



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Firmado electrónicamente por: José Francisco
Gómez Rivera
Motivo: Autorización electrónica de trabajo de
graduación
Fecha: 12/08/2024 19:16:22
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA
HACIENDO ÉNFASIS EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL HOSPITAL NACIONAL DE
SALUD MENTAL “DR FEDERICO MORA”**

Erick Fernando De León Vargas

Asesorado por el M.A. Ing. Axel Ernesto Seguí Gil

Guatemala, agosto de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA
HACIENDO ÉNFASIS EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL HOSPITAL NACIONAL DE
SALUD MENTAL “DR FEDERICO MORA”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK FERNANDO DE LEÓN VARGAS
ASESORADO POR M.A. ING. AXEL ERNESTO SEGUÍ GIL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

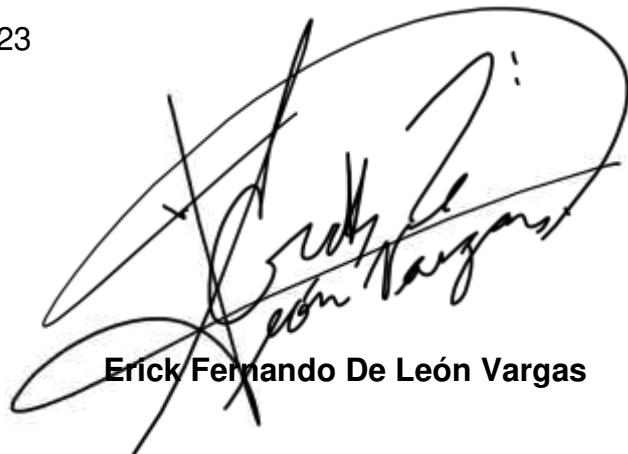
DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Edgar Yanuario Laj
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA HACIENDO ÉNFASIS EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL HOSPITAL NACIONAL DE SALUD MENTAL “DR FEDERICO MORA”

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha de noviembre 2023



The image shows a handwritten signature in black ink. The signature consists of several fluid, overlapping strokes that form the letters 'Erick', 'Fernando', 'De', 'León', and 'Vargas'. Below the signature, the name 'Erick Fernando De León Vargas' is printed in a clean, sans-serif font.

Erick Fernando De León Vargas



EEPFI-PP-0902-2024

Guatemala, 3 de mayo de 2024

Director

Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Mtro. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA HACIENDO ÉNFASIS EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL HOSPITAL NACIONAL DE SALUD MENTAL DR FEDERICO MORA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energía Aplicada - Uso Eficiente de la Energía - Uso eficiente en residencias y edificios**, presentado por el estudiante **Erick Fernando De León Vargas** carnet número **201701180**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía Y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Ensueñada Todos"

Axel Ernesto Siguí Gil
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 14867

Mtro. Axel Ernesto Siguí Gil
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepique
Coordinador(a) de Maestría

Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Oficina Virtual



<https://bit.ly/EFP-OficinaVirtual>



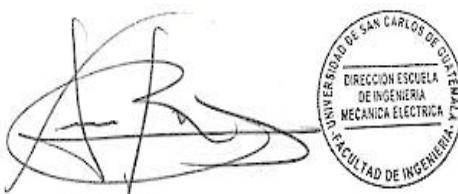
solicituddep@ingenieria.usac.edu.gt



EEP-EIME-0902-2024

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA HACIENDO ÉNFASIS EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL HOSPITAL NACIONAL DE SALUD MENTAL DR FEDERICO MORA**, presentado por el estudiante universitario **Erick Fernando De León Vargas**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, mayo de 2024

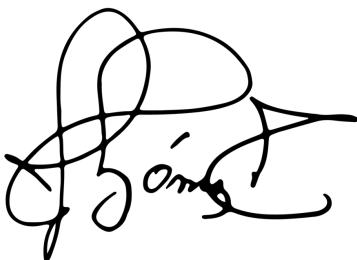
Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.407.2024

El Decano 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 Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA HACIENDO ÉNFASIS EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL HOSPITAL NACIONAL DE SALUD MENTAL “DR FEDERICO MORA”**, presentado por: **Erick Fernando De León Vargas** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Informe final PREGRADOPOSTGRADO
Fecha: 12/08/2024 19:13:03
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, agosto de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 407 CUI: 3000486450101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por acompañarme incondicionalmente, guiar me, darme sabiduría, discernimiento, y sobre todo por amarme. Para Él vivo.
Mi madre	Mara Eugenia Vargas Ayala, por motivarme todos los días a superarme con un gran amor y sacrificio desde el colegio.
Mi padre	Erick Enrique De León Lobos por forjar mi carácter con rigor y afecto para formarme en el hombre que hoy soy.
Mis hermanas	María Renée y Ana Jimena De León Vargas por buscar siempre lo mejor para mí y tomarme como su ejemplo
Abuelos, tíos y primos	Por estar pendientes de mí y desearme siempre lo mejor
Mis amigos	David Aballi, Joel Estrada, José Alvisurez, Marco López, Alejandro Sáenz, Michell Borrero y Mariana Barrientos Por hacer el camino en la universidad una experiencia inolvidable

AGRADECIMIENTOS A:

- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por guiarme en esta etapa de estudios de mi carrera como mi amada *alma mater*.
- Mi asesor** M. A. Ing. Axel Ernesto Seguí Gil, por compartir conmigo su sabiduría y conocimiento haciendo la culminación de este proyecto posible.
- Ingenieros** Por darme las herramientas para aprender cada vez más durante mi paso por la universidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1 Contexto general	9
3.2 Descripción del problema	9
3.3 Formulación del problema	10
3.3.1 Pregunta central.....	10
3.3.2 Preguntas auxiliares	10
3.4 Delimitación del problema.....	10
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1 General.....	15
5.2 Específicos	15
6. NECESIDADES PARA CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
6.1 Etapa No. 1 - diagnóstico y evaluación.....	17
6.2 Etapa No. 2 - desarrollo del plan de eficiencia energética	17
6.3 Etapa No. 3 – implementación	18
6.4 Etapa No. 4 - evaluación y ajuste	18

6.5 Etapa No. 5 - documentación y comunicación de resultados .. 19

7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1	Energía y electricidad.....	21
7.1.1	Energía.....	21
7.1.2	Electricidad.....	23
7.2	Energías renovables	23
7.2.1	Matriz energética en Guatemala.....	26
7.2.2	Energías renovables en Guatemala	27
7.2.2.1	Eólica.....	28
7.2.2.2	Biomasa.....	28
7.2.2.3	Hidroeléctricas	29
7.2.2.4	Geotérmica	30
7.2.2.5	Solar	30
7.2.3	Energía solar fotovoltaica	31
7.2.3.1	Instalaciones fotovoltaicas	31
7.2.3.1.1	Módulos fotovoltaicos ...	32
7.2.3.1.2	Inversor.....	34
7.2.3.1.3	Baterías	35
7.2.3.1.4	Regulador de carga	35
7.2.3.1.5	Estructura soporte	35
7.2.3.2	Diseño de la instalación fotovoltaica	37
7.2.3.3	Instalación	37
7.2.3.3.1	Ubicación y sombras.....	38
7.2.3.3.2	Inclinación óptima	38
7.2.3.3.3	Orientación óptima.....	38
7.2.3.3.4	Distancia entre paneles	39
7.2.3.3.5	Efecto de la temperatura	40

7.3	Ahorro y eficiencia energética.....	40
7.3.1	Tipos de medidas de ahorro y eficiencia energética	40
7.3.2	Illuminación eficiente	41
7.3.2.1	Lámparas led	42
7.4	Retorno de inversión.....	44
8.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	45
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	47
10.	METODOLOGÍA	49
10.1	Características del estudio.....	49
10.1.1	Enfoque	49
10.1.2	Diseño	49
10.1.3	Alcance	50
10.2	Unidades de análisis.....	50
10.3	Variables	50
10.4	Fases del estudio.....	52
10.4.1	Fase 1: consultas bibliográficas	52
10.4.2	Fase 2: diagnóstico y evaluación	53
10.4.3	Fase 3: recolección de datos	53
10.4.4	Fase 4: análisis de información.....	54
10.4.5	Fase 5: documentación y comunicación de resultados	54
10.5	Resultados esperados	55
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	57
11.1	Análisis cuantitativo	57

11.1.1	Análisis de facturas de energía.....	57
11.1.2	Auditoría en sitio.....	58
11.1.3	Análisis de retorno de la inversión (ROI)	58
11.2	Análisis cualitativo	59
11.2.1.	Entrevistas y encuestas.....	59
12.	CRONOGRAMA	61
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	63
REFERENCIAS.....		67
APÉNDICES		71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Intercambios energéticos	22
Figura 2.	Clasificación de fuentes energéticas	25
Figura 3.	Producción de tipos de tecnología y recurso de la matriz energética de Guatemala	26
Figura 4.	Panel solar monocristalino	33
Figura 5.	Panel solar policristalino	34
Figura 6.	Elementos de una instalación solar fotovoltaica.....	36
Figura 7.	Distancia mínima de separación entre módulos	39
Figura 8.	Tabla de equivalencia led, lúmenes vs vatios (W).....	43

TABLAS

Tabla 1.	Ventajas y uso de energías renovables	27
Tabla 2.	Definición teórica y operativa de las variables.....	51
Tabla 3.	Cronograma de actividades	61
Tabla 4.	Recursos necesarios para la investigación	64

1. INTRODUCCIÓN

Tomando en cuenta las dificultades que coexisten entre la salud y la sostenibilidad, los hospitales emergen como centros neurálgicos donde la eficiencia energética se encuentra con la prestación ininterrumpida de servicios médicos. En este contexto, el Hospital Nacional de Salud Mental "Federico Mora" se enfrenta al desafío de armonizar su compromiso con la atención integral a la salud mental con la necesidad imperante de reducir su huella ambiental y optimizar costos operativos.

Esta intersección crítica entre la atención médica y la responsabilidad ambiental es el epicentro de la presente investigación, que busca ofrecer una solución innovadora y sostenible para mejorar la eficiencia energética en este establecimiento. Se tiene también como objetivo, diseñar e implementar un plan integral de eficiencia energética con la finalidad de optimizar costos operativos y mitigar su impacto ambiental.

En un panorama global donde los recursos energéticos son finitos y la urgencia de combatir el cambio climático es imperativa, la implementación de prácticas energéticas eficientes en el ámbito hospitalario no es simplemente deseable, sino esencial. La relevancia de esta investigación radica en su capacidad para marcar una diferencia tangible tanto en la sostenibilidad financiera del hospital como en su contribución a la salud ambiental, destacando la conexión indivisible entre el bienestar humano y la salud del planeta. Aspiramos no solo a mejorar la operatividad del hospital, sino también a sentar un precedente para la industria de la salud en la adopción de prácticas más sostenibles.

La consecución exitosa de este proyecto se traducirá en beneficios multifacéticos. Como prioridad se optimizarán los recursos financieros del hospital, liberando fondos para mejoras en la atención médica y servicios especializados en salud mental. Además, la reducción de emisiones de carbono y la disminución del consumo energético contribuirán a la lucha contra el cambio climático, posicionando al hospital como un actor clave en la responsabilidad ambiental.

