



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACION DE UN
SISTEMA BMS, APLICADO A LOS NUEVOS EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Diego André Tenas Morales

Asesorado por el M.A. Ing. Dennys Alexander Carmaja López

Guatemala, marzo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACION DE UN
SISTEMA BMS, APLICADO A LOS NUEVOS EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO ANDRÉ TENAS MORALES

ASESORADO POR EL M.A. ING. DENNYS ALEXANDER CARMAJA LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Inga. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA BMS, APLICADO A LOS NUEVOS EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 16 de noviembre de 2022.

Diego André Tenas Morales



EEPFI-PP-2099-2022

Guatemala, 16 de noviembre de 2022

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

Estimado Ing. Rivera


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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION PARA LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA BMS, APLICADO A LOS NUEVOS EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y uso eficiente de la energía - Uso eficiente en edificaciones urbanas y rurales**, presentado por el estudiante **Diego Andre Tenas Morales** carné número **201404306**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA OPCION ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingenieria 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.

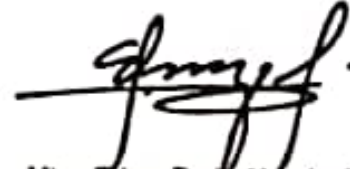
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Dennys Alexander Carnaja Lopez
Ingeniero Industrial
Colegiado No. 20,243
Mtro. Dennys Alexander Carnaja Lopez
Asesor(a)


Juan Carlos Fuentes Montepoque
Coordinador(a) de Maestría




Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingenieria





EEP-EIME-1720-2022

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 INVESTIGACION PARA LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA BMS, APLICADO A LOS NUEVOS EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Diego Andre Tenas Morales**, 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

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

Guatemala, noviembre de 2022

LNG.DECANATO.OI.264.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA BMS, APLICADO A LOS NUEVOS EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Diego André Tenas Morales**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, marzo de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme cumplir con esta meta, brindarme la salud y toda la fuerza necesaria para culminar esta etapa.
- Mis padres** Carlos Tenas y Leticia Morales, por el apoyo que me brindaron en cada momento, por todas sus palabras de aliento y motivación, por siempre estar presentes.
- Mis hermanos** Sughey y Didier Tenas, por estar presentes y apoyarme desde el inicio de mi carrera profesional.
- Mi esposa e hijo** Sophia Quiñonez y a mi hijo Diego Santino Tenas, por ser esa motivación para culminar esta última etapa, gracias por todo su apoyo brindado y por estar presentes para mí en todo momento.
- Mis amigos** A cada uno por su apoyo, por cada momento y cada etapa que vivimos durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios, y la institución que me permitió iniciar mi carrera profesional de ingeniería
Facultad de Ingeniería	Por brindarme todas las herramientas y enseñanzas necesarias para convertirme en un profesional.
Empresa	Por haberme brindado la oportunidad de culminar esta última etapa.
Mis amigos	Por brindarme su apoyo en cada uno de los cursos de la carrera.
Mi asesor	M.A. Ing. Dennys Carmaja por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
Familia Cordón y familia Escobar	Por el apoyo brindado durante este último proceso de maestría.
Familia, cuñados y amigos en general	Con quienes compartí durante la carrera, y me brindaron su apoyo y consejo durante el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Eficiencia energética	19
7.2. Ahorro energético	19
7.3. Edificios inteligentes	20
7.3.1. Características de un edificio Inteligente	20
7.3.1.1. Sensores de medición	20

	7.3.1.2.	Módulos de control	21
	7.3.1.3.	Mantenimiento predictivo.....	21
	7.3.1.4.	Gestión de sistema HVAC.....	21
	7.3.1.5.	Gestión energética	21
7.4.		Sistema de Gestión Energética (SGEN)	22
	7.4.1.	Importancia de un SGEN	23
7.5.		Normativas y estándares de eficiencia energética para edificios	23
	7.5.1.	Norma ISO 50001	23
	7.5.2.	ASHRAE 90.1 2019.....	24
7.6.		BMS (<i>Building Management System</i>).....	25
	7.6.1.	Beneficios de un sistema BMS.....	26
7.7.		Componentes fundamentales del BMS	27
	7.7.1.	<i>Software</i> del sistema	28
		7.7.1.1. Licenciamiento	29
		7.7.1.2. Estación de trabajo.....	29
		7.7.1.3. Estación Web	30
		7.7.1.4. Servidor empresarial	30
		7.7.1.5. Base de datos	30
		7.7.1.6. Protocolos de comunicación.....	30
	7.7.2.	<i>Hardware</i> del sistema.....	32
		7.7.2.1. Servidor de automatización (AS-P)	32
		7.7.2.2. Módulo de alimentación del sistema (PS-P).....	32
		7.7.2.3. Módulo de entradas y salidas (IO).....	33
		7.7.2.4. Servidor (Host)	33
	7.7.3.	Dispositivos de campo	33
		7.7.3.1. Sensores de accionamiento y medición	33

	7.7.3.2.	Actuadores.....	34
	7.7.3.3.	Medidores de energía.....	34
7.8.		Arquitectura del sistema	35
	7.8.1.	Redes de comunicación	36
7.9.		Generalidades y definiciones para un diseño eficiente de un BMS.....	38
	7.9.1.	Demanda energética	39
	7.9.2.	Estrategias para controlar la alta demanda energética.....	39
	7.9.2.1.	Estrategias para una correcta operación de sistemas de aire acondicionado por medio de BMS	40
	7.9.2.2.	Estrategias de operación del sistema de iluminación para un edificio.....	42
7.10.		Certificación LEED	43
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
9.		METODOLOGÍA.....	49
	9.1.	Tipo de estudio	49
	9.2.	Fases del estudio	49
	9.2.1.	Fase 1. Exploración bibliográfica	49
	9.2.2.	Fase 2. Evaluación de los componentes técnicos y económicos para una implementación de un sistema BMS.....	50
	9.2.3.	Fase 3. Elaboración de un plan estratégico de gestión y control para una implementación eficiente	53

9.2.4.	Fase 4. Realización de esquemas de conexión y diseño de interfaz de gestión del sistema BMS.....	55
9.2.5.	Estimación del ahorro energético y económico	58
9.2.6.	Fase 6. Guía con criterios necesarios de eficiencia energética para optar a certificaciones internacionales	59
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	61
11.	CRONOGRAMA	63
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	67
13.	REFERENCIAS	69
14.	APÉNDICES	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo de mejora de sistema de gestión energética	22
2.	Aspectos funcionales de un BMS.....	26
3.	Componentes de un sistema BMS.....	28
4.	Arquitectura centralizada de un sistema BMS.....	35
5.	Arquitectura general de un sistema BMS	38
6.	Analizador de Calidad de Energía Fluke	51
7.	Esquema de conexión, comunicación e integración del sistema BMS	56
8.	Interfaz de gestión y control para sistema BMS	57
9.	Cronograma de actividades	64

TABLAS

I.	Principales estrategias en el control de iluminación	42
II.	Evaluación de componentes para la implementación del sistema	52
III.	Ejes de acción de un plan de gestión energética	53
IV.	Análisis de ahorro energético.....	58
V.	Análisis de ahorro económico	59
VI.	Recursos necesarios para la investigación	67

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
α	Ángulo de factor de potencia
S	Área
C°	Celcius
CA	Corriente Alta
CD	Corriente Directa
d	Distancia
é	Eficiencia Energética
Hz	Hertz
H	Hora
KW	Kilogramo
Km	Kilómetro
KW	Kilovatio
KWh	Kilovatio hora
KV	Kilovoltio
MW	Mega Vatio
m	Metro
m^3	Metro cúbico
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
N	Norte
'	Pies o minutos
P	Potencia

“	Pulgadas o segundos
Q	Quetzales
RPM	Revoluciones por minuto
W	Vatio
V	Voltio

GLOSARIO

ASHRAE	Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
ATS	Interruptor de Transferencia Automática.
BACNET	Protocolo de comunicación para sistemas de baja tensión.
BMS	Sistema de Administración de Edificios.
BTU	Unidad Térmica Británica.
CDP	Centro de procesamiento de datos.
Generador	Máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
ISO	Organización Internacional de Estandarización.
IT	Tecnologías de información.
MODBUS	Protocolo de comunicación industrial.

NEC	Código Nacional Eléctrico.
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.
PDU	Unidad de distribución de potencia.
PUE	Eficiencia energética en centro de datos.
RS-485	Protocolo de comunicación por medio de cableado de red.
TCP / IP	Bus de comunicación inalámbrico.

RESUMEN

Los edificios son grandes consumidores de energía eléctrica, a pesar de que la demanda energética de estas construcciones aun no es un dato medible en la ciudad de Guatemala, estos al paso que crece el parque edificatorio en la ciudad, representa una alta demanda de energía a corto plazo, generando altos costos económicos para las organizaciones o propietarios por la mala planificación de los consumos.

Actualmente estas construcciones no cuentan con sistemas de gestión energética para una planificación de consumo energético que aumente la eficiencia del inmueble.

El presente diseño de investigación propone una guía para analizar la viabilidad de implementar sistemas BMS (Sistema de Administración de Edificios), a los nuevos edificios de la ciudad de Guatemala, basado en normativas y estándares de eficiencia energética para edificios como lo es la ASHRAE 90.1-2019 y la ISO 50001.

Juntamente con ello se propone un plan de gestión y control para los equipos de mayor consumo energético de un edificio, realizando una interfaz de monitoreo que simule el ahorro de energía y por ende la eficiencia energética al momento de implementar un sistema BMS al inmueble.

Finalmente se realizará un análisis comparativo del ahorro energético y económico que podría tener un edificio de alta eficiencia energética, estableciendo así mismo los criterios necesarios para que el edificio pueda optar a certificaciones internacionales de eficiencia energética y sustentabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el parque edificatorio de Guatemala va en gran crecimiento, trayendo grandes beneficios a sectores industriales, como también a constructoras, diseñadores, venta de material y equipos; pero hay un sector en específico que está siendo afectado o será afectado al paso del crecimiento de este tipo de inmobiliario, y es el sector eléctrico del país por la alta demanda de energía que este tipo de construcciones atrae y por ende el incremento de la operación de las centrales de generación y las consecuencias medioambientales que esto conlleva.

En la presente investigación se propone la implementación de sistemas BMS (Sistema de Administración de Edificios), para convertir los edificios convencionales en edificios totalmente inteligentes, es decir, se propone un proyecto en donde todo el sistema eléctrico del edificio trabaje completamente de una manera autónoma, proporcionando a los operadores, administradores y ocupantes un entorno de trabajo y de vida más cómodo y por ende más seguro. Por medio de la implementación de este *software* se pretende controlar a gran medida la alta demanda energética que conlleva un edificio y así disminuir en gran parte el alto consumo energético que conlleva operar un edificio.

Con base en esta investigación se pretende determinar la viabilidad de implementar estos sistemas a un edificio y al mismo tiempo servir como una guía útil para las organizaciones que estén interesadas en mejorar la eficiencia energética de su inmueble. Con esta guía se pretende también proporcionar un conjunto de estrategias de alta eficiencia energética que cubran tanto las necesidades energéticas del edificio como también las necesidades ambientales

que hoy en día se están viviendo, disminuyendo indirectamente los gases de efecto invernadero.

Para la realización de este estudio se pretende realizar algunas visitas técnicas al diferente parque edificatorio de la ciudad de Guatemala, donde se tomara el registro del consumo energético total del edificio en cada mes, para que de esta forma, por medio del software de gestión realizar una simulación en la cual por una interfaz de monitoreo y control realizar la estimación de ahorro energético que los edificios podrían llegar a tener gracias a la implementación de estos sistemas y al mismo tiempo el ahorro económico que esto conlleva.

En el capítulo uno de la investigación, se presentan los antecedentes más relevantes. En el capítulo dos se realiza una revisión bibliográfica de los fundamentos teóricos para la implementación de sistemas BMS de alta eficiencia energética. En el capítulo tres se evalúan los componentes técnicos y económicos para la implementación de este software de gestión al edificio. El capítulo cuatro se divide en la elaboración de un plan de supervisión, gestión y control para una mejora continua de eficiencia energética, realización de esquemas de conexión, comunicación e integración del sistema eléctrico del edificio a la plataforma y uso de la misma para la elaboración de interfaz de monitoreo y gestión de las variables para simular el plan estratégico de eficiencia energética.

El capítulo cinco consiste en realizar tablas comparativas para la estimación del ahorro energético y económico que puede llegar a tener el edificio. En el capítulo seis se formulan los criterios necesarios de eficiencia energética para impulsar a organizaciones a optar a certificaciones internacionales. Finalmente se plantearán conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo de investigación.

