



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE  
GESTIÓN ENERGÉTICA Y GDR PARA EFICIENTAR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL  
EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA USAC**

**Anthony Alexánder Hernández Oliva**

Asesorado por el Ing. Marco David de Jesús Penagos Nuila

Guatemala, enero de 2024



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE  
GESTIÓN ENERGÉTICA Y GDR PARA EFICIENTAR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL  
EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**Anthony Alexander Hernández Oliva**

ASESORADO POR EL ING. MARCO DAVID DE JESÚS PENAGOS NUILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECANICO ELECTRICO**

GUATEMALA, ENERO 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	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Endor Steve Ortiz del Cid
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Sergio Leonel Gómez Bravo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



**EEPFI-PP-1750-2023**

Guatemala, 21 de octubre de 2023

**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 INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN ENERGÉTICA Y GDR PARA EFICIENTAR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA USAC**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Eficiencia energética en el sector público, empresarial y domiciliario**, presentado por el estudiante **Anthony Alexander Hernandez Oliva** carné número **201404382**, 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 Gestion De Mercados Electricos Regulados.

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.

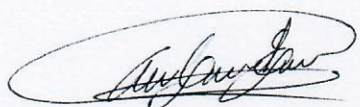
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtro. Marco David De Jesus Penagos Nuila  
Asesor(a)  
Marco David de Jesus Penagos Nuila  
Ingeniero Electricista  
Cel. 8181

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



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





EEP-EIME-1566-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria 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 INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN ENERGETICA Y GDR PARA EFICIENTAR EL CONSUMO ENERGETICO EN EL EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA USAC**, presentado por el estudiante universitario **Anthony Alexánder Hernandez Oliva**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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

Guatemala, octubre de 2023





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.86.2024

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 INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN ENERGETICA Y GDR PARA EFICIENTAR EL CONSUMO ENERGETICO EN EL EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA USAC**, presentado por: **Anthony Alexánder Hernández Oliva** 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: Orden de impresión  
Fecha: 28/01/2024 11:13:36  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, enero 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: 86 CUI: 2958483750101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (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



## **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 LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE  
GESTIÓN ENERGÉTICA Y GDR PARA EFICIENTAR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL  
EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA USAC**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 06 de noviembre de 2023.

**Anthony Alexander Hernández Oliva**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Por sobre todas las cosas.

**Mis padres**

Ana Lucia Oliva y Alexander Hernandez. Por su apoyo incondicional y ser guías durante mi vida.

**Mi hermana**

Abigail Hernandez. Por su gran apoyo y compañía en mi vida.

**Mis hermanos**

Brayan, Brandon, Ángel y Diego Hernandez. Por su gran apoyo y compañía en mi vida.

**Mis amigos**

Por su amistad sincera y quienes me han ayudado cuando lo he necesitado.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por permitirme realizar mis estudios universitarios.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme el conocimiento necesario para realizar este trabajo de graduación.

**Mi familia**

Tíos y primos cercanos que han estado conmigo en muchos momentos de mi vida y con quienes puedo contar.

**Mis amigos de la  
facultad**

Por su ayuda y momentos compartidos durante todo el proceso de la carrera de estudio.

**Mi asesor**

Ing. Marco David de Jesús Penagos Nuila, por su ayuda y asesoría para la culminación de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
2.1. Simulación de una plataforma de red para campus de universidades .....	5
2.2. Investigación planeación y operación de soluciones de optimización de energía para edificios inteligentes .....	6
2.3. Sistema de gestión energética en tiempo real para edificios inteligentes para minimizar la factura eléctrica .....	8
2.4. Otros proyectos .....	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3.1. Contexto general .....	13
3.2. Descripción del problema .....	14
3.3. Formulación del problema .....	14
3.3.1. Pregunta central .....	14
3.3.2. Preguntas auxiliares .....	15
3.4. Delimitación del problema .....	15
4. JUSTIFICACIÓN .....	17
5. OBJETIVOS .....	21
5.1. General.....	21

5.2.	Específicos.....	21
6.	NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	23
7.	MARCO TEÓRICO .....	25
7.1.	Generación Distribuida Renovable (GDR) .....	25
7.1.1.	Definición de GDR.....	25
7.1.2.	Beneficios y desafíos de GDR.....	25
7.1.3.	Tipos de tecnologías para GDR .....	28
7.1.3.1.	Microturbinas de gas .....	28
7.1.3.2.	Cogeneración .....	31
7.1.3.3.	Motores alternos.....	34
7.1.3.4.	Fotovoltaica .....	36
7.1.3.5.	Eólica.....	38
7.2.	Marco Legal en Guatemala sobre la (GDR) .....	40
7.3.	Gestión energética en edificios .....	42
7.3.1.	Definición y objetivos.....	42
7.3.2.	Gestión de la demanda en edificios .....	43
7.3.3.	Microrredes .....	43
7.3.4.	Modelos de optimización .....	44
7.3.5.	Herramientas de gestión de la demanda de edificios .....	45
7.4.	Eficiencia energética en edificios .....	46
7.4.1.	Importancia de la eficiencia energética en edificios .....	47
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	49
9.	METODOLOGÍA .....	53



9.1.	Características del estudio .....	53
9.2.	Unidades de análisis .....	53
9.3.	Variables.....	54
9.4.	Fases de estudio .....	55
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	59
11.	CRONOGRAMA.....	63
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	65
	REFERENCIAS .....	67
	DOCUMENTOS DEL ASESOR.....	71
	APÉNDICES .....	81



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Microturbina de gas de empresa con capacidad de 40 Kwh.....	29
<b>Figura 2.</b>	Coeficiente energético de cogeneración.....	33
<b>Figura 3.</b>	Planta de refrigeración para motores alternos .....	36
<b>Figura 4.</b>	Tecnología fotovoltaica y generación distribuida .....	38
<b>Figura 5.</b>	Partes de una góndola de un generador eólico y componente....	40
<b>Figura 6.</b>	Fórmula de media aritmética .....	57
<b>Figura 7.</b>	Título de maestría de asesor. ....	71
<b>Figura 8.</b>	Carta de aceptación del trabajo por el asesor. ....	73
<b>Figura 9.</b>	Constancia de colegiado activo-otorgada por el asesor. ....	74
<b>Figura 10.</b>	Curriculum vitae de asesor. ....	75

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Variables en estudio .....	54
<b>Tabla 2.</b>	Representación de herramientas de gestión de energía .....	56
<b>Tabla 3.</b>	Descripción del área a gestionar .....	56
<b>Tabla 4.</b>	Cronograma de actividades .....	63
<b>Tabla 5.</b>	Recursos necesarios para la investigación.....	65



## **1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo en el consumo eléctrico a nivel mundial ha generado mucho interés de investigación en el ámbito ambiental y tecnológico. La generación de la energía para el consumo diario proviene de los combustibles fósiles, reacciones nucleares y grandes hidroeléctricas. De este modo la energía convencional provoca diversos problemas ambientales como la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero.

En la actualidad las tecnologías en microrredes superan las expectativas a nivel mundial entre los sectores gubernamentales, industriales y académicos, brindando diversos beneficios para la comunidad. Este es el caso de la confiabilidad, la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de carbono. Por otro lado, el transporte de la energía tiende a producir pérdidas a lo largo de su distribución. Como consecuencia, se requiere el uso de nuevos métodos de distribución a lo largo de la red, especialmente de los recursos distribuidos que se encuentran cerca al consumidor. De la misma forma, la penetración de recursos renovables se orienta a una energía más limpia, libre de las grandes centrales eléctricas, entregando una energía mejor interconectada.

El objetivo primordial de la gestión de energía es minimizar el consumo energético, así como reducir los costos de la energía eléctrica con un impacto menor en el medio ambiente. Por otro lado, se puede agregar un control a esta gestión para que interactúe con las respectivas cargas de manera óptima. La gestión de energía en edificios utiliza la información del consumo de energía de los equipos, para implantar estrategias en el control ambiental y gestión de equipos. Este aspecto permite obtener una jerarquía de confort ante el usuario.

Una de las estrategias de la gestión es que los recursos renovables puedan satisfacer la demanda de carga en los edificios de una manera eficiente.

En la siguiente investigación se abordará el tema de la siguiente manera, en el capítulo 1, se presentará una serie de antecedentes relacionados con proyectos e investigaciones previas, incluyendo la simulación de plataformas de red para campus universitarios, soluciones de optimización de energía en edificios inteligentes y sistemas de gestión de energía en edificios inteligentes en tiempo real. También se hace referencia a otros proyectos relevantes en el área.

En el capítulo 2, abordaremos conceptos clave en la investigación, comenzando con la generación distribuida renovable (GDR), donde se definen sus conceptos, beneficios y desafíos, y se detallan los diferentes tipos de tecnologías utilizadas en GDR, como microturbinas de gas, cogeneración, motores alternos, energía fotovoltaica y eólica. También se explora el marco legal en Guatemala relacionado con la GDR, la gestión energética en edificios, la eficiencia energética en edificios y su importancia.

En el capítulo 3, nos concentraremos en el análisis comparativo del consumo energético antes y después de la implementación de estas herramientas, junto con la evaluación de indicadores de eficiencia energética, como la reducción del consumo, el impacto en los costos operativos, la generación de energía renovable, el tiempo de retorno de la inversión (ROI) y las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas.

Por último, en el capítulo 4, se profundizará en la interpretación de los resultados, resaltando las diferencias en el consumo energético y los beneficios en términos de eficiencia y sostenibilidad. Se llevará a cabo un análisis detallado de los indicadores de eficiencia energética y se comparará la situación previa y

posterior a la implementación de estas herramientas en el edificio de la Biblioteca Central de la Usac.





## **2. ANTECEDENTES**

Es fundamental abordar el concepto de microrredes en los edificios. Estas herramientas brindan asistencia en la gestión de las funciones principales en este caso desde el punto de vista de la energía eléctrica en su propia red, que se encuentra adecuadamente en las cargas del sitio, y pueden ser monitoreadas y controladas por sistemas automatizados de la matriz de gestión energética de un edificio. Durante los últimos años se están implementando modelos de optimización y se busca ayudar a que los sistemas eléctricos sean más amigables con el medio ambiente. De manera similar, la optimización en el punto de distribución proporciona un equilibrio cuando hay picos de demanda de energía, permitiendo compensar la cantidad de generación requerida por las cargas de un sistema.

Con los siguientes trabajos encontrados en relación con las distintas técnicas que se han implementado en algunos edificios en distintos sitios con esta idea, estos trabajos pretenden construir una base para implementar en un futuro en el área nacional de Guatemala estos sistemas y en este caso en el edificio de la Biblioteca central de la USAC mejorar su eficiencia energética y cómo mejora su administración energética con el uso de estas herramientas.

### **2.1. Simulación de una plataforma de red para campus de universidades**

Un primer estudio científico griego titulado una plataforma de simulación para microrredes inteligentes en campus universitarios, propone una plataforma de simulación basada en una interfaz gráfica de usuario que permite el análisis

de campus universitarios inteligentes, incorporando fuentes de energías renovables y redes inteligentes presentado por Elenkova *et. al.* (2017). Esta plataforma de simulación está constituida de distintos submodelos como son:

- Registro de perfiles de carga
- Instalación fotovoltaica
- Sistema de almacenamiento de energía por batería
- Un sistema de gestión de energía de microrredes inteligentes
- Análisis financiero

Una vez ejecutada esta herramienta mediante simulación, se pudo observar y validar una reducción en la demanda energética del campus universitario durante los meses en los que había más energía solar, en los que la generación fotovoltaica logró aprovecharla en gran medida, así como el control estratégico de cargas en el edificio. Como resultado, podemos decir que este tipo de herramientas de simulación facilitan el acoplamiento de varios submodelos que se encuentran en una relación simbiótica (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

## **2.2. Investigación planeación y operación de soluciones de optimización de energía para edificios inteligentes**

La segunda investigación científica española titulada soluciones de planificación y optimización energética operativa para edificios inteligentes, pretende optimizar la energía en un edificio inteligente por medio de un modelo de red de sensores inalámbricos y solucionar los problemas de funcionamiento real del edificio según el comportamiento de las áreas y la aglomeración de personas presentado por Sembroiz *et. al.* (2019).

Este modelo está dividido en dos secciones muy importantes. En la primera se refiere a colocar estratégicamente distintos tipos de sensores para determinar datos mediante comunicación de equipos de programación. La segunda sección se destaca por que nos brinda un modelo del comportamiento de las personas en cada área del edificio en la cual es determinada de históricos por medio de escenarios reales, ya sea de tiempo, o de ocupación de las áreas donde el personal de trabajo del edificio se moviliza.

Como resultado obtenido en la primera sección se considera un ahorro energético mediante la distribución de sensores en las áreas del edificio, los cuales transmiten datos de distintas variables para realizar la automatización de dichas instalaciones según sea la necesidad requerida por el usuario final. En la segunda sección, se tiene como resultado el encendido y apagado de la iluminación del edificio de manera autónoma cuando el ocupante ingrese o salga del área correspondiente. Así mismo, el sistema actúa en el control de los aires acondicionados para que la habitación esté a la temperatura deseada cuando lleguen los ocupantes y lo mantiene a un nivel adecuado según la temperatura ambiente (Bastidas y Chinchero, 2023).