Es importante destacar que lo que distingue a este proyecto es su enfoque integral y su carácter innovador. No se limita a la implementación de tecnologías, sino que también abarca la sensibilización y capacitación del personal hospitalario para fomentar una cultura organizacional comprometida con la eficiencia energética. Esta combinación de enfoques técnicos y humanos representa una innovación en la gestión hospitalaria, ofreciendo un modelo integral que va más allá de la mera eficiencia operativa para abrazar la sostenibilidad en su núcleo. Se busca tanto resolver un problema específico, como también liderar un cambio transformador en la forma en que los hospitales gestionan y utilizan la energía, preparando el camino hacia un futuro más saludable y sostenible en Guatemala y el Mundo.

2. ANTECEDENTES

La eficiencia energética se ha convertido en un tema muy importante en la actualidad, ya que dicho tema está directamente relacionado con el creciente interés por la sostenibilidad y la gran necesidad de implementación de las fuentes renovables. Se han creado una infinidad de caminos, métodos, formas y vías para lograr la obtención de una eficiencia energética mediante energías renovables, sin embargo, es bien sabido que uno de los métodos más utilizados a nivel mundial desde hace ya varios años es la instalación de paneles fotovoltaicos, paralelo al cambio de ciertas luminarias antiguas por otras tecnologías más modernas, como lo es la tecnología led, y la definición del consumo de energía eléctrica que tiene cada dispositivo por hora, con el objeto de generar la misma cantidad de energía utilizada y así mejorar la eficiencia reduciendo el monto mensual que se paga al respectivo proveedor por la electricidad.

Con el objeto de lograr una mejor compresión, así como también, una mejora continua en la utilización e instalación de estas tecnologías que usan energías renovables como fuentes de electricidad, se han realizado una gran cantidad de estudios, pruebas, experimentos, instalaciones y cálculos. Muchas veces se hace referencia a los paneles fotovoltaicos enfocados en viviendas particulares que desean poder mejorar su condición de vida y contribuir al cuidado del medio ambiente instalándolos, lo cual tendrá un gran impacto favorable en su factura mensual por el servicio de energía eléctrica.

En el presente trabajo de investigación se estudiará el beneficio que se podría obtener en el pago mensual por el servicio de electricidad al realizar un cambio en el sistema convencional de energía eléctrica, por uno con paneles solares fotovoltaicos en las instalaciones de un importante hospital gubernamental, enfocado en la salud mental. Tomando en consideración también, la implementación de nueva tecnología en luminarias, la adquisición y cambio de dispositivos antiguos que pueden llegar a consumir una cantidad considerable de energía, por dispositivos más modernos que se han fabricado recientemente teniendo como uno de los beneficios prioritarios el bajo consumo de electricidad en el término del tiempo.

Considerando estudios realizados anteriormente por profesionales expertos en la materia de la mejora en la eficiencia energética, como lo es la tesis doctoral de López (2011), esta indica que los edificios hospitalarios son unos de los mayores consumidores de energía. La necesidad de un uso continuado los 365 días del año, las 24 horas, además de los requerimientos de confort y servicios médicos específicos, los convierte en una tipología arquitectónica altamente intensiva. Esto motiva a la administración a incorporar nuevas tecnologías con el objeto de proveer energía de la mejor calidad y cuidar al medio ambiente, enfocado en la economía.

Sabiendo que uno de los puntos más importantes a estudiar para una mejora de la eficiencia de la energía utilizada, se escudriñó la tesis de Aragón (2013), esta sugiere la forma correcta y la definición adecuada un diagnóstico energético, este suele comenzar con la planeación del tiempo y los recursos existentes. Seguido de una recopilación de datos en sitio como un inventario de equipos consumidores de electricidad, inventario de equipos generadores de energía, detección de fugas y desperdicios, análisis del tipo y frecuencia de mantenimiento de los equipos.

Ya contando con esta información se pueden atacar directamente los dispositivos y puntos con mayor consumo.

El Instituto Tecnológico de Canarias [ITC], (2008), nos ayuda a comprender en su libro *Energías renovables y Eficiencia Energética*, que las principales formas de energías renovables que existen son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas. Esto aporta al presente trabajo un entendimiento sobre el origen de las energías renovables y el porqué de la utilización de una de estas en específico para el diseño que se empleará.

Para el desarrollo de proyectos de energía solar, el país cuenta con un recurso importante, el cual tiene un valor anual promedio de radiación solar global de 5.3 kWh/m²/día. Ministerio de Energía y Minas [MEM], (2018). Este informe provee información importante acerca de las energías renovables en Guatemala, ya que el objetivo del presente trabajo es realizar el estudio correspondiente para mejora la eficiencia energética mediante una de estas, como lo es la solar.

La energía solar es la principal fuente de energía del planeta. En condiciones de sol despejado, la radiación solar promedio a nivel del mar es de aproximadamente 1000w/m², Restrepo, (2021). Lo que nos guía a comprender el motivo por el cual este estudio se enfocará en la energía solar para la mejora de la eficiencia energética en el establecimiento en cuestión.

Guatemala es el país que tiene la mayor población en la región del Sistema de Integración Centroamericana; un 28.50 % de los más de 60 millones de habitantes en dicha área, son guatemaltecos. De ahí que también sea uno de los mayores consumidores de recursos energéticos en la región (MEM, 2018).

La elección del tipo de celda solar depende de varios factores, incluyendo la eficiencia deseada, el costo y las condiciones ambientales del lugar de instalación.

La orientación e inclinación de los paneles también juegan un papel crucial en la optimización de la captación solar, además de la selección del material y la configuración óptima de los paneles, es fundamental considerar el diseño de sistemas fotovoltaicos más integrados y eficientes. Esto incluye el uso de inversores que convierten la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna utilizable, Chere-Quiñonez, Ulloa-de & Reyna-Tenorio (2022). Las luminarias solares, que combinan paneles fotovoltaicos con iluminación led, representan una solución eficiente y sostenible para la iluminación pública y privada. Este tipo de aplicaciones demuestra el potencial de la energía solar fotovoltaica para integrarse en nuestra vida cotidiana, ofreciendo soluciones energéticas limpias y eficientes.

La implementación de sistemas de almacenamiento, como baterías, es crucial para superar la intermitencia inherente a la energía solar y asegurar una fuente de energía estable (Santana-Mendoza et. al., 2024).

Ya que dicha instalación proporcionará de cierto porcentaje de energía al establecimiento aun cuando no se tenga la fuente principal, el Sol, en su punto de mayor aprovechamiento.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2015), constituye la nueva estrategia que regirá los programas de desarrollo mundiales en el período 2015. Esta agenda implica un compromiso común y universal que reconoce que cada país enfrenta retos específicos en su búsqueda del desarrollo sostenible.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], (2018). Motivando a Guatemala a apoyar y actuar conforme a las instrucciones de esta asamblea.

Es importante mencionar que, al momento de la instalación de los paneles solares, el establecimiento se convertía en un autoproductor, los cuales están regidos por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), definiéndolos de la siguiente forma; Es el usuario del sistema de distribución que inyecta energía eléctrica a dicho sistema, producida por generación con fuentes de energía renovable, ubicada dentro de sus instalaciones de consumo, y que no recibe remuneración por dichos excedentes (Comisión Nacional de Energía Eléctrica [CNEE], 2023).

La migración de sistemas antiguos y la mejora de la eficiencia energética también tiene un impacto en el medio ambiente, por lo tanto, se estudió el informe del Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], (2020). Y este menciona que el desarrollo, la facilitación y la promoción del acceso a fuentes y tecnologías de energía más limpias pueden contribuir a la adaptación y a mitigar el cambio climático.

Finalmente se necesita definir previo a la instalación, el respectivo ROI (*Retorno Of Investment*), este es definido como una razón que relaciona el ingreso generado por un centro de inversión a los recursos (o base de activos) usados para generar ese ingreso (Cuevas, 2001).

Se realizó esta consulta con el objeto de definir qué significa un retorno de inversión y su importancia respectiva para tomar las decisiones correspondientes poniendo como prioridad el bienestar económico del establecimiento, así como también el de las personas que residen en este.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ineficiencia energética en las instituciones de salud representa un desafío significativo en la actualidad, afectando tanto las operaciones hospitalarias como el medio ambiente circundante. En el caso específico del Hospital Nacional de Salud Mental Federico Mora, se ha observado un alto consumo energético que se traduce en costos operativos elevados. Esta situación no solo pone en peligro la estabilidad financiera del hospital, sino que también impacta negativamente su reputación institucional y, en última instancia, la calidad de los servicios médicos que puede ofrecer.

3.1. Contexto general

La infraestructura obsoleta y la falta de conciencia y tecnologías eficientes son las causas. Resolver este problema es crucial para la sostenibilidad financiera, la reducción de emisiones y la mejora de los servicios médicos.

3.2. Descripción del problema

El Hospital Nacional de Salud Mental Federico Mora enfrenta un problema crítico de ineficiencia energética, y una oportunidad de mejora en cuanto al manejo de residuos evidenciado por un alto consumo y costos operativos. Esto amenaza la estabilidad financiera y contribuye al cambio climático.

3.3. Formulación del problema

La electricidad y la energía han revolucionado al mundo entero, y la tecnología avanza cada vez más, para las instituciones con tecnología antigua, hay pequeñas modificaciones que podrían significar ahorros y mejoras gigantes.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo puede el Hospital Nacional de Salud Mental "Federico Mora" mejorar su eficiencia energética para garantizar un futuro sostenible, reducir costos operativos y mitigar su impacto ambiental?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las principales fuentes de consumo energético en el hospital?
- ¿Qué tecnologías y prácticas energéticas eficientes son aplicables y viables para el hospital?
- ¿Cuál es el costo inicial y el retorno de inversión esperado para la implementación de soluciones de eficiencia?
- ¿Cómo se puede sensibilizar y capacitar al personal del hospital para adoptar prácticas energéticas más eficientes?

3.4. Delimitación del problema

- Temporal: el estudio se llevará a cabo durante un período de 13 meses, comenzando en octubre de 2023 y finalizando en noviembre de 2024.

- Espacial: el enfoque estará exclusivamente en el Hospital Nacional de Salud Mental Federico Mora, ubicado en zona 18, excluyendo otras instituciones médicas para mantener la precisión y profundidad del análisis.
- Disciplinaria: la investigación se centrará en las áreas de energía, ingeniería y gestión ambiental, combinando conocimientos interdisciplinarios para abordar el problema desde múltiples perspectivas como descripción de condiciones temporales, disciplinares, geográficas, y otras, en las que se resolverá el problema.

4. JUSTIFICACIÓN

Tomando en cuenta el impacto en la sostenibilidad financiera, la eficiencia energética reducirá los costos operativos del hospital a largo plazo. Al ofrecer una propuesta con el objeto de optimizar el consumo energético, el hospital podrá asignar más recursos financieros para mejorar la calidad de los servicios de salud mental que ofrece, beneficiando directamente a los pacientes y la comunidad.

Así también sabemos que es necesaria la contribución a la lucha contra el cambio climático, ya que con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la implementación de prácticas energéticas sostenibles es esencial en la lucha global contra el cambio climático. Este proyecto contribuirá significativamente a la mitigación del impacto ambiental del hospital, mostrando un compromiso práctico con la responsabilidad ecológica.

