/product/FO_MYeBOX_250x250.jpg).

#### **2.3.1. Conexión del analizador de redes eléctricas**

La conexión del equipo analizador corresponde a la configuración eléctrica del banco de transformación que provee el servicio de energía eléctrica al hospital, es este caso: configuración trifásica, estrella en el lado secundario del banco de transformación, voltaje 120/208 VAC.

Figura 6. **Conexión del equipo analizador de redes eléctricas**



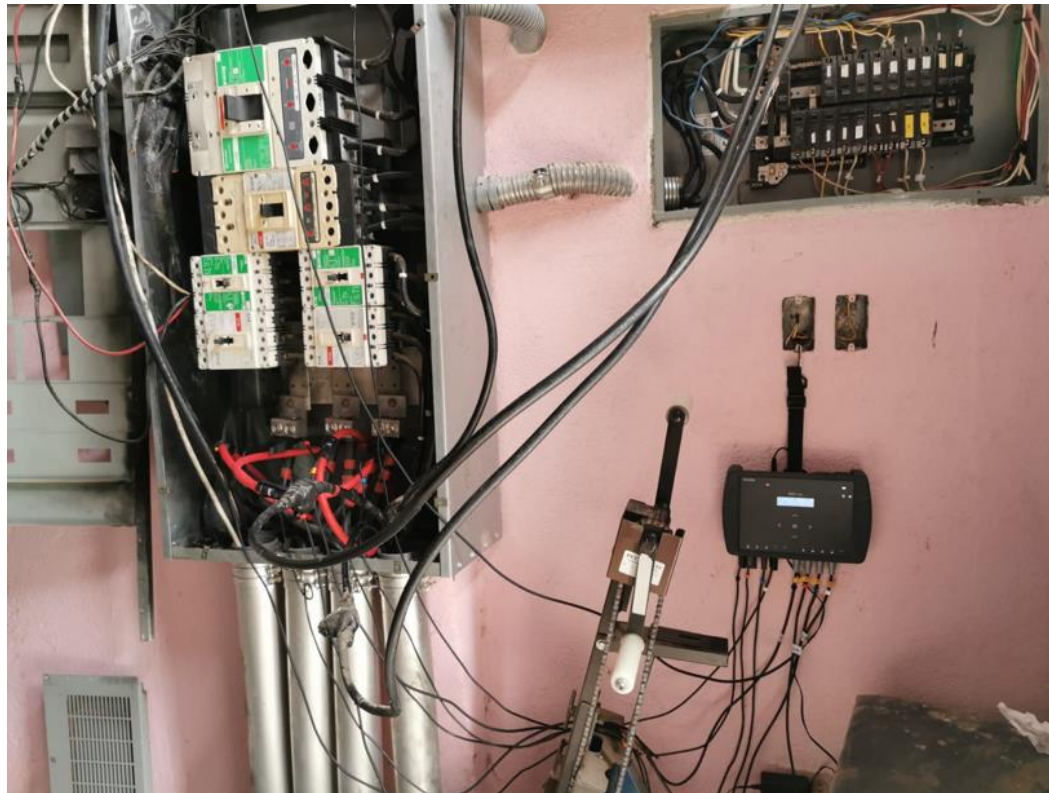
Fuente: Circutor (2020). Conexión del equipo analizador de redes eléctricas. Consultado el 15 de octubre de 2021. Recuperado de <http://docs.circutor.com/docs/M072A01-60.pdf>.

### 2.3.2. **Instalación del equipo analizador de redes eléctricas en el tablero de distribución principal**

El equipo analizador de redes fue conectado de manera temporal en el tablero de distribución principal del Hospital Departamental de Sololá, para

obtener los parámetros eléctricos y realizar gráficas de demanda y tendencia de potencia, durante el período de medición.

Figura 7. **Equipo analizador de redes conectado en tablero de distribución principal**



Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Sololá. 2021). Colección particular. Guatemala.

Los parámetros de voltaje y corriente instantáneos con el equipo analizador de redes eléctricas, conectado en el tablero de distribución principal, se describen en la siguiente tabla.

Tabla II. **Parámetros de voltaje y corriente en el tablero principal**

| <b>Medición</b>       | <b>L1</b> | <b>L2</b> | <b>L3</b> |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Voltaje operación (V) | 120.2     | 122.9     | 114.1     |
| Corriente (A)         | 77.13     | 63.35     | 100.8     |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Donde L1, L2 y L3, representa la medición de la línea, correspondiente a cada fase, con referencia al neutro.

#### **2.4. Identificación de las oportunidades de mejora a las instalaciones eléctricas existentes**

Luego del levantamiento de información realizado al Hospital Departamental de Sololá, se pueden proponer los proyectos de mejora:

- Como proyecto inicial, se puede considerar el reemplazo del alimentador principal, debido a que identificó una caída de tensión del voltaje de fase a fase de 193.94 VAC; el reemplazo del tablero de distribución principal, debido a que no tiene interruptor termomagnético principal, para la protección y seccionamiento del mismo; trabajos de obra civil necesarios para la correcta ventilación del generador de emergencia y el balance de cargas en los tableros de distribución locales.
- Otro proyecto que se puede iniciar es el correcto etiquetado de los alimentadores eléctricos por cada circuito.
- Diseño del sistema de iluminación normal, esto con el fin de utilizar luminarias adecuadas para cada aplicación.

- Diseño del sistema de iluminación de emergencia.
- Diseño para la instalación de rótulos de indicación de salida iluminados.
- Diseño del sistema de fuerza normal y fuerza regulado.
- Validación de cargas denominadas críticas para su incorporación al tablero de emergencia eléctrica.

## **2.5. Sistema de iluminación normal**

El sistema de iluminación normal debe de cumplir con la norma española UNE-EN 12464-1, Iluminación de los lugares de trabajo, parte 1: lugares de trabajo en interiores o equivalente. Esta norma indica que entre los requisitos básicos que debe de cumplir la iluminación son: *confort* visual, es decir una sensación de bienestar, que los trabajadores tengan la iluminación tal que puedan realizar sus tareas visuales y sobre todo que provea seguridad para visualizar áreas y condiciones peligrosas.