2. ANTECEDENTES

Hay muchos casos de estudios referentes a eficiencia energética por medio de nuevas tecnologías de gestión, y control con el que se logran optimizar muchos de los medios energéticos del edificio y entre ellos se tiene el trabajo de postgrado titulado *Sistema de control centralizado de edificios B.M.S*, Iván Robinson (2016), hace mención sobre el porcentaje de los recursos que representa un edificio en promedio, estos son el 17 % del uso de agua potable, 25 % del uso de madera, un aproximado del 33 % de contaminación por el Monóxido de Carbono y el 40 % del uso de recursos energéticos en general, por lo que en su caso de estudio determina que, los edificios autosustentables optan por una certificación LEED, ya que en los prerrequisitos para alcanzar esta certificación se obtienen ahorros significativos en el consumo de electricidad, en operación, mantenimiento y en el consumo de agua; asimismo, en la reducción de desechos sólidos. En términos generales, se alcanza un ahorro total de los recursos de aproximadamente del 61 %.

En la tesis *Herramientas de Gestión Energética para el Desarrollo Sostenible en Edificios aplicado a un campus universitario en Colombia*, Castrillón (2019), propone un amplio desarrollo de una metodología para implementar la selección y aplicación de modelos de sistemas BMS enfocado al ahorro energético; esto con el objetivo de obtener los indicadores de mayor consumo de energía eléctrica (HVAC e iluminación). Con la ayuda de un *software*, se realizan cálculos de las líneas base por medio del monitoreo de las variables de mayor consumo, mejorando de esta forma el rendimiento energético con el fin de cuantificar ahorros y niveles de eficiencia.

En el trabajo de Tesis titulado *Optimización de la energía en centros de enseñanza en Perú*, López (2019), determina que el sistema de alumbrado es crucial por la máxima demanda energética que esta delega para un edificio. En su estudio propone un diseño de iluminación LED regulable en conjunto de un *software* de gestión y monitoreo, por medio de una interfaz web, se monitorea y gestiona la operación de cada una de las luminarias, dando como resultado un ahorro entre el 20 % al 50 % de electricidad. Triplicando la vida útil de cada elemento, contribuyendo al medio ambiente y haciéndolo una inversión segura y rentable, con un retorno del capital invertido en tres años y cinco meses.

En la tesis *Metodología para la aplicación de sistemas BMS y BEMS para la operación inteligente de edificios*, Moreno (2019), recomienda una implementación de un SG. En la aplicación de la normativa ISO 50001, esta brinda las estrategias necesarias para la configuración y diseño de un BMS/BEMS, de manera que, si se cumplen los objetivos y metas del plan normativo, da como resultado mejoras significativas en el proceso administrativo de los elementos energéticos críticos del edificio.

En el tema de tesis para postgrado titulado *Desarrollo de un sistema de gestión para el control de iluminación y climatización en edificaciones, aplicado al edificio Padre Juan Bottasso de la Universidad Politécnica Salesiana. Sede Cuenca*, Riofrio (2021), realiza una comparación entre el edificio operando con un sistema eléctrico convencional y el edificio operando con un sistema de gestión, dando como resultado datos aproximados de consumo de energía de 4238.78 kWh/mes y 2967.14 kWh/mes respectivamente, resultando un ahorro de energía de aproximadamente el 30 % con un sistema BMS y un ahorro financiero de \$1449.66 USD.

En el trabajo final *Evaluación de criterios para incentivar las edificaciones de balance energético cero en Colombia*, Ruiz (2022), determina que, para lograr que un edificio sea cero NZEB, se debe considerar una implementación de *softwares* especiales para edificios BAS/BMS, estos brindan funciones para el mejoramiento del rendimiento energético, analizando y controlando el consumo energético en base a las indicaciones que rige la norma ISO 50001, sirviendo como una guía para incentivar futuras ciudades inteligentes.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Guatemala, en la primera mitad del siglo XXI, se comienza a tener un gran desarrollo en la construcción de inmobiliarias, lo que genera fuentes de trabajo y beneficios económicos a este sector. Sin embargo, hay un sector en específico que se ve afectado por estas grandes construcciones y este es el sector eléctrico por el gran desarrollo que está teniendo este tipo de construcciones, debido a que la demanda de energía va en un constante crecimiento comparado con la oferta de generación del SNI; en virtud que muchos de estos edificios aún se implementan con tecnologías convencionales poco eficientes debido a una descentralización del sistema eléctrico en general.

Estas grandes construcciones en su conjunto representan aproximadamente un 36 % del uso final de la energía a nivel mundial, y el responsable del 39 % de emisiones de CO₂. Múltiples esfuerzos se comienzan a realizar para implementar edificaciones más eficientes y sostenibles, pero aún no se mantiene al ritmo y al paso que impone un parque edificatorio en constante crecimiento. Esto lleva a una de las principales causas del problema de la alta demanda energética, una demanda actualmente desmedida en Guatemala, sin embargo, sigue teniendo un gran crecimiento, a medida del constante crecimiento poblacional que está viviendo el país, el desconocimiento absoluto del problema y del avance tecnológico de la actualidad como lo es un sistema de administración de edificios (BMS), para prevenirlo.

Un edificio con un sistema electromecánico descentralizado y sin un sistema de monitoreo que permita administrar mantenimientos y reducir impactos operativos, genera a corto, mediano y a largo plazo costos correctivos elevados,

ya que se tiene un deficiente servicio de atención de eventos, grandes consumos energéticos al tener que realizar un encendido y apagado de los subsistemas de forma independiente, generando de esa forma una baja confiabilidad en el sistema eléctrico del edificio, dando como resultado también cifras y tarifarias elevadas para los inquilinos.

En los últimos 20 años, la producción y el uso de la energía eléctrica constituyen la principal causa de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, junto con otras de índole automotriz e industrial, lo que repercute en el cambio climático. Por ello, una de las formas de actuar para limitar e impedir sus gravísimas consecuencias ambientales, sociales y económicas, consiste en reducir el consumo energético. Declara Castrillón (2019), principal experta en herramientas de gestión energética que, de tal forma, la demanda de energía eléctrica del sector de edificios a nivel mundial requiere mejorar en un 30 % en comparación con el 2015, esto para cumplir con los objetivos climáticos establecidos en el Acuerdo de París (acuerdo sobre cambio climático que establece las medidas de reducción de gases de efecto invernadero).

En Guatemala, es probable que el porcentaje de demanda energética sea aún menor por el momento en comparación a otras grandes ciudades, pero este valor sigue creciendo y pueda que llegue a cifras mayores, al paso que lleva el crecimiento de inmobiliarios.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio:

- ¿Cuál es la viabilidad para implementar sistemas BMS de alta eficiencia energética a los nuevos edificios en la ciudad de Guatemala?

Para responder a esta pregunta principal se deberán responder las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son los componentes técnico-económicos necesarios para la implementación de un sistema BMS?
- ¿Cuál es el plan estratégico de control y monitoreo de los diferentes elementos o dispositivos del edificio que garantice un ahorro energético?
- ¿Cuál es el ahorro energético y económico que podría llegar a tener un edificio por medio de un sistema BMS?
- ¿Cómo se pueden establecer criterios que permitan impulsar edificaciones verdes en la ciudad de Guatemala a través de un sistema BMS?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y uso eficiente de la energía en el área de gestión energética de la Maestría en Energía y Ambiente.

La implementación de un sistema BMS proporciona un conjunto de beneficios que ayudan a cubrir las necesidades energéticas de un edificio, aportando en el aumento de la eficiencia energética de dos formas, brindando un mejor funcionamiento de los diferentes componentes electromecánicos que conforman el edificio (iluminación, sistema contra incendios, aire acondicionado, transporte vertical, entre otros), y facilitando la gestión energética, proporcionando un conjunto de estrategias que permiten el control y monitoreo de la demanda energética de todo el edificio, manteniendo el confort, eficiencia y ahorro de costos operativos.

La incorporación de estas nuevas tecnologías inteligentes proporciona aproximadamente un ahorro energético de aproximadamente del 8 al 18 % del consumo total, siendo esto uno de los principales aportes del presente estudio, estableciendo criterios que permiten impulsar edificaciones verdes en la ciudad de Guatemala.

El estudio beneficia al sector inmobiliario y comercial, mediante la oportunidad de optar por medio de implementaciones inteligentes de alta eficiencia energética, a certificaciones internacionales como lo es LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés),

estableciendo de esta forma, liderazgo en la industria de construcción sustentable y mercado inmobiliario de mayor prestigio.

Con base en este estudio se espera que, al implementar en Guatemala tecnologías eficaces que conviertan las clásicas edificaciones de estilo convencional en edificios inteligentes que optimicen y monitoreen el consumo de energía, reduzca considerablemente la contaminación ambiental y el ahorro de recursos vitales (como el agua); sirviendo además de una guía para la implementación de edificios autosustentables.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Analizar la viabilidad de implementar sistemas BMS de alta eficiencia energética, aplicándolo a los nuevos edificios de la ciudad de Guatemala.

5.2. Específicos

- Evaluar los componentes técnico-económicos necesarios para la implementación de un sistema BMS.
- Establecer un plan estratégico de control y monitoreo de los diferentes elementos y dispositivos del edificio que garantice un ahorro energético.
- Estimar el ahorro energético y económico que podría tener un edificio a través de un sistema BMS.
- Formular criterios que permitan impulsar edificaciones verdes en la ciudad de Guatemala a través de un sistema BMS.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En el presente estudio se brindará los pasos necesarios para una implementación de un sistema de gestión de edificios, específicamente la plataforma de monitoreo y gestión EcoStruxure Building Management System (BMS) de Schneider Electric, basado en la normativa ANSI / ASHRAE / IES 90.1 -2019 (Estándar de energía para edificios), para enfrentar los grandes desafíos de la demanda energética y ambientales que actualmente se están viviendo, es primordial la reducción del consumo de energía eléctrica, esto con el objetivo también de reducir costos para los propietarios e inquilinos del edificio y al mismo tiempo volver el inmueble un lugar con mayor sustentabilidad y confort.

ANSI / ASHRAE / IES 90.1 -2019 ayuda a cubrir esta necesidad al ofrecer una guía con los pasos mínimos de eficiencia energética de edificios y sus sistemas, nuevos componentes y equipos existentes del edificio trabajando en conjunto con un sistema de gestión de alta calidad como lo es el EcoStruxure BMS. Así mismo, se tomará en cuenta la normativa ISO 50001, esta es una norma internacional que aplica a cualquier organización los requisitos mínimos para gestionar, establecer y mejorar el consumo de energía eléctrica.

El sistema EcoStruxure brinda los beneficios necesarios para una operación inteligente de los diferentes componentes de un edificio, proporcionando a los ocupantes y operadores un entorno de trabajo y vida cómodo, seguro y atractivo, en la actualidad, las personas buscan seguridad, sustentabilidad y confort en su área de vivienda y trabajo; es por esto que, estas grandes construcciones tienen un gran auge de crecimiento en la ciudad de Guatemala, debido a que es una inversión rentable, sin embargo, esto denota un alto crecimiento en la demanda

de energía eléctrica, es aquí donde la eficiencia energética debe de considerarse como una de las mejoras principales en una implementación del sistema eléctrico del edificio.

Se brindaran los lineamientos necesarios para la integración del software ExoStruxure BMS en el sistema eléctrico / mecánico que se integrara o que esté integrado dentro del edificio, esto conforma una solución rápida y fácil de usar para la gestión del sistema HVAC, consumo energético, control de iluminación, medición de agua en cisternas, bombas de agua, sistema contra incendios, entre otros, pudiendo utilizar tecnologías web o inalámbricas para su respectiva gestión y reportes de eventos, se realizarán los diagramas de interconexión de los equipos hacia la plataforma, los requisitos necesarios de parte de los equipos para la comunicación al sistema, se brinda el esquema de inversión económica de una implementación de esta magnitud.

Adicionalmente basándose en la norma ISO 50001 y ASHRAE 90.1, se planteará un plan de mejora de eficiencia energética, porque una alta demanda de energía no solamente aumenta los costos de operación de las plantas generadoras y aumento del costo marginal del mercado eléctrico, sino también otros problemas que esto conlleva y son los gases de efecto invernadero y toda la contaminación ambiental que esto deriva, donde por medio del plan de mejora, no solamente se reduce una alta demanda de energía y los costos asociados de la inversión de implementación y operación, sino también toda la contaminación ambiental antes mencionada.