Realizando un modelo replicable y escalable, las soluciones desarrolladas en este estudio podrían servir como un modelo replicable para otros hospitales y establecimientos de salud en la región y a nivel nacional. Al establecer prácticas energéticas eficientes y efectivas, el conocimiento adquirido puede ser compartido para promover la eficiencia energética en toda la industria de la salud. Esto también tendría un gran impacto de avance en la Investigación académica, ya que esta investigación ofrecerá nuevos conocimientos en el campo de la ingeniería energética y la gestión hospitalaria. Al abordar un problema real y complejo, contribuirá al desarrollo de prácticas y tecnologías innovadoras en el contexto hospitalario, enriqueciendo así la literatura científica y académica.

Por último, pero no menos importante, la mejora en la calidad de vida de los pacientes. La eficiencia energética puede contribuir a un ambiente hospitalario más cómodo y seguro para los pacientes. Temperaturas adecuadas, iluminación adecuada y equipos médicos operativos son esenciales para el bienestar de los pacientes, lo que hace que la eficiencia energética sea crucial para su calidad de vida durante su estancia en el hospital.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar y entregar una propuesta para un plan integral de eficiencia energética haciendo énfasis en la energía renovable solar fotovoltaica para el Hospital Nacional de Salud Mental Dr. Federico Mora con el fin de reducir significativamente el consumo de energía convirtiéndose en un autoproductor, optimizando costos operativos y minimizando el impacto ambiental contribuyendo así a un futuro sostenible para la institución.

5.2. Específicos

1. Identificar las fuentes y áreas de consumo energético analizando y señalando las principales áreas y dispositivos del hospital con alto consumo energético, así como falencias en el manejo de los residuos.
2. Desarrollar soluciones eficientes investigando, evaluando tecnologías y prácticas energéticas eficientes en el hospital para reducir el consumo y optimizar costos.
3. Sensibilizar y capacitar al personal mediante el desarrollo de un programa de sensibilización y capacitación, fomentando prácticas energéticas responsables y gestión de residuos adecuada.

4. Calcular costos determinando los costos iniciales para cada tecnología propuesta, considerando el ahorro energético esperado y los beneficios económicos a largo plazo para el hospital.
5. Calcular el impacto de las proyecciones de los resultados para la eficacia de las soluciones propuestas, para después ajustar según sea necesario con el fin de comunicar las lecciones aprendidas y promover la replicabilidad

6. NECESIDADES PARA CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

6.1. Etapa No. 1 - diagnóstico y evaluación

- Identificación de fuentes de consumo energético: realizar una auditoría energética detallada para identificar las principales fuentes de consumo energético en el hospital, desde equipos médicos hasta sistemas de iluminación y climatización.
- Análisis de tecnologías y prácticas eficientes: investigar y evaluar tecnologías y prácticas energéticas eficientes aplicables al contexto hospitalario, considerando soluciones como sistemas de iluminación LED, gestión inteligente de la climatización y fuentes de energía renovable.

6.2. Etapa No. 2 - desarrollo del plan de eficiencia energética

- Cálculo de costos y retorno de inversión: determinar los costos iniciales y estimar el retorno de inversión para cada tecnología propuesta, considerando el ahorro energético esperado y los beneficios económicos a largo plazo.
- Diseño del programa de sensibilización y capacitación: desarrollar un programa integral de sensibilización y capacitación para el personal del hospital, destacando la importancia de la eficiencia energética y proporcionando las habilidades necesarias para la adopción de prácticas más sostenibles.

6.3. Etapa No. 3 – implementación

- Propuesta para instalación de tecnologías eficientes: realizar la propuesta formal para la instalación y modificación de dispositivos enfocados en las tecnologías seleccionadas, como sistemas de iluminación eficientes, sensores de presencia, equipos médicos energéticamente eficientes y, cuando sea factible, integración de fuentes de energía renovable. Efectuar una simulación del comportamiento de dichas energías renovables con el fin de observar la diferencia.
- Sensibilización y formación del personal: ejecutar el programa de sensibilización y capacitación para el personal, asegurando la comprensión y adhesión a las nuevas prácticas y tecnologías.

6.4. Etapa No. 4 - evaluación y ajuste

- Monitoreo continuo del consumo energético: realizar un cálculo a futuro tomando en cuenta los cambios propuestos para evaluar el impacto de las posibles soluciones en términos de consumo energético, costos operativos y emisiones de carbono.
- Ajustes y mejoras continuas: realizar ajustes según sea necesario, identificando áreas de mejora continua y aplicando nuevas tecnologías o prácticas a medida que evoluciona la tecnología y las necesidades del hospital.

6.5. Etapa No. 5 - documentación y comunicación de resultados

- Documentación detallada del proceso: elaborar un informe detallado que documente cada etapa del proceso, desde el diagnóstico inicial hasta la implementación y los resultados obtenidos.
- Comunicación interna y externa: comunicar los resultados a nivel interno y externo, compartiendo lecciones aprendidas, mejores prácticas y resultados tangibles. Esto incluirá la difusión de logros a través de informes internos y la participación en conferencias o publicaciones académicas relevantes.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Energía y electricidad

Con el avance del tiempo la energía y la electricidad cada vez toman un papel más protagónico en la cotidianidad del ser humano, desde la comunicación, la iluminación, incluso en el transporte se ven reflejadas, esto motiva a explorar maneras de utilizarla de manera sustentable en apoyo al medio ambiente.

7.1.1. Energía

La energía indica la capacidad de un cuerpo o sistema para producir transformaciones, con independencia de que éstas se produzcan o no (Carta et al., 2009).

En tal virtud, se observa la capacidad que una fuente como el Sol, mediante procesos químicos y físicos puede transformar su calor en electricidad.

Figura 1.
Intercambios energéticos



Nota. Demostración de intercambios energéticos. Obtenido de J. Carta, R. Calero, A. Colmenar y M. Castro (2009). *Centrales de energías renovables* (p. 13). Pearson Educación.

La energía también se define como la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, entre otros. La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, entre otros, existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía. Prácticamente toda la energía de que disponemos proviene del Sol. El Sol produce el viento, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, las lluvias, entre otros. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los vegetales y de los animales, cuyos restos, con el paso de los siglos, originaron los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural (ITC, 2008).

7.1.2. Electricidad

La electricidad es la forma más sofisticada de energía que existe en la actualidad y permite su transporte entre lugares lejanos de forma económica y eficaz. Para la generación de electricidad a gran escala se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico (ITC, 2008).

La energía eléctrica no es más que el flujo de electrones en el seno de un conductor. El origen del movimiento de los electrones puede ser un generador eléctrico (accionado por una fuente de energía externa), una pila eléctrica (a partir de una reacción química), una fuente de calor (termopar), entre otros.

A su vez, la energía transportada por tal corriente de electrones se transforma en otros tipos de energía, como puede ser electromagnética (iluminación), térmica (calefacción), mecánica (mover un motor eléctrico), entre otros. En definitiva, la electricidad no es energía en sí misma, sino un medio para transportar la energía (Carta, Calero, Colmenar y Castro, 2009).

7.2. Energías renovables

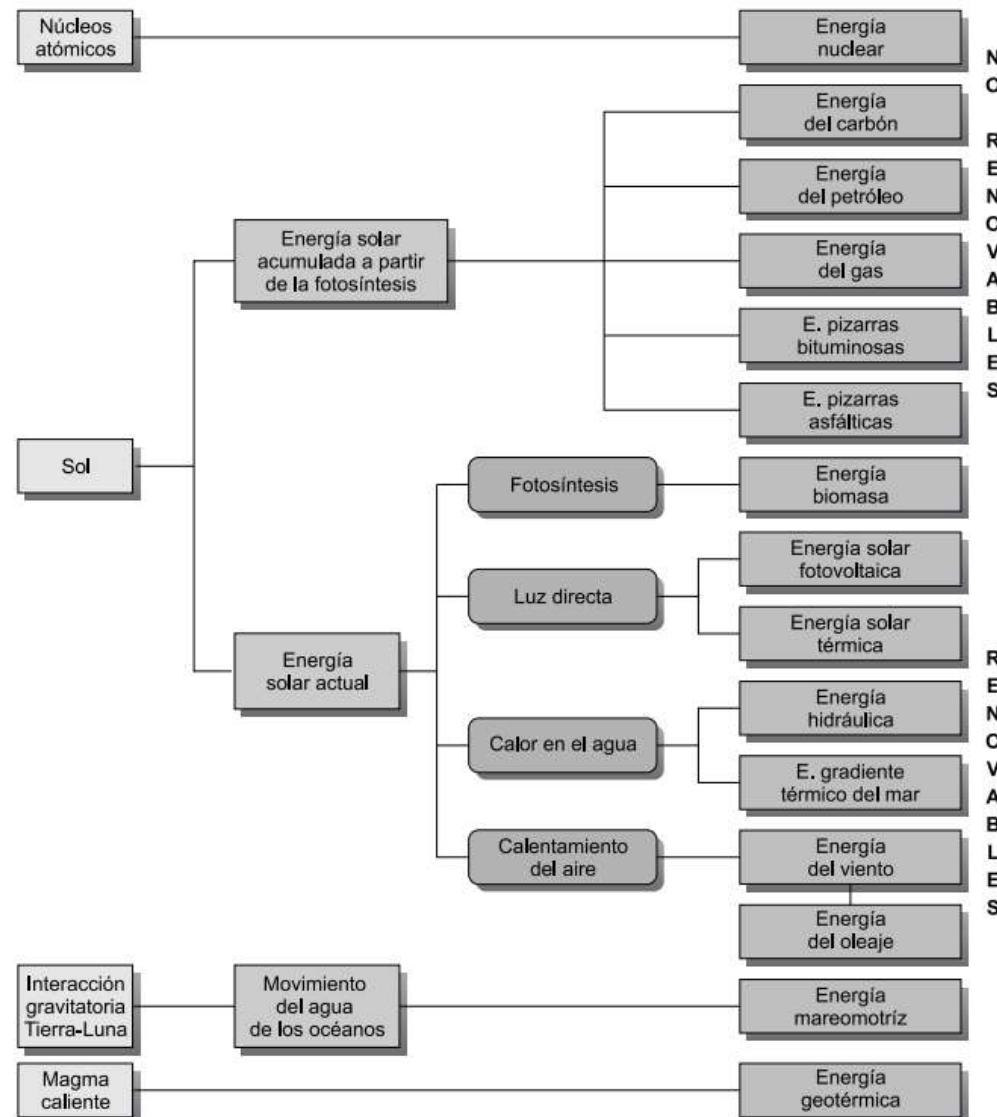
Los recursos energéticos renovables se definen como aquellos recursos que tienen como característica común que no se terminan, o que se renuevan por naturaleza. Dentro de estos recursos se tienen las energías hidráulica, geotérmica, eólica, solar (térmica y fotovoltaica) y la biomásica (leña, carbón vegetal, bagazo de caña de azúcar, biocombustibles y residuos urbanos, forestales, agrícolas y estiércol) (MEM, 2018).

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado (ITC, 2008).

Al utilizar las energías renovables, se asegura un gran beneficio al medio ambiente, así como también al cambio climático, ya que estas a diferencia de las fuentes de energía convencionales o no renovables, mantienen el planeta libre de emisiones constantes buscando siempre su protección.

Figura 2.