De tal manera que la recomendación para salas de maternidad, exámenes y tratamiento, salas de parto y salas de operaciones o quirófanos deben de cumplir con un promedio de 1000 luxes.

## **2.6. Iluminación de rótulos de emergencia**

Actualmente no tiene sistema de iluminación de emergencia, los circuitos de iluminación están en el tablero de distribución que es alimentado por el generador de emergencia. Considerando que el generador es un elemento que puede presentar fallas eléctricas o mecánicas, se recomienda la instalación de

luminarias de emergencia para suplir la necesidad de iluminación en las diferentes áreas.

## **2.7. Sistema de rótulos iluminados de salida dentro de cada sala de atención**

Actualmente no se cuenta con rótulos iluminados para su fácil visualización, estos deben estar instalados dentro de cada sala, próximos a las puertas de salida de cada sala, que cumpla con el código NPFA 101.

**Figura 8. Propuesta de mejora de instalación de luminarias de emergencia y rótulos indicadores de salida dentro de las salas**



Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

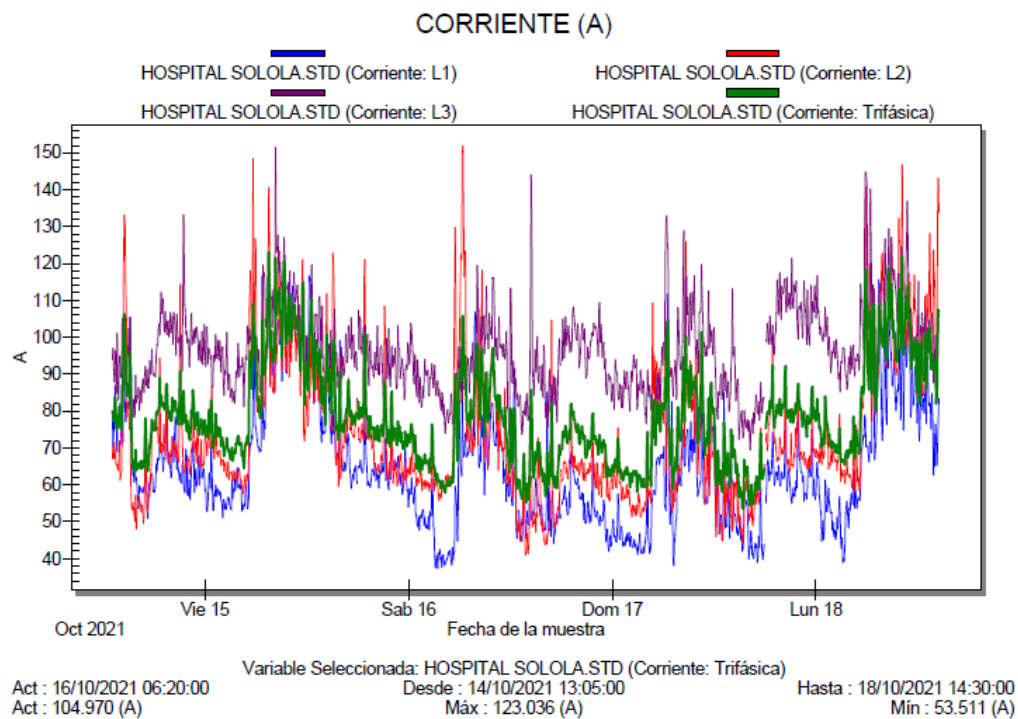
### 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de las instalaciones eléctricas del Hospital Departamental de Sololá.

#### 3.1. Mediciones eléctricas realizadas

Las gráficas siguientes muestran el consumo de corriente, potencia real, potencia aparente, factor de potencia y voltaje.

Figura 9. Comportamiento de la corriente en el período de medición



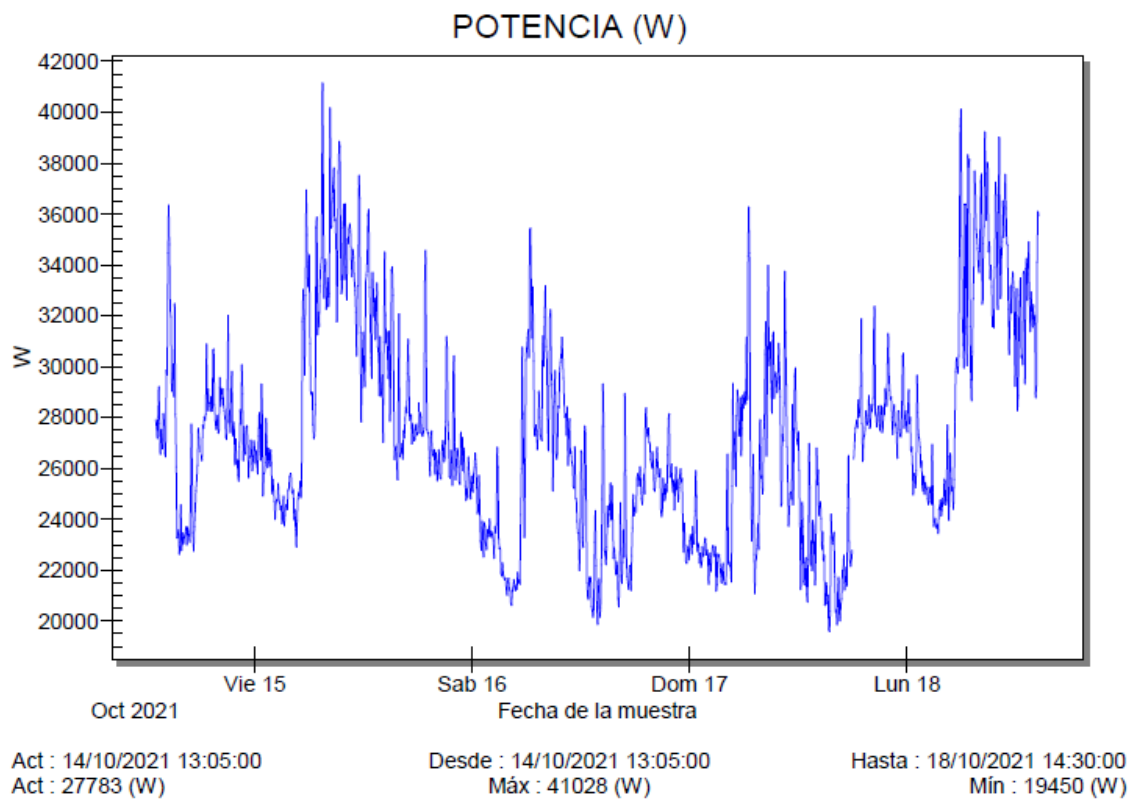
Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision de Circutor.