Con base en las normativas antes mencionadas y el sistema de gestión, se puede llevar el proyecto a un mayor estatus, optando a una certificación LEED, solicitando una revisión por medio del sistema de certificación LEED BO+M, BD+C o ID+C, para que, no solamente tener un edificio eficiente e inteligente,

sino brindar por medio de esta investigación, una guía para encaminar a las organizaciones y propietarios a incrementar el valor y la integridad de su edificio.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Eficiencia energética

Se define eficiencia energética como esa capacidad de realizar diferentes procesos, realizar un trabajo o funciones y aun así obtener un mismo resultado utilizando la menor cantidad de recursos energéticos, dicho de otra forma, es la relación entre una cantidad específica de energía a utilizar para una actividad y la que estaba estimada para su utilización.

La eficiencia energética tiene una alta relevancia en la actualidad, esta es una de las grandes opciones para combatir los problemas de consumo energético y por ende los problemas ambientales que se están viviendo hoy en día referente a los gases de efecto invernadero. Por esta razón la eficiencia energética es considerada una de las soluciones sostenibles más importantes para el presente y el futuro, representando una determinada mejora a nivel energético y ambiental (Sánchez, 2014).

7.2. Ahorro energético

El ahorro de energía se diferencia de la eficiencia energética de distintas formas, el ahorro de energía busca eliminar todos esos equipos o hasta operaciones de estos que no sean relevantes para el funcionamiento o los servicios de una organización, enfocándose únicamente en el desarrollo y funcionamiento de aquellos dispositivos de mayor utilidad y de mejor eficiencia de trabajo, disminuyendo el consumo de la energía (Comunidad de Madrid, 2006).

7.3. Edificios inteligentes

Un edificio inteligente es esa transformación de un edificio convencional a uno totalmente automatizado, ya que desde la fase de diseño inicial de integración de esta tecnología a estas infraestructuras se logra apreciar las mejoras referentes al rendimiento energético que podría llegar a tener el edificio. Si adicionalmente a esta tecnología se le agregan sistemas de gestión energética, no solamente se logra tener una infraestructura de operación automática, sino también un edificio con un control de consumo energético continuo y eficiente (Gómez y Daza, 2021).

7.3.1. Características de un edificio Inteligente

Todo edificio que se considera inteligente debe contar con varios factores importantes para lograr objetivos de eficiencia energética, confort y sustentabilidad para los ocupantes, los cuales son:

7.3.1.1. Sensores de medición

Estos son equipos de medición, captación de información y detección de diferentes parámetros para una mejor optimización y automatización de los recursos en un edificio, tales como: el suministro de temperatura, sensores de proximidad o presencia, sensor de lúmenes, consumo energético, entre otros. El monitoreo de estos sensores ayuda en el análisis de tiempo real e histórico del sistema eléctrico del edificio.

7.3.1.2. Módulos de control

Son los componentes necesarios para la centralización y toma de decisión del sistema eléctrico para un edificio inteligente, es decir, es el sistema central en donde todos los equipos del edificio que cuentan con un protocolo de comunicación abierto son integrados a un mismo *software* de gestión y monitoreo para su automatización.

7.3.1.3. Mantenimiento predictivo

Una particularidad de mayor relevancia de un edificio de este tipo es la predicción de fallas de sus equipos críticos mediante una interpretación de variables por medio de un software que ejecute dichas predicciones, de esta forma es posible evitar problemas a futuros y conocer incidencias con inmediatez.

7.3.1.4. Gestión de sistema HVAC

Es importante tener la total gestión de los equipos con mayores indicadores de consumo de energía eléctrica, para este caso el sistema HVAC en conjunto con el de iluminación tienen el primer puesto para esta categoría, es aquí donde un edificio inteligente tiene la particularidad de tener el total control de estos sistemas y de esa forma mantener un desempeño energético estable.

7.3.1.5. Gestión energética

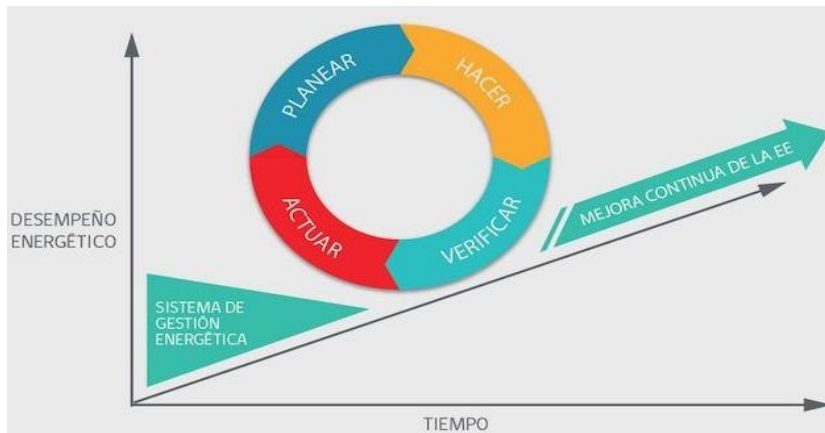
Un edificio de esta índole tiene también como una de sus principales funciones y características la gestión de energía en su totalidad, es decir, tiene como objetivo el realizar un uso racional de la energía, de esta forma obtener una

mayor eficiencia sin tener que disminuir el confort del usuario final e inquilinos monitoreando sus consumos de energía (Gómez y Daza, 2021).

7.4. Sistema de Gestión Energética (SGEN)

Un SGEN es ese sistema que agrupa todos los elementos eléctricos de un edificio para optimizar su rendimiento, logrando de esta forma controlar de mejor manera el consumo de energía, aportando en una mejora continua de las organizaciones. Los propósitos de un SGEN se pueden comparar con el círculo de Deming como se observa en la figura 1 y consiste en plantear una estrategia de una mejora continua en cuatro áreas específicas (planear, hacer, verificar y actuar) con el objetivo de alcanzar resultados a corto y mediano plazo referente a optimización y productividad de los recursos (Gómez y Daza, 2021).

Figura 1. Ciclo de mejora de sistema de gestión energética



Fuente: Gómez y Daza (2021). *Modernización de instalaciones convencionales a un sistema BMS (Building Management System) para edificaciones de asistencia médica*. Consultado el 11 de octubre de 2022. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/29623/DazaUrregoAlexanderGomezPedrazaSandraMilena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

7.4.1. Importancia de un SGEN

La importancia de un SGEN radica en la correcta utilización de la energía, consiguiendo de esta manera la disminución de costos en los servicios de las edificaciones, adquiriendo un aumento en las ganancias y alcanzando de esta forma una mayor posición competitiva para las organizaciones.

Los Sistemas de Gestión Energética han ido en desarrollo y cada vez tienen mayor relevancia a nivel mundial, pues además de mejorar las utilidades de una organización y disminuir el consumo energético, aporta en la disminución de emisiones de CO₂, contribuyendo de cierta forma a evitar el cambio climático. La influencia estratégica de un SGEN es reconocida por la Norma ISO 50001 (*Energy Management Systems*), donde manifiesta que, la integración de SGEN es la mejor estrategia en los proyectos que buscan una mejora en su rendimiento energético y debe ser siempre considerado por las personas a cargo de las organizaciones con el fin de obtener al mismo tiempo un mayor prestigio tecnológico (Castrillón, 2019).

7.5. Normativas y estándares de eficiencia energética para edificios

Las normativas y estándares enfocadas a la eficiencia energética brindan los pasos necesarios para que, desde una fase de diseño, el edificio cumpla con todos los requisitos y características necesarias para un correcto funcionamiento.

7.5.1. Norma ISO 50001

Esta es una norma internacional aplicada a organizaciones que buscan mejorar su eficiencia energética, también la normativa proporciona los lineamientos necesarios para reducir costos asociados a energía, define las

áreas de mayor consumo energético y como mitigar el alto consumo, establece planes de supervisión, análisis y monitoreo de las variables más críticas de cada sistema independiente (ISO Tools, 2013).

La norma se ha desarrollado sobre una base de elementos comunes que se encuentran en todas las normas de gestión ISO, tales como la ISO 9001 orientada a la gestión de la calidad, ISO 14001 orientada a la gestión ambiental; es posible la implementación de esta normativa en cualquier tipo de organización, independientemente de su tamaño, ubicación geográfica o sus funciones (Castrillón, 2019).

Se recomienda, si el edificio tiene implementado o piensa implementar un sistema de gestión de energía (SGE) bajo la norma ISO 50001, el uso de sistemas BMS/BEMS simplifica y mejora significativamente el proceso continuo de aplicación del SGE dentro del ciclo PHVA en todas sus etapas como son: requisitos generales, política energética, planificación energética, implementación y operación, verificar y revisión por la dirección, entre otros. (Moreno, 2019, p. 103)

7.5.2. ASHRAE 90.1 2019

La norma de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, (ASHRAE), por sus siglas en inglés, es un nuevo estándar de ahorro energético para las edificaciones, esta norma brinda los requisitos necesarios para diseño, implementación, construcción, operación de control para los edificios. Esta norma es la línea base para optar a certificaciones internacionales como LEED y WELL debido a que está orientada al ahorro energético para las instalaciones (ASHRAE, 2019).

- Entorno construido
- HVAC
- Agua caliente sanitaria
- Consumo de Energía
- Iluminación
- Otros equipos: motores eléctricos, bombas de agua potable, sistema vertical (ASHRAE, 2019).

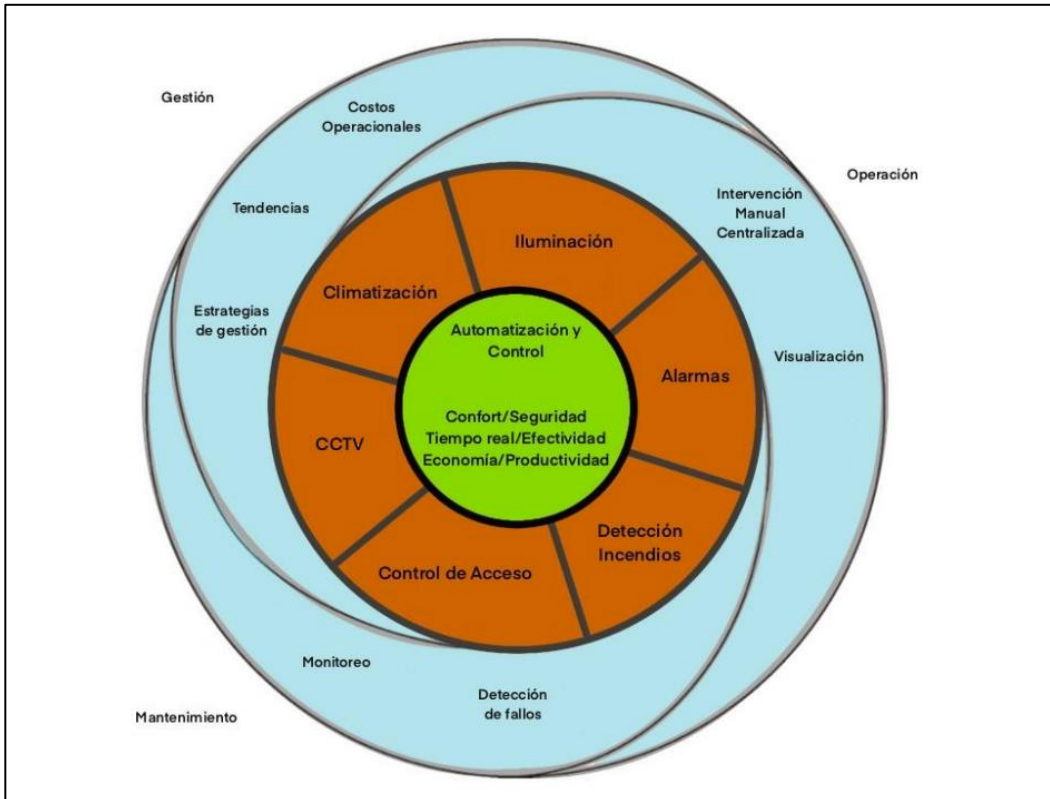
7.6. BMS (*Building Management System*)

Un sistema BMS o Sistema de Gestión de Edificios, es un software o plataforma que centraliza toda la red de los diferentes equipos de un edificio, dicho de otra forma, es un sistema de control central de los diferentes servicios técnicos de un edificio (HVAC, iluminación, seguridad, DSI, ascensores, gradas eléctricas, moto generadores, centro de datos, entre otros), (Gómez y Daza, 2021).

La utilización de herramientas tipo BMS/BEMS en los SGEN va encaminado a ser un sistema de documentación de información para apoyo de la organización, para revisar el cumplimiento de las metas energéticas y un apoyo al SGEN en el logro y mantenimiento de sus objetivos estratégicos y operativos, medir el progreso realizado en la mejora de la eficiencia energética de los edificios. (Moreno, 2019, p. 104)

Los edificios con un sistema centralizado por medio de tecnologías BMS, proporciona una mejor y mayor seguridad para los trabajadores, volviéndolos de esta manera aún más productivos; en la figura 2 se observan las diferentes funcionalidades y servicios que brinda este sistema a los usuarios (Riofrio, 2021).