Clasificación de fuentes energéticas



Nota. Descripción de la clasificación de las fuentes energéticas. Obtenido de J. Carta, R. Calero, A. Colmenar y M. Castro (2009). *Centrales de energías renovables* (p. 28). Pearson Educación, S.A.

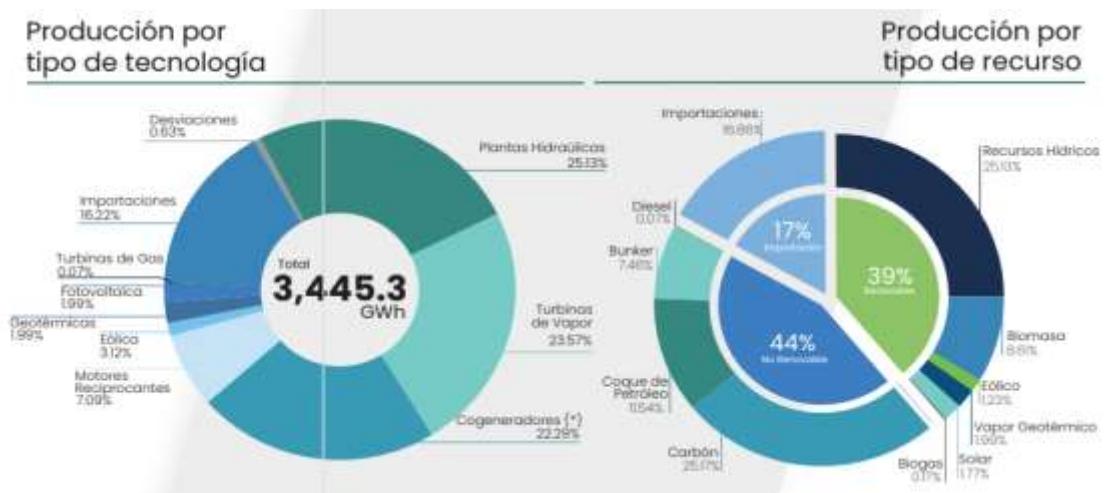
7.2.1. Matriz energética en Guatemala

Una matriz energética es un instrumento útil para evaluar políticas y conocer las tendencias de producción y consumo de acuerdo con las fuentes de generación y sectores (Rúa, 2014).

Analizar esta matriz permite conocer de qué fuentes proviene la energía eléctrica generada en el país. Y de esta manera tener una arista más, acerca del tipo de energía que consumimos y su procedencia, si bien es cierto, no sabemos si el total de la energía que consumimos es proveniente de una única fuente renovable, si podremos contemplar a grandes rasgos la forma en la que el país energéticamente se maneja.

Figura 3.

Producción de tipos de tecnología y recurso de la matriz energética de Guatemala



Nota. Matriz energética de Guatemala. Obtenida de Administrador Del Mercado Mayorista (2023).

Informe Estadístico Segundo Trimestre 2023. (p. 3).

[https://www.amm.org.gt/pdfs2/informes/2023/PRELIMINAR/INFEST20230101_02\(Trimestre_2\).pdf](https://www.amm.org.gt/pdfs2/informes/2023/PRELIMINAR/INFEST20230101_02(Trimestre_2).pdf)

7.2.2. Energías renovables en Guatemala

Guatemala es un país que cuenta con una cantidad considerable de recursos renovables de energía, los cuales a la fecha han sido poco aprovechados.

La afirmación anterior, se deriva del hecho que, existiendo un potencial de 6,000 MW de energía hidroeléctrica y 1,000 MW de geotermia, se aprovecha solamente el 24.1 % de la primera y un 3.5 % de la segunda. Para el desarrollo de proyectos de energía solar, el país cuenta con un recurso importante, el cual tiene un valor anual promedio de radiación solar global de 5.3 kWh/m²/día.

En lo que respecta al recurso eólico, Guatemala tiene sitios con potencial para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica. Este Ministerio dispone de mapas con información de velocidad de viento (m/s) y de densidad de potencia (W/m²), así como, de las mediciones realizadas en el proyecto para la evaluación de este recurso (MEM, 2018).

Tabla 1.

Ventajas y uso de energías renovables

Por sus consecuencias	No producen emisiones de CO ₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera.
Por su producción	Las energías renovables no generan residuos de difícil tratamiento.
Por su uso	Las energías renovables son inagotables.

Continuación de la Tabla 1.

Por su existencia	Las energías renovables son autóctonas.
Por sus efectos económicos	Las energías renovables disminuyen la dependencia del exterior.

Nota. Ventajas por los usos de las energías renovables. Obtenido de MEM (2018). *Las energías renovables en la generación eléctrica en Guatemala*, (<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2019/01/Energ%C3%ADas-Renovables-en-Guatemala.pdf>), consultado el 2 de abril del 2024. De dominio público.

7.2.2.1. Eólica

El Sol calienta de forma desigual las diferentes zonas del planeta, provocando el movimiento del aire que rodea la Tierra y dando lugar al viento.

El viento es, por tanto, energía en movimiento. Al mes de septiembre de 2018, se tienen instalados tres parques de generación eólica conectados al Sistema Nacional Interconectado, con una potencia efectiva instalada total de 106.50 MW (MEM, 2018).

7.2.2.2. Biomasa

Es la energía solar almacenada en los seres vivos, vegetales o animales por medio del proceso de fotosíntesis (vegetales) y la digestión (comida) de estos vegetales por los animales. Se trata, por tanto, de un pequeño porcentaje de la energía solar que llega a la Tierra (Carta, et al., 2009).

Un ejemplo del uso de la biomasa es en la industria azucarera a través de la cogeneración, que se define como la producción de dos o más formas de energía a partir de una sola fuente; una de ellas siempre será calor y la otra podrá ser electricidad o energía mecánica (MEM, 2018).

Este tipo de energía cuenta con bastante materia prima en lugares como lo puede ser los ingenios azucareros, ya que incluso el mismo sobrante de su producto hasta cierto punto puede funcionarles como esta fuente de energía tan útil para sus plantas de producción.

7.2.2.3. Hidroeléctricas

La energía hidráulica es el aprovechamiento de la energía potencial que tiene una corriente de agua por diferencia de alturas, que debido a la gravedad hace que fluya de un terreno más alto a uno más bajo; y de esta forma esa energía se transforma en mecánica por medio de una turbina, que conectada a un generador produce energía eléctrica. Las instalaciones para aprovechar este potencial hídrico se denominan central hidroeléctrica.

Al mes de septiembre de 2018, en centrales hidroeléctricas conectadas al Sistema Nacional Interconectado -S.N.I.-, se tiene una potencia instalada efectiva total de 1,444.27 MW (MEM, 2018).

Esto indica que es una de las fuentes más fuertes en el país, lo que nos lleva a tenerla como prioridad al momento de considerar una nueva instalación, y así aprovecharla.

7.2.2.4. Geotérmica

La energía geotérmica procede de la diferencia entre la temperatura de la superficie terrestre y la de su interior, que va desde una media de 15 PC en la superficie a los 6000 CD que tiene el núcleo interno. Esta diferencia de temperatura provoca un flujo continuo de calor desde el interior de la Tierra hacia la superficie. La temperatura de la Tierra suele aumentar unos 3 °C cada 100 metros; aunque en algunas zonas de la corteza existen anomalías geotérmicas que hacen que la temperatura aumente entre 100 °C y 200 °C por kilómetro, estas zonas son las que mejor se pueden aprovechar desde el punto de vista geotérmico. Las profundidades a las que se suelen situar estas explotaciones geotérmicas están entre 300 y 2000 metros (ITC, 2008).

En Guatemala existen dos centrales de generación geotérmica que se encuentran conectadas al Sistema Nacional Interconectado, y que suman una potencia efectiva instalada de 35.23 MW. Una de estas centrales se localiza en el municipio de Zunil, departamento de Quetzaltenango, y la otra, en el municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla (MEM, 2018).

7.2.2.5. Solar

Es aquella energía que proviene del aprovechamiento directo de la radiación del sol, y de la cual se obtiene:

- Calor
- Electricidad

El calor se capta por medio de colectores térmicos, y la electricidad a través de paneles fotovoltaicos.

Al mes de septiembre de 2018, existen ocho centrales solares fotovoltaicas de generación eléctrica conectadas al Sistema Nacional Interconectado, con una potencia instalada efectiva total de 91.5 MW. Una de estas centrales se localiza en Estanzuela, Zacapa; dos en Chiquimulilla, Santa Rosa; tres en Taxisco, Santa Rosa; una en Moyuta, Jutiapa; y una en Jutiapa, Jutiapa (MEM, 2018).

7.2.3. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una forma de aprovechar la radiación solar para generar electricidad mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en la transformación directa de la luz en corriente eléctrica por parte de unos dispositivos llamados celdas solares. Estas celdas solares se agrupan en módulos o paneles, que a su vez se conectan entre sí para formar sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas pueden ser aislados o conectados a la red eléctrica, y pueden tener diferentes tamaños y aplicaciones, desde pequeñas instalaciones domésticas hasta grandes plantas de generación (Santana-Mendoza et al., 2024).

7.2.3.1. Instalaciones fotovoltaicas

Para poder realizar una instalación fotovoltaica se necesitan de varios dispositivos que conforman todo un sistema, dicho sistema es el que entrará en funcionamiento para realizar la generación de la energía eléctrica, y nos indica que conforma este tipo de sistemas (Santana-Mendoza et al., 2024).

7.2.3.1.1. Módulos fotovoltaicos

Son los encargados de captar la radiación solar y convertirla en electricidad. Están formados por celdas solares, que pueden ser de diferentes tipos según el material semiconductor utilizado, como silicio monocristalino, silicio policristalino o silicio amorfo.

Según Chere-Quiñonez, et al., (2022), para poder obtener la mayor eficiencia de los paneles solares se deben tomar en cuenta la inclinación y la orientación al momento de ser instalados. Si las cargas son pequeñas es común instalarlos en una posición fija; si estas son grandes, las instalaciones tienen sistemas de rastreo solar que giran de acuerdo con la ubicación del sol, aprovechando de mejor manera el recurso solar y también incrementando el coste de la instalación. La orientación de los paneles siempre será la contraria al hemisferio donde estén instalados.

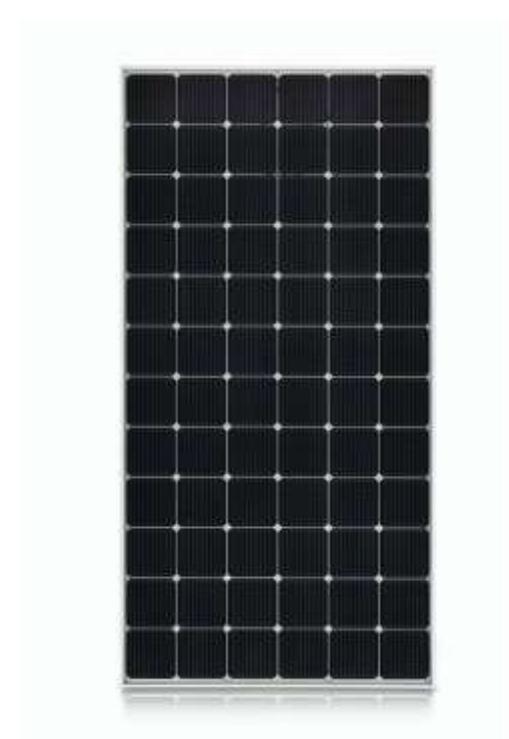
- Tipos de módulos fotovoltaicos

De acuerdo con Morales y Gómez, (2022), actualmente en el mercado eléctrico existen 2 tipos de paneles que se comercializan, estos cuales son:

- Monocristalinos: son diseñados con monocristal de silicio y tiene finalidad la unión del semiconductor de silicio con una pequeña parte de fósforo en un crisol a 1425 °C. Es de decir, que se constituyen con una sola barra de barra de silicio que se encuentra íntegro. Su estructura se aprecia en la Figura 4.