Tabla III. Corriente en el período de medición

| Parámetro            | Medición |
|----------------------|----------|
| Corriente máxima (A) | 123.04   |
| Corriente mínima (A) | 53.51    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 10. Potencia real en el período de medición



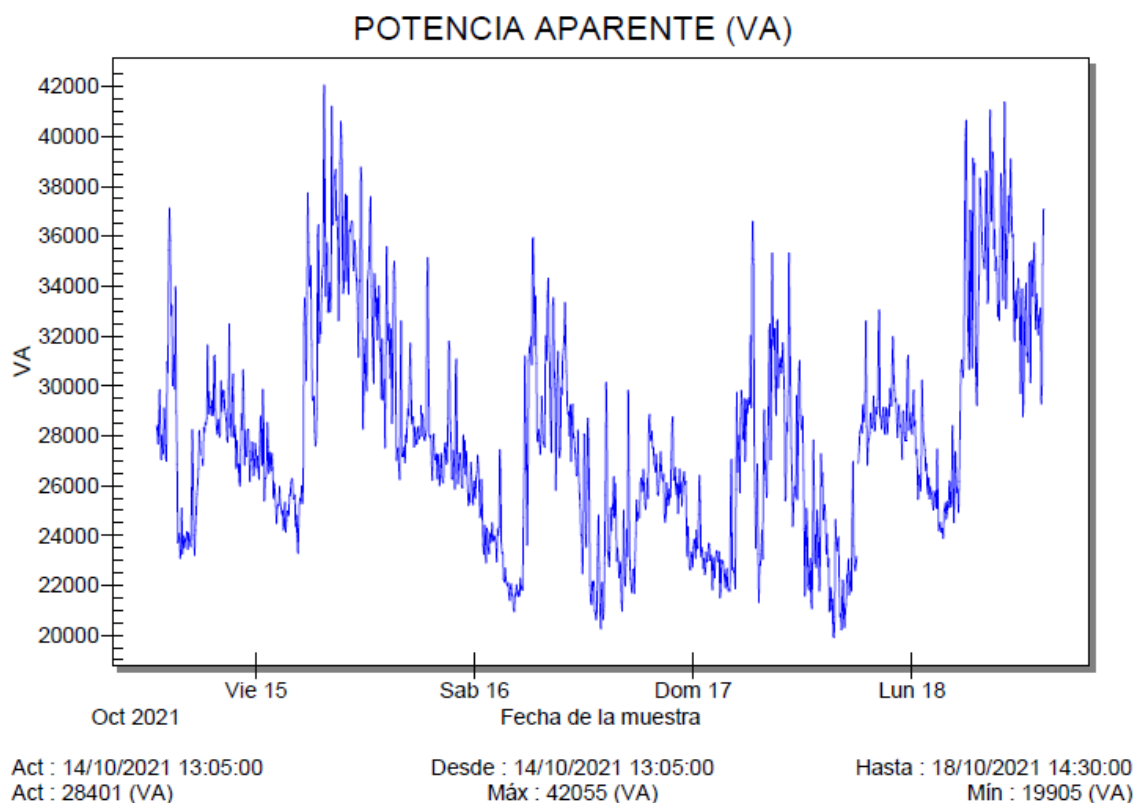
Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision de Circutor.

Tabla IV. **Potencia real en el período de medición**

| Parámetro                 | Medición |
|---------------------------|----------|
| Potencia real máxima (kW) | 41.03    |
| Potencia real mínima (kW) | 19.45    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 11. **Potencia aparente en el período de medición**



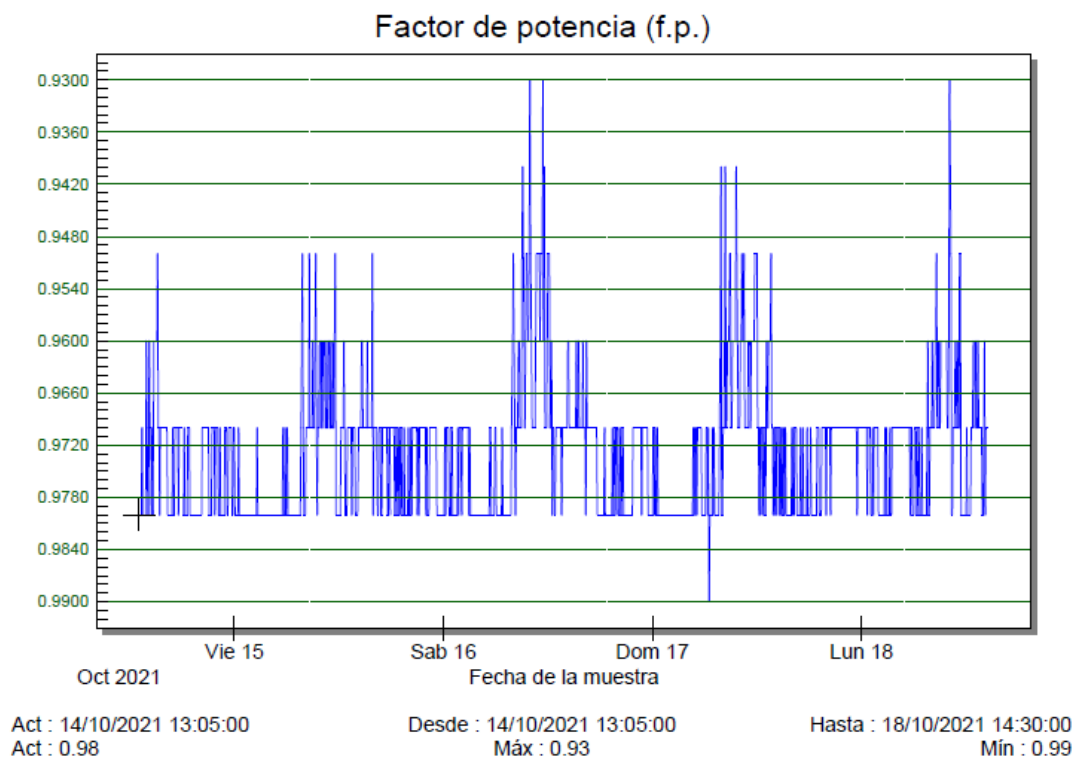
Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision de Circutor.