Por lo que se ve en este tipo de modelo podemos llegar a ser capaces de identificar las ubicaciones óptimas para una serie de varios tipos de sensores y puertas de enlaces, optimizando así el consumo de energía basándonos en patrones que nos brindan los distintos usuarios, el cual se adecua y responde según a las necesidades de estos.

### **2.3. Sistema de gestión energética en tiempo real para edificios inteligentes para minimizar la factura eléctrica**

En un tercer estudio científico de la India titulado, Sistema de gestión energética en tiempo real para edificios inteligentes para minimizar la factura eléctrica, se elabora una simulación de un sistema de gestión de consumo energético por medio de una microrred inteligente. Esta propuesta se basa tanto en la gestión del origen de energía como de la carga, priorizando al consumidor de manipulación de esta en horas cumbre y horas frecuentes planteado por Chauhan *et. al.* (2017).

Este modelo de simulación permite controlar el consumo de energía de determinados aparatos. Además, se instalan sensores de temperatura y proximidad para controlar la temperatura del edificio y controlar la entrada y salida de los residentes. Esta información se recoge a través de una unidad terminal remota (RTU) y se suministra al sistema SCADA y a un sistema fotovoltaico de respaldo de la fuente mencionada. Según los resultados de la simulación, los sensores incorporados permiten al sistema fotovoltaico compensar la energía de la red convencional a través de la microrred del edificio, donde se designan horas durante la jornada laboral para la entrada de energía fotovoltaica sin necesidad de fuentes de energía externas adicionales.

Así, el funcionamiento de una fuente de energía renovable redundante en la eficiencia energética al disminuir su consumo. Para conseguir una eficiencia energética integral, se concluye que el modelo de simulación ofrece flexibilidad en el control automático y en la elección de operar la energía fotovoltaica en función de la demanda de consumo energético.

## **2.4. Otros proyectos**

Según una investigación realizada por dos ingenieros electrónicos titulada, Sistema de Gestión de Energía para Edificios Inteligentes utilizando Generación Distribuida, propone un sistema de control de energía óptimo con la finalidad de disminuir el consumo que generan los sistemas de iluminación y climatización en el edificio, que son los principales ambientes del consumo eléctrico (Bastidas y Chinchero, 2023).

Según este análisis, las áreas con mayor consumo energético son las salas de idiomas y de profesores, que consumen más de 1 MWh de energía, el área financiera, que consume más de 800 kWh, y el área de secretaría general, que consume más de 500 kWh.

La solución propuesta utiliza un microprocesador Raspberry para gestionar el consumo energético del edificio administrativo. Por otro lado, ayuda a la automatización de las secciones del edificio con la ayuda de numerosos sensores electrónicos. De este modo, el sistema de gestión opera las acciones de compensación del escenario. Según el estudio, el consumo de cada zona del edificio de los tres sistemas de análisis establecidos -iluminación, aire acondicionado e informática- se redujo en un 50 %.

A la hora de determinar el consumo diario de los usuarios, la tarifa es un factor crucial. Por ello, se ha conseguido reducir la tarifa de consumo mediante el uso de energías renovables y el algoritmo establecido en el microordenador. El horario mensual de consumo de energía del edificio podría reducirse gracias al prototipo que se ha puesto en marcha. El algoritmo sugerido en el estudio, que lleva a cabo reglas de control, establece la eficiencia energética en el

funcionamiento de los recursos eléctricos y ofrece un respaldo distribuido a las numerosas fuentes que abastecen la instalación.

La importante contribución a la generación distribuida, que ofrece alternativas y perspectivas muy prometedoras en términos de eficiencia, sostenibilidad y estabilidad energética en los edificios, especialmente a la luz del creciente interés por el avance de la generación distribuida. varias formas de generación.

En otro proyecto titulado, Proyecto de construcción equipado con una microrred inteligente con suministro de energía solar fotovoltaica y almacenamiento de hidrógeno, se realizó un análisis y diseño de una instalación que cubra las necesidades eléctricas del edificio ALEX, destinado a uso docente e investigación situado en Badajoz (Puñal *et. al.*, 2022).

Se trata de un edificio de bajo consumo, y que se ha diseñado bajo los estándares. La instalación prevista tiene la singularidad de incorporar hidrógeno como combustible para la generación de energía además de una microrred inteligente (*Smart Grid*) que permite gestionar energéticamente el edificio para que funcione en isla, es decir, con poca o ninguna conexión a la red.

Realizaron un análisis de cuatro configuraciones de la instalación de suministro eléctrico basándose en criterios técnicos, económicos y medioambientales para evaluar la influencia de la nueva tecnología del hidrógeno en la mejora de la eficiencia energética del edificio (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

Los cuales son estos:



- Instalación eléctrica convencional.
- Instalación fotovoltaica para autoconsumo con compensación de excedentes.
- Instalación fotovoltaica para autoconsumo con producción y almacenamiento de hidrógeno.
- Instalación fotovoltaica para autoconsumo con producción y almacenamiento de hidrógeno en un futuro próximo.

Además, se expone el concepto de economía del hidrógeno, como vector energético en sustitución de los combustibles fósiles y como una opción más o alternativa para suministrar energía.

Entre los principales aportes de la literatura revisada para la presente sección, se tiene la identificación de las variables y herramientas de las cuales se puede hacer uso para determinar el impacto que se obtendrá al hacer uso de estas herramientas en un sistema eléctrico de un edificio para este caso el de la Biblioteca central del campus de la USAC, dando soporte a las preguntas de la investigación planteada por el autor y por ende a los objetivos tanto general como específicos.

Otro aporte importante sería el haber identificado que en estas nuevas ideas en otros países también se aplican ya que en la actualidad es muy importante el buscar reducir la contaminación del medio ambiente y el tener sistemas altamente eficientes y flexibles y una de estas bases es la utilización de herramientas de gestión y monitoreo de demanda y en paralelo haciendo uso de

sistemas de generación distribuida que den soporte a la demanda del edificio para ayudar al Sistema Nacional Interconectado de Guatemala.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La eficiencia energética es plasmada como una de las estrategias fundamentales para afrontar los desafíos que representa el cambio climático y el presente ámbito energético. El observar la necesidad de disminuir el consumo de recursos no renovables implica tres áreas fundamentales; disminución de la demanda, incremento de la eficiencia y la utilización de energías renovables. Por lo que se ve necesario dar una vista hacia la temática energética desde el lado de optimización de recursos utilizados para lograr la eficiencia en el suministro, de consumo. La eficiencia energética, por su potencial de lograr un cambio significativo en la demanda actual, es de particular interés el evaluarla en las edificaciones ante los problemas ambientales actuales y el crecimiento poblacional que se observa en los países.

#### **3.1. Contexto general**

Mundialmente los edificios consumen un 40 % de energía global. Por consiguiente, los edificios residenciales y tecnológicos son los responsables de un alto consumo de energía. De la misma forma, dicho consumo de energía es uno de los principales problemas en nuestra sociedad moderna. Un punto particular es el de los países desarrollados, que requieren el 31 % y 35 % de la generación de electricidad para el funcionamiento de sus edificios comerciales esto se observó por un estudio realizado en Singapur y EE. UU respectivamente. Debido al aumento de la población y urbanización y la creciente necesidad de la tecnología mundial, se considera un crecimiento a futuro. Ante ello, para lograr la disminución del consumo excesivo de energía en estos edificios, las microrredes

toman un papel predominante, por lo que cada vez se van desarrollando nuevas soluciones y herramientas de gestión de eficiencia energética en microrredes.

### **3.2. Descripción del problema**

El problema radica en que no se conoce el impacto en el consumo energético que tendría la utilización de herramientas de gestión inteligentes y la generación distribuida renovable en el edificio de la Biblioteca Central de la USAC. Actualmente, se carece de un enfoque sistemático para monitorear y controlar el consumo energético en dicho edificio, identificar las áreas de mejora es una parte importante para entender el sistema y aprovechar al máximo las tecnologías de generación distribuida renovable, para reducir los costos y promover una mayor sostenibilidad ambiental.

### **3.3. Formulación del problema**

Lo anteriormente descrito dio como resultado una interrogante principal:

#### **3.3.1. Pregunta central**

¿Cuál es el impacto que se generará en el consumo energético del edificio de la biblioteca central del campus de la USAC al utilizar herramientas de gestión inteligentes y sistemas de generación distribuida?

El complemento que requerirá la interrogante principal contempla las siguientes preguntas auxiliares:

### **3.3.2. Preguntas auxiliares**

- ¿Cuáles son las alternativas y herramientas inteligentes que se pueden implementar en el edificio de la biblioteca central del campus de la USAC?
- ¿Cuál es el impacto que se tendría en el despacho de energía al implementar sistemas de gestión inteligentes y generación distribuida renovable en el edificio de la biblioteca central del campus USAC?
- ¿Cuál es el porcentaje de huella de carbono que se puede disminuir al hacer uso de estas herramientas de gestión inteligentes y generación distribuida renovable en el edificio de la Biblioteca central del Campus USAC?

### **3.4. Delimitación del problema**

El presente estudio pretende evaluar cómo cambia la eficiencia energética en el edificio de la biblioteca central del campus USAC durante un trimestre haciendo uso de una herramienta de gestión inteligente y cómo se comportaría si se utilizara un sistema de generación distribuida de tecnología eólica por medio del análisis de trabajos en los cuales han sido utilizados estos sistemas haciendo una comparativa con el estado actual del edificio, de la misma forma haciendo uso de técnicas de optimización para determinar la mejora en el consumo de energía y determinar qué tan eficiente resulta el utilizar estos sistemas de microrredes.



## **4. JUSTIFICACIÓN**

A continuación, se presenta el siguiente anteproyecto de tesis de la Maestría en Mercados eléctricos que corresponde a las líneas de investigación de Eficiencia energética en el sector público, empresarial y domiciliar, Modelos de gestión de redes eléctricas. enfocado específicamente en el diseño de investigación en la cual se plantean las herramientas de gestión inteligentes que se pueden utilizar para mejorar la eficiencia energética del edificio de la biblioteca central del campus de la USAC.

Del análisis se obtendrá aporte teórico en la interconectividad de las variables y en temas de producto aportando herramientas que brinden resultados e índices que darán una visión más detallada de que al convertir las redes de distribución de energía en sistemas que permitan la gestión más eficiente de la demanda y la generación, además de recopilarse fuentes bibliográficas e información que podrá servir de base para futuras investigaciones relacionadas con la temática por tratar, con lo cual se pretende brindar al subsector eléctrico y población en general de Guatemala, premisas y recomendaciones para que se continúen implementando mejoras en la metodología de la gestión de su demanda y de la asignación para suplir la energía demandada y hacer más confiable y amigable con el medio ambiente la matriz energética del país.

En cuanto a la pertinencia y relevancia social que tendrá el análisis y diagnóstico, este será una contribución que podrá ser tomada en cuenta por los entes del subsector eléctrico de Guatemala, empresas corporativas, así como complejos habitacionales que se observa en desarrollo en la actualidad del país



y aquellos campus o áreas urbanizadas a que se comprometan con el medio ambiente y tengan una mejora en el consumo de energía de una manera óptima.

Es pertinente debido que será un beneficio a la reducción del consumo energético y evitar lanzar gases innecesarios al ambiente, por lo que, se tendrá un beneficio al planeta y país en cuestión en donde se encuentre el edificio en este caso es el área de la capital donde se encuentra el edificio de la biblioteca central del campus de la USAC. Con esta investigación se busca la mejora en la red de distribución y realizar un aumento de la confiabilidad causando impactos positivos tanto en el costo de la energía como en la economía de los edificios que implementen estas ideas.

De igual manera es importante mencionar que la Maestría en Mercados Eléctricos al encontrarse dentro del marco energético de Guatemala, involucra todo análisis profesional que traiga consigo aportes para el beneficio en general para el país, ya que al implementarse estos nuevos sistemas y utilizar estas herramientas, se esperaría un impacto positivo debido a la incorporación de mejoras en la gestión de la demanda y en la utilización de Generación distribuida renovable apoyando en la operación y funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado, con la finalidad de obtener puntos de cargas controlados y eficientes y a su vez no depender de los sistemas de Generación que su base es la quema de agentes tóxicos para el medio ambiente.

Sin embargo, es muy importante realizar el análisis y diagnóstico de las variables más importantes de los sistemas eléctricos en este caso de uno como la biblioteca central del campus de la USAC para determinar la mejora en la eficiencia de la administración de su energía así como el pago de la factura mensual y como se pueden obtener sistemas más automáticos y amigables con el medio ambiente, por ende se deben analizar y diagnosticar los cambios que se

obtienen en beneficio del edificio como estos sistemas y que beneficios y mejorar aportaran en el ámbito de costos, eficiencia y ambiente.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Determinar el impacto en el consumo energético del edificio de la biblioteca central del campus de la USAC a través del diseño de un método de investigación utilizando herramientas de gestión inteligentes y generación distribuida renovable.