Figura 4.

Panel solar monocristalino

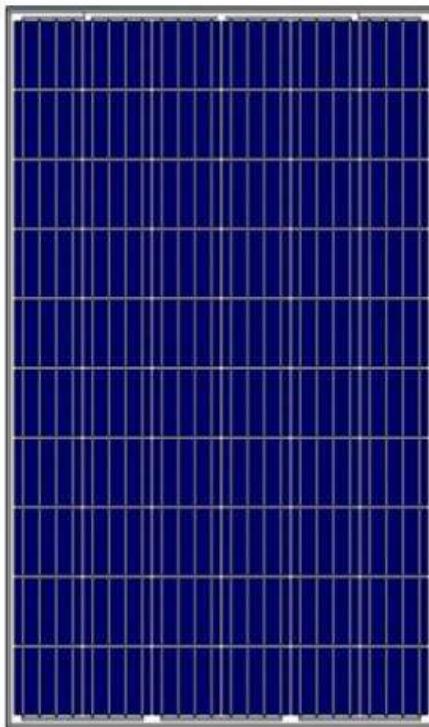


Nota. Panel solar monocristalino. Obtenido de Solar Reviews (2023). *Tipos de paneles solares: ¿cuál es la mejor opción?* (<https://www.solarreviews.com/es/blog/pros-y-contras-de-paneles-solares-monocristalinos-vs-policristalinos>), consultado el 5 de marzo de 2024. De dominio público.

- Policristalinos: estos comenzaron a evolucionar en el mercado por el año 1981, se basan en fragmentos de una barra de silicio, la cual está constituida desorganadamente en formatos de diminutos cristales. La diferencia con el modelo anterior mencionado es que estos son derretidos y esparcido en un molde cuadrado y luego se los dejan enfriar para así poderlos dividir en láminas perfectamente cuadradas, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5.

Panel solar policristalino



Nota. Paneles solares policristalino. Obtenido de Solar Reviews (2023). *Tipos de paneles solares: ¿cuál es la mejor opción?* (<https://www.solarreviews.com/es/blog/pros-y-contras-de-paneles-solares-monocristalinos-vs-policristalinos>), consultado el 5 de marzo de 2024. De dominio público.

7.2.3.1.2. Inversor

Es el dispositivo que convierte la corriente continua (CC) generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (CA) compatible con la red eléctrica o con los aparatos eléctricos.

7.2.3.1.3. Baterías

Son los elementos que almacenan la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos para su uso posterior. Solo son necesarias en los sistemas aislados, ya que en los sistemas conectados a red se puede vender el excedente de energía a la compañía eléctrica.

7.2.3.1.4. Regulador de carga

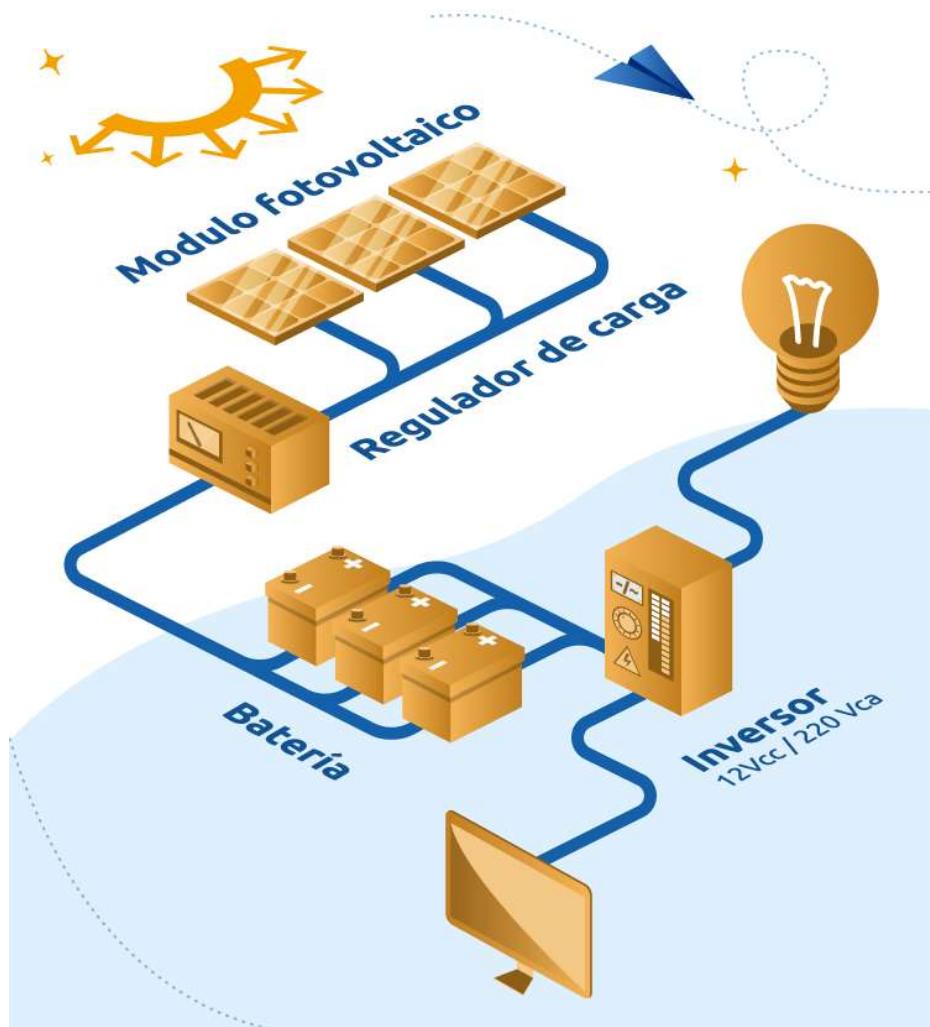
Es el dispositivo que controla el flujo de energía entre los módulos fotovoltaicos, las baterías y los consumos. Su función es evitar la sobrecarga o la descarga profunda de las baterías, protegiendo así su vida útil.

7.2.3.1.5. Estructura soporte

Es el conjunto de elementos que sostienen y fijan los módulos fotovoltaicos al lugar de instalación, ya sea en el suelo, en el tejado o en una fachada. La estructura soporte debe ser resistente a las condiciones climáticas y permitir la orientación e inclinación óptimas de los módulos fotovoltaicos para captar la mayor cantidad de radiación solar posible.

Figura 6.

Elementos de una instalación solar fotovoltaica



Nota. Elementos para la instalación de paneles solares, Obtenido de Grupo SIA. (s.f.).

Elementos de una instalación de energía solar fotovoltaica

(<https://www.gruposia.es/blog/elementos-instalacion-energia-solar-fotovoltaica/>),

consultado el 3 de marzo de 2024. De dominio público.

7.2.3.2. Diseño de la instalación fotovoltaica

Es importante considerar distintos factores al momento de realizar una instalación de un sistema fotovoltaico, por lo que Santana-Mendoza et. al. (2024) sugiere que el diseño de un sistema fotovoltaico requiere un estudio previo del lugar de instalación, la demanda energética, la radiación solar disponible, el tipo y número de módulos fotovoltaicos, el inversor, las baterías, el regulador de carga, el cableado y la estructura soporte. También se debe realizar una tramitación administrativa para obtener los permisos y autorizaciones necesarios, así como un presupuesto y un análisis económico-financiero para evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto. Finalmente, se debe realizar la instalación, el mantenimiento y el seguimiento del sistema fotovoltaico.

La energía solar fotovoltaica tiene varias ventajas frente a otras fuentes de energía, como ser una fuente de energía renovable e inagotable, limpia y silenciosa, descentralizada y autónoma, modular y flexible. Sin embargo, también tiene algunos inconvenientes, como ser una fuente de energía intermitente y variable, con un alto coste inicial de inversión, un bajo rendimiento energético y un impacto ambiental no nulo.

7.2.3.3. Instalación

Es importante tomar en cuenta ciertos criterios al momento de realizar una instalación de un sistema fotovoltaico, ya que la fuente de energía que se utiliza, el Sol, es variable, no se mantiene en un punto fijo, durante la noche no se cuenta con ella, y algunos objetos pueden bloquear la recepción de los paneles generando sombras comprometiendo su capacidad de generación.

7.2.3.3.1. Ubicación y sombras

Según Pérez (2013), para producir el movimiento de los electrones y generar el flujo de corriente, es necesario que el nivel de radiación que incide sobre el panel (fotones) posea una cantidad de energía entre ciertos límites, debido a que la luz incidente tiene distintas longitudes de onda, cerca del 50 por ciento de la radiación recibida no está dentro del margen aceptado por los paneles solares disponibles comercialmente y se pierde, ya sea por poca o demasiada energía. Por otro lado, la corriente es directamente proporcional a la radiación incidente y aceptada por el panel, por lo que un bajo nivel de energía radiante provocará que la corriente generada también sea baja.

7.2.3.3.2. Inclinación óptima

Para obtener el mejor rendimiento de los módulos solares la Inclinación juega un papel protagónico en estos, considerando lo que Pérez (2013), indica en su estudio, se debe procurar, por tanto, que sobre el módulo incide la mayor irradiación posible, y que su temperatura, en cada instante, sea mínima. Esto se consigue con una buena selección de la inclinación, orientación y montaje de los módulos fotovoltaicos. Conviene buscar el ángulo de inclinación de los paneles respecto al plano horizontal que hace máxima la potencia media anual recibida.

7.2.3.3.3. Orientación óptima

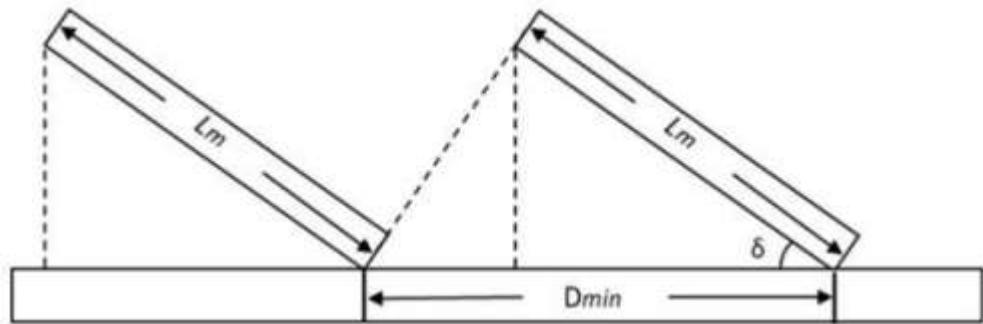
La orientación preferida de los colectores es hacia el sur, debido a que la trayectoria del Sol en movimiento este a oeste es simétrica respecto de la posición que ocupa al mediodía y, a que es precisamente en este momento cuando la captación de energía solar es máxima (Pérez, 2013).