Tabla V. **Potencia aparente en el período de medición**

| Parámetro                      | Medición |
|--------------------------------|----------|
| Potencia aparente máxima (kVA) | 42.06    |
| Potencia aparente mínima (kVA) | 19.91    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 12. **Factor de potencia en el período de medición**



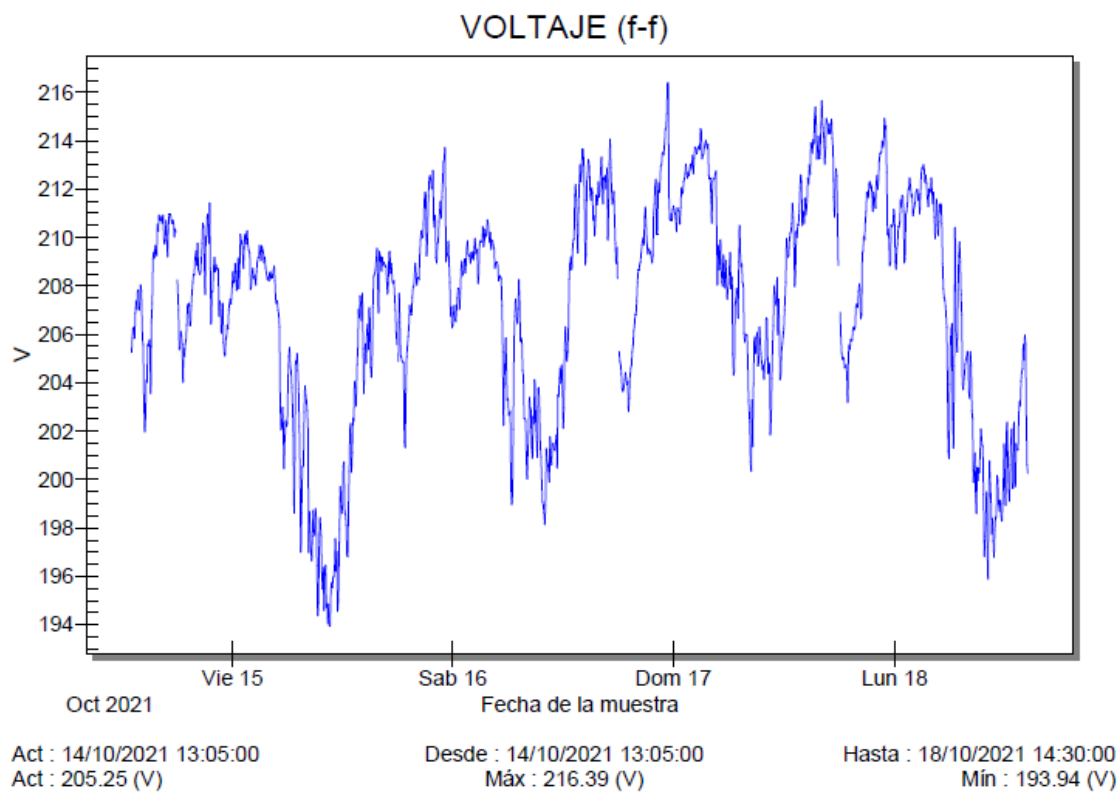
Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision de Circutor.

Tabla VI. **Factor de potencia en el período de medición**

| Parámetro                   | Medición |
|-----------------------------|----------|
| Factor de potencia máximo   | 0.99     |
| Factor de potencia promedio | 0.98     |
| Factor de potencia mínimo   | 0.93     |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 13. **Voltaje fase a fase en el período de medición**



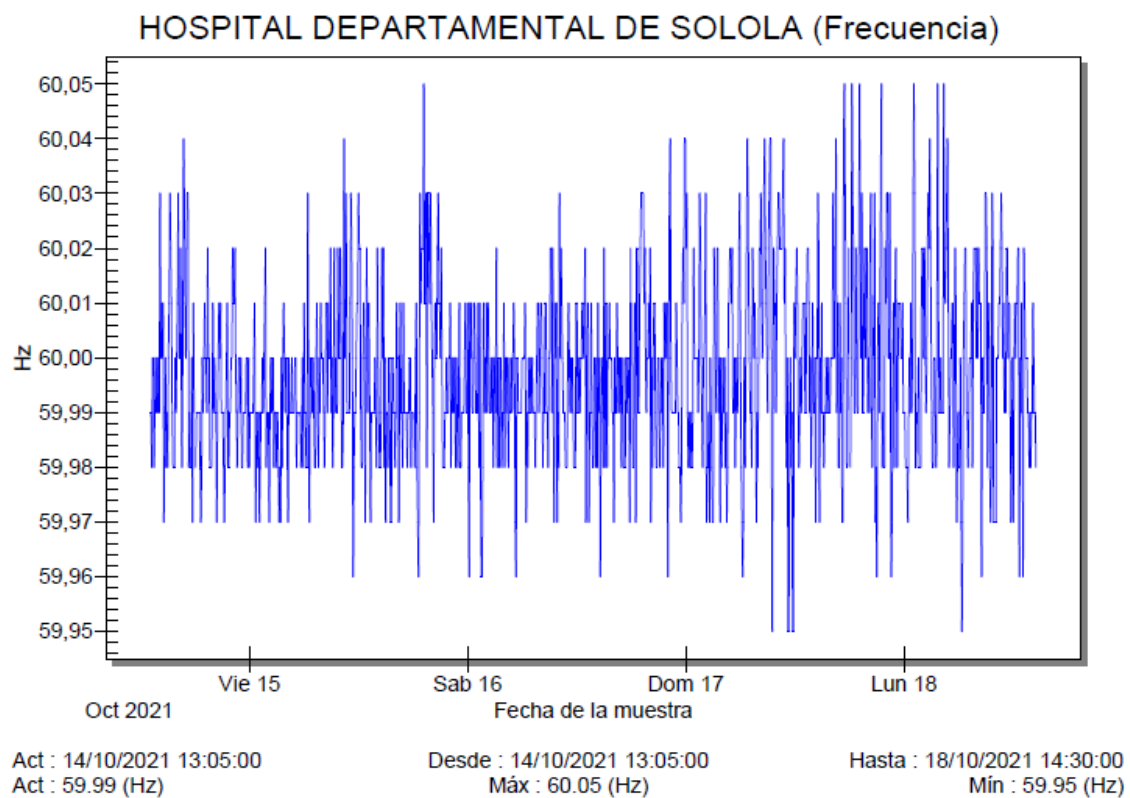
Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision de Circutor.