### **5.2. Específicos**

1. Identificar cuáles son las herramientas que se pueden implementar en el edificio de la biblioteca central del campus de la USAC a través de un análisis exploratorio.
2. Determinar el impacto producido en el despacho de energía al implementar una red Smart grid en el edificio de la biblioteca central del campus de la USAC por medio de un gráfico de líneas por medio del cual se puedan evaluar los cambios producidos.
3. Determinar el porcentaje de huella de carbono que se puede disminuir al implementar herramientas de gestión inteligentes, a través de un análisis estadístico.



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

En el presente trabajo de investigación se determinará el impacto en la eficiencia energética que tiene la implementación de sistemas de gestión inteligentes y generación distribuida renovable en el edificio de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se busca cubrir la necesidad constante que se tiene para reducir costos energéticos de este edificio debido al impacto económico que dichos costos tienen, así como la necesidad de conocer el impacto de estas nuevas tecnologías en el ámbito del subsector eléctrico de Guatemala.

Para conocer este impacto se realizará la investigación bibliográfica sobre sistemas de gestión inteligentes y sobre generación distribuida renovable. Posteriormente se recolectará información sobre el sistema eléctrico del edificio de la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Con esta información se hará una comparativa entre la información recolectada de los sistemas de gestión inteligentes y el sistema eléctrico del edificio de la biblioteca para determinar los sistemas de gestión que mejor se adapten a las necesidades del edificio. Posteriormente se analizará el cambio de esta demanda o consumo energético en base a la recopilación de datos con el cual se observará por medio de un gráfico de líneas como es afectado el despacho económico de energía. Seguidamente por medio de un análisis estadístico de la implementación de estas herramientas en una zona alrededor del edificio en cuestión no solo desde el punto de vista de un edificio si no de una muestra de edificios analizar el cambio que se puede obtener de la huella de carbono. Ya con esta información hacer un desarrollo de las conclusiones encontradas y dar una respuesta a los objetivos

planteados y dar algunas recomendaciones respecto a puntos base que pueden ser utilizados para algún tema de investigación a futuro.

Actualmente existen análisis sobre el impacto en la eficiencia que tendrían los sistemas de gestión inteligentes, así como estudios sobre los impactos de generadores distribuidos renovables en distintos ámbitos, sin embargo, la originalidad se encuentra en el análisis en conjunto del impacto de ambos sistemas en un edificio en el ámbito nacional Guatemalteco el cual posee particularidades que pueden afectar como lo son factores ambientales, legislativos y limitantes tecnológicas propias de la región.

Se encuentra dentro del ámbito de la maestría en mercados eléctricos regulados debido a que engloba temas relacionados en la eficiencia energética en el sector público, empresarial y domiciliario y en modelos de gestión de redes eléctricas inteligentes que aportarán conocimientos y soluciones prácticas que podrán ser aplicados en otros proyectos similares en el ámbito nacional o regional de Guatemala.

El estudio se basará en una metodología de investigación rigurosa y utilizará herramientas y enfoques reconocidos en el campo de la gestión energética y la generación distribuida.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Generación Distribuida Renovable (GDR)**

Desde hace muchos años se viene buscando nuevas formas de optimizar la obtención de energía eléctrica, y de aprovecharla de la manera mejor posible lo más cercana en los puntos de consumo es por ello que las GDR han tomado gran impulso en los últimos años y a continuación detallaremos aspectos importantes sobre este tema.

#### **7.1.1. Definición de GDR**

Sin embargo, la Oficina de los Mercados de Gas y Electricidad (OFGEM por sus siglas en inglés) de Gran Bretaña define GD como una planta generadora de electricidad que está conectada a una red de distribución en lugar de la red de transmisión.

Otra definición la proporciona la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) instalación y funcionamiento de unidades de generación de energía eléctrica conectadas directamente a la red de distribución o al medidor del cliente.

#### **7.1.2. Beneficios y desafíos de GDR**

Para entender de mejor manera en donde causa impacto las GDR nos enfocaremos en tres aspectos muy importantes los cuales serán el ente



regulador, el distribuidor y el consumidor que en este caso será orientado al sector de edificaciones.

Todas estas personas tienen objetivos distintos y deben recibir consideraciones diversas, aunque sus elecciones se afecten mutuamente. Por un lado, los beneficios para los consumidores idealizan el rendimiento de la inversión del proyecto y, si lo permite la ley, un excedente en términos de dinero.

Además, podrían estar influidos por preocupaciones medioambientales que, si prevaleciera un ideal ecologista, podrían afectar al consumo de los hogares incluso en malas condiciones económicas. Cuando hay un exceso económico, podría indicar:

- Mayor consumo energético
- Mayor ahorro
- Consumo de bienes no eléctricos

Con las políticas de Medición Neta, esos beneficios se pueden obtener de las siguientes formas: (a) la reducción de la factura del servicio eléctrico, (b) la recepción de pagos monetarios por la energía agregada a la red eléctrica, o (c) la nivelación de los costos energéticos en el tiempo si hay una tarifa horaria combinada con una política de Medición Neta.

Sin embargo, aunque tengan menos control sobre él, los distribuidores de servicios eléctricos se ven directamente afectados por el proceso de toma de decisiones. Los distribuidores podrían encontrarse con distorsiones, que podrían hacer necesaria la recuperación de inversiones para garantizar el funcionamiento y la compensación de los servicios a los precios fijados. Por otra parte, hay gastos que deben ser cubiertos por una de las partes. Estos gastos pueden adoptar la

forma de una pérdida para el Distribuidor, una tasa para los usuarios considerados generadores o no, o una subvención pública directa.

Para coordinar a las personas que autogeneran energía con el distribuidor y el mercado mayorista, el regulador debe seguir un complicado procedimiento de toma de decisiones. Hay que mantener unos objetivos claros en la normativa que crean los reguladores.

En general, la adopción de sistemas de generación aislados ayuda en; fomentar tecnologías intermitentes para reducir los costos marginales de la generación, incentivar la instalación residencial de los sistemas de GD y evitar distorsiones en estructura tarifaria siempre tomando en cuenta el monitoreo de no sobrecargar la red eléctrica.

La definición de los precios puede resultar más difícil a medida que aumente la capacidad de GD de la red eléctrica, sobre todo teniendo en cuenta el dinero que necesitan las distribuidoras para pagar la inversión y el funcionamiento. La adición de capacidad de GD conectada a la red podría socavar el esquema de precios que preserva el equilibrio de ventajas entre el distribuidor y los usuarios.

Uno de los deberes del regulador es crear normativas que reestructuren y disminuyan los riesgos de incumplimiento contractual provocados por las distorsiones de precios. Por un lado, los precios o costes deben proporcionar tanto la liquidación a largo plazo de la inversión del distribuidor como el pago inmediato de los gastos de explotación. De forma similar, las tarifas deben ofrecer la garantía de un bien o servicio fiable y eficaz y actuar como señales para que los usuarios de la red actúen.

Sin embargo, la fluctuación del sistema hacia los usuarios puede acarrear problemas de ingresos para el distribuidor en un entorno en el que los clientes cada vez utilizan más el servicio eléctrico. Esto podría provocar un desastroso efecto remolino de distribución de la red y la transferencia de los costes de la red entre los usuarios.

Este efecto se produce cuando el diseño de la tarifa redistribuye los gastos entre todas las partes implicadas para compensar la pérdida de ingresos derivada de la adopción de la GD. Una tarifa más alta mejoraría los beneficios de las instalaciones de GD y estimularía una mayor adopción de estos sistemas, lo que requeriría una redistribución continua de los costes. Por consiguiente, el distribuidor que suministra la red asumiría la mayor parte del riesgo de redistribución de costes.

### **7.1.3. Tipos de tecnologías para GDR**

Se observa en la actualidad que se ve una tendencia al aprovechamiento de las tecnologías renovables para la producción de energía como tal las más encontradas o mencionadas en artículos son la generación eólica, solar fotovoltaica, biomasa, así como también microturbinas de gas.

#### **7.1.3.1. Microturbinas de gas**

Son turbinas de combustión con potencias en el rango de 20-500 kW, desarrolladas a partir de la tecnología de los turbos soplantes de la industria automovilística y los pequeños turborreactores de la industria aeronáutica.

Están constituidas por un compresor, una turbina, un recuperador y un generador, generalmente montados en un único eje definición brindada por Córdova (2013).

**Figura 1.**

*Microturbina de gas de empresa con capacidad de 40 Kwh*



*Nota.* Modelo de turbina TG-40. Ontenido de Israel (2021). *Eco Inventos*. (<https://ecoinventos.com/turbogen/>), consultado el 25 de agosto de 2023. De dominio público.

En la figura 1 se muestra una foto de una microturbina de una marca de la actualidad esta es capaz de generar 40 Kwh, pero también existen modelos con la capacidad de generar hasta 250 Kwh, también son versátiles y se utilizan como medios de calefacción.

El sistema funciona así: el gas natural ingresa a la microturbina para generar electricidad y el aire extremadamente caliente producido como subproducto de este proceso se recolecta para calentar y enfriar.

El aire caliente pasa por un recuperador a un intercambiador de calor para calentar agua para baños y cocinas. En invierno también brinda calor al edificio mientras que en el verano se usa un enfriador exclusivo para convertir el aire caliente en aire acondicionado y refrigeración, explicó director de una compañía de electricidad.

El directivo expresó que normalmente un generador estándar alcanza una eficiencia del 35 al 40 por ciento en términos de la energía que produce mientras que el prototipo construido por la empresa podría alcanzar el 90 % de eficiencia usando el calor de la turbina como fuente de energía. Usamos menos gas natural para alcanzar el mismo nivel de producción de energía, destacó el director.

Sus principales ventajas son:

- Las pocas piezas móviles
- El diminuto tamaño
- Amplia gama de tamaños
- Menos emisiones y ruido que una turbina de gas

Su principal inconveniente es su elevado precio.

Las microturbinas pueden utilizarse en diversas aplicaciones:

- Como reserva de energía
- Para satisfacer picos de demanda
- En sistemas híbridos de pila de combustible
- En automóviles híbridos eléctricos

Las microturbinas pueden funcionar de cuatro formas distintas:

- Aisladas de la red
- Integradas en la red
- En paralelo a la exportación de energía
- Modo continuo o intermitente

Sus principales características son: rango de 15 kW a 300 kW en una sola unidad; frecuencia de 1,600 Hz; mantenimiento mínimo; sus unidades ocupan muy poco espacio; son ligeras; operan sin vibración, prácticamente no hacen ruido; operan de 40,000 a 75,000 horas continuas y pueden utilizar como combustible, además del gas natural, el kerosene, gasolina, etanol, diésel, propano, y biomasa. Una de sus principales características es la reducción de emisiones contaminantes: 9 partes por millón (ppm.) de NOx, 40 ppm. de CO y emisiones totales de hidrocarburos por debajo de las 9 ppm comentado por (Córdova, 2013).

#### **7.1.3.2. Cogeneración**

Córdova (2013) nos dice que es la producción simultánea e integrada de energía eléctrica (o mecánica) y energía térmica, a partir de una misma fuente de energía primaria. Con esta tecnología se aprovecha la energía de los gases de escape de los motores de combustión interna o la que se disipa en los radiadores.

Al tipificar la cogeneración con máquinas térmicas, hay dos formas de interpretarla:

Desde la perspectiva de la primera ley de la termodinámica, como el aprovechamiento calórico del calor residual de una máquina térmica. Según la segunda ley de la termodinámica, la conversión de la energía térmica procedente de la combustión en trabajo mecánico con un rendimiento marginal ideal del 100

% sustituye las irreversibilidades de la transferencia térmica en los usos calóricos de la energía (Ferri, 2019).

La segunda de ellas es la que más se adecua a la forma más real del concepto de cogeneración. Un claro ejemplo es tomar una industria que demanda vapor sobrecalentado de alta presión para utilización en forma de energía en la cual se tomará un valor de 200 toneladas por hora en la cual según comentan estudios son degradados un 60 % de la energía que se obtenga. Si esto se realizará con un sistema de generación se puede obtener una posible producción de 150,000 kW según (Córdova,2013).

Si esta energía eléctrica se produjera con la misma cantidad de generación convencional que ahora, con una eficiencia ideal del 100 %, se ahorrarían más de 100 millones de metros cúbicos de gas natural al año y se reducirían las emisiones de dióxido de carbono en 150.000 toneladas.

La viabilidad de la implementación de la cogeneración se da cuando existe una demanda de calor de cierta magnitud y características, siendo también relevantes otros factores tales como la calidad de la solución tecnológica adoptada, los costos de capital que involucra, las tarifas de combustible y de energía eléctrica, y el marco legal vigente, entre las principales (Córdova,2013).