7.2.3.3.4. Distancia entre paneles

Con el objeto de evitar la sobreimpresión, la cual depende de la inclinación y geometría de los arreglos de los módulos se debe analizar la distancia mínima, como se muestra en la Figura 7 y la ecuación 1.

Figura 7.

Distancia mínima de separación entre módulos



Nota. Posición de paneles solares adecuada. Obtenido de A. Morales y D. Gómez (2022).

Dimensionamiento e Implementación de Paneles Fotovoltaicos aplicados al área residencial en un sector costero de la provincia de Guayas, (<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22499>), consultado el 20 de marzo de 2024.

De dominio público.

$$D_{min} = (L_m * \cos\delta) + \frac{L_m * \operatorname{Sen}\delta}{\tan(90^\circ - \delta)}$$

(Ec. 1)

7.2.3.3.5. Efecto de la temperatura

La temperatura es un parámetro que afecta directamente la generación de energía en un panel fotovoltaico. Al aumentar la temperatura, la corriente también tiende a aumentar, pero el voltaje cae notablemente, lo que provoca una disminución de la potencia entregada por el panel, en cambio, al disminuir la temperatura el voltaje tiende a aumentar, pero la corriente disminuye, aumentando en una fracción el nivel de potencia entregada. Se estima que la potencia nominal se reduce aproximadamente un 0.5 por ciento por cada grado por sobre de 25 °C (Pérez, 2013).

7.3. Ahorro y eficiencia energética

Según el libro de del ITC (2008), el ahorro y la eficiencia energéticos se definen como el acto de efectuar un gasto de energía menor del habitual, es decir, consiste en reducir el consumo de energía mediante actuaciones concretas, pero manteniendo el mismo nivel de confort. El ahorro energético conlleva un cambio en los hábitos de consumo; en ocasiones bastaría con eliminar los hábitos que despilfarran energía. Ahorro energético es, por ejemplo, apagar las luces al salir de una habitación; la luz encendida en una habitación vacía no produce ningún beneficio y, sin embargo, está consumiendo energía. La eficiencia energética es el hecho de minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad; supone la sustitución de un equipo por otro que, con las mismas prestaciones, consume menos electricidad.

7.3.1. Tipos de medidas de ahorro y eficiencia energética

Las medidas para lograr el ahorro y la eficiencia energética según el ITC (2008), se pueden clasificar en función de su temática en:

- Medidas de carácter tecnológico: eficiencia energética y sustitución de fuentes de energía contaminantes. Por ejemplo: sustituyendo los combustibles fósiles por energías renovables, con lo que se consigue eliminar las emisiones contaminantes en la generación de electricidad.
- Medidas para un consumo responsable: cultura y pautas para el ahorro energético. Todo esto encaminado a sustituir aparatos y equipos por otros más eficientes, como luminarias de bajo consumo, electrodomésticos más eficientes, sistemas de ahorro automáticos en ordenadores, entre otros.
- Medidas instrumentales: económicas, normativas, fiscales y de gestión.

7.3.2. Iluminación eficiente

Conforme con lo descrito por Gutiérrez, (2014), el empleo más común que se le da a la energía es la iluminación, ya que ocupa el 19 % del consumo de la electricidad mundial. Actualmente, la baja eficiencia en las anteriores tecnologías y el malgaste de la iluminación hacen evidente la necesidad de introducir mejoras en este sector.

Debido a la situación económica, es muy importante optimizar el consumo de energía y utilizar equipamientos eléctricos más eficientes con el fin de reducir costes.

Con la iluminación led es posible reducir el consumo eléctrico hasta un 80 %. Mientras que el rendimiento energético de una bombilla tradicional es del 10 % (sólo una décima parte de la energía consumida genera luz) los diodos Led aprovechan el 90 %). Estos no tienen filamentos u otras partes mecánicas sujetas

a roturas ni a fallos por fundido, no existe un punto en el que dejan de funcionar, sino que su degradación es gradual a lo largo de su vida.

7.3.2.1. Lámparas led

Los diodos emisores de luz o led, pueden ser la tecnología más adecuada para iluminar el mundo, ya que las bombillas de bajo consumo más empleadas hasta ahora (Gutiérrez, 2014).

- Ventajas
 - Alta eficiencia
 - Muy bajo consumo
 - Duración
 - Calidad de la luz emitida
 - Baja emisión de calor
 - Respuesta instantánea
 - Ecológicos
 - Versatilidad
 - Menores emisiones de CO₂
- Desventajas
 - Temperatura ambiente
 - Precios elevados

Figura 8.

Tabla de equivalencia led, lúmenes vs vatios (W)



Tabla de Equivalencia LED

Lúmenes V/S Vatios (W)

LÚMENES	LED	FLUORESCENTES	HALÓGENAS	INCANDESCENTES
80 / 90	< 1W	< →	< ---	< 10W
240 / 270	< 3W	< →	< ---	< 20W
400 / 450	< 5W	< →	< ---	< 35W
560 / 630	< 7W	< →	< 29W	< 50W
800 / 900	< 10W	< 20W	< 40W	< 80W
960 / 1080	< 12W	< 24W	< 49W	< 100W
1200 / 1350	< 15W	< 30W	< 62W	< 120W
1600 / 1800	< 20W	< 40W	< 80W	< 150W
4800 / 5400	< 60W	< 120W	< 250W	< 400W
6400 / 7200	< 80W	< 160W	< 330W	< 450W
7200 / 8100	< 90W	< 180W	< 370W	< 550W
9600 / 10080	< 120W	< 240W	< 500W	< 750W
12000 / 13500	< 150W	< 300W	< 620W	< 900W
13800 / 14400	< 160W	< 320W	< 663W	< 950W
AHORRO ENERGÉTICO	+ DE 80%	+ DE 60%	+ DE 30%	0%

www.lacasadelalampara.com

Nota. Equivalencias en potencia y consumo de los tipos de lámparas. Obtenido de La Casa de La Lámpara (s.f.). *Tipos de bombillas ¡Todo lo que necesitas saber!* (<https://www.lacasadelalampara.com/tipos-de-bombillas/>), consultado el 3 de marzo de 2024. De dominio público.

7.4. Retorno de inversión

Cuevas (2001) nos indica que el ROI (retorno de inversión), es una razón que relaciona el ingreso generado por un centro de inversión a los recursos (o base de activos) usados para generar ese ingreso.

Tomando en cuenta la definición anterior es de vital importancia definir un punto de partida, este punto de partida abarca el consumo actual de energía eléctrica que el establecimiento tiene, esto considerando el tipo de iluminación, la antigüedad de sus dispositivos como lo pueden ser los aires acondicionados, las lavadoras, las televisiones y la cultura en cuanto al ahorro energético del personal que reside y labora en dicho lugar. Una vez se cuente con los datos anteriormente mencionados será necesario hacer una estimación de la inversión a realizar, dicha inversión estará comprendida por la instalación del sistema fotovoltaico, el cambio de luminaria, la consideración de migración a tecnologías más modernas y mejoramiento de sus dispositivos consumidores de energía.

Con estos datos recopilados del consumo actual detallado y la inversión a realizar, se podrá realizar una tabla en la que se establezca el tiempo en el que dicha inversión traerá réditos positivos, ya que dentro de la vida útil del sistema fotovoltaico aún funcionará como un ahorro, ya que éste superara en dicho tiempo, la inversión realizada, evitando un pago mensual elevado como lo pudo significar el mismo consumo en una época sin la mejora de la eficiencia energética que se plantea realizar.

Este estudio se realiza con el objeto de ver la viabilidad y factibilidad de la realización del proyecto en términos financieros y económicos, los que permite tener una arista previa de cómo este mismo beneficiará al establecimiento y en cuanto tiempo lo hará.

8. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis de la investigación no aplica para el presente trabajo.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Energía y electricidad

2.1.1. Energía

2.1.2. Electricidad

2.2. Energías renovables

2.2.1. Matriz energética en Guatemala

2.2.2. Energías renovables en Guatemala

2.2.2.1. Eólica

2.2.2.2. Biomasa

2.2.2.3. Hidroeléctricas

2.2.2.4. Geotérmica

2.2.2.5. Solar

2.2.3. Energía solar fotovoltaica

- 2.2.3.1. Instalaciones fotovoltaicas
 - 2.2.3.1.1. Módulos fotovoltaicos
 - 2.2.3.1.2. Inversor
 - 2.2.3.1.3. Baterías
 - 2.2.3.1.4. Regulador de carga
 - 2.2.3.1.5. Estructura soporte
- 2.2.3.2. Diseño de la instalación fotovoltaica
- 2.2.3.3. Instalación
 - 2.2.3.3.1. Ubicación y sombras
 - 2.2.3.3.2. Inclinación óptima
 - 2.2.3.3.3. Orientación óptima
 - 2.2.3.3.4. Distancia entre paneles
 - 2.2.3.3.5. Efecto de la temperatura
- 2.3. Ahorro y eficiencia energética
 - 2.3.1. Tipos de medidas de ahorro y eficiencia energética
 - 2.3.2. Iluminación eficiente
 - 2.3.2.1. Lámparas led
- 2.4. Retorno de inversión

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Características del estudio

El estudio tiene un enfoque de naturaleza mixta, un diseño no experimental y un alcance de tipo descriptivo y cuantitativo.

10.1.1. Enfoque

Para definir las características del estudio de la investigación, es necesario también establecer el enfoque de este, el cual estará orientado en la medición, de naturaleza mixta. Dicha elección tiene como fundamento la posibilidad de cuantificar y describir tanto la información recopilada durante el desarrollo de la investigación como los resultados que se obtendrán. En tal virtud, se tendrá la posibilidad de medir los datos, contabilizarlos y someterlos a un análisis numérico.

10.1.2. Diseño

Referente al diseño del estudio, se selecciona uno no experimental. Esta selección se debe a que se analizarán datos que ya han acontecido, tomando en cuenta que el objetivo es definir el consumo de energía eléctrica del establecimiento en cuestión y así poder realizar la propuesta para una mejora en cuanto a su eficiencia, enfocándose en la energía renovable solar mediante módulos fotovoltaicos, en tal virtud, el presente estudio se restringirá a variables cuantitativas, ya que de esta misma naturaleza serán los datos estudiados, los métodos de análisis empleados y los resultados obtenidos.

Esto significa que los valores anteriormente mencionados podrían abarcar cualquier intervalo numérico a nivel de medición.

10.1.3. Alcance

Referente al alcance, este se definirá como descriptivo y cuantitativo. Las características de los dispositivos utilizados que consumen una cantidad específica de energía eléctrica, estos valores ya son conocidos, así como también el valor mensual del pago por este consumo, es así como el objetivo será exponer los resultados derivados del análisis de datos empleado. Para que con estos valores se defina la mejora esperada con la tecnología propuesta.

10.2. Unidades de análisis

Se focalizará en el análisis de la entidad bajo estudio, que es el establecimiento hospitalario referente a la salud mental en Guatemala. Se abarcarán muestras con intencionalidad, examinándolas en su totalidad para el análisis.