Figura 2. Aspectos funcionales de un BMS



Fuente: Riofrio (2021). *Desarrollo de un sistema de gestión para el control de iluminación y climatización en edificaciones, aplicado al edificio Padre Juan Bottasso de la Universidad Politécnica Salesiana*. Consultado el 4 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21718/1/UPS-CT009538.pdf>.

7.6.1. Beneficios de un sistema BMS

Un sistema BMS puede aportar diversos beneficios para una organización, a continuación, se anuncian algunos de estos beneficios:

- Se puede visualizar y controlar de mejor forma el consumo de energía
- Se tiene comunicación entre subsistemas del edificio

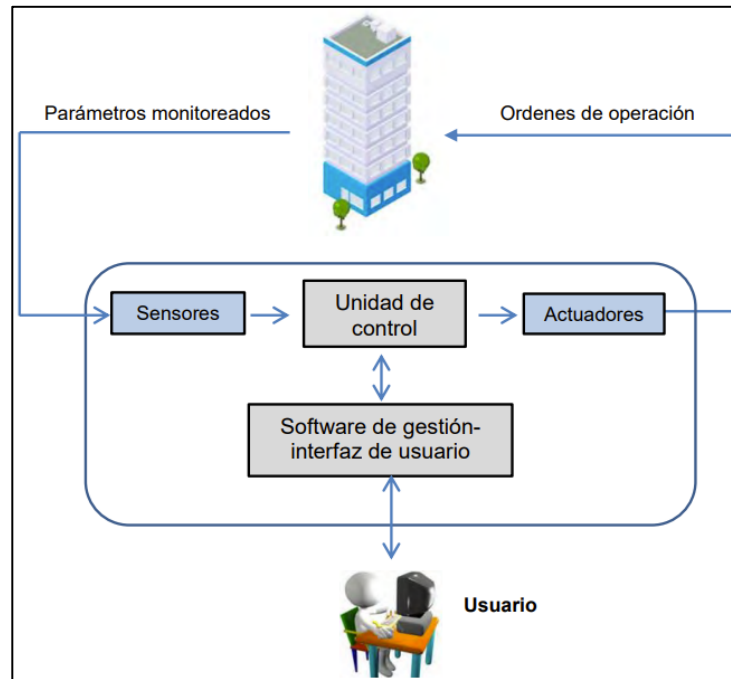
- Anticipación a fallas, contingencias o problemas
- Mayor control de demanda en el edificio
- Ahorro de recursos vitales como el agua (Astesana y Medina, 2016).

7.7. Componentes fundamentales del BMS

Este tipo de proyectos requiere algunos componentes importantes, un software (donde se logran todas las comunicaciones de los equipos por medio de protocolos abiertos que manejan las diferentes marcas de equipos), un hardware (elementos físicos de adquisición de datos en un tiempo específico), y dispositivos de instalación en campo que proporcionan la información de condición del edificio (Astesana y Medina, 2016).

En la figura 3 se observa cómo están distribuidas las actividades para cada uno de los componentes mencionados, donde, por medio de los equipos o dispositivos de campo se realiza la primera instrucción la cual es la recepción y envío de datos por medio de sensores, actuadores y equipos con protocolo de comunicación; estas señales son recibidas por el hardware e interpretadas y registradas luego por el *software*, para al final ser gestionadas por el usuario final (Moreno, 2019).

Figura 3. **Componentes de un sistema BMS**



Fuente: Moreno (2019). *Metodología para la aplicación de sistemas BMS y BEMS para la operación eficiente de edificios.*

7.7.1. **Software del sistema**

Un *software* es todo aquel sistema intangible del campo de la informática, refiere a un grupo de elementos lógicos y de programación para ser utilizados en un equipo de cómputo con el fin de ejecutar varias tareas (Astesana y Medina, 2016).

Un *software* orientado a sistemas BMS es esa herramienta con la que se puede realizar funciones de monitoreo, controlar equipos, seguimiento de mantenimientos, parametrización de eventos y alarmas, registro de tendencias por medio de un equipo de cómputo. Esta herramienta se encarga de manipular

y enviar las señales en la red de comunicación y de esa forma controlar el *Hardware* (Moreno, 2019).

Para tomar la decisión del *software* a utilizar en un BMS es crucial definir los requisitos: el *software* a desarrollar debe admitir una integración abierta, es decir, este debe de admitir protocolos de comunicación de diferentes marcas y fabricantes, el *software* debe tener la característica que, por medio de un hardware permita manipular y controlar cualquier equipo integrado, este software debe contar con un ambiente de programación amigable para el usuario cumpliendo de esta forma la mayor cantidad de estándares para gestión energética (Riofrio, 2021).

Una gran parte de los *softwares* enfocados a un BMS, cuentan con ciertos componentes para su funcionamiento, y estos se describen a continuación:

7.7.1.1. Licenciamiento

Una licencia para un *software* es un tipo de permiso que solicita la marca o el fabricante del sistema para la utilización de los diferentes componentes de trabajo, en esta se establecen las disposiciones, restricciones, términos y condiciones para el funcionamiento del *software*.

7.7.1.2. Estación de trabajo

Una estación de trabajo es esa plataforma del *software* donde el usuario realiza la implementación a nivel de programación del sistema de gestión, en esta se realizan todos los trabajos de interfaz de usuario, integración de dispositivos al sistema, parametrización de variables, configuración de alertas, alarmas, eventos, entre otros (López, 2019).

7.7.1.3. Estación Web

La estación web de un *software* de BMS, es esa plataforma dedicada al usuario final para cumplir funciones de monitoreo, visualización de las variables de los equipos integrados, así como la gestión y control a distancia de dichos equipos, en esta no se puede configurar, parametrizar ni cambiar cualquier tipo de interfaz gráfica (López, 2019).

7.7.1.4. Servidor empresarial

El servidor empresarial es la plataforma central del *software* para un BMS, en esta se consolidan las funciones de estación de trabajo, estación web, asistencia de reportes, aquí se integran las licencias necesarias para la puesta en marcha del sistema, así también el servidor empresarial del sistema registra toda la lógica de control y la programación de diseño (Moreno, 2019).

7.7.1.5. Base de datos

La base de datos es esa parte del *software* donde se registran los datos de eventos, alarmas, tendencias, comandos, transacciones y todo tipo de actividad en un sistema BMS, con la finalidad de identificar el comportamiento del sistema con el tiempo (López, 2019).

7.7.1.6. Protocolos de comunicación

El enfoque para obtener un sistema de gestión debe ser la capacidad de integrarse de manera efectiva con los diferentes fabricantes de dispositivos. Un edificio puede manejar múltiples marcas y muchos dispositivos que entre todos ellos permiten la operación de un edificio. Para ello se tienen tecnologías,

estándares y protocolos de automatización que actualmente se encuentran en el mercado y que es importante identificarlos (Riofrio, 2021, como se citó en McGibney et al., 2016, p.19).

Entre algunos de ellos están:

- Protocolo BACnet: BACnet es un protocolo de comunicación estándar internacional ISO aprobado para sistemas de control y automatización de edificio. Desarrollado por un comité de proyecto establecido por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire acondicionado (ASHRAE). BACnet define un modelo de información que organiza los dispositivos del sistema utilizando una colección estándar de objetos (Riofrio, 2021).
- Protocolo Lonworks: LonWorks o Local Operating Network (LON) es un protocolo de red de control abierta y aplicación desarrollada por Echelon Corporation, también ha sido estandarizado como ISO/IEC-14908 y como estándar europeo EN14908. La pila de protocolos de red es una red enrutada simplificada con hasta 255 subredes, cada una compuesta por un máximo de 127 nodos. Cada nodo puede ser miembro de uno de los 256 grupos de multidifusión disponibles para obtener una mayor eficiencia en la comunicación: los paquetes de multidifusión se enrutan en un dominio de colisión si hay al menos un miembro que pertenece al grupo correcto (Riofrio, 2021).
- Protocolo Modbus: es un sistema de comunicaciones industrial que está ubicado en la capa dos del modelo OSI, en este documento se desglosa todo el protocolo detallando todos los aspectos basándose en la imagen de este en el modelo OSI y detallando especialmente los aspectos del

manejo de la trama MODBUS y todos los campos contenidos por ella. El protocolo MODBUS es un protocolo de línea serial maestro / esclavo. (De la Espriella y Mancera, 2005, pp.9-12)

7.7.2. Hardware del sistema

El *hardware* en informática es todo aquel equipo, dispositivos o conjunto de elementos tangibles de un ordenador, es decir, toda la parte física de un sistema operativo, el cual cumple diferentes funciones para un mismo sistema, como lo puede ser de almacenamiento de datos, entrada y salida de señales digitales o analógicas son leídas e interpretadas por un sistema de procesamiento interno (Astesana y Medina, 2016).

El *hardware* para un sistema de gestión BMS, está dividido en diferentes elementos que en conjunto cumplen los diferentes objetivos de un edificio inteligente y estos son:

7.7.2.1. Servidor de automatización (AS-P)

Se define este dispositivo como el controlador principal del sistema BMS a nivel de *hardware*, dicho de otra forma, funciona como servidor de recepción y envío de todas las señales de los diferentes equipos con protocolos de comunicación autorizado (Moreno, 2019).

7.7.2.2. Módulo de alimentación del sistema (PS-P)

Este dispositivo es el encargado única y específicamente de alimentar y al mismo tiempo proteger al AS-P de cualquier sobrecarga o cortocircuito, este alimenta al AS-P por medio de una señal de 24 voltios en corriente directa.

7.7.2.3. Módulo de entradas y salidas (IO)

Los módulos IO son equipos especiales que permiten interpretar y adaptar diferentes parámetros de señales estandarizadas, es decir, estos equipos permiten la intercomunicación entre los diferentes dispositivos y sensores por medio de señales analógicas y digitales de una forma bidireccional, estas señales son registradas y enviadas para una interpretación lógica al AS-P y viceversa (SBO, 2019).

7.7.2.4. Servidor (Host)

Un servidor físico es este equipo de cómputo, ordenador y de almacenamiento de todo el sistema BMS, interconectado a una red de informática segura, normalmente ubicado en un centro de datos.

7.7.3. Dispositivos de campo

“Los dispositivos de campo proporcionan la información sobre las condiciones, estados o valores de los procesos en el edificio y también las ordenes de las operaciones programadas en el BMS/BEMS sobre los procesos del edificio gestionado” (Moreno, 2019 p.33).

Los principales dispositivos de campo para un edificio inteligente son:

7.7.3.1. Sensores de accionamiento y medición

Para un edificio con sistema BMS, los sensores de accionamiento y de medición, son los dispositivos encargados de brindar la información y el estado en tiempo real de los diferentes sistemas y equipos del edificio, por ejemplo, para

un sistema de iluminación de parqueos o en pasillos, estos sensores se encargan de brindar la información de presencia, de esta forma brindar una instrucción de accionamiento hacia las luminarias de forma automática por medio de una señal analógica o digital interpretada por el sistema de gestión; de esta misma forma, un sensor ultrasónico de nivel, puede brindar información del nivel de combustible de un moto generador, previniendo que, al momento de una pérdida de energía eléctrica este tome acción y cuente con el nivel de combustible necesario para retroalimentar el edificio el tiempo necesario (Moreno, 2019).

7.7.3.2. Actuadores

Los actuadores a diferencia de los sensores son dispositivos que actúan realizando un movimiento mecánico por medio de una fuente de energía comúnmente eléctrica, estos son utilizados frecuentemente en un sistema BMS para el accionamiento de puertas de una manera automática (Moreno, 2019).