La normativa que limita el desarrollo de estas tecnologías es uno de los principales retos de la cogeneración. Desgraciadamente, muchas calderas y otros dispositivos desperdician enormes cantidades de energía que podrían convertirse en trabajo mecánico, mejorando significativamente la eficiencia del trabajo mecánico y la producción de electricidad y teniendo un menor impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que beneficiaría al medio

ambiente (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

Esta forma de generación tiene como característica un valor que nos indica que tan aprovechable será esta en base al tipo de combustible que se utilizará y esta figura lo muestra a continuación:

## Figura 2.

*Coeficiente energético de cogeneración*

### Coeficiente energético de cogeneración en actividades industriales diversas

Rama Industrial	Sk=Calor/Electricidad	Sistema adecuado
Aceites	3,5	Turbo vapor
Frigoríficos	3,2	-
Lácteos	4,1	-
Textiles	2,6	-
Celulosa y papel	4,6	-
Hierro y acero	5,6	

*Nota.* Coeficientes de cogeneración que se utilizan en actividades industriales. Obtenido de R. Córdova (2013). *Calidad de energía en generación distribuida*. (p. 28) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería de Perú]. Archivo digital. [https://web.archive.org/web/20180520032654id/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8416/1/cordova\\_ar.pdf](https://web.archive.org/web/20180520032654id/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8416/1/cordova_ar.pdf)

La relación entre calor y electricidad, expresada en las mismas unidades, se conoce como Sk o coeficiente energético. A cada gama de valores de Sk le corresponde una determinada tecnología de equipos de cogeneración. Los valores medios de la relación Sk que se adecuan a los procesos de diferentes industrias (Córdova,2013).



### **7.1.3.3. Motores alternos**

Los motores alternativos de combustión interna son una forma de máquina térmica en la que los gases de combustión empujan un pistón o émbolo dentro de un cilindro, que hace girar un cigüeñal y produce una acción rotatoria (Quispe, Quezada y Roque,2019).

Son útiles en instalaciones de cogeneración y en otras industrias como la agroalimentaria, la construcción, la pasta y el papel, y la textil.

Proporcionan un mayor grado de flexibilidad ante interrupciones o variaciones de carga que las turbinas de gas y, según su diseño, pueden utilizar diversos combustibles como energía primaria de alimentación. El gas natural es el más utilizado (Quispe, Quezada y Roque,2019).

Estos se clasifican en distintos aspectos en base a su diseño los cuales son:

- Por tipo de ignición
  - Motor Otto de encendido provocado, combustión mediante una chispa.
  - Motor Diesel de encendido por compresión, de rendimiento superior por aprovechar mejor el combustible.
- Por tipo de ciclo

- Tenemos los de cuatro tiempos (cuatro carreras del émbolo y dos vueltas del cigüeñal).
- También existen los de dos tiempos (dos carreras del émbolo y una vuelta del cigüeñal) tiempos.

Su refrigeración puede ser líquida, generalmente agua, que evacua el calor mediante un radiador, o por aire a través de un ventilador, según la aplicación, sobre todo en los motores de pequeña potencia. Se emplean motores alternativos: la gran mayoría, el 70 %, utiliza gas natural y el 28 %, gasóleo (Quispe, Quezada y Roque, 2019).

En pequeñas ocasiones se utilizan combinaciones para satisfacer las debilidades del otro tipo de motor entre las cuales tenemos:

- Motor tipo diésel-motor de gas natural
- Motor del tipo de gas-turbina de vapor
- Motor diésel-turbina de vapor

Existen una gran cantidad de ejemplos en las cuales hacen uso de este tipo de máquinas uno de estos ejemplos es:

En España, en la Universidad de Santiago de Compostela, se ha puesto en funcionamiento un anillo de cogeneración de 3,1 MW formado por 10 módulos de cogeneración por gas natural (equipos motor-alternador) que abastecen de energía térmica y eléctrica a tres Facultades y otras dependencias de la universidad. Emplea para ello motores de gas Guascor de 310 kW y un sistema de recuperación de calor (Quezada, Roque, 2019).

### **Figura 3.**

*Planta de refrigeración para motores alternos*



*Nota.* Planta Frigorífica GEA de NH<sub>3</sub>. Obtenido de C. Rodríguez (2014). *Tecnología Marítima*. (<http://tecnologia-maritima.blogspot.com/2014/05/>), consultado el día 30 de agosto de 2023. De dominio público.

#### **7.1.3.4. Fotovoltaica**

La tecnología solar fotovoltaica se desglosa de una transformación de energía en forma de luz solar que luego se convierte en electricidad por medio de materiales semiconductores como lo son el silicio, estos tienen un recubrimiento fino de una capa de metal (Villatoro, 2015).

Estos materiales tienen la particularidad de ser fotosensibles esto les da la capacidad de liberar electrones cuando son afectados por una energía externa, esta fuente de energía es entregada por medio de los fotones, este es un componente esencial de la luz que choca a los electrones y hace que los mismos sean liberados, para así generar una corriente eléctrica, luego esta

energía eléctrica generada puede ser consumida de forma directa o ser almacenada a la cual se le conoce como energía descentralizada o puede ser directamente inyectada a la red esto dependerá del tipo de configuración y elementos a usar en la instalación.

Una celda fotovoltaica es un dispositivo que convierte la energía de la luz del sol en energía eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión. Este movimiento se asemeja al desplazamiento de una burbuja en el agua. Para que los electrones y huecos generados por la luz solar no se recombinen dentro del semiconductor se debe contar con un campo eléctrico interno, en cuyo sentido se moverán los electrones (Quispe, Quezada y Roque, 2019).

El generador solar fotovoltaico está formado por módulos fotovoltaicos compuestos a su vez por células fotovoltaicas conectadas entre sí. El rendimiento de un sistema fotovoltaico depende de la orientación de los paneles solares y de las zonas de insolación en las que se encuentran.

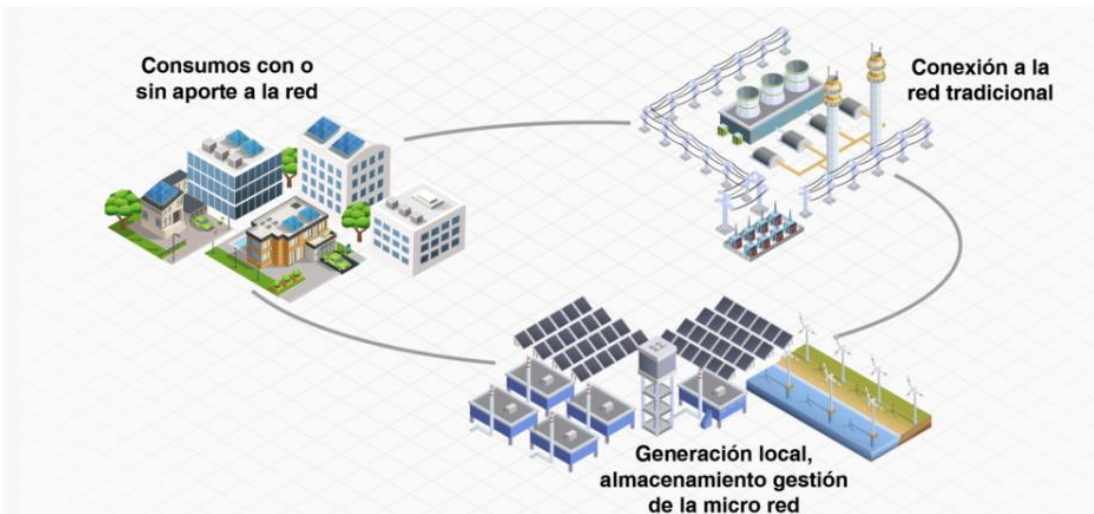
La generación distribuida por medio de la fuente fotovoltaica que son utilizadas en edificaciones se encuentra conectadas a la red y toman electricidad del suministro de la red de distribución cuando esta demanda excede la fuente de energía fotovoltaica o funciona como alimentador eléctrico a la red cuando la producción supera la demanda de la edificación (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

Esto debería ser notado en el precio de la electricidad con lo cual los generadores fotovoltaicos deberían competir siendo el precio al por menor, como generación distribuida evita la compra de la electricidad, el precio pagado por la utilidad de la electricidad exportada a la red depende de reglamentos

gubernamentales en algunos países o en negociaciones entre propietarios de las edificaciones y la utilidad en edificios con la generación distribuida fotovoltaica tienen medidores que registran solo la importación neta de electricidad desde la red, es decir las exportaciones se acreditan con el mismo precio por kWh igual que las importaciones punto de vista de (Villatoro,2015).

#### **Figura 4.**

##### *Tecnología fotovoltaica y generación distribuida*



*Nota.* Esquema aéreo de combinación de Tecnología renovable y almacenamiento de energía. Obtenido R. Mejía (2020). Grupo Merelec. (<https://grupomerelec.com/blog-link/futuro-del-fotovoltaico-generacion-distribuida-y-almacenamiento/>), consultado el 15 de septiembre de 2023. De dominio público.

#### **7.1.3.5. Eólica**

La primera fuente posible es la energía eólica. Limpia y renovable, está disponible en cantidades abundantes en todo el planeta. En los últimos años, la energía eólica se ha convertido en la principal fuente de electricidad procedente

de fuentes renovables, excluida la hidráulica, con más de 593 TW·h producidos en todo el mundo en 2019.

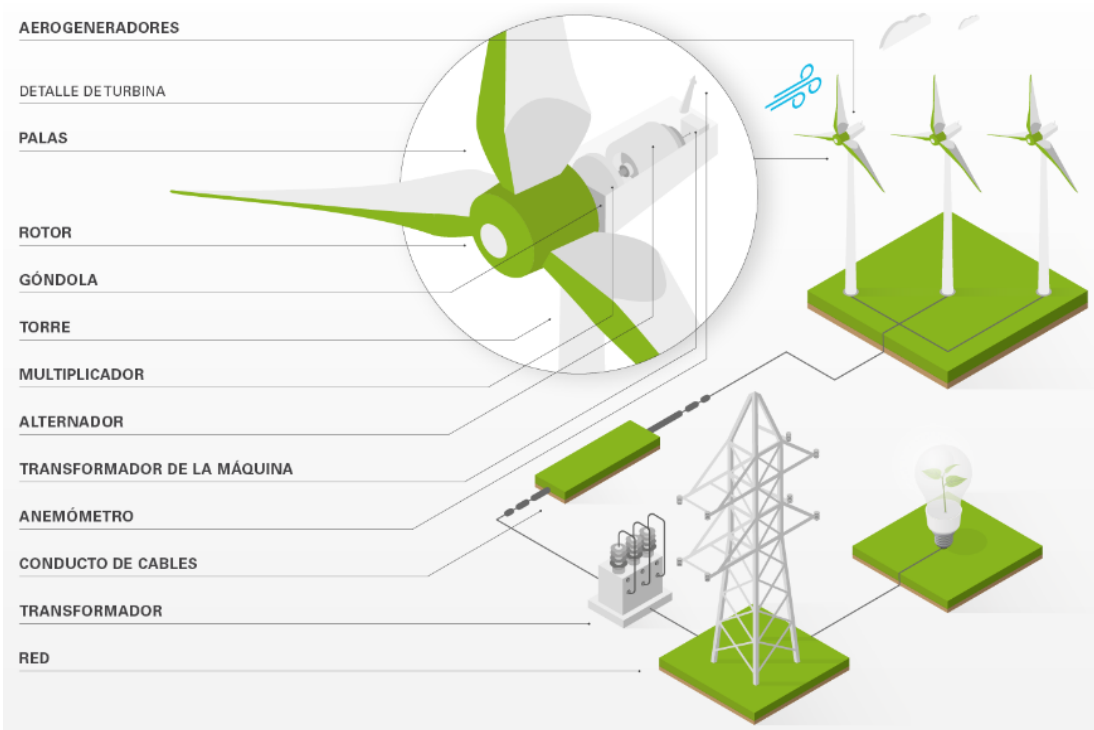
La transformación de esta energía en electricidad se realiza mediante aerogeneradores, que pueden cubrir un amplio rango de potencia en función de las necesidades y del tipo de generación elegido. Por ejemplo, los aerogeneradores marinos pueden tener varias decenas de metros de altura para generar varios MW.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, que se clasifican de acuerdo con su potencia, a la forma en la disposición de su eje de rotación y el tipo de generador que se utilice en el diseño. Si vemos la clasificación desde el punto de vista de la disposición de su eje. Se dividen en dos grupos que son los siguientes:

- Aerogeneradores de eje vertical
- Aerogeneradores de eje horizontal

**Figura 5.**

*Partes de una góndola de un generador eólico y componentes*



*Nota.* Aerogenerador y sus diversos componentes. Obtenido de Enel Green Power (2008). Descripción de un Aerogenerador. (<https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/aerogenerador>), consultado el 18 de enero de 2024. De dominio público.

## **7.2. Marco Legal en Guatemala sobre la (GDR)**

En el anexo I del Protocolo de Kioto se señala una clasificación de países que incluye Guatemala, quien procedió a firmarlo en 1998 y lo ratificó en octubre de 1999, mediante el Decreto núm. 23-99 del Congreso de la República mencionada así por (Villatoro,2015).

Guatemala, como país parte de la Convención, ha implementado una serie de acciones encaminadas a incrementar el conocimiento nacional sobre el problema, identificar e implementar medidas de adaptación y mitigación, y apoyar la implementación de sistemas de energías renovables, además de firmar y ratificar los Convenios de las Naciones Unidas. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático entre junio de 1992 y marzo de 1995 y el Protocolo de Kioto en julio de 1988 y 1999 (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

El Ministerio de Energía y Minas según Ley del Organismo Ejecutivo, (Decreto 114-97), según el Artículo 34, es el ente que tiene la potestad de atender el régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía, proveniente las fuentes que la generen, como de hidrocarburos y explotación de recursos mineros. El Ministerio de Energía y Minas promulgó la Ley General de Electricidad, y la correspondiente reglamentación para energía renovable en Guatemala, contemplando en el Decreto No. 52-2003 la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, con el Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, en el Acuerdo 71 Gubernativo No. 211-2005 (Morales, 2008).