Tabla VII. **Voltaje fase a fase en el período de medición**

| Parámetro                        | Medición |
|----------------------------------|----------|
| Voltaje fase a fase máximo (V)   | 216.39   |
| Voltaje fase a fase promedio (V) | 205.25   |
| Voltaje fase a fase mínimo (V)   | 193.94   |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 14. **Frecuencia en el período de medición**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision de Circutor.

Tabla VIII. **Frecuencia en el período de medición**

| Parámetro                | Medición |
|--------------------------|----------|
| Frecuencia máxima (Hz)   | 60.05    |
| Frecuencia promedio (Hz) | 59.99    |
| Frecuencia mínima (Hz)   | 59.95    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### 3.2. Luminarias existentes

De la información en planos del sistema de iluminación existente, se elaboró la tabla siguiente:

Tabla IX. **Luminarias del sistema de iluminación existente**

| Edificio | Descripción de la luminaria | Potencia luminaria (W) | Cantidad | Potencia (W) |
|----------|-----------------------------|------------------------|----------|--------------|
| A        | Fluorescente de 2X32 W      | 64                     | 2        | 128          |
| A        | Fluorescente de 2X40 W      | 80                     | 37       | 2,960        |
| A        | Fluorescente de 4X40 W      | 160                    | 46       | 7,360        |
| B        | Fluorescente de 2X32 W      | 64                     | 14       | 896          |
| B        | Fluorescente de 4X40 W      | 160                    | 16       | 2,560        |
| C        | Fluorescente de 2X32 W      | 64                     | 10       | 640          |
| C        | Fluorescente de 4X40 W      | 160                    | 10       | 1,600        |
| D        | Fluorescente de 2X32 W      | 64                     | 3        | 192          |
| D        | Fluorescente de 4X40 W      | 160                    | 36       | 5,760        |
| D        | Fluorescente de 2X40 W      | 80                     | 10       | 800          |
| E        | Fluorescente de 2X32 W      | 64                     | 5        | 320          |
| E        | Fluorescente de 2X40 W      | 80                     | 21       | 1,680        |
| F        | Fluorescente de 2X32 W      | 64                     | 2        | 128          |
| F        | Fluorescente de 2X40 W      | 80                     | 27       | 2,160        |
| G        | Fluorescente de 2X32 W      | 64                     | 9        | 576          |
| G        | Fluorescente de 2X40 W      | 80                     | 21       | 1,680        |

Continuación tabla IX.

|                                                                |                        |     |            |               |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|-----|------------|---------------|
| H                                                              | Fluorescente de 2X32 W | 64  | 27         | 1,728         |
| H                                                              | Fluorescente de 2X40 W | 80  | 1          | 80            |
| H                                                              | Fluorescente de 4X40 W | 160 | 13         | 2,080         |
| I                                                              | Fluorescente de 2X40 W | 80  | 27         | 2,160         |
| <b>Potencia instalada del sistema de iluminación existente</b> |                        |     | <b>337</b> | <b>35,488</b> |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### 3.3. Ahorro energético

La propuesta es reemplazar las luminarias fluorescentes existentes, por luminarias Led de 60 W, con un flujo luminoso 3200 lm, temperatura de color 6,000 °K.

Tabla X. Luminarias propuestas

| Descripción de luminaria                                                  | Potencia luminaria (W) | Cantidad | Potencia (W)  |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|---------------|
| Panel Led 2X2, 60 W, flujo luminoso 3200 lm, temperatura de color 6,000 K | 60                     | 337      | 20,220        |
| <b>Potencia del sistema de iluminación</b>                                |                        |          | <b>20,220</b> |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se realizó el comparativo de entre la potencia instalada con el sistema de iluminación existente y el reemplazo de luminarias, sí obtuvo la diferencia de 15.27 kW de ahorro.

Tabla XI. **Diferencia de potencia de luminarias existentes y luminarias propuestas para reemplazo**

| Descripción de luminaria                   | Potencia (W)  |
|--------------------------------------------|---------------|
| Luminarias fluorescentes existentes        | 35,488        |
| Luminarias propuestas Led                  | 20,220        |
| <b>Potencia del sistema de iluminación</b> | <b>15,268</b> |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Considerando que el sistema de iluminación trabaja 14 horas al día, en un mes, con la diferencia de potencia (15. 27 kW), se obtiene un consumo de energía de 6,412.56 kWh / mes, este dato se ingresó a la calculadora en línea, en la página web de la CNEE, para obtener un estimado del precio que representa este consumo (Q. 12,945.96).