7.7.3.3. Medidores de energía

Los medidores de energía son los dispositivos comúnmente utilizados en los sistemas BMS, es una de las principales funciones es mantener un control constante del consumo energético de los sistemas más importantes que conforman un edificio, así mismo, estos también cumplen otras funciones, y son:

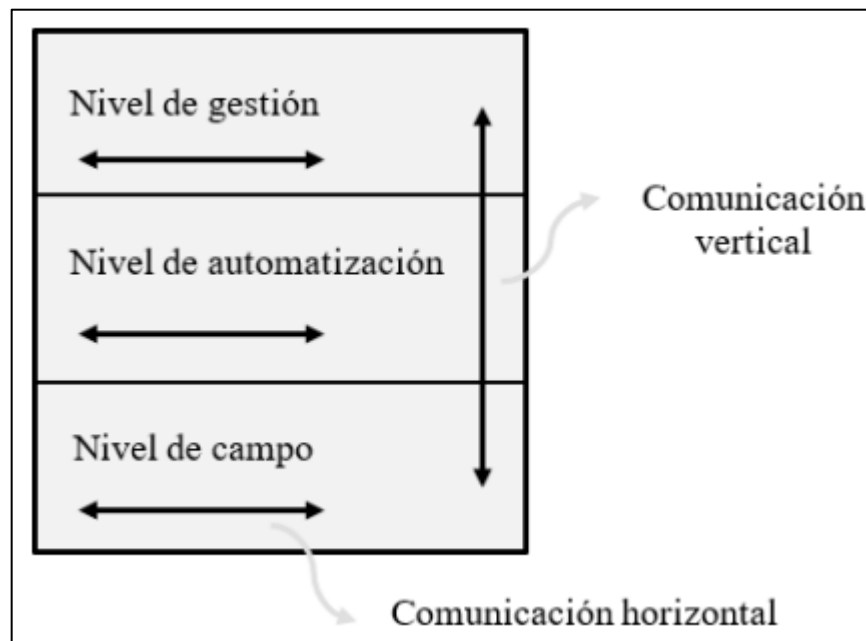
- Control de armónicos en la red eléctrica
- Visualización de factor de potencia real y de desplazamiento
- Análisis de calidad de energía
- Registro de valores mínimos y máximos de parámetros instantáneos
- Cálculo de porcentaje de desequilibrio de voltajes y corrientes
- Registro de demanda máxima

- Registro de potencias (Schneider Electric, 2019).

7.8. Arquitectura del sistema

La arquitectura de un sistema BMS, es ese diseño de interconexión entre todos los equipos y dispositivos que se define una vez determinada toda la información de cada componente que integrara el sistema. Esta arquitectura se construye en tres niveles, como se puede visualizar en la figura 4 (Riofrio, 2021).

Figura 4. **Arquitectura centralizada de un sistema BMS**



Fuente: Riofrio (2021). *Desarrollo de un sistema de gestión para el control de iluminación y climatización en edificaciones, aplicado al edificio Padre Juan Bottasso de la Universidad Politécnica Salesiana*. Consultado el 4 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21718/1/UPS-CT009538.pdf>.

- Nivel de campo: en este nivel intervienen todos los equipos (actuadores, sensores de accionamiento, medición y dispositivos con protocolo de comunicación abierto) para realizar todos los procesos de recopilación de datos, de esa forma, estos son transmitidos por una red de comunicación y procesados por medio de comandos del sistema central (Riofrio, 2021).
- Nivel de automatización: en el nivel de automatización se procesan las mediciones y se ejecutan las funciones, es la etapa que proporciona la funcionalidad de control. En este nivel se asigna todo tipo de secuencias y funciones preparadas para el nivel de campo, estableciendo conexiones lógicas y bucles de control (Riofrio, 2021).
- Nivel de gestión: en este nivel se realizan todas las actividades a nivel de software, se presentan, ejecutan, integran y gestionan todos los datos de forma remota, así mismo se realiza el monitoreo de todas las variables de los diferentes dispositivos mediante una interfaz que integra todas las funcionalidades del sistema BMS (Riofrio, 2021).

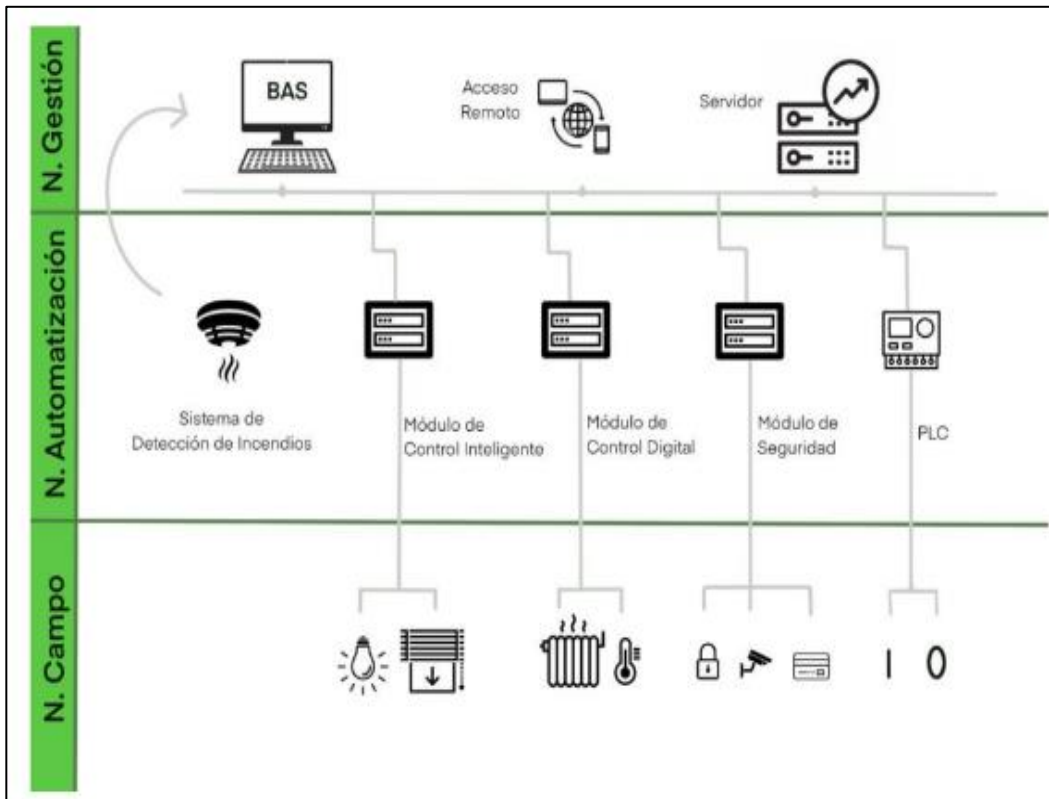
7.8.1. Redes de comunicación

Son un conjunto de componentes, elementos, protocolos y medios responsables de realizar un traspaso o interacción de datos, para un sistema BMS, las redes de comunicación deben garantizar la comunicación entre los niveles de arquitectura del sistema, es de esta forma que, el nivel de automatización realiza un traspaso de información hacia el nivel de gestión, normalmente por medio de una red LAN (red de intercambio de información entre distintos dispositivos a nivel local), o una remota basada en comunicación TCP/IP.

La comunicación entre las redes puede ser de diferentes formas y en una misma arquitectura, ya sea inalámbrica por comunicación IP o alámbrica con cableado especial normado y con ello permitir comunicación entre los diferentes dispositivos del sistema (Riofrio, 2021).

Los dispositivos de red y los de buses de campo están conectados entre sí bajo la topología predefinidas y específicas. Por ello se manejan protocolos de control de acceso a los medios cuyo objetivo es garantizar la comunicación entre dispositivos evitando que las señales transmitidas se superpongan cuando más de un dispositivo transmite al mismo tiempo. (Riofrio, 2021 p.13)

Figura 5. **Arquitectura general de un sistema BMS**



Fuente: Riofrio (2021). *Desarrollo de un sistema de gestión para el control de iluminación y climatización en edificaciones, aplicado al edificio Padre Juan Bottasso de la Universidad Politécnica Salesiana*. Consultado el 4 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21718/1/UPS-CT009538.pdf>.

7.9. Generalidades y definiciones para un diseño eficiente de un BMS

Se entiende como todas aquellas consideraciones que se deben seguir para que el funcionamiento de un edificio sea de la forma más eficiente.

7.9.1. Demanda energética

Es esa cantidad de energía que se necesita para cumplir y alcanzar el *comfort* en las actividades diarias de los consumidores. Un sistema BMS detecta y actúa ante los cambios de consumo de energía eléctrica de los consumidores, el BMS lleva un registro respecto a un patrón de consumo, si la demanda de energía llega a cambiar, es posible visualizarlo por medio de la plataforma y así actuar para controlar esta demanda de energía. (Moreno, 2019 p. 82)

El aumento de energía se debe normalmente a la demanda de servicios que actualmente existen y el estilo de vida considerando el confort. Además, considerando que actualmente el ecosistema se ve afectado por las actividades humanas se ve la importancia de construir edificios inteligentes. Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), y enfocándose en el proyecto de desarrollo planteado, la iluminación y climatización consumen un aproximado del 50 % del uso de energía en un edificio promedio. Al implementar sistemas inteligentes de gestión de edificios, la iluminación y la climatización pueden disminuir los costos de energía entre un 30 % y un 50 % (Riofrio, 2021).

7.9.2. Estrategias para controlar la alta demanda energética

Es importante identificar las estrategias a utilizar para la correcta operación y el buen desempeño energético de los subsistemas de mayor consumo del edificio, con esto no solamente se logró disminuir la demanda de energía, sino aplazar el tiempo de vida de los equipos, reduciendo al mismo tiempo posibilidades de fallas. Algunos de los subsistemas de mayor consumo, conllevan la mayor parte de estrategias de operación son el sistema de iluminación y el de HVAC (Moreno, 2019).

7.9.2.1. Estrategias para una correcta operación de sistemas de aire acondicionado por medio de BMS

En Guatemala la mayoría de los edificios, el sistema de climatización se abastece por medio de un sistema centralizado de agua helada (Chillers), equipos industriales para el control de temperatura y suministro del agua fría, algunas de las estrategias a utilizar para disminuir el alto consumo energético y lograr una eficiencia de operación se describe a continuación (Moreno, 2019).

- Estrategia de operación para Chillers de diferente capacidad: los edificios que cuentan con más de dos chillers, y estos son de diferentes capacidades, se debe considerar una configuración por medio del BMS para que, ante una variación de carga térmica estos operen escalonadamente, es decir, en un caso de tener tres chillers, dos de estos con la misma capacidad, cada uno se distribuye una carga del 40 % y el de menor capacidad el 20 % de carga, de esta forma se le está exigiendo más trabajo a los equipos con una mayor eficiencia (Moreno, 2019).
- Aprovechamiento de agua helada: la provisión de este recurso se lleva a cabo de dos formas, una de ellas es el sistema de bombeo constante, la desventaja de esta operación es que no hay un cambio de operación de las bombas conforme los cambios de carga térmica, provocando de esta forma, un mayor consumo de energía. La opción más factible de operación es por medio de un sistema de bombeo variable, es decir, este funciona según los cambios de carga térmica por medio de variadores de frecuencia integrados al sistema BMS, alcanzando ahorros de energía de hasta un 30 % (Moreno, 2019).

- Operación de unidades por medio de calendario: es recomendable contar con más de un chiller para esta operación de un edificio, ya que, con ayuda de un sistema BMS, al contar con un segundo equipo chillers, estos se configuran para trabajar por un tiempo determinado, con el objetivo de aumentar el tiempo de vida de los equipos y de esta forma logrando una mejor sustentabilidad.
- Estrategia para condensación del agua: la temperatura de entrada del agua de enfriamiento a los chillers tiene gran influencia en la eficiencia global del sistema. Una disminución en la temperatura del agua reduce la temperatura de condensación, y disminuye el consumo de potencia del compresor. En general, por cada grado Fahrenheit (°F) de disminución en la temperatura de condensación la eficiencia del chiller aumenta un 2% aproximadamente. (Moreno, 2019, p. 58)
- Utilización de sensores diferenciales de presión: la utilización de estos sensores es esencial para la medición de la presión de flujo tanto en el suministro y el retorno de agua helada en puntos estratégicos del edificio donde se puede presentar una disminución de presión, de esta forma se utiliza una cantidad de agua para una determinada demanda de carga térmica y por ende, una menor potencia para las bombas de suministro, logrando de esta forma un ahorro energético.

7.9.2.2. Estrategias de operación del sistema de iluminación para un edificio

Según Tae – Jin Park y Seung – Ho Hong las estrategias para una correcta operación de este sistema puede atraer grandes beneficios en los consumos de energía, reduciendo este consumo hasta aproximadamente un 40 % y por ende reducir costos económicos. Experimentalmente se ha demostrado una reducción de consumo del 28 % mediante un sistema de encendido/apagado automático y un 12 % por medio de un control de nivel de dimerización para la iluminación (Moreno, 2019).

Moreno en 2019 indica que, según Gentle las estrategias más utilizadas para este componente son las siguientes:

Tabla I. Principales estrategias en el control de iluminación

Estrategia de control	Switching	Dimming
Por ocupación (On/Off)	(on/off) las luces se encienden o apagan de acuerdo con la presencia o ausencia de personas en el espacio.	
Por ausencia (Off)	La iluminación es encendida manualmente y apagado automáticamente cuando el ocupante se va del espacio. Esta estrategia a menudo se confunde con la anterior "ocupación", aunque producen resultados bastante diferentes en términos de ahorro de energía.	
Por programación de tiempo	La iluminación es parcial o totalmente activada o desactivada de acuerdo con los patrones de uso predefinidos, p. ej. Parte de la iluminación se apaga automáticamente por la noche en el edificio	

Continuación de la tabla I.