A continuación, se transcribe un segmento de La ley General de electricidad: es libre la instalación de centrales generadoras, las cuales no requerirán de autorización de ente gubernamental alguno, y sin más limitaciones que las que se den de la conservación del medio ambiente y de la protección a las personas, a sus derechos y a sus bienes. No obstante, para utilizar con estos fines los que sean bienes del Estado, se requerirá de la respectiva autorización del Ministerio, cuando la potencia de la central exceda de 5 MW.



Así lo confirma el Acuerdo Gubernativo 68-2007, que obliga a los distribuidores de electricidad a aceptar las conexiones privadas de generación de electricidad, sobre todo si se generan utilizando fuentes de energía alternativas sostenibles.

### **7.3. Gestión energética en edificios**

Nos hemos preguntado en ocasiones si realmente estamos consumiendo de la forma correcta el recurso de energía en nuestros edificios, existen lugares en los cuales esto se realiza sin ningún control causando un alto consumo que no es necesario y facturas elevadas por este consumo caótico es por ello por lo que en los siguientes puntos hablaremos sobre la gestión energética en edificios y las distintas herramientas que existen.

#### **7.3.1. Definición y objetivos**

La gestión energética en edificios implica el análisis y control de los diferentes aspectos relacionados con el consumo de energía, como la iluminación, la climatización, los sistemas de calefacción y refrigeración, la ventilación, los sistemas de agua caliente, los equipos y electrodomésticos, entre otros (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

El objetivo principal de la gestión energética en edificios es maximizar el rendimiento energético, manteniendo al mismo tiempo un nivel adecuado de confort para los ocupantes.

### **7.3.2. Gestión de la demanda en edificios**

En la creciente evolución de los sistemas de potencia hacia redes inteligentes, se ha detectado que los consumidores tienen un papel muy importante y que pueden adicionar a mejorar el desempeño de la red. La gestión de la demanda consiste en emplear estímulos para lograr encajar los patrones de consumo para una mejora en el funcionamiento de la red de potencia.

Estos planes de adaptación a la demanda de un edificio se componen de elementos que se pueden implementar para modificar el consumo del usuario final, ya sea mediante cambios en los precios de la energía o mediante programas de incentivos para reducir el consumo. También pueden realizarse con la participación directa del usuario o a través del mercado de energía, en cuyo caso corresponde al administrador del mercado mayorista.

Si este es el caso, la respuesta a la demanda se convierte en un mecanismo de control rápido en la red general con el uso de comunicaciones digitales y equipos inteligentes de medición de energía.

### **7.3.3. Microrredes**

Una microrred es un sistema o subsistema de energía autónomo compuesto por dispositivos de control, carga, almacenamiento de energía y generación distribuida, con los sistemas de almacenamiento y generación distribuida conectados en paralelo al usuario (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

Este tipo de sistema se ha venido estudiando desde comienzos de la década del 2000 y se desglosa como un medio efectivo para convertir la red de

distribución en una red activa, lo cual ayudará a la integración en gran escala de la generación distribuida y en la transición de la red de potencia tradicional a las redes de potencia inteligentes (Li, Li & Zhou, 2015).

#### **7.3.4. Modelos de optimización**

El rápido aumento de los sistemas eléctricos tiene varias ventajas, incluida una mayor flexibilidad, confiabilidad y control en la gestión de la energía (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

Por otro lado, esto implica una mayor complejidad del sistema e importantes inversiones en la tecnología actual. Esto abre la puerta a desafíos de optimización, como lograr diseños apropiados y cada vez más eficientes, tomar decisiones en dilemas costo/beneficio o lograr un funcionamiento asequible, confiable, sustentable y seguro.

Otros problemas de optimización que surgen están relacionados con el funcionamiento del sistema. Estos tienen funciones objetivas que van desde la minimización de costos hasta la reducción de pérdidas, así como límites en las variables de estado del sistema. La variabilidad de los recursos energéticos renovables como la solar o la eólica es uno de los puntos de interés en la optimización de estos sistemas. En este sentido, se han sugerido propuestas para gestionar la fluctuación provocada por las fuentes de energía renovables.

Desarrollaron una formulación del compromiso de unidades con límites de seguridad en una investigación para atender la alta penetración de generación variable por fuentes renovables. El modelo está escrito como un problema de optimización restringido al azar, que permite la inclusión de incertidumbre en la generación y la carga.

Por otro lado, en una investigación plantearon un despacho de potencia reactiva probabilístico tomando en cuenta la variabilidad de las fuentes de energía y otros elementos del sistema como FACTS y HVDC (Taghavi, Seifi & Samet, 2015).

El modelo se escribió como un problema de optimización utilizando lógica difusa lineal y la solución utilizó estimación puntual discreta. Se demostró que este modelo requiere menos carga de procesamiento que otros métodos probabilísticos como el método de Monte Carlo.

También está disponible un modelo estocástico para el flujo de potencia óptimo (FOP) de múltiples períodos, que reduce los costos operativos bajo diversas restricciones. En esta investigación se investigaron dos nuevas técnicas para FOP con variables estocásticas:

- Enfoque déficit esperado
- Enfoque robusto en términos de la distribución

Ambos paradigmas de optimización se utilizan cuando existe incertidumbre. Se demostró, mediante ejemplos numéricos sencillos, que los dos enfoques permiten juzgar la relación coste-riesgo, y que el segundo proporciona más eficiencia computacional.

#### **7.3.5. Herramientas de gestión de la demanda de edificios**

- Eficiencia energética: buscar formas de reducir el consumo de energía mediante la implementación de medidas y tecnologías que optimicen el rendimiento de los sistemas y equipos utilizados en el edificio. Esto incluye la mejora de la envolvente del edificio, la utilización de iluminación

eficiente, la instalación de equipos de climatización y ventilación energéticamente eficientes, entre otros (Bastidas y Chinchero, 2023).

- **Monitorización y control:** implementar sistemas de monitorización y control energético para medir y analizar el consumo de energía en tiempo real. Esto permite identificar patrones de uso, detectar posibles ineficiencias y tomar acciones correctivas de manera oportuna.
- **Control de demanda:** implementar estrategias para gestionar y reducir la demanda máxima de energía en el edificio, como la implementación de programas de gestión de carga, la optimización de horarios de funcionamiento de equipos y sistemas, y la promoción de prácticas de uso eficiente de la energía entre los ocupantes.
- **Utilización de energías renovables:** integrar fuentes de energía renovable, como paneles solares fotovoltaicos o sistemas de energía eólica, para generar electricidad localmente y reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales.
- **Sensibilización y educación:** promover la conciencia y la educación sobre la importancia de la eficiencia energética entre los ocupantes del edificio, fomentando prácticas de uso responsable de la energía y proporcionando información sobre las acciones implementadas y los resultados obtenidos.

#### **7.4. Eficiencia energética en edificios**

En los edificios es conveniente integrar aspectos técnico-energéticos y medioambientales durante el proceso de su diseño y la realización de su construcción ya que por ello quedará condicionado el consumo de energía de

este mismo durante mucho tiempo en su vida útil. Debido a que esta vida útil de los edificios es demasiado larga, se evalúan formas para que estas estructuras desde la perspectiva económica y ambiental obtengan beneficios en estas dos áreas del lado del inversionista en lo económico y del lado ambiental reduciendo el exceso de contaminación que se tiene hoy en día, esto lo podemos abarcar en el sector eléctrico desde el concepto de eficiencia energética.

#### **7.4.1. Importancia de la eficiencia energética en edificios**

Desde el punto de vista ambiental, el impacto que un edificio tiene es proporcional a la cantidad de recursos y el grado de emisiones que está siendo generados en relación con las actividades y procesos que tienen lugar dentro de este mismo y de su ciclo de vida (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

Por lo que estas edificaciones contemplan un impacto ecológico que abarca más allá de su incidencia de forma directa en lo urbano y de paisaje, teniendo estos su grado proporcional de casualidad en los efectos del deterioro medio ambiental que existe en una escala global.

Para tomar en cuenta estos edificios de forma ecológica debemos tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Uso o consumo de energía
- Uso de suelo con valor ecológico
- Uso o consumo de agua
- Uso o consumo de materiales escasos
- Emisiones atmosféricas o de otro tipo
- Impactos ecológicos

Esto se orienta desde un punto de vista de eficiencia y racionalidad, para ir en busca de herramientas que permitan tener un valor de impacto ambiental. La función principal a la que se desea llegar es de tener formas de determinar un análisis del comportamiento ambiental de los edificios.

Esta forma de catalogar a los edificios comparado con otras medidas puede causar una forma distinta de ver la demanda del mercado, además de agregar beneficios y de implementar medidas fiscales que ayuden a fomentar estos tipos de proyectos. Como punto de partida de manera internacional se está realizando programas en los cuales se tengan sistemas de evaluación y clasificación que sean fiables para etiquetar a los edificios, para lograr una nueva forma de diferenciación desde el punto de vista ambiental, con el que estos tipos de proyectos puedan tener sistemas de puntuación y ponderación que les marque escalones de rendimiento que son necesarios para ir subiendo o catalogándose en distintos tipos de calificaciones.

Desde un punto de vista de racionalizar el uso de la energía, en el pasado las viviendas o edificios consumían el doble que los edificios de hoy en día, los consumos de calefacción y la creación de agua caliente son vistas como una cuarta parte del consumo de energía del lado de Europa y de la misma forma aportan en las producciones de emisiones de dióxido de carbono (Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa, 2008).

Este punto es uno de los cuatro importantes y prioritarios que se tienen en cuenta para el medio ambiente que se puso en marcha en el año 2001 por el ente de la Unión Europea en el periodo de 2001 al 2010, para alcanzar el objetivo, tenemos que iniciar a implementar sistemas energéticos de ahorro a través de medidas pasivas y activas, impulsando así la utilización de sistemas con fuentes de energía renovable.

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO REFERENCIAL**

- 1.1 Antecedente 1: simulación de una plataforma de red para campus de universidades
- 1.2 Antecedente 2: investigación planeación y operación de soluciones de optimización de energía para edificios inteligentes
- 1.3 Antecedente 3: real time energy management system for smart buildings to minimize the electricity bill
- 1.4 Otros Proyectos

### **2. MARCO TEÓRICO**

- 2.1 Generación distribuida renovable
  - 2.1.1 Definición de GDR
  - 2.1.2 Beneficios y Desafíos GDR
  - 2.1.3 Tipos de Tecnología para GDR



- 2.1.3.1 Microturbina de Gas
    - 2.1.3.2 Cogeneración
    - 2.1.3.3 Motores Alternos
    - 2.1.3.4 Fotovoltaica
    - 2.1.3.5 eólica
  - 2.2 Marco Legal en Guatemala sobre GDR
  - 2.3 Gestión energética en edificios
    - 2.3.1 Definición y objetivos
    - 2.3.2 Herramientas de gestión de la demanda de edificios
    - 2.3.3 Micro redes
    - 2.3.4 Modelos de optimización
  - 2.4 Eficiencia energética en edificios
    - 2.4.1 Importancia de la eficiencia energética en edificios
- 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
  - 3.1 Análisis comparativo del consumo energético antes y después de la implementación
  - 3.2 Evaluación de los indicadores de eficiencia energética
    - 3.2.1 Reducción del consumo energético
    - 3.2.2 Impacto de los costos operativos
    - 3.2.3 Generación de energía renovable
    - 3.2.4 Tiempo de retorno de la Inversión (ROI)
    - 3.2.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas
  - 3.3 Resultados de herramientas de eficiencia energética y GDR
    - 3.3.1 Herramienta 1: gestión inteligente de iluminación y climatización
      - 3.3.1.1 Descripción Y funcionamiento
      - 3.3.1.2 Componentes y tecnologías utilizadas

- 3.3.2 Herramienta 2: generación distribuida de energía mediante paneles solares y eólica
  - 3.3.2.1 Descripción y tipos de paneles solares
  - 3.3.2.2 Formas de instalación de paneles solares
  - 3.3.2.3 Descripción de sistemas mini eólicos
  - 3.3.2.4 Tipos de tecnología eólica utilizada en GDR
- 3.3.3 Herramienta 3: sistema de monitoreo y control energético
  - 3.3.3.1 Descripción y características
  - 3.3.3.2 Beneficios y resultados esperados
- 3.4 Comparación de resultados antes y después de la implementación

#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1 Análisis comparativo del consumo energético antes y después de la implementación
- 4.2 Evaluación de los indicadores de eficiencia energética
  - 4.2.1 Reducción del consumo energético
  - 4.2.2 Impacto de los costos operativos
  - 4.2.3 Generación de energía renovable
  - 4.2.4 Tiempo de retorno de la inversión (ROI)
  - 4.2.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas
- 4.3 Resultados de herramientas de eficiencia energética y GDR
  - 4.3.1 Herramienta 1: gestión inteligente de iluminación y climatización
    - 4.3.1.1 Descripción Y funcionamiento
    - 4.3.1.2 Componentes y tecnologías utilizadas

- 4.3.2 Herramienta 2: generación distribuida de energía mediante paneles solares y eólica
  - 4.3.2.1 Descripción y tipos de paneles solares
  - 4.3.2.2 Formas de instalación de paneles solares
  - 4.3.2.3 Descripción de sistemas mini eólicos
  - 4.3.2.4 Tipos de tecnología eólica utilizada en GDR
- 4.3.3 Herramienta 3: sistema de monitoreo y control energético
  - 4.3.3.1 Descripción y características
  - 4.3.3.2 Beneficios y resultados esperados
- 4.4 Comparación de resultados antes y después de la implementación

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Características del estudio**

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que se pretenderá cuantificar el cambio en el consumo de energía del edificio de la biblioteca central de la USAC a través de la utilización de una determinada herramienta de gestión de consumo energético y el porcentaje de cambio de gases de efecto invernadero.