10.3. Variables

A continuación, se describen las variables que serán objeto de estudio

Tabla 2.*Definición teórica y operativa de las variables*

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Consumo de energía eléctrica mensual [KWh]	El consumo energético es la cantidad total de energía que se necesita para un proceso determinado y se mide en kilovatios hora (kWh).	Se obtendrá mediante la recopilación de los datos que se muestran en la factura electrónica que provee la empresa eléctrica
Consumo de energía eléctrica específica [KWh]	Cantidad total de energía que se necesita para el proceso que un dispositivo en específico realiza.	Se obtendrá visitando el establecimiento en cuestión, validando cada uno de los dispositivos que consumen energía y como esto afecta en la factura mensual
Eficiencia energética	Optimización del consumo energético para alcanzar unos niveles determinados de confort y de servicio.	Se ajustará el consumo de electricidad a las necesidades reales de los usuarios, implementando mecanismos para ahorrar energía evitando pérdidas durante el proceso.
Proyección en la diferencia del pago por consumo [Q] (Pliegos tarifarios)	Tarifa a la cual está sujeto el establecimiento en cuestión según la empresa distribuidora de energía eléctrica.	Se definirá el consumo actual, y se realizará la proyección con respecto al sistema fotovoltaico a instalar, así como también según el cambio en los dispositivos utilizados. Lo que demostraría la mejora energética planteada.
Cargos fijos [Q/ Usuario mes]	Es independiente del consumo del usuario y se aplicará aun sin consumo de manera mensual.	Cargo que se adjudica al usuario dependiendo de su denominación, ya que varía si el usuario se convierte en auto productor.

Continuación de la Tabla 2.

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Cargo por potencia contratada [Q]	Cargo que depende de la potencia que ha contratado el usuario que va incluido mensualmente.	Cargo variable dependiendo si el usuario es usuario regulado o gran usuario validando la comercializadora que provee el servicio.

Nota. Definición de las variables planteadas. Elaboración propia, realizado con Word.

10.4. Fases del estudio

Se describen a continuación las fases en las que se realizará el análisis del consumo de energía eléctrica, así como también la modificación en dispositivos con el objeto de mejorar la eficiencia y la reducción en el presupuesto.

10.4.1. Fase 1: consultas bibliográficas

En la primera fase se realizará una consulta de todas las bibliografías posibles relacionadas al tema, anteriormente mencionados en los antecedentes, para enriquecer los conocimientos sobre el consumo energético actual, así como también las maneras más eficientes para disminuirlo en cuanto a los dispositivos utilizados y las posibles fuentes renovables para su instalación.

10.4.2. Fase 2: diagnóstico y evaluación

Se identificarán las fuentes de consumo energético realizando una visita para identificar las principales fuentes de consumo energético en el hospital, desde equipos médicos hasta sistemas de iluminación y climatización.

Es importante realizar el análisis de tecnologías y prácticas eficientes, esto se realizará investigando y evaluando las tecnologías y prácticas energéticas eficientes aplicables al contexto hospitalario, considerando soluciones como sistemas de iluminación led, gestión inteligente de la climatización y fuentes de energía renovable.

Esto con el fin de poder tener un punto de partida en cuanto a la forma en la que actualmente se maneja el establecimiento en cuestión, su forma de utilizar ciertos dispositivos, la antigüedad de estos, la cultura personal interna y cómo mitigar las malas prácticas y así llevar a buen término una implementación tan importante como lo puede ser la de módulos fotovoltaicos impulsando la mejora en la eficiencia energética.

10.4.3. Fase 3: recolección de datos

Para esta etapa se recopilarán toda la información que se utilizará para evaluar los consumos que ha tenido el establecimiento en cuestión, específicamente documentos contables de la empresa eléctrica que corresponden a cierto tiempo atrás, con el objeto de almacenarlos para realizar un promedio y saber un dato bajo el cual poder realizar una comparación con respecto al dato de ahorro y mejora de la eficiencia esperado.

10.4.4. Fase 4: análisis de información

Se considera para esta etapa la simulación, o en su defecto los cálculos correspondientes de los cambios planteados para la mejora de la eficiencia energética tomando en cuenta el comportamiento de dichas energías renovables con el fin de observar la diferencia. Para después ejecutar el programa de sensibilización y capacitación para el personal, asegurando la comprensión y adhesión a las nuevas prácticas y tecnologías.

Es importante realizar los cálculos de costos y el retorno de inversión de este, esto se atacará determinando los costos iniciales que representa el consumo energético y la diferencia que creará la tecnología propuesta considerando el ahorro energético esperado, así como los beneficios económicos a largo plazo.

Se contempla también realizar ajustes según sea necesario, identificando áreas de mejora continua y aplicando nuevas tecnologías o prácticas a medida que evoluciona la tecnología y las necesidades del hospital.

10.4.5. Fase 5: documentación y comunicación de resultados

Se contempla elaborar una descripción detallada que documente cada etapa del proceso, desde el diagnóstico inicial hasta la implementación y los resultados obtenidos. Esto para poder determinar mediante los datos analizados anteriormente la manera correcta de implementar las tecnologías y el beneficio que tendría la implementación de módulos fotovoltaicos para disminuir los costos del consumo energético y mejorar las condiciones de vida del personal presente en el hospital.

Seguidamente también se espera comunicar los resultados a nivel interno y externo, compartiendo lecciones aprendidas, mejores prácticas y resultados tangibles. Esto incluirá la difusión de logros a través de informes internos y la participación en presentaciones al personal y residentes del hospital.

10.5. Resultados esperados

Tomando en cuenta las interrogantes de la investigación, los objetivos establecidos y las variables, se espera obtener los siguientes resultados:

- Una amplia disminución en los costos mensuales por consumo eléctrico en las instalaciones del hospital garantizando un futuro sostenible mediante energías renovables.

Determinar que las principales fuentes de consumo son las más antiguas en cuanto a sus tecnologías y que necesitan renovación. Ya que falta la implementación de tecnologías como el led.

- Capacidad del 100 % de instalación de generación con módulos fotovoltaicos convirtiendo al hospital en un candidato completo para ser un autoproductor con excedentes de energía.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En esta sección se describirán las diversas técnicas de análisis que se utilizarán como instrumentos para la recopilación de datos, y así enriquecer la investigación con información a obtener. Las técnicas a continuación mencionadas desempeñarán un papel fundamental para poder obtener las respuestas a las preguntas planteadas, así también los objetivos previamente establecidos.

11.1. Análisis cuantitativo

Como parte del estudio, una de las técnicas a emplear será el análisis cuantitativo ya que este se basa en la aplicación de modelos matemáticos o estadísticos para codificar los resultados obtenidos en una investigación.

11.1.1 Análisis de facturas de energía

Para este estudio se precisa realizar un análisis detallado de las facturas de energía eléctrica que consume el hospital en un periodo de tiempo significativo, como mínimo 3 meses, identificando el consumo mensual y los costos asociados.

Es pertinente cuantificar el consumo total de energía eléctrica durante el período analizado, expresado en kilovatios-hora (kWh), así como también el costo total de la energía eléctrica consumida durante el mismo período, expresado en la moneda local. Esto implica multiplicar el consumo de energía por

el costo por unidad de energía, como se indica en las facturas. Esto con el objeto de comprender las razones detrás de estos consumos.

Analiza la estructura tarifaria de la compañía eléctrica para comprender cómo se calculan los costos y cómo podrían cambiar con la implementación de medidas de eficiencia energética o la generación de energía renovable.

11.1.2 Auditoría en sitio

Para poder definir cómo es que se consume la energía en el establecimiento, es importante realizar una visita al mismo con el objeto de realizar una auditoría energética en el lugar. Se debe recorrer las instalaciones para poder tomar nota de los equipos y sistemas que consumen energía, como sistemas de climatización, iluminación, equipos médicos, entre otros.

Seguidamente se debe determinar el costo operativo de cada equipo o sistema en términos de energía. Esto tomando en cuenta el costo de energía por hora de funcionamiento.

Luego de realizar el recorrido, procede identificar las posibles áreas de mejora de eficiencia energética, como la optimización de sistemas de iluminación, la mejora de la gestión de la climatización e instalación de equipos más eficientes.

11.1.3 Análisis de retorno de la inversión (ROI)

Este análisis implica calcular el retorno de la inversión esperado de la instalación de paneles solares fotovoltaicos. Se considerará el costo inicial de la instalación, incluyendo el costo de los paneles solares, equipos de inversión, instalación, mantenimiento, entre otros.

Posteriormente se hace un cálculo en cuanto a los ahorros esperados en costos de energía eléctrica a lo largo del tiempo como resultado de la generación de energía solar. Y así poder determinar el período de retorno de la inversión dividiendo el costo inicial de la instalación entre los ahorros anuales esperados en costos de energía.

11.2. Análisis cualitativo

También es importante utilizar como técnica de estudio el análisis de datos cualitativo, ya que este se define como un proceso mediante el cual se extraen conclusiones de datos no estructurados y heterogéneos que no son expresados de forma numérica o cuantificable. Se habla de un proceso que permite, a través de un conjunto de técnicas, extraer conclusiones de una masa de datos en forma textual o narrativa, e incluso de imágenes.

11.2.1. Entrevistas y encuestas

Se estima realizar entrevistas con el personal que reside y trabaja en el establecimiento, incluyendo administradores, personal médico, personal de mantenimiento, entre otros. Preguntando sobre sus hábitos de consumo de energía, percepciones sobre la eficiencia energética y cualquier sugerencia que puedan tener para mejorar.

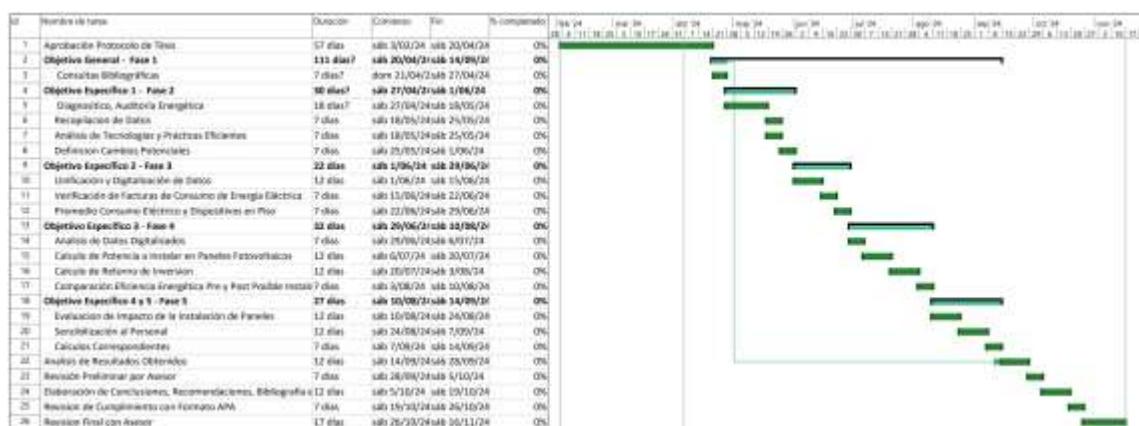
Con los datos obtenidos de las entrevistas se espera diseñar un plan estratégico para capacitar al personal previamente encuestado, con el objeto de ampliar sus conocimientos, concientizarlos y así iniciar con una mejora en cuanto a la eficiencia y medidas de cultura energética del lugar.