Aprovechamiento de la luz natural (On/Off)	A través de un fotosensor la iluminación se enciende o apaga según el umbral de disponibilidad de luz diurna.
Gestión institucional On/Off	Esta estrategia funciona de forma centralizada, por ejemplo, si hay una sobrecarga eléctrica o límite de carga establecido, el sistema de gestión de energía podría decidir apagar los sistemas de alumbrado secundario o no prioritarios.
Aprovechamiento de luz natural - Dimerización	El sistema de aprovechamiento de luz diurna, también conocido como, iluminación ecológica, es un sistema que ajuste la salida de iluminación eléctrica de acuerdo con la disponibilidad de luz natural.
Gestión institucional - Dimerización	Esta estrategia funciona de forma centralizada, por ejemplo, si hay una sobrecarga eléctrica o límite de carga establecido, el sistema de gestión de energía podría decidir dimerizar o atenuar los sistemas de alumbrado secundario o no prioritarios.

Fuente: Moreno (2019). *Metodología para la aplicación de sistemas BMS y BEMS para la operación eficiente de edificios.*

7.10. Certificación LEED

LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), es una certificación aplicado a proyectos de grandes construcciones, como lo son edificios, residenciales y hasta incluso condominios completos; este un certificado basado a normativas y altos estándares científicos, la cual consiste en cumplir con una

lista de requisitos en áreas específicas de la construcción, premiando el uso de estrategias sostenibles en todos los procesos de construcción, desde una ubicación estratégica, hasta la eficiencia del uso del agua y energía, obteniendo de esta forma un mayor prestigio para la organización, la construcción y entre otros beneficios dependiendo las políticas energéticas del país (Guatemala Green Building Council, 2019).

Los edificios certificados bajo la norma LEED cuentan con los beneficios de:

- Reducción de costos operativos
- Incremento del valor de la propiedad
- Cuentan con espacios más seguros, sustentables y sanos para los inquilinos.
- Demuestra una reducción en los consumos de energía y recursos vitales como el agua.
- Reducen el CO2 para el ambiente.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

INDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SIMBOLOS

GLOSARIO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO TEORICO

INTRODUCCION

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEORICO

2.1. Eficiencia energética.

2.2. Ahorro energético

2.3. Edificios inteligentes

2.3.1. Características de un edificio inteligente

2.3.1.1. Sensores de medición

2.3.1.2. Módulos de control

2.3.1.3. Mantenimiento predictivo

2.3.1.4. Gestión de sistema HVAC

2.3.1.5. Gestión energética

2.4. Sistema de Gestión Energética (SGEN)

2.4.1. Importancia de un sistema de gestión energética

2.5. Normativas y estándares de eficiencia energética para edificios

- 2.5.1. Norma ISO 50001
- 2.5.2. ASHRAE 90.1 2019
- 2.6. BMS (*Building Management System*)
 - 2.6.1. Beneficios de un sistema BMS
- 2.7. Componentes fundamentales del BMS
 - 2.7.1. *Software* del sistema
 - 2.7.1.1. Licenciamiento
 - 2.7.1.2. Estación de trabajo
 - 2.7.1.3. Estación Web
 - 2.7.1.4. Servidor empresarial
 - 2.7.1.5. Base de datos
 - 2.7.1.6. Protocolos de comunicación
 - 2.7.2. *Hardware* del sistema
 - 2.7.2.1. Servidor de Automatización (AS-P)
 - 2.7.2.2. Módulo de Alimentación del Sistema (PS-P)
 - 2.7.2.3. Módulo de Entradas y Salidas (IO)
 - 2.7.2.4. Servidor (Host)
 - 2.7.3. Dispositivos de Campo
 - 2.7.3.1. Sensores de accionamiento y medición
 - 2.7.3.2. Actuadores
 - 2.7.3.3. Medidores de energía
- 2.8. Arquitectura del sistema
 - 2.8.1. Redes de comunicación
- 2.9. Generalidades y definiciones para un diseño eficiente de un BMS
 - 2.9.1. Demanda energética

2.9.2. Estrategias para controlar la alta demanda energética

2.9.2.1. Estrategias para una correcta operación del sistema de aire acondicionado por medio del BMS

2.9.2.2. Estrategias para la correcta operación del sistema de iluminación por medio del BMS

2.10. Certificación LEED

3. EVALUACION DE LOS COMPONENTES TECNICOS Y ECONOMICOS PARA UNA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA BMS
4. ELABORACION DE PLAN ESTRATEGICO DE GESTIÓN Y CONTROL PARA UNA IMPLEMENTACION EFICIENTE DE UN SISTEMA BMS
5. REALIZACION DE ESQUEMAS DE CONEXIÓN Y DISEÑO DE INTERFAZ DE GESTIÓN DEL SISTEMA BMS
6. ESTIMACION DEL AHORRO ENERGETICO Y ECONOMICO
7. REALIZACION DE UNA GUIA CON CRITERIOS NECESARIOS DE EFICIENCIA ENERGETICA.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APENDICES

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo. En este se analizará la viabilidad de implementar sistemas BMS en el nuevo parque edificatorio de la ciudad de Guatemala, basado en normativas y estándares de alta eficiencia energética y sustentabilidad para edificios como los citados en el marco teórico (ISO 50001, ASHRAE 90.1), en otras palabras, el presente estudio servirá como una guía para implementar sistemas BMS a los diferentes edificios, aportando técnicas de eficiencia energética.

9.2. Fases del estudio

A continuación, se describen las fases de estudio que se desarrollaran en la presente investigación:

9.2.1. Fase 1. Exploración bibliográfica

La primera fase de la investigación se realizará una exploración bibliográfica para poder desarrollar y explicar la forma más pertinente el presente tema de investigación, estas nuevas tecnologías que centralizan todo un conjunto de elementos de un edificio aún son muy poco utilizados en la ciudad de Guatemala. Con esta información se pretende establecer todas las bases para analizar la viabilidad de implementar sistemas BMS de la plataforma Ecostruxure Building Operation de la marca Schneider Electric a estos nuevos edificios.

9.2.2. Fase 2. Evaluación de los componentes técnicos y económicos para una implementación de un sistema BMS

En la presente fase como primer punto se pretende realizar visitas técnicas al diferente parque edificatorio de la ciudad de Guatemala, ya sea edificios de residencias, oficinas, comercios o de diferentes entidades financieras o industriales, es decir, se realizará auditorías en las cuales se evaluarán las etapas que a continuación se describen:

- Etapa 1. Conocer toda la infraestructura del edificio

En esta etapa se realizarán tablas para toma de datos referente a la infraestructura y cantidad de equipos que tiene o tendrá el edificio, con esta información se podrá recolectar las marcas, modelos, ubicación de equipos, fichas técnicas y protocolos de comunicación.

- Etapa 2. Evaluación de eficiencia energética

En esta etapa se realizarán mediciones de parámetros eléctricos por medio de un analizador de calidad de energía en la entrada del tablero de distribución principal y la salida de los sistemas eléctricos de mayor consumo del edificio, con lo cual se obtendrán los consumos eléctricos del mismo. Estas mediciones se realizarán por medio de un analizador de calidad de energía marca Fluke como se muestra en la figura 6.

Figura 6. **Analizador de calidad de energía Fluke**



Fuente: Fluke Corporation (s.f.). *Prueba de Fluke y herramientas de medición*. Consultado el 11 de octubre de 2022. Recuperado de <https://www.fluke.com/es-gt/producto/herramientas-de-calibracion/calibradores-de-lazo-de-ma/fluke-787b>.

El parámetro de la eficiencia energética inicial se obtendrá al aplicar la ecuación de las mediciones obtenidas de la potencia eléctrica de entrada y salida, conociendo las consideraciones de eficiencia, sustentabilidad y confort que está tomando el edificio.

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{\text{Potencia eléctrica de salida (kw)}}{\text{Potencia eléctrica entrada (kw)}}$$

- Etapa 3. Evaluación de componentes del sistema BMS

En esta etapa se evaluarán y se enlistarán los componentes necesarios del sistema Ecostruxure BMS de Schneider Electric a nivel de hardware y software

para realizar la implementación una vez realizadas la etapa 1 y 2 de la presente fase. La tabla II se considerará como una herramienta de recolección de datos de los componentes que se deben considerar para una correcta ejecución.

Tabla II. **Evaluación de componentes para la implementación del sistema**

Descripción	C1	C2	C3
Licencia de Servidor Empresarial			
Licencia de estación de trabajo			
Licencia de cantidad de usuarios de monitoreo			
Licencia de cantidad de nodos (equipos TCP/IP)			
SQL Management Studio			
Servidor de Reporteria			
Servidor de Automatización (AS-P)			
Fuente de poder (PS)			
Módulos IO			
Servidor (Host)			
Máquina Virtual			
Cable de extensión para AS-P			

Fuente: elaboración propia.

- Etapa 4. Evaluación económica para la implementación

En esta etapa se realizarán tablas en donde se describirán económicamente cada uno de los componentes del sistema BMS, así como los equipos eléctricos, materiales y accesorios necesarios para la implementación de un proyecto de esta índole.

9.2.3. Fase 3. Elaboración de un plan estratégico de gestión y control para una implementación eficiente

En la presente fase se realizará una guía para la mejora continua de eficiencia energética para un edificio basado en normativas ISO 50001 y ASHRSE 90.1 como se muestra en las siguientes etapas.

- Etapa 1. Elaboración de guía de eficiencia energética basado en normativa ISO 50001.

La norma ISO 50001 ofrecerá los alcances y políticas energéticas que se deben considerar para una mejora continua según su modelo de ejecución (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), para elaborar esta guía y lograr esta mejora se deben considerar algunos ejes como se muestra en la tabla III basados en documentación necesaria para iniciar el plan, métodos de gestión, requisitos de operación, evaluación y revisión final del proyecto.

Tabla III. Ejes de acción de un plan de gestión energética

DOCUMENTACION
Alcance
Línea de base energética
Indicadores del desempeño energético KPI
Política energética
Metas y objetivos desempeño energético
Documento (manual) del sistema de gestión de la energía
Control de la Documentación
Control de los registros

Continuación de la tabla III.

GESTIÓN
Representante de la dirección
Equipo de gestión de energía
Perfil energético
Requisitos legales y otros
Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía
OPERACIÓN
Compras de energía
Diseño
Control de Procesos
Implementación del Proyecto
Comunicaciones, capacitación, sensibilización
EVALUACION Y REVISION
Seguimiento, medición y análisis
Auditorías internas
Acciones correctivas y preventivas
Revisión por la dirección

Fuente: ISO 50001 (2018). *Energy management systems standard*. Consultado el 24 de octubre de 2022. Recuperado de <https://www.bsigroup.com/globalassets/documents/iso-50001/resources/iso-50001-implementation-guide-web.pdf>.

- Etapa 2. Elaboración de plan de mejora continua basado en normativa ASHRAE 90.1 2019.

Por otra parte por medio de la norma ASHRAE 90.1 se realizara una guía de operación continua de los equipos integrados al sistema BMS para lograr el

mismo objetivo, aumentar la eficiencia energética, de este modo no solamente mejorar la operación del sistema, aumentar la calidad de vida de las personas por medio del *confort* y la sustentabilidad que se lograría con los requerimientos de la norma, sino también, reducir costos asociados de operación y al mismo tiempo reducir los gases de efecto invernadero, apoyando de forma indirecta en el cambio climático. Algunas especificaciones de eficiencia energética que se consideraran por parte de la norma son:

- Consideraciones de potencia máxima en equipos
- Horarios de uso y calendarización
- Consideraciones de luminarias a utilizar según las áreas de ocupación
- Consideraciones para el sistema HVAC
- Calefacción, ventilación y aire acondicionado
- Límites de carga térmica según las áreas de ocupación
- Clasificación de espacios
- Cálculo de eficiencia energética programado
- Validación de mejoras de eficiencia periódicamente
- Medición de parámetros críticos para equipos de iluminación
- Medición de parámetros críticos para sistema HVAC
- Consideraciones de termostatos a utilizar
- Medición de calidad del aire

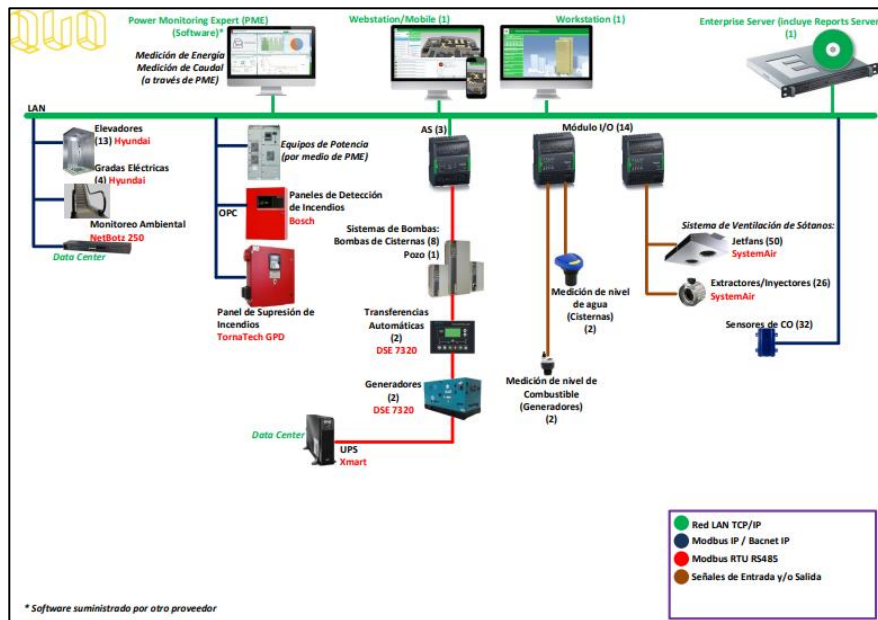
9.2.4. Fase 4. Realización de esquemas de conexión y diseño de interfaz de gestión del sistema BMS

Esta fase se divide en dos etapas, en la primera se elaborarán los esquemas de conexión de los diferentes equipos del edificio según la auditoría de la fase 1 (etapa 1), de la metodología, en la segunda se realizará una interfaz de monitoreo y gestión para simular el plan estratégico de eficiencia energética.