El alcance será correlacional, dado que se pretende encontrar una relación entre el uso de herramientas inteligentes y el ahorro del consumo energético aplicado al edificio de la biblioteca central del campus USAC y como se ve afectado el porcentaje de huella de carbono por la variación del consumo energético.

El diseño adoptado será no experimental, pues la información acerca de diseño de investigación para la aplicación de herramientas de gestión energética y GDR para eficientar el Consumo energético en el edificio de la biblioteca central de la USAC se analizará en su estado original sin ninguna manipulación; además será longitudinal de tendencia pues se estudiará datos históricos del consumo energético y se hará una proyección en base a estos.

### **9.2. Unidades de análisis**

La unidad en estudio será el edificio de la biblioteca central del campus de la USAC la cual se encuentra en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, en esta

se analizará el cambio en la eficiencia energética, la huella de carbono y la gestión inteligente del consumo de energía en las distintas subáreas que tiene el edificio en cuestión como lo es la iluminación, calefacción y área tecnológica, de la cual se extraerán muestras de forma intencional las cuales serán analizadas en su totalidad. Las muestras se tomarán de 4 meses pasados del año 2023.

### 9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación.

**Tabla 1.**

*Variables en estudio*

Nombre Variable	Definición teórica	Definición operativa
Herramientas de gestión inteligente de consumo energético	Los Sistemas de Gestión de Energía Inteligentes son herramientas que ayudan en el ahorro de luz, gracias a su tecnología avanzada de medición, control y automatización, que proporciona información detallada sobre el consumo de energía de los equipos y de las áreas de un sitio.	Monitoreo, gestión y automatización de los subsistemas que se desean controlar
Consumo energético	El consumo energético es la cantidad total de energía que se necesita para un proceso determinado.	Esta es medida en kilovatio-hora Kwh
Eficiencia	Es aquel valor que tiene por objeto el reducir la cantidad de energía utilizada para llevar a cabo un bien o servicio o la utilización de un equipo.	Esta relación se mide en porcentaje %

Continuación de la tabla 1.

Nombre Variable	Definición teórica	Definición operativa
Huella de carbono	La huella de carbono representa el volumen total de gases de efecto invernadero (GEI) que producen las actividades económicas y cotidianas del ser humano	Se representa en un valor de CO <sub>2</sub>

*Nota.* Variables de investigación a estudiar. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### 9.4. Fases de estudio

- Fase 1: revisión de literatura y recolección de datos sobre herramientas de gestión utilizadas y las herramientas para representar las variables de estudio

Para iniciar con el estudio se comenzará por una fase de búsqueda de información por medio de recolección de datos secundarios acerca del tema del trabajo desde el ámbito más general hasta un nivel más técnico como son los artículos científicos, tesis de grado, libros.

Se describirán de forma detallada tres de estas herramientas ya que el análisis comparativo es crucial para evaluar ventajas y desventajas en la eficiencia energética de un edificio usando como medio la siguiente tabla:

**Tabla 2.***Representación de herramientas de gestión de energía*

Herramientas de gestión inteligentes			
No.	Descripción	Ventajas	Desventajas
1			
2			
#			

*Nota.* Herramientas seleccionadas a comparar de gestión inteligentes de energía. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Fase 2: recopilación de los distintos consumos de energía en los subsistemas del edificio

Se recopilará el consumo de energía dentro del edificio, estos datos se observarán por área y horas de utilización. Se representará estos consumos según el área y características.

**Tabla 3.***Descripción del área por gestionar*

Área #				
No.	Sistema/equipo	Unidad	Consumo	Horas de utilización
1				
2				
3				
#				

*Nota.* Descripción del consumo que se tiene por área del inmueble en base a los sistemas y equipo instalado. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Fase 3: herramientas estadísticas para evaluar datos

Por medio de estos datos históricos de 3 a 4 meses atrás se sacará una media de estos valores y se utilizarán herramientas estadísticas de correlación para determinar con ellas en cual se logrará una mejora de eficiencia en el consumo de energía.

**Figura 6.**

*Fórmula de media aritmética*

***Media aritmética***

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \\ &= \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}\end{aligned}$$

*Nota.* Fórmula de la media aritmética usado en la investigación. Elaboración propia, realizado con Paint.

- Fase 4: análisis y discusión de resultados

Se hará una representación en relación con tabulaciones de los datos obtenidos gráficamente proyectando como deberían ser utilizadas estas herramientas y el sistema de respaldo de la GDR para que el edificio pueda ser más eficiente.



Describir el costo de la implementación de estos sistemas si el ahorro en el consumo energético es de gran utilidad comparado con el gasto de colocar estos sistemas.

## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

De la siguiente manera, se indicarán las técnicas estadísticas y herramientas, así como el manejo de las muestras, para la obtención de la información la cual consiste principalmente en realizar el método de regresión lineal para estimar el comportamiento que debe tener la variable del consumo energético en una proyección y de la misma forma calcular el factor de correlación que existe entre las herramientas de gestión energética, la utilización de GDR y la huella de carbono y este consumo, presentándose también el tipo de análisis que se empleará en dichas comparaciones. Todos los cálculos y análisis numéricos serán realizados utilizando Microsoft Excel y si fuera necesario programas estadísticos como STATA, Python, PSS.

En la fase 1 se realizará un análisis no probabilístico ya que se entiende que esta técnica de muestreo es subjetiva en la cual como investigador es permitido elegir las variables en estudio en el caso de este trabajo de investigación se eligieron el consumo energético, herramientas de gestión energética, sistemas de respaldo de generación distribuida renovable y porcentaje de huella de carbono las cuales se recopilaran por medio un muestreo intencional o de conveniencia ya que este tipo de muestra es aquella que se toma en base al conocimiento del investigador o en criterio de cuáles son los relevantes para el propósito de la misma.

Estas muestras que se obtendrán serán de nuestra variable principal la cual es el consumo energético del edificio de la biblioteca central del campus usac, esta muestra será obtenida de 3 a 4 meses del año 2023.

Con esta muestra del consumo energético obtendremos una medida de tendencia central la cual es la media aritmética con la cual deseamos determinar un valor promedio para utilizarlo como nuestro punto base de nuestro análisis, la formulación base de la media es la siguiente:

La fórmula de la media aritmética es la siguiente:

$$\text{Media aritmética} = \frac{\sum_1^N x_i}{N} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{N} \quad (\text{Ec. 1})$$

Si la leemos de izquierda a derecha, veremos que hay tres partes. La primera es el nombre, la segunda una fórmula pequeña y la tercera el desarrollo. La segunda parte de la fórmula se lee tal que así: sumatorio desde 1 hasta N de la variable x dividido entre N. Adicionalmente, podríamos añadir un comentario que indicase: con i entre 1 y N. Descripción de cada apartado de la fórmula:

- Sumatorio: el sumatorio nos indica que debemos sumar un conjunto de valores desde el primero, hasta el N. Así si existen 30 valores, deberemos sumar el primero, el segundo, el tercero, así consecutivamente.
- N: representa el número total de observaciones.
- x: la variable X es sobre la que calculamos la media aritmética.
- i: representa la posición de cada observación.

Se pretende obtener de la fase 1 y 2 un ordenamiento de la información requerida para crear un modelo estadístico en la fase 3 esta técnica a utilizar será la de tabulación de datos, en nuestro caso utilizaremos la de tabulación para carácter cualitativo y la tabulación para variables cuantitativa discreta ya que la representación de nuestros datos serán ordenados por atributos y recuento de datos para cada las herramientas de gestión inteligentes de las cuales

tomaremos 3 técnicas para el análisis, también se hará este tipo de tabulación para describir el consumo energético por cada área dentro del edificio de la biblioteca central del campus Usac de forma ordenada de menor a mayor discretamente.

Fase 3 por medio de un modelo matemático conocido como regresión lineal, el cual es un procedimiento estadístico que nos ayuda a predecir el comportamiento futuro de datos, se determinará el valor de consumo energético que debe tener el edificio en un periodo de 3 a 4 meses en el año 2024, con este modelo se pretende encontrar la relación que existe entre la utilización de herramientas de gestión inteligentes, sistemas de generación distribuida renovable y como es afectada la huella de carbono y que se plasmará calculando el coeficiente de correlación que hay entre el consumo energético y estas variables antes mencionadas.

Fase 4 se realizará una discusión de resultados en los cuales se hará uso de la técnica de representación gráfica para representar el modelo de regresión lineal, los datos tabulados del consumo energético durante los 4 meses y como se correlacionan este con cada variable por medio de tablas.

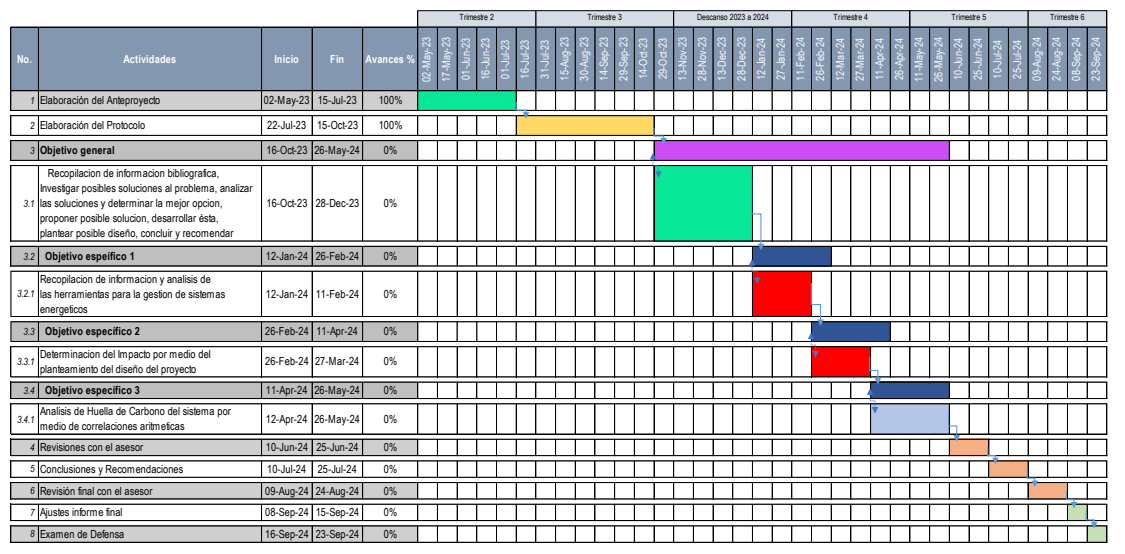


## 11. CRONOGRAMA

En el siguiente gráfico de Gantt, se representará los tiempos con los cuales se pretende abordar los objetivos de la investigación.

**Tabla 4.**

*Cronograma de actividades*



*Nota.* Cronograma de actividades de tesis en base a objetivos. Elaboración propia, realizado con Excel.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La siguiente investigación se realizará con recursos proporcionados por el propio investigador, los cuales hacen factible el tema y son desglosados de la siguiente manera:

**Tabla 5.**

*Recursos necesarios para la investigación*

Recurso	Disponibilidad del recurso	Fuente de financiamiento	Cuantificación
Humano	Investigador y asesor	No aplica	2 personas
Financiero	Gastos de Impresiones Electricidad y Internet Programa de Anti-Plagio Programas Varios	Investigador	Q 2,000
Tecnológico	Herramienta Para evaluar datos estadísticos Office 365 paquete completo Internet	Investigador	1 paquete de Office 365, Software gratuito STATA, Python, Excel, SPSS e Internet
Acceso a Información	Información publica	No aplica	Artículos científicos, tesis, publicaciones de doctorados, y toda la información que aporte valor a la investigación



Continuación de la tabla 5.