Figura 15. **Detalle de facturación**

**Comisión Nacional de Energía Eléctrica**  
Guatemala, Centro América

Distribuidora: DEOCSA  
 Número de usuario (NIS):  
 Consumo Energía (kWh): 6413  
 Servicio de alumbrado público: ☒ Porcentual  
 Redondeo mes anterior:  
 Promedio: 6,413.0000  
 Lectura Actual: 26/10/2021  
 Lectura Anterior: 25/09/2021

[Calcular](#) [Borrar](#)

**DETALLE DE CARGOS**

|                                | Precios   | Consumo kWh | Importe Q.       |
|--------------------------------|-----------|-------------|------------------|
| Cargo fijo por usuario         | 20.386386 |             | 20.39            |
| Costo de energía kWh           | 2.015527  | 6413 kWh    | 12,925.57        |
| (a) Aporte tarifa social INDE  | No Aplica | 0 kWh       | 0.00             |
| Total Consumo kWh              |           | 6413 kWh    | 0.00             |
| Total Cargo                    |           |             | 12,945.96        |
| Total IVA                      |           |             | 1,553.52         |
| (b) Servicio alumbrado publico |           |             | 0.00             |
| Redondeo mes anterior          |           |             | 0.00             |
| Ajuste por redondeo            |           |             | -0.48            |
| <b>(c) TOTAL A PAGAR</b>       |           |             | <b>14,499.00</b> |

**Notas:**

- a. Este aporte es calculado y aplicado de acuerdo a la metodología y criterios definidos por el INDE.
- b. Tasa autorizada por el Concejo Municipal de su localidad.
- c. El valor resultante es un dato calculado con base en los datos ingresados por el usuario.

**Si existen diferencias entre el monto de su factura y el monto calculado aquí, y considera que se deben a algún error en su facturación, usted puede:**

- Remitir su consulta a CNEE vía e-mail, dando click [AQUÍ](#)
- Presentar su reclamo ante la Distribuidora mediante los medios disponibles (libro de quejas, teleservicio, e-mail, etc.)

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021). *Calculadora de energía eléctrica*.

Se considera un monto de Q. 350.00 cada luminaria nueva y una mano de obra de Q. 50.00 la mano de obra por la instalación de cada unidad. Lo cual da un monto de Q. 134,800.00 sin IVA, para el reemplazo de las luminarias dentro de las salas de atención al paciente.

Para obtener el tiempo de recuperación de la inversión, se indica:

$$\text{Tiempo de recuperación} = \text{Q. } 134,800.00 / \text{Q. } 12,945.96 = 10.4 \text{ meses}$$

Es decir que en menos de un año se recupera la inversión del proyecto de reemplazo de luminarias.

## **4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Garantizar el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas en un hospital, se hace indispensable en la atención de pacientes, es decir garantizar la continuidad del suministro eléctrico, para no comprometer a los pacientes.

Es necesario el reemplazo del cable de la acometida eléctrica desde el interruptor principal, a la salida del banco de transformación, a los bornes de la transferencia, debido a que el existente es cuádruplex 1/0 AWG de aluminio, con capacidad de conducción de 125 amperios, con una distancia de 160 metros. En la medición se identificó que la corriente rms de consumo es de 123 amperios, es decir el conductor está al 98.4 % de su capacidad nominal de conducción, esto influye en la caída de tensión en los bornes del tablero de distribución principal, medición voltaje fase a fase 193.94 voltios.

El tablero de distribución principal no está protegido con un interruptor termomagnético principal, esto debido a que el alimentador eléctrico está conectado a los bornes de las barras del mismo, proveniente de los bornes de transferencia automática.

Como parte de la reingeniería, se debe considerar el correcto dimensionamiento de los alimentadores eléctricos ramales, es decir los conductores eléctricos que alimentan cada tablero de distribución en cada edificio, de igual manera con la selección de sus protecciones eléctricas. En este punto se deben de considerar los supresores de voltaje, para proteger la carga de sobrevoltajes transitorios que puedan afectar el correcto funcionamiento del hospital. Con el correcto dimensionamiento de la carga y de los alimentadores

ramales, se evitará la caída de tensión en los bornes del tablero de distribución de cada ramal, evitando daños en la operación de los equipos.

Es necesario realizar un estudio de coordinación de protecciones para validar el correcto funcionamiento de las protecciones y así garantizar la protección de las personas dentro de las instalaciones y el aislamiento de la falla en caso llegase a suceder.

La potencia de consumo actual, es de 42.01 kVA, el banco de transformación es de 75 kVA y el generador de emergencia de 258.8 kVA, es decir la potencia de consumo actual está cubierta. El banco de transformación tiene 44 % de reserva, en caso requiera la alimentación de otras cargas al hospital. El generador tiene una demanda de potencia del 16.27 %.

El generador trabaja con el 16.27 % de la potencia que puede suministrar, por tanto, no es eficiente energéticamente, dado que está consumiendo más combustible del que requiere para el sostenimiento de la carga del hospital.

En la medición, se tiene que el factor de potencia está dentro del rango de 0.93 y 0.99, siendo un factor de potencia adecuado para la operación del sistema eléctrico, ya que la Norma del Servicio de Distribución (NTSD), indica que el valor mínimo que admite el distribuidor, para usuarios con potencia superiores a 11 kW, como lo es este caso, de 0.90.

En cuanto a la frecuencia medida en el período de la medición, el promedio indica de 59.99 Hz, la norma de Coordinación Operativa No. 4, del AMM, define la frecuencia del Sistema Nacional Interconectado es de 60 Hz, por lo que está en el parámetro justo de operación.

Debido a que las luminarias son de tecnología antigua, se ve un punto de mejora, al considerar el reemplazo de luminarias a tecnologías más eficientes, en un estimado que se realizó da como resultado que es viable, debido a que se puede obtener hasta 6,412.56 kWh – mes de ahorro de energía eléctrica, con un período de inversión de 10 meses, al sustituirlas por luminarias de tecnología Led.

Bajo la línea de iluminación, es necesario que en el hospital cuente con lámparas de emergencia, con baterías de respaldo, para tener iluminación en salas y pasillos, al momento de la transición de la red comercial al generador que alimenta las cargas.

Paralelo a la iluminación de emergencia, se debe considerar rótulos iluminados de salida de emergencia, para tener una correcta señalización que esté acorde al plan de evacuación del hospital.

Este trabajo está basado en la eficiencia energética del hospital, enfocado a las instalaciones eléctricas, pero con ello no se descarta que se pueden tener medidas de eficiencia energética en los sistemas de aguas calientes sanitarias (ACS), también al considerar la renovación de equipos con sellos de eficiencia energética, como refrigeradores, equipos de oxígeno hospitalario, por mencionar unos.