12. CRONOGRAMA

Con el objeto entregar una propuesta atractiva al Hospital Nacional de Salud Mental Dr. Federico Mora para mejorar su eficiencia y cultura energética, se ha determinado un tiempo estimado de 13 meses, dentro de los cuales se harán las consultas bibliográficas correspondientes, se realizará un diagnóstico exhaustivo, se digitalizarán y analizarán los datos, se harán los cálculos respectivos para proporcionar al establecimiento la mejor opción, esto según las fases descritas en el siguiente gráfico con sus tiempos específicos.

Tabla 3.

Cronograma de actividades



Nota. Descripción detallada del cronograma de actividades. Elaboración propia, realizado con Project.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Es importante poner en consideración la factibilidad técnica y financiera del presente estudio, las cuales se fundamentan en una evaluación exhaustiva de los recursos necesarios para su realización.

En cuanto al punto de vista técnico, se cuenta con los conocimientos y habilidades necesarios para llevar a cabo la investigación, incluyendo la realización de la evaluación de dispositivos consumidores de energía en el establecimiento, así como el análisis de datos obtenidos y la evaluación de resultados. Asimismo, se dispone del acceso a tecnologías y herramientas pertinentes para llevar a cabo el estudio, como equipos de cómputo que contienen programas y licencias para evaluación de datos numéricos y creación de documentos como lo es Office 365 que contiene Excel y Word.

En cuanto a la factibilidad financiera, se ha considerado la cuantificación de inversiones necesarias para la realización del trabajo, incluyendo los costos asociados con el transporte y movilización, las cotizaciones para una posible instalación de paneles solares fotovoltaicos, el indispensable apoyo del asesor del presente trabajo, así como los cálculos de los posibles ahorros energéticos.

Tabla 4.*Recursos necesarios para la investigación*

Recurso	Descripción	Fuente de financiamiento	Costo
Equipo de computo	Computadora portátil	Investigador	Q 0.00
Licencias de Microsoft	Paquete de Office 365	Investigador	Q 0.00
Herramientas de apoyo para elaboración de tesis	Pago de revisión Anti-Plagio en software PlagScan	Investigador	Q 150.00
Humano	Asesor de Tesis	Investigador	Q 2,500.00
Transporte	Combustible y depreciación de vehículo	Investigador	Q 1,000.00
Alimentación	Alimentación durante días de investigación y capacitación	Investigador	Q 400.00
Infraestructura	Espacio físico en el establecimiento y del hogar para trabajar	Empresa/ Investigador	Q 0.00
Tecnológico	Internet	Investigador	Q 165.00
Varios	Imprevistos	Investigador	Q 500.00
Total			Q 4,715.00

Nota. Descripción y detalle del presupuesto para realización de la investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

Cabe destacar que, si bien el investigador llevará a cabo los estudios con sus propios recursos, se explorarán diversas fuentes de financiamiento potenciales para respaldar cualquier etapa adicional que requiera apoyo financiero externo, sin embargo, tomando en cuenta el monto del proyecto total, se asumirá que el investigador podrá cubrirlo en su totalidad. En conclusión, el estudio se considera factible tanto desde el punto de vista técnico como financiero, dado el compromiso del investigador y la disponibilidad de recursos necesarios para su realización.

REFERENCIAS

- Aragón, B. (2013). *Eficiencia energética enfocada a iluminación en la Universidad Tecnológica de Tijuana* [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Materiales Avanzados de México]. Archivo digital. <https://cimav.repositoryinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/810/1/Enrique%20Gonz%C3%A1lez%20Arag%C3%B3n%20Barrera%20MER.pdf>
- Carta, J., Calero, R., Colmenar, A. y Castro, M. (2009). *Centrales de energía renovables*. Pearson Educación. https://www.academia.edu/28888909/Centrales_de_energ%C3%ADAs_renovables_Generaci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica_con_energ%C3%ADas_renovables
- Chere-Quiñónez, B, Ulloa-de, R, & Reyna-Tenorio, L.(2022). *Technology in home lighting: photovoltaic panels and ecological energy* [Tecnología en iluminación del hogar: paneles fotovoltaicos y energía ecológica]. Sapienza. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i7.519>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018), *La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.* <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2023). *Autoproductores.* <https://www.cnee.gob.gt/wordpress/?p=1746#:~:text=Un%20usuario%20>

0Autoprodutor%20con%20Excedentes,recibe%20remuneraci%C3%B3n%20por%20dichos%20excedentes.

Cuevas, C., (2001). *Medición del desempeño: retorno sobre inversión, ROÍ; ingreso residual, IR; valor económico agregado, EVA; análisis comparado.* Universidad ICESI Colombia.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21207901>

Gutiérrez, H. (2014). *Illuminación Led: ahorro, eficiencia e innovación: proyecto de mejora de la iluminación de un hotel* [Tesis de pregrado, Universidad de La Laguna de España]. Archivo digital.
<http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/1142>

Instituto Tecnológico de Canarias (2008). *Energías renovables y eficiencia energética* <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). *El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas.*
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_e_s.pdf

López, M. (2011). *Hospitales eficientes: una revisión del consumo energético óptimo* [Tesis doctoral, Universidad de Salamanca de España]. Archivo digital. <https://gredos.usal.es/handle/10366/110779>

Ministerio de Energía y Minas, Guatemala. (2022). *Política Nacional de Eficiencia Energética 2023 - 2050*. <https://mem.gob.gt/blog/politica-nacional-de-eficiencia-energetica-2023-2050/>

Ministerio de Energía y Minas. (2018). Las energías renovables en la generación eléctrica en Guatemala. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2019/01/Energ%C3%ADAs-Renovables-en-Guatemala.pdf>

Morales, A., y Gómez, D. (2022). *Dimensionamiento e implementación de paneles fotovoltaicos aplicados al área residencial en un sector costero de la provincia del Guayas, Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador]. Archivo digital. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22499>

Pérez, H. (2013). *Estudio técnico/económico para la utilización de paneles solares, en el circuito de iluminación del Hospital Distrital De La Tinta, Alta Verapaz, de Acuerdo a la Norma NTGDR* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0851_EA.pdf

Restrepo H. (2021). *Sistema de ahorro energético a partir de un panel solar fotovoltaico comercial* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes de Colombia]. Archivo digital. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/dd476f78-7cc8-44fd-9223-cbee6cecbf39>

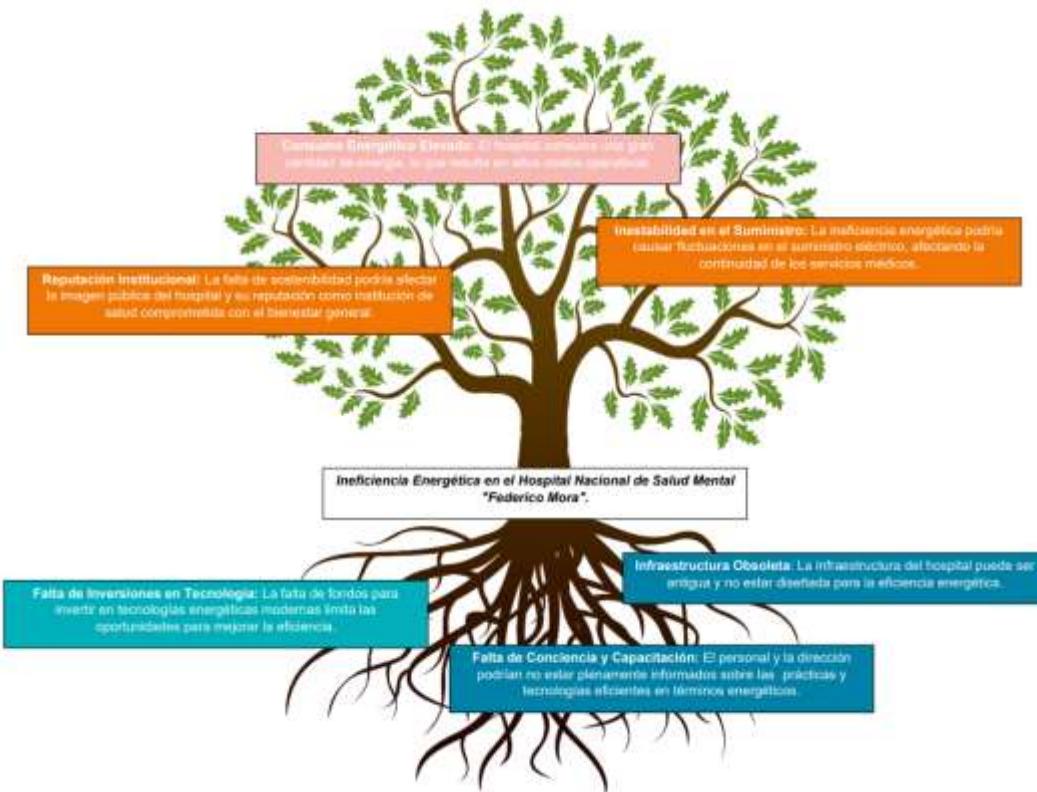
Rúa, C. (2014). *Construcción de la matriz energética nacional a partir de la dinámica de sustitución entre fuentes de energía*. [Tesis de maestría,

Universidad Nacional de Colombia]. Archivo digital.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75261>

Santana-Mendoza, N, Villeda-Cruz, J, De Jesús-Domínguez, D, y Cortéz-Ortíz, A. (2024). Celdas Solares. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 11(21), 44-46.
https://www.researchgate.net/publication/377197033_Celdas_Solares

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Nota. Descripción y definición de problemas y soluciones en diagrama de árbol. Elaboración propia.

Apéndice 2.

Tabla matriz de coherencia

		Preguntas	Objetivos
General central		¿Cómo puede el Hospital Nacional de Salud Mental "Federico Mora" mejorar su eficiencia energética para garantizar un futuro sostenible, reducir costos operativos y mitigar su impacto ambiental?	Diseñar e implementar un plan integral de eficiencia energética en el Hospital Nacional "Federico Mora" con el fin de reducir significativamente el consumo de energía, optimizar costos operativos y minimizar el impacto ambiental, contribuyendo así a un futuro sostenible para la institución.
1		¿Cuáles son las principales fuentes de consumo energético en el hospital?	Identificar las fuentes y áreas de consumo energético analizando y señalando las principales áreas y dispositivos del hospital con alto consumo energético.
2		¿Qué tecnologías y prácticas energéticas eficientes son aplicables y viables para el hospital?	Desarrollar e implementar soluciones eficientes investigando, evaluando y aplicando tecnologías y prácticas energéticas eficientes en el hospital para reducir el consumo y optimizar costos.
3		¿Cuál es el costo inicial y el retorno de inversión esperado para la implementación de soluciones de eficiencia energética?	Calcular costos determinando los costos iniciales para cada tecnología propuesta, considerando el ahorro energético esperado y los beneficios económicos a largo plazo para el hospital.
4		¿Cómo se puede sensibilizar y capacitar al personal del hospital para adoptar prácticas energéticas más eficientes?	Sensibilizar y capacitar al personal mediante el desarrollo de un programa de sensibilización y capacitación, fomentando prácticas energéticas responsables.

Nota. Descripción de preguntas y objetivos planteados. Elaboración propia, realizado con Word.