<b>Recurso</b>	<b>Disponibilidad del recurso</b>	<b>Fuente de financiamiento</b>	<b>Cuantificación</b>
Permisos	Permisos para solicitar información del edificio de la Biblioteca Usac (si es necesario).	Biblioteca central del Campus USAC	Los necesarios para obtener datos de consumo eléctrico
Equipo	Laptop	Investigador	1 laptop
Infraestructura	Oficina u hogar	Lugar de Trabajo, Investigador	1 oficina y elementos que se necesiten
Imprevistos	Se considerarán imprevistos / otros de cualquier índole	Investigador	Q500.00

*Nota.* Descripción de los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

## REFERENCIAS

- Bastidas, C. y Chinchero, H. (2023). Sistema de gestión de energía para edificios inteligentes utilizando generación distribuida. *Latín American Journal of Computing*, 10(1), 1-114. [https://lajc.epn.edu.ec/Volumenes/LAJC\\_vol10no1.pdf](https://lajc.epn.edu.ec/Volumenes/LAJC_vol10no1.pdf)
- Chauhan K., Rajpurohit B. S., Wang L., Longatt F. M. G., Y Singh S. N. (2017). Real time energy management system for smart buildings to minimize the electricity bill [Sistema de gestión de energía en tiempo real para edificios inteligentes para minimizar la factura de electricidad]. *International J. Emerg. Electr. Power Syst.*, 18(3), 15. <https://doi.org/10.1515/ijeeps-2016-0238>
- Córdova, R. (2013). *Calidad de energía en generación distribuida*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería de Perú]. Archivo digital. [https://web.archive.org/web/20180520032654id\\_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8416/1/cordova\\_ar.pdf](https://web.archive.org/web/20180520032654id_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8416/1/cordova_ar.pdf)
- Elenkova M. Z., Papadopoulos T. A., Psarra A. I., Y Chatzimichail A. A. (2017). A Simulation platform for smart microgrids in University Campuses [Una plataforma de simulación para microrredes inteligentes en campus universitarios]. *International Universities Power Engineering Conference*, (52), 1-6. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8231998>
- Escuela de Negocios & Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa. (2008). *Manual de eficiencia energética*.

Ferri, À. (2019). *Desarrollo de una herramienta para determinar la superficie del frente de llama en un MEP a partir de la presión en el cilindro* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia de España]. Archivo digital. <http://hdl.handle.net/10251/156591>

González, H. E. (2008). *Generación distribuida por medio de energías alternas renovables y su influencia en la evolución del sistema eléctrico secundario de distribución tradicional*. [Tesis de pregrado, Universidad De San Carlos De Guatemala]. Repositorio institucional.

González, J. L. (2022). *Sistema de gestión de recursos energéticos en edificios inteligentes mediante controladores predictivos*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Archivo digital. <http://hdl.handle.net/10251/189120>

Li, F., Li, R., & Zhou, F. (2015). *Microgrid technology and engineering application* [Aplicación de ingeniería y tecnología de microrredes]. Elsevier. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Gb1zCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Li,+F.,+Li,+R.,+%26+Zhou,+F.+\(2015\).+Microgrid+technology+and+engineering+application.Elsevier.](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Gb1zCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Li,+F.,+Li,+R.,+%26+Zhou,+F.+(2015).+Microgrid+technology+and+engineering+application.Elsevier.)

Losi, A., Mancarella, P., & Vicino, A. (2015). *Integration of demand response into the electricity chain: challenges, opportunities, and Smart Grid solutions* [Integración de la respuesta a la demanda en la cadena eléctrica: desafíos, oportunidades y soluciones Smart Grid].

Morales, V. (2008). *Generación eléctrica fotovoltaica en la facultad de ingeniería usac y estudio del aprovechamiento*. [Tesis de maestría, Universidad de

San Carlos de Guatemala]. Archivo digital.  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/7779>

Puñal, J., López, F., García, J., Universidad de Extremadura. (2022). Building project equipped with an intelligent microgrid with photovoltaic solar energy supply and hydrogen storage [Proyecto de edificio dotado de una microrred inteligente con suministro de energía solar fotovoltaica y almacenamiento de hidrógeno]. *International Congress on Project Management and Engineering Terrassa*, 26(5), 1450-1462.  
<http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/3258>

Quispe, J., Quezada, D. y Roque, A. (2019). *Factibilidad de la instalación de generación distribuida en la Universidad Nacional del Callao*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Callao de Perú]. Archivo digital.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12952/4076>

Sembroiz D., Careglio D., Ricciardi S., y Fiore U. (2019). Planning and operational energy optimization solutions for smart buildings [Soluciones de planificación y optimización energética operativa para edificios inteligentes]. *Inf. Sci.*, 476, 439-452. <http://hdl.handle.net/2117/341336>

Taghavi, R., Seifi, A. R., & Samet, H. (2015). Stochastic reactive power dispatch in hybrid power system with intermittent wind power generation [Despacho estocástico de energía reactiva en sistema híbrido con generación eólica intermitente]. *Energy*, 89, 511-518.  
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8186156>

Villatoro, E. (2015). *Diseño de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica conectados a red para autoconsumo, bajo normativa de*

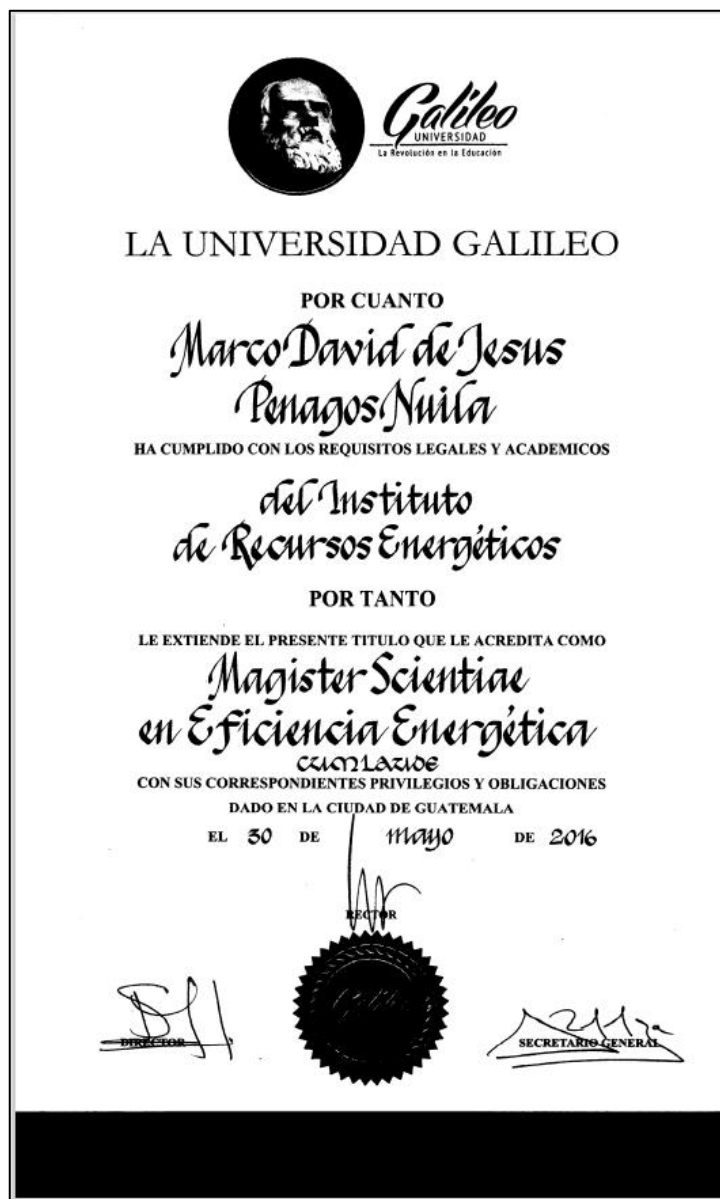
*generación distribuida NTGDR, de los edificios S1 Y M5, del campus central de la Usac.* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital.

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/1055>

## DOCUMENTOS DEL ASESOR

**Figura 7.**

*Título de maestría de asesor*



Continuación de la figura 7.

DR. JOSE EDUARDO SUGER COPIÑO, P.B.  
Rector  
Universidad Galileo

INGA. LOURDES SOCARRÁS MÉRIDA  
Director INST. DE RECURSOS ENERGÉTICOS  
Universidad Galileo

MA. JONATÁN REYOLAZA  
Secretario General  
Universidad Galileo

Superintendencia de Administración Tributaria  
Gerencia Regional Central  
Agencia Tributaria Zona 9

Nº del Solicitante: 2251163-6 Impuesto Cancelado Q. 110.00  
Banco: GAT. MON. BDO. No. 17808349201  
Fecha de Pago: 16/08/2016  
Fecha: 16/08/2016  
Firma y Sello del Técnico

**CCIC**  
Contraloría General de Cuentas  
Nº 32863  
DIRECCIÓN DE CONTROL Y VERIFICACIÓN INTERINSTITUCIONAL  
DEPARTAMENTO DE TÍTULOS Y DIPLOMAS ACADÉMICOS  
IMPORTANTE: PARA VERIFICAR EL REGISTRO DE ESTE TÍTULO INGRESAR A NUESTRA PÁGINA WEB  
[www.contraloria.gob.gt](http://www.contraloria.gob.gt)  
"La Transparencia Impulsa el Desarrollo"

UNIVERSIDAD GALILEO  
SECRETARIO GENERAL  
QUEDA REGISTRADO

Número: 20163275  
Fecha: 16/08/2016  
Firma Encargado: [Firma]

UNIVERSIDAD GALILEO  
DEPARTAMENTO DE REGISTRO  
QUEDA REGISTRADO

Número: 16003275  
Fecha: 16/08/2016  
Firma Encargado: [Firma]

Nota. Documentación de asesor adjuntada en la papelería solicitada por la escuela de postgrado.  
Elaboración propia.

**Figura 8.**

*Carta de aceptación del trabajo por el asesor*



*Nota.* Documentación de asesor adjuntada en la papelería solicitada por la escuela de postgrado.  
Elaboración propia.



**Figura 9.**


*Constancia de colegiado activo-otorgada por el asesor*

**CONSTANCIA DE COLEGIADO ACTIVO**

La Infrascrita, Secretaria de la Junta Directiva del Colegio de Ingenieros de Guatemala, hace constar que el / la

Ingeniero(a) Electricista, Magister Scientiae en Eficiencia Energética

**MARCO DAVID DE JESUS PENAGOS NUILA**



Colegiado (a) 8181 se encuentra activo (a) de conformidad con el Artículo 5, Decreto 72-2001 del Congreso de la República, Ley de Colegiación Profesional obligatoria, hasta el día 31/03/2024, Con fecha de Colegiación 18/12/2006

Guatemala, 31 de enero de 2023

(f) **Entidad Académica: Universidad de San Carlos de Guatemala**

<b>Silvio Antonio Orozco Castillo</b> Ingeniero Civil Presidente Junta Directiva 2021-2023	<b>Monica Patricia Rodas Castro</b> Ingeniera Industrial Secretaria Junta Directiva 2021-2023	<b>Firma y sello del colegiado</b>
---	--	------------------------------------

Entidad Receptora: Colegio de Ingenieros de Guatemala

Esta constancia fue generada el día **31 de enero de 2023** y tiene vigencia de 3 verificaciones del código QR.  
Para los recursos que a la entidad receptora convenga deberá verificar su autenticidad a través del link:  
<https://colegio.cig.org.gt/Document/ValidarDocumento> o bien llamando al 2218-2600

Verificador: **cfdedb3e10ef75099**  
ID: **75099**


**COLEGIO DE INGENIEROS DE GUATEMALA**  
7, avenida 39-60, zona 8, PBX: (502) 2218-2600  
email: [juntadirectiva@cig.org.gt](mailto:juntadirectiva@cig.org.gt) / Guatemala, C.A.  
[www.cig.org.gt](http://www.cig.org.gt)

*Nota.* Documentación de asesor adjuntada en la papelería solicitada por la escuela de postgrado.

Elaboración propia.

**Figura 10.**

*Curriculum vitae de asesor*

	<p><b>MARCO DAVID DE JESUS PENAGOS NUILA, C.M.V.P</b></p> <p><b>Ingeniero Electricista</b></p> <hr/> <p>Fecha de nacimiento: 21 de junio de 1978 30 calle 28-49 zona 5. Edificio Céntrico. Apto. 412 Guatemala, Guatemala - Cel. (502) 4150-2909 E-mail: <a href="mailto:mdpenagos@gmail.com">mdpenagos@gmail.com</a></p> <p><b>OBJETIVO</b></p> <p>Ingeniero Electricista, Máster en Eficiencia Energética y Profesional Certificado para la medición y verificación (C.M.V.P.) para desarrollo de proyectos, planificación, coordinación de mantenimientos preventivos y correctivos, incluyendo especificación de equipo, seguimiento, control de costos, eficiencia energética, auditorías energéticas, auditorías eléctricas, programación de actividades, líneas de transmisión en media y alta tensión, asesoría en la ley de electricidad, reglamentos, normas y análisis del mercado eléctrico Guatemalteco y mercado eléctrico regional. Asesoría a Empresas Eléctricas Municipales, Hidroeléctricas, Generadores Distribuidos Renovables y la Industria en General.</p> <p><b>EXPERIENCIA</b></p> <p><b>Subgerente Gerencia de Electrificación Rural y Obras, INDE, Guatemala 2022 a la fecha.</b></p> <p>Planificar, gestionar y coordinar con todas las Divisiones de la Gerencia, todas las actividades que se llevan a cabo por las mismas. Estudios de Informe Socioeconomicos (MEM), Estudios de Impacto Ambiental (MARN), Planificación Operacional Anual, Multianual y Referencial, Estudios de Prefactibilidad y Factibilidad a presentar a SEGEPLAN, Contratos de Obras, Supervisión de Obras, Análisis de presupuestos. Representar al Gerente en las diversas actividades como atender citaciones en Congreso de La Republica de Guatemala, así como toda la información solicitada por los diversos actores del sector eléctrico. Gestionar y atender reuniones con todos los agentes involucrados en las obras de electrificación rural de Guatemala.</p> <p><b>Jefe División Coordinadora de Electrificación Rural, INDE, Guatemala 2020 – al 2022.</b></p> <p>Planificar y coordinar el análisis y factibilidad de proyectos que integran a la red de distribución a las comunidades o aldeas que poseen el estudio socioeconómico correspondiente por parte del MEM, lo cual permite realizar proyectos siempre que se</p>
---	--

Continuación de la figura 10.

cuenta con los recursos económicos para hacerlos. Encargado de realizar acciones orientadas a impulsar el desarrollo de nuevas industrias y el uso de electricidad en las regiones rurales. Ejecutar el Plan de Electrificación Rural (PER). Llevar a cabo el Plan Operativo Multianual 2020-2022 que se tiene establecido como resultado institucional contribuir al aumento del índice de cobertura eléctrica del área rural del país con 61,000 nuevos usuarios al año 2024; propiciando la infraestructura eléctrica necesaria a potenciales comunidades y habitantes del área rural, coadyuvando el crecimiento económico, la prosperidad de todos los beneficiados y el incremento de la cobertura de la red eléctrica nacional; a través de Programas de electrificación rural en coordinación con entidades privadas, municipales y del Estado.