- Etapa 1. Elaboración de esquema de conexión y comunicación

En esta etapa se realizará el diseño y topología completa de conexión y comunicación entre los equipos y la plataforma del sistema BMS, por medio del *software* VISIO, en donde de este esquema se podrá visualizar de mejor forma el sistema eléctrico a integrar, proporcionando la información de protocolo de comunicación de los equipos, bus de comunicación, ID de conexión y cantidad de equipos a integrar a la plataforma. En la figura 7 se puede observar un típico esquema de conexión para un edificio convencional.

Figura 7. **Esquema de conexión, comunicación e integración del sistema BMS**

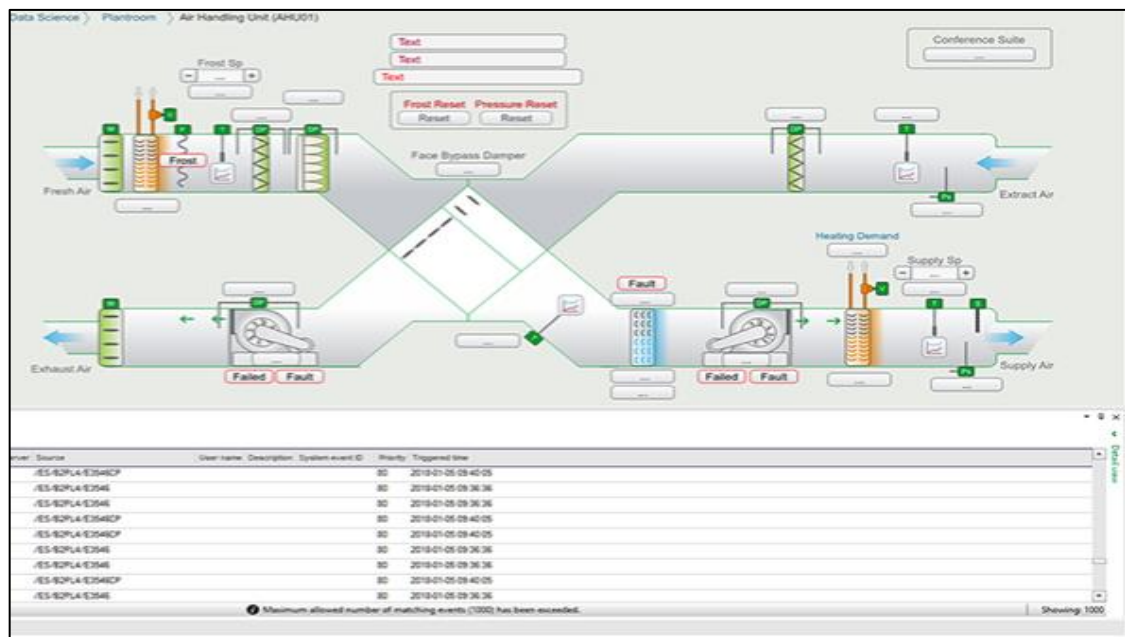


Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

- Etapa 2. Elaboración de interfaz para el monitoreo y gestión de las variables que simularan el plan estratégico de eficiencia energética.

Por medio de una licencia demo totalmente gratuita del *software* Ecostruxure BMS de Schneider Electric, se realizará una interfaz de monitoreo, gestión y control como se muestra en la figura 8 para simular todas las variables críticas de los diferentes equipos del edificio, mostrando de esta forma la mejora continua de la eficiencia energética, comparando los datos de obtenidos en la fase 1 (etapa 2), y los datos simulados por medio del *software*.

Figura 8. Interfaz de gestión y control para sistema BMS



Fuente: Ecostruxure Building help (2022). *Innovación en todos los niveles*. Consultado el 4 de diciembre de 2022. Recuperado de <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/Topics/show.castle?id=8064&locale=en-US&productversion=2022>.

9.2.5. Estimación del ahorro energético y económico

Se realizará una estimación del ahorro energético y económico que podría tener un edificio con la implementación de un sistema BMS por medio de tablas realizadas en programa Excel, comparando los parámetros iniciales de consumo energético con los obtenidos en la simulación por medio del software Ecostruxure BMS. Con base en la tabla IV se presentarán los resultados de los consumos eléctricos registrados en un periodo de tiempo establecido, así como el ahorro energético que se podría obtener al implementar este proyecto.

Tabla IV. **Análisis de ahorro energético**

Descripción	Datos
Consumo eléctrico inicial (Kw/h)	
Consumo eléctrico mes 1 (Kw/h)	
Consumo eléctrico mes 2 (kW/h)	
Consumo eléctrico mes 3 (kW/h)	
Consumo eléctrico mes “n” (kW/h)	
Ahorro energético (kW/h)	

Fuente: elaboración propia.

Con base en los resultados anteriores se realizarán tablas por medio de programa Excel donde se presentará una evaluación básica para determinar la viabilidad económica de implementación de sistemas BMS comparado con el ahorro energético obtenido. En la tabla V se presentarán los resultados económicos con los cuales se evaluará el modelo proyectado a una vida útil de 10 años utilizando la ecuación de Valor Presente Neto.

$$VPN = \sum \frac{\text{Flujo de efectivo neto durante un solo periodo}}{(1+\text{Tasa de descuento})^n}$$

Donde:

- N representa el número de periodo

Tabla V. **Análisis de ahorro económico**

Descripción	Datos
Inversión inicial (Qtz)	
Ahorro económico (Qtz)	
Valor Presente Neto (Qtz)	
Tasa interna de retorno (en porcentaje)	

Fuente: elaboración propia.

9.2.6. Fase 6. Guía con criterios necesarios de eficiencia energética para optar a certificaciones internacionales

En la presente fase se realizará una guía con los criterios necesarios de eficiencia energética que permita a organizaciones que quieren optar por darle un mayor prestigio a su inmueble por medio de certificaciones internacionales, como lo es una de ellas, la certificación LEED. Se brindarán los requisitos necesarios que establece Guatemala Green Boulding Coucil para alcanzar esta certificación. La certificación consiste en cumplir prerequisites enfocados en diseño, construcción, ubicación y eficiencia energética que serán descritos en la presente fase. Los criterios que se detallarán son:

- Cumplir con las leyes medioambientales
- Ser un edificio completo y permanente

- Usar una parcela o tipo de suelo adecuado
- Cumplir con los requisitos mínimos de superficie de suelo
- Cumplir con los requisitos mínimos de ocupación
- Usar sistemas de Gestión energética
- Cumplir con equipos de un mínimo de potencia de consumo
- Cumplir con diseño de iluminación sostenible
- Estar dispuesto a compartir los datos de uso de energía y agua de todo el edificio.
- Cumplir requisitos de eficiencia energética.
- Cumplir con una relación mínima de área de la construcción / área de parcela o suelo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La recolección de datos eléctricos y descriptivos del edificio se realizará en base a tres metodologías. La primera es a través de una auditoría completa del edificio, por medio de un análisis de la red eléctrica, revisión de planos eléctricos y mecánicos, tipo de equipos instalados, cantidad de equipos, consumos energéticos de los últimos 5 meses, entre otros datos.

La segunda metodología es por medio de un analizador de calidad de energía Fluke, el cual medirá en el tablero de distribución principal del edificio durante un día, parámetros eléctricos y consumos que actualmente está teniendo el edificio con cada uno de los equipos a integrar al sistema. Posteriormente gracias al software propio del equipo se analizarán las gráficas de las mediciones obtenidas.

La tercera metodología se realiza empleando el software de gestión energética Ecostruxure BMS de Schneider Electric, en donde por medio de una simulación de operación de los diferentes equipos, permite recolectar información diaria, mensual y anual del nuevo consumo energético que tendría el edificio en un periodo de tiempo determinado.

El estudio económico será analizado comparando los consumos de energía eléctrica inicial, inversión inicial y el tiempo de vida de cada uno de los equipos instalados.

El análisis estadístico y económico será realizado por las herramientas de Microsoft Excel.

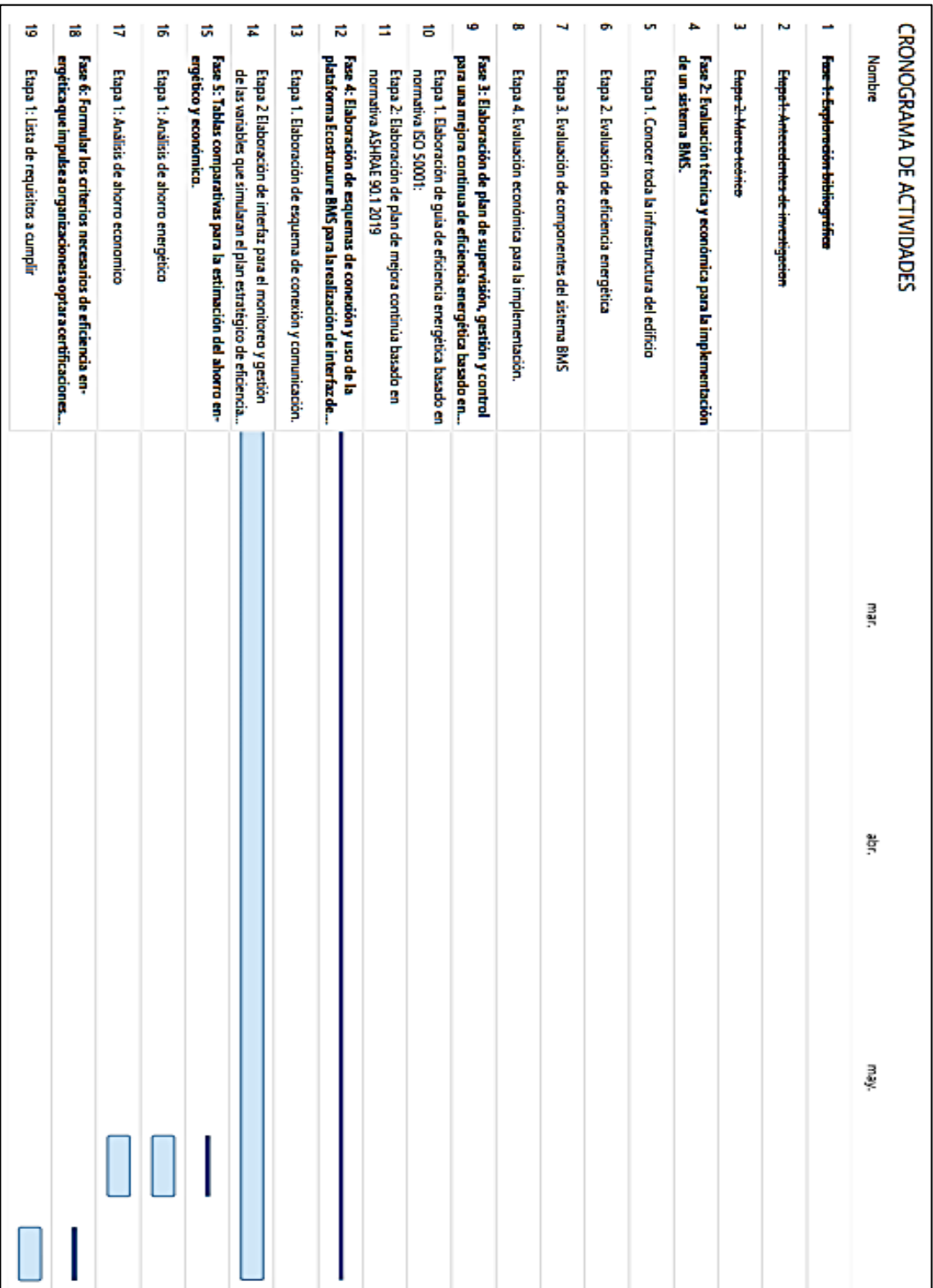
- Herramientas de recolección de datos
 - Tabla de características físicas y eléctricas del edificio
 - Tablas de tipo y cantidad de equipos eléctricos
 - Tablas de comportamiento de consumo eléctrico del edificio y de los equipos.
 - Tablas de marcas y modelos de equipos instalados.
 - Graficas de comportamiento de consumo eléctrico del edificio y equipos.
 - Tabla de componentes del sistema BMS a implementar.
 - Tabla de costos de materiales eléctricos a considerar.
 - Tablas de costos de materiales mecánicos a considerar.
 - Tablas comparativas de ahorro energético y financiero.