## CONCLUSIONES

1. En la evaluación técnica realizada, se logró determinar que las mejoras que se pueden realizar al sistema eléctrico de distribución a acorto plazo: el reemplazo del alimentador principal, el reemplazo del tablero de distribución principal, debido a que no tiene interruptor termomagnético principal, para la protección y seccionamiento del mismo; la correcta ventilación del generador de emergencia y el balance de cargas en los tableros de distribución locales.
2. La potencia de consumo actual, es de 42.01 kVA, el banco de transformación es de 75 kVA y el generador de emergencia de 258.8 kVA, es decir la potencia de consumo actual está cubierta. El banco de transformación tiene 44 % de reserva, en caso requiera la alimentación de otras cargas el hospital. El generador tiene una demanda de potencia del 16.27 %.
3. Dentro de las oportunidades de mejora son elaborar un diseño de las instalaciones eléctricas que incluya el correcto dimensionamiento del sistema de iluminación normal, por tipo de luminaria y el nivel lumínico; iluminación de emergencia y rótulos de salida de emergencia, porque carece del mismo; el sistema de fuerza o tomacorrientes de uso general y dedicado, para mejorar la distribución y su uso y la validación de cargas denominadas críticas para su incorporación al tablero de distribución principal que tiene energía de respaldo del generador de emergencia.



## **RECOMENDACIONES**

1. Utilizar la metodología descrita en el estudio, para la evaluación de las instalaciones eléctricas de hospitales nacionales.
2. Tomar en cuenta el presente análisis como un caso de muestra de lo que pueden ser las condiciones de las instalaciones eléctricas de la red hospitalaria estatal.
3. Implementar un proyecto para la gestión eficiente de la energía eléctrica para hospitales nacionales.
4. Realizar planes de gestión de mantenimiento para los equipos e instalaciones eléctricas para hospitales.



## REFERENCIAS

1. Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (2013). *Manual de gestor en eficiencia energética sector hospitalario*. Santiago, Chile: Autor.
2. Aranda, A., y Ortego, A. (2011). *Integración de energías renovables en edificios*. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.
3. Autonell, J., Balcells, J., Barra, V., Brossa, J., Fornieles, F., García, B., y Ros, J. (2012). *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*. Barcelona, España: Marcombo, S.A.
4. Becerra, E. y Riquetti, C. (2015). *Estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del hospital Vicente Corral Moscoso* (Tesis de maestría). Universidad de las Fuerzas Armadas, México. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec:8080/jspui/bitstream/21000/10931/1/T-ESPE-049520.pdf>.
5. Bratu, N. y Campero, E. (1995). *Instalaciones eléctricas, conceptos básicos y diseño*. Ciudad de México, México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
6. Cantos, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A.

7. Carta, J. A., Calero, J., Colmenar, A., y Castro, M. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Barcelona, España: Autor.
8. Circutor (2020). *Conexión del equipo analizador de redes eléctricas*. Estados Unidos: Autor.
9. Circutor (2021). *Equipo analizador de redes eléctricas*. Estados Unidos: Autor.
10. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (1999). *Normas Técnicas del Servicio de Distribución*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/03%20NTSD.pdf>.
11. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021). *Calculadora de energía eléctrica*. Guatemala: Autor.
12. De León, V. (2008). *Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería USAC y estudio del aprovechamiento* (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
13. Enríquez, G. (2006). *La calidad de la energía en los sistemas eléctricos*. México: Limusa, S.A. de C.V.
14. Enríquez, G. (2008). *El ABC de la calidad de la energía eléctrica*. México: Limusa, S.A. de C.V.

15. Enríquez, G. (2014). *Instalaciones y sistemas fotovoltaicos*. México: Limusa, S.A. de C.V.
16. Ezquerro, G., Gandolfo, M., Ramos, A., y Urraca, J. (2001). *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación*. Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Recuperado de [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random493f9379c1bec/1228906163\\_Guia\\_Eficiencia\\_Energetica\\_Iluminacion\\_Hospitales\\_IDAE.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random493f9379c1bec/1228906163_Guia_Eficiencia_Energetica_Iluminacion_Hospitales_IDAE.pdf).
17. González, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona, España: Reverté.
18. González, J., Pérez, R. y Santos, A. (2009). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid, España: Frente estudiantil. Recuperado de [http://www.frenteestudiantil.com/upload/material\\_digital/libros\\_varios/proyectos/Centrales%20de%20energias%20renovables%20-%20Gonzalez.pdf](http://www.frenteestudiantil.com/upload/material_digital/libros_varios/proyectos/Centrales%20de%20energias%20renovables%20-%20Gonzalez.pdf).
19. Juárez, H. (2013). *Estudio de calidad de energía en los quirófanos de adultos, Hospital General San Juan de Dios* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0847\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0847_EA.pdf).
20. López, M. (2011). *Hospitales eficientes: una revisión del consumo energético óptimo* (Tesis de doctorado). Universidad de Salamanca. Salamanca, España. Recuperado de [https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/.../DC\\_Lopez\\_Cristia\\_M\\_HospitalesEficientes.pdf](https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/.../DC_Lopez_Cristia_M_HospitalesEficientes.pdf).

21. López, M. (2015). *Sistema de gestión de la energía, mediante la metodología ISO 5000:2011, para la Ciudad Universitaria, zona 12, Universidad de San Carlos* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5345/1/Mario%20Ren%C3%A9%20L%C3%B3pez%20De%20Le%C3%B3n.pdf>.
22. Martínez, B. (2016). *Suministro de energía eléctrica con paneles individuales a la Aldea Searranx, Livingston, Izabal* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
23. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2017). *Hospital Sololá*. Guatemala: Autor.
24. Miralles, J., y Zubiaurre, Joseba. (2015). *Electricista de mantenimiento*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
25. Molina, F. y Taracena, W. (2011). *Propuesta para el mejoramiento del sistema de energía, vapor y agua (EVA) del Hospital de Accidentes 7-19, Área de Quirófanos* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5281/1/Fernando%20Estuardo%20Molina%20Solares%20%26%20Walfred%20El%C3%ADas%20Taracena%20Jim%C3%A9nez.pdf>.
26. Monné, J. (2017). *Análisis de eficiencia energética de un sistema fotovoltaico, conectado a la red para la generación de energía renovable, en una planta de fabricación de muebles* (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Recuperado de  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/7159/1/Ing.%20Jorge%20Alberto%20Monn%C3%A9y%20Alvarez.pdf>.