**Gerente de Proyectos, Consultoría Energética Integral.** 2012 – 2020

Empresa dedicada a dar asesoría, ejecución de proyectos eléctricos en baja, media y alta tensión. Venta de servicios y equipo de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Hidroeléctricas y Generadores Distribuidos Renovables, Municipalidades, Empresas Eléctricas Municipales y empresas de reconocido prestigio. Se participó activamente en la implementación de un sistema de gestión energético, bajo la norma ISO50001 en fábrica de llantas Bridgestone, Costa Rica. Se han realizado más de 20 auditorías de eficiencia energética en empresas nacionales e internacionales y más de 50 auditorías eléctricas en sector nacional. Especializado en la verificación, medición y mejoramiento de sistema de puestas a tierra (SPT) y sistemas integrales de protección contra rayos (SIPRA), cableados de puesta a tierra para equipos sensibles. Levantamiento de activos en líneas de media tensión y estudios de flujos de carga y pérdidas técnicas.

**Consultor, EFIPRO** 2012 - 2018

Empresa dedicada a capacitar, asesorar y realizar Sistemas de Gestión de Energía Eléctrica para la industria. Se han realizado más de 20 auditorías de eficiencia energética a empresas nacionales e internacionales. Facilitador de curso de eficiencia energética para Grupo Epm y Agexport.

**Jefe de Planta, INDE, Escuintla, Escuintla** 2010 - 2012

Se planificó y coordinó la operación y el mantenimiento preventivo y correctivo, el mantenimiento mayor programado y los proyectos de rehabilitación y mejoramiento de las plantas hidroeléctricas, termoeléctricas y sistemas de generación aislados; Se coordinó las actividades de programación de la generación y recolección, procesamiento y análisis estadístico de la información relacionada con la producción de energía, del área de la Gerencia; Se coordinó con las áreas administrativas, financiera y comercial actividades inherentes a las plantas generadores relacionadas con tal asignación y control de recursos presupuestales, contratación de servicios y adquisición de bienes, facturación de servicios y adquisición de bienes, facturación de potencia y

Continuación de la figura 10.

energía generada; se asistió al gerente en actividades técnicas y administrativas relacionadas con la operación y el mantenimiento de las plantas generadoras, se promovió gestiones para el desarrollo de planes de inversión en proyectos de rehabilitación y mejoramiento en coordinación con la división de Ingeniería; se mantuvo estrecha vigilancia y control sobre las condiciones reales de funcionamiento de las plantas generadores, para cubrir los bloques de energía y potencia programados.	
<b>Analista de mercado</b> , CNEE, Guatemala, Guatemala	2008-2010
Se verificó el cumplimiento de las normas de coordinación comercial y operativa por parte del Administrador de Mercado Mayorista (AMM). Se verificó el cumplimiento de las normas de coordinación comercial y operativa por parte de los participantes. Se elaboraron dictámenes técnicos correspondientes a los reclamos presentados por el AMM. Se realizó el análisis, desarrollo, implementación y administración de una base de datos y aplicaciones para la automatización del monitoreo del Mercado Eléctrico de Guatemala.	
<b>Calidad de suministro</b> , Unión Fenosa, Guatemala, Guatemala	2005-2008
Se realizó la administración de presupuesto, programación y auditoría de mediciones de calidad de suministro DEORSA – DEOCSA, supervisión, generación de reportes y procesamiento de información con el fin de cumplir con la normativa vigente de la CNEE ( Comisión Nacional de Energía Eléctrica ), planeación y ejecución de balance de cargas. Planeación y coordinación de 300 mediciones de calidad de suministro mensuales, auditando las mediciones, ofreciendo soporte técnico a la contrata encargada de conectar el equipo de calidad y atención al cliente.	
<b>Operador de red eléctrica</b> , Unión Fenosa, Guatemala, Guatemala	2003-2005
Se realizó la operación del sistema nacional interconectado de las distribuidoras DEORSA – DEOCSA, coordinación y manejo de 60 brigadas vía radio y teléfono por empresa, con el fin de atender las incidencias y personal a cargo de la solución de las mismas. A cargo de las subestaciones telecontroladas y no telecontroladas en caso de aperturas.	
<b>Auxiliar de cátedra</b> , Universidad de San Carlos de Guatemala	2003-2004
Se impartió el curso de "Instalaciones Eléctricas", realizar exámenes y calificarlos, aproximadamente 100 estudiantes.	
<b>EDUCACION</b>	
Certificado de Auditor interno en Sistemas de Gestión de Energía según ISO50001:2018 2020 Bureau Veritas Business school Certificado No. 123146	
Certificado como profesional de medición y verificación CMVP por la AEE	2018

Continuación de la figura 10.

Certificate ID 5327 Vigente hasta el 2024.	
Maestría en Eficiencia Energética, Universidad Galileo, Guatemala Graduado, en trámite de impresión de Título.	2016
Licenciado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala Título: Ingeniero Electricista	2006
Bachiller, José Cecilio del Valle, Guatemala, Guatemala Título: Bachillerato en Computación con orientación comercial	1995
<b>HABILIDADES / CAPACIDADES</b>	
Técnicas: Microsoft Office, LAN's, COBOL, Delphi 7, SQL, Pascal, MS DOS, Photoshop 9, CorelDraw 12, SCADA, Autocad, ArcGis, RetScreen, DiaLux, Volts, NEPLAN 360.	
Altamente desarrollado para trabajo en equipo, buena comunicación, confiable, literato en computadoras, persona autodidacta, solucionador de problemas y tomador de decisiones.	
<b>EXPERIENCIA EN INSTRUMENTOS</b>	
Cire3 Analizador de red eléctrico, Marca Circutor Myebox 1500 analizador de red eléctrico, Marca Circutor CVM-BDM Analizador de red eléctrico, Marca Circutor QNA Analizador de Flicker y Armónicos, Marca Circutor ION8600 Medidor de potencia y energía, Marca Powerlogic FXA/FXB Control de Reconectores, Marca Cooper M4000, M4110 y TTR y el software "Doble Test Assistant –DTA" para las pruebas de aislamiento de Generadores, Transformadores de Potencia, CT's y PT's Fluke, 1630 Earth Ground Clamp – Mediciones de Tierras Fisicas MEGGER MIT 400/2 – Medición de aislamiento en Transformadores y equipo. MEGGER TTR 2-1 Medición de Relación de Transformación. Medidor de flujo – PF330 o Medidor de Energía marca Micronics. HT GSC60, analizador de red, medidor de aislamiento y telurómetro. Marca HT instruments. Luxometro – Tacometros – Termohigrometros – Camara Termográfica.	
<b>AFILIACIONES</b>	
Colegiado Activo 8181 Miembro 131698	Colegio de ingenieros de Guatemala Association of Energy Engineers - USA



Continuación de la figura 10.

#### REFERENCIAS

Ingeniero Carlos Caballeros, Gerente de Servicios RICOH, Guatemala, Cel. + 502 3000-1368

Licenciada María Teresa Arriaza, directora GTCBank, Guatemala, Cel. +502 5208-2057

Ingeniero Carlos Schneckenburger, ERA-RELMO, Guatemala, Cel.+502 5945-5741

#### OTROS CURSOS

- "Curso de corrientes Armónicas en Sistemas Industriales", IEEE, 28 de abril 2006.
- "Curso de nuevas tecnologías para la obtención de Biodiesel y Bioetanol", USAC – UCLV, 24 de agosto 2007.
- "Curso de SQL Server 2008 Implementing, Writing and Maintaining", New Horizons -, 06 de abril 2008.
- "Diseño, Implementación y gestión de microcentrales hidroeléctricas", OLADE – CEDECAP, 28 de octubre 2008.
- "Balances de energía útil como herramienta de planificación", OLADE, 20 de febrero 2009.
- "Economía de la Regulación de la Actividad de Generación y Mercado Mayorista" -5ª Edición, CIER, 21 de junio 2009.
- "Desarrollo de Proyectos Eólicos", CESEM-USAC, 21 de junio 2010.
- "Administración de la Continuidad del Negocio", Risk Engineering Services, 27 de agosto 2010.
- "Curso introductorio RCM2, mantenimiento centrado en confiabilidad", SOPORTE & CIA, LTDA., 23 de diciembre 2010.
- "Teoría, uso y manejo de los instrumentos M4000, M4110 y TTR y el software "Doble Test Assistant –DTA" para las pruebas de aislamiento de Generadores, Transformadores de Potencia, CT's y PT's", Dobbie Engineering Company, 11 de marzo 2011.
- "Diplomado de Alta Gerencia", CUNORI-USAC-Kon-tacto empresarial, 07 de mayo 2011.
- "I Seminario para Operadores del S.N.I.", AMM, 17 de junio 2011.
- "Seguridad Eléctrica Integral", Risk Engineering Services, 08 de julio 2011.

Continuación de la figura 10.

- **"Seminario de manejo y control de inventarios"**, ESSO STANDARD OIL, 21 de julio 2011.
- **"Curso de Greenpyme para la formación de auditores energéticos"**, Corporación Interamericana de Inversiones (IIC), Greenpyme, 6 de julio 2013.
- **"Diplomado de Diseño y soluciones eficientes de la energía"**, Schneider Electric, Esinsa y Colegio de Ingenieros de Guatemala, 8 de agosto 2013.
- **"Ahorro y eficiencia energética en la edificación"**, SEAS – Universidad Católica de Avila, España. Curso Técnico Online. 30 de septiembre 2016.
- **"Fundamentals of Measurement & Verification"**, AEE – EVO, Boston, Estados Unidos. Hynes Convention Center. 22 de marzo 2018.
- **"International Performance and Measurement Verification Protocol & ISO50015"**, EVO, Certificate # ADT201910-15. Noviembre 2019. Online.
- **"Auditor Interno en Sistemas de Gestión de Energía según ISO50001:2018"**, Bureau Veritas Busniess School, Certificado No. 123146. Febrero 2020. Online.

*Nota.* Documentación de asesor adjuntada en la papelería solicitada por la escuela de postgrado.

Elaboración propia.

## APÉNDICES

### Apéndice 1.

#### Árbol del problema

#### ARBOL DEL PROBLEMA



*Nota.* Árbol del problema en el cual se representa el punto de inicio de la investigación determinando el problema central, causas y efectos. Elaboración propia.



## Apéndice 2.

### Matriz de coherencia

Preguntas	Objetivos
<b>Pregunta central</b> ¿Cuál es el impacto que se generará en el consumo energético del edificio de la biblioteca central del campus de la USAC al utilizar herramientas de gestión inteligentes y sistemas de generación distribuida renovable?	Determinar el impacto en el consumo energético del edificio de la biblioteca central del campus de la USAC a través del diseño de un método de investigación utilizando herramientas inteligentes y generación distribuida.
<b>Pregunta específica 1</b> ¿Cuáles son las alternativas y herramientas que se pueden implementar en el edificio de la biblioteca central del campus de la USAC?	Conocer cuáles son las herramientas que se pueden implementar en el edificio de la biblioteca central del campus de la USAC a través de un análisis exploratorio.
<b>Pregunta específica 2</b> ¿Cuál es el impacto que se tendría en el despacho de energía al implementar sistemas <i>Smart grids</i> en el edificio de la biblioteca central del campus USAC?	Determinar el impacto producido en el despacho de energía al implementar una red <i>Smart grid</i> en el edificio de la biblioteca central del campus de la USAC por medio de un gráfico de líneas por medio del cual se puedan evaluar los cambios producidos.
<b>Pregunta específica 3</b> ¿Cuál es el porcentaje de huella de carbono que se puede disminuir al hacer uso de estas herramientas de gestión inteligentes en el edificio de la Biblioteca central del Campus USAC?	Determinar el porcentaje de huella de carbono que se puede disminuir al implementar herramientas de gestión inteligentes, a través de un análisis estadístico.

*Nota.* Matriz de coherencia herramienta utilizada para plantear las preguntas principal y auxiliares al problema y objetivos Elaboración propia.