- Herramientas estadísticas
 - Media y desviación estándar de las mediciones.
 - Gráfico de límites máximos y mínimos de consumos eléctricos.
 - Gráfico comparativo de medición de energía de entrada de tablero principal de edificio y salida de equipos.
 - Gráfico de dispersión entre la potencia de entrada del edificio y la salida del equipo.
 - Análisis de tendencias.
 - Graficas de barra del consumo energético inicial y final del edificio.
 - Grafica de barras de la eficiencia energética inicial y final del edificio.
 - Tasa de comparación entre ahorro energético y económico.

11. CRONOGRAMA

Para darle seguimiento a cada una de las fases de la metodología, por medio del *software* Microsoft Project Plan Web, se establecieron tiempos para cumplir cada una de las fases, iniciando las actividades a partir del mes de diciembre del presente año y finalizando las mismas el mes de mayo del año 2023.

Figura 9. Cronograma de actividades



Continuación de la figura 9.

Nombre	Asignado a	Inicio	Finalización	% completa...	nov	dic	ene 2023	feb.
1 Fase 1: Exploración del edificio		12/5/2022	12/26/2022	100				
2 Fase 1: Análisis de requerimientos de investigación		12/5/2022	12/16/2022	100				
3 Fase 2: Marco técnico		12/5/2022	12/26/2022	100				
4 Fase 2: Evaluación técnica y económica para la implementación de un sistema BMS		12/26/2022	1/13/2023	0				
5 Fase 1: Conocer toda la infraestructura del edificio		12/26/2022	1/2/2023	0				
6 Fase 2: Evaluación de eficiencia energética		1/3/2023	1/4/2023	0				
7 Fase 3: Evaluación de componentes del sistema BMS		1/5/2023	1/6/2023	0				
8 Fase 4: Evaluación económica para la implementación.		1/9/2023	1/13/2023	0				
9 Fase 3: Elaboración de plan de supervisión, gestión y control para una mejora continua de eficiencia energética basado en...		1/19/2023	1/23/2023	0				
10 Fase 1: Elaboración de guía de eficiencia energética basado en normativa ISO 50001:		1/19/2023	1/19/2023	0				
11 Fase 2: Elaboración de plan de mejora continua basado en normativa ASHRAE 90.1 2019		1/20/2023	1/23/2023	0				
12 Fase 4: Elaboración de esquemas de conexión y uso de la plataforma Estructura BMS para la realización de interfaz de...		1/27/2023	5/30/2023	0				
13 Fase 1: Elaboración de esquema de conexión y comunicación.		1/27/2023	1/30/2023	0				
14 Fase 2: Elaboración de interfaz para el monitoreo y gestión de las variables que simulan el plan estratégico de eficiencia.		1/27/2023	5/30/2023	0				
15 Fase 5: Tablas comparativas para la estimación del ahorro energético y económica.		5/12/2023	5/19/2023	0				
16 Fase 1: Análisis de ahorro energético		5/12/2023	5/19/2023	0				
17 Fase 1: Análisis de ahorro económico		5/12/2023	5/19/2023	0				
18 Fase 6: Formular los criterios necesarios de eficiencia energética que impulse a organizaciones a optar a certificaciones in...		5/24/2023	5/30/2023	0				
19 Fase 1: Lista de requisitos a cumplir		5/24/2023	5/30/2023	0				

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos:

Tabla VI. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo	
Transporte	Q	600.00
Alimentación en campo	Q	400.00
Licencia de Software para reportes	Q	1,500.00
Alquiler de equipo de medición	Q	400.00
Asesor	Q	1,500.00
Imprevistos	Q	800.00
Total	Q	5,200.00

Fuente: elaboración propia.

Siendo los recursos aportados los suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. Abramonte, G. (2019). *Propuesta de implementación del sistema de automatización Building Management System (BMS) para el control de equipos en un casino de Miraflores Lima* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima.
2. Alonso, A. (2017). *Modelado energético del edificio O, Campus Central de la Universidad Rafael Landívar según el apéndice G del Ashrae 90.1 2010* (tesis de maestría). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
3. ASHRAE. (8 de septiembre de 2019). Energy standard for buildings except low-rise residential buildings [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>
4. Astesana, I. y Medina, A. (2016). *Sistema de control centralizado de edificios B.M.S.* (tesis de maestría). Universidad Católica de Córdoba, Córdoba.
5. Castrillón, R. (2019). *Herramientas de gestión energética para el desarrollo sostenible en edificios aplicado a un campus universitario en Colombia* (tesis de doctorado). Universidad de Valladolid, Valladolid.
6. Chapman, S. (2012). *Máquinas eléctricas*. México, México: McGraw-Hill.

7. Comunidad de Madrid. (2006). *Guías de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos*. Madrid, España: MÓSTOLE.
8. Cortes, M. (2014). *Determinación del consumo y eficiencia energética del inmueble: Edificio Pabellón de Anatomía Humana* (tesis de licenciatura). Universidad Austral de Chile, Chile.
9. De la Espriella, A. y Mancera, O. (2005). *Implementación en laboratorio del protocolo Modbus* (monografía de licenciatura). Universidad Tecnológica de Bolívar, Bolívar.
10. Ecostruxure Building help. (24 de noviembre, 2022). Innovación en todos los niveles [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/Topics/show.castle?id=8064&locale=en-US&productversion=2022>
11. Fluke Corporation. (s.f.). Prueba de Fluke y herramientas de medición [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.fluke.com/es-gt/producto/herramientas-de-calibracion/calibradores-de-lazo-de-ma/fluke-787b>
12. Gómez, S. y Daza, A. (2021). *Modernización de instalaciones convencionales a un sistema BMS (Building Management System) para edificaciones de asistencia médica* (tesis de doctorado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/29623/DazaUrregoAlexanderGomezPedrazaSandraMilena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

13. ISO 50001. (2018). *Energy management systems standard*. USA: UKAS, Management Systems. USA: Autor. Recuperado de <https://www.bsigroup.com/globalassets/documents/iso-50001/resources/iso-50001-implementation-guide-web.pdf>
14. ISO Tools. (17 de febrero de 2013). La Norma ISO 50001:2011 y la Gestión de la Energía [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.isotools.org/pdfs/monografico-ISO-50001.pdf>
15. López, F. (2019). *Optimización de la energía en centros de enseñanza en Perú* (tesis de doctorado). Universidad Nacional del Callao, Callao.
16. Moreno, M. (2019). *Metodología para la aplicación de sistemas BMS y BEMS para la operación eficiente de edificios* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Occidente. Colombia.
17. Riofrio, L. (2021). *Desarrollo de un sistema de gestión para el control de iluminación y climatización en edificaciones, aplicado al edificio Padre Juan Bottasso de la Universidad Politécnica Salesiana* (tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21718/1/UPS-CT009538.pdf>
18. Ruiz, S. (2022). *Evaluación de criterios para incentivar las edificaciones de balance energético cero en Colombia* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

19. Sánchez, C. (2014). Eficiencia energética [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/333089139_EFICIENCIA_ENERGETICA
20. Schneider Electric. (s.f.). Building Management Web Help SBO [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/home/index.castle?productversion=2022&locale=en-US>
21. Schneider Electric. (s.f.). Power Logic ION9000 [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://www.se.com/cr/es/product-range/64241-powerlogic-ion9000/#overview>
22. Toribio, P. (2018). *Estrategias tecnológicas para incrementar la eficiencia energética en edificaciones típicas en la ciudad de Lima-Peru* (tesis de doctorado). Universidad Nacional del Callao, Callao.
23. Vargas, J. (2020). *Análisis de indicadores eléctricos en un sistema BMS para reducir el consumo de energía eléctrica en los edificios convencionales de los centros de educación superior PUCP* (tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Problema	Objetivos	Variables	Metodología
Pregunta Principal:	Objetivo General	Independiente	
¿Cuál es la viabilidad para implementar sistemas BMS de alta eficiencia energética a los nuevos edificios en la ciudad de Guatemala?	Analizar la viabilidad de implementar sistemas BMS de alta eficiencia energética, aplicándolo a los nuevos edificios de la ciudad de Guatemala.	<ul style="list-style-type: none"> ● Consumo de energía por equipo/dispositivo de fábrica (kWh). ● Protocolo de comunicación de equipos (Modbus – BACnet). 	Propuesta de diseño de un sistema de gestión y control para un edificio comercial residencial
Preguntas Auxiliares:	Objetivos específicos:	Dependientes	Evaluación del software y hardware de gestión y control de los diferentes equipos que comúnmente puede tener una infraestructura de esta índole (Independientemente de la marca).
¿Cuáles son los componentes técnico-económicos necesarios para la implementación de un sistema BMS?	Evaluar los componentes técnico-económicos necesarios para la implementación de un sistema BMS.	<ul style="list-style-type: none"> ● Horas de uso de equipos (h). ● Eficiencia energética (en porcentaje). ● Agua potable (m³-gal). ● Agua fría (m³ - gal). ● Emisiones de CO2 (ppm). ● Secuencia de operación (PID). ● Voltaje (V). ● Corriente (A). ● Caídas de tensión (V). ● Picos de tensión (V). ● Caídas de corriente (A). ● Picos de corriente (A). ● Cantidad de Mantenimientos (#). 	Análisis técnico para una secuencia de operación que garantice un ahorro energético y sustentabilidad
¿Cuál es el plan estratégico de control y monitoreo de los diferentes elementos y dispositivos del edificio que garantice un ahorro energético?	Establecer un plan estratégico de control y monitoreo de los diferentes elementos y dispositivos del edificio que garantice un ahorro energético.		Exploración bibliográfica, análisis comparativo y financiero
¿Cuál es el ahorro energético y económico que podría llegar a tener un edificio por medio de un sistema BMS?	Estimar el ahorro energético y económico que podría tener un edificio por medio de un sistema de gestión.		Exploración bibliográfica de normativas de cumplimiento
¿Cómo se pueden establecer criterios que impulsen edificaciones verdes en la ciudad de Guatemala por medio de un sistema BMS?	Formular criterios que permitan impulsar edificaciones verdes en la ciudad de Guatemala a través de un sistema BMS.		

Fuente: elaboración propia.

- Título de investigación: diseño de investigación para la viabilidad de implementación de un sistema BMS, aplicado a los nuevos edificios de la ciudad de Guatemala.
- Objetivo general: analizar la viabilidad de implementar sistemas BMS de alta eficiencia energética, aplicándolo a los nuevos edificios de la ciudad de Guatemala.

Apéndice 3. Plan de acción

Objetivos	Etapa de la investigación	Actividades para desarrollar	Recursos necesarios	Tiempo necesario para el desarrollo
Evaluar los componentes técnico-económicos necesarios para la implementación de un sistema BMS.	Metodología	Fichas técnicas de equipos Análisis técnico Modelado de comunicación	Humanos y técnicos	Dos (2) semanas
Establecer un plan estratégico de control y monitoreo de los diferentes elementos y dispositivos del edificio que garantice un ahorro energético.	Diseño e implementación	Toma de datos de parámetros Diseño de secuencia de operación	Técnicos	Un (1) mes
Estimar el ahorro energético y económico que podría tener un edificio a través de un sistema de gestión.	Diseño	Elaboración de tablas comparativas	Financieros	Tres (3) semanas
Formular criterios que permitan impulsar edificaciones verdes en la ciudad de Guatemala a través de un sistema BMS.	Metodología	Diseño basado a norma ASHRAE 90.1 de eficiencia energética y sustentabilidad	Humanos y técnicos	Dos (2) semanas

Fuente: elaboración propia.