27. National Fire Protection Association. (2007). *NFPA 70, Código Eléctrico Nacional Edición 2008*. Boston, Estados Unidos: Autor.
28. Pareja, M. (2010). *Energía solar fotovoltaica, cálculo de una instalación aislada*. Barcelona, España: Marcombo, S.A.
29. Pérez, H. (2013). *Estudio técnico/económico para la utilización de paneles solares, en el circuito de iluminación del hospital distrital La Tinta, Alta Verapaz, de acuerdo con la norma NTGDR* (Tesis de licenciatura) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0851\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0851_EA.pdf).
30. Robles, J. (2007). *Planificación para la remodelación del sistema eléctrico del Hospital de Gineco-Obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0658\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0658_EA.pdf).
31. Rodríguez, J., González, L., Rojas, A., y Palacios, J. (2013). *Energía y ambiente*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
32. Sapag, N. y Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Bogotá, D.C., Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.

33. Serra, J. (2007). *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica*. Madrid, España: Circutor.

## APÉNDICE

### Apéndice 1. Generador eléctrico de emergencia



Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Sololá. 2021). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 2. Datos del generador de emergencia

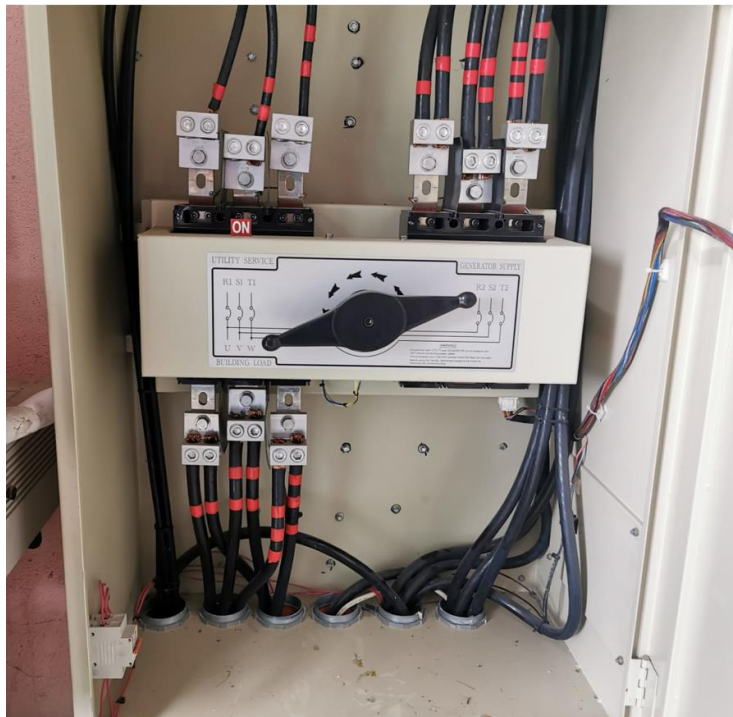
| Parámetro             |                      |
|-----------------------|----------------------|
| Potencia en kVA       | 258.8                |
| Potencia en kW        | 207                  |
| Corriente (A)         | 678.2                |
| Frecuencia (HZ)       | 60                   |
| Operación             | Standby by           |
| Voltaje operación (V) | 120/208              |
| Configuración         | Trifásico / estrella |

Continuación apéndice 2.

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| Factor de potencia (f.p)  | 0.80      |
| Aislamiento del generador | Clase "H" |
| Combustible del motor     | Diesel    |

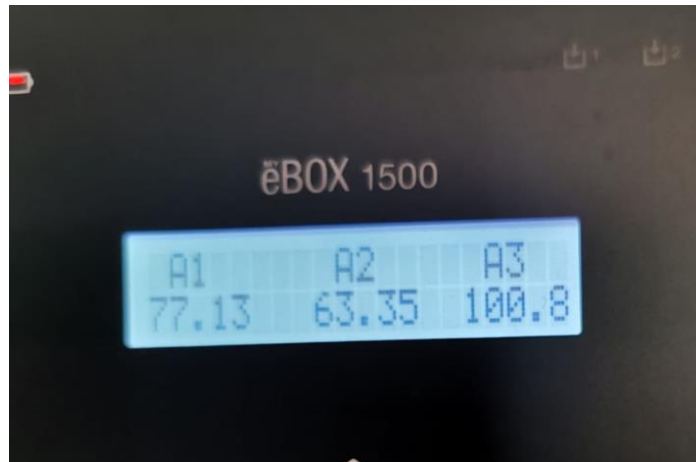
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### Apéndice 3. Transferencia eléctrica automática



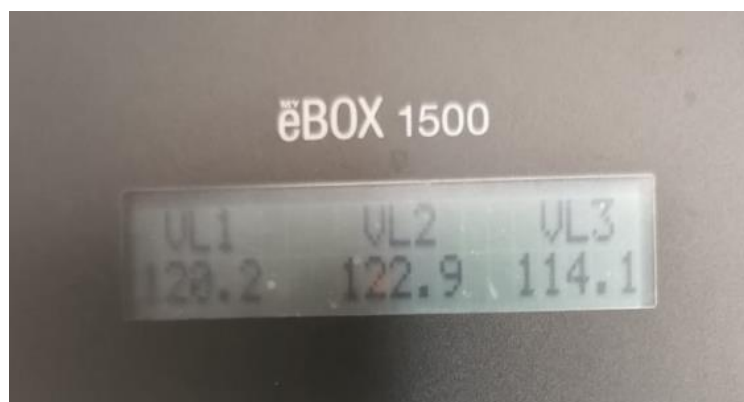
Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Sololá, Sololá. 2021). Colección particular.  
Guatemala.

**Apéndice 4. Pantalla de medición del equipo analizador de redes eléctricas, corriente de consumo**



Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Sololá, Sololá. 2021). Colección particular. Guatemala.

**Apéndice 5. Pantalla de medición del equipo analizador de redes eléctricas, voltaje de suministro**



Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Sololá, Sololá. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 6. **Identificación de circuitos y distribución de circuitos de fuerza normal y de emergencia**



Fuente: [Fotografía de Mario Castellanos]. (Guatemala, Guatemala. 2021). Colección particular.  
Guatemala.