

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA**



**ESTUDIO Y RIESGO FINANCIERO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE GESTIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EDIFICIOS DE VIVIENDA VERTICAL EN EL
MUNICIPIO DE GUATEMALA, CON BASE EN EL MODELO DE MONTE CARLO**

INGENIERO SELVYN DONALD VILLATORO HERNANDEZ

GUATEMALA, ENERO DE 2020

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA**



**ESTUDIO Y RIESGO FINANCIERO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE GESTIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EDIFICIOS DE VIVIENDA VERTICAL
EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA, CON BASE EN EL MODELO DE
MONTE CARLO**

Informe final de tesis para la obtención del Grado de Maestro en Ciencias, con base en el "Normativo de Tesis para Optar al Grado de Maestro en Ciencias", actualizado y aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, en la resolución contenida en el Numeral 6.1, Punto SEXTO del Acta 15-2009 de la sesión celebrada el 14 de julio de 2009.

AUTOR: ING. SELVYN DONALD VILLATORO HERNÁNDEZ

ASESOR: LIC. MSC. ARMANDO MELGAR RETOLAZA

GUATEMALA, ENERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Lic. Luis Antonio Suárez Roldán
Secretario: Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
Vocal Primero: Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
Vocal Segundo: MSc. Byron Giovani Mejía Victorio
Vocal Tercero: Vacante
Vocal Cuarto: P.C. Marlon Geovani Aquino Abdalla
Vocal Quinto: P.C. Carlos Roberto Turcios Pérez

JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS
SEGÚN EL ACTA CORRESPONDIENTE

Presidente: MSc. Hugo Armando Mérida Pineda
Secretario: MSc. Luis Alfonso Cardona Boteo
Vocal I: MSc. Rodrigo Estuardo Herrera Galindo

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS:** Por darme la sabiduría y el entendimiento para lograr éxitos en mi preparación profesional.
- A MIS PADRES:** Por ser los pilares fundamentales en mi vida y apoyo moral a lo largo de mi preparación académica.
- A MI ASESOR:** Por compartir su experiencia y asesoramiento en este trabajo de graduación.
- A LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO:** Por abrirme las puertas de la enseñanza para estar presente en sus aulas.
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:** Por ser el alma de la educación en Guatemala y permitirme el desarrollo académico en mi vida.

CONTENIDO

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	iii
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Antecedentes del sector de edificio de vivienda vertical.....	1
1.2 Antecedentes de las casas inteligentes en Guatemala.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Sistema inteligente de gestión de energía eléctrica.....	4
2.2 Edificio inteligente.....	4
2.2.1 Distribucion de energía eléctrica	5
2.2.2 Variadores de velocidad.....	6
2.2.3 Generación de energía renovable	7
2.2.4 Control y Automatización de la iluminación	8
2.2.5 Medición electrónica	9
2.3 Estudio técnico de una inversión.....	9
2.3.1 Balance de equipo	10
2.3.2 Estimación de costos método de factores combinados.....	10
2.4 Inversión de una solución.....	10

2.5	Beneficios de una inversión	11
2.5.1	Tipos de beneficios	11
2.6	Estimación de costos	11
2.7	Elementos del flujo de caja proyectado.....	12
2.8	Tasas de descuento.....	13
2.8.1	El costo de capital	13
2.8.2	El costo de la deuda	14
2.8.3	El costo del capital propio	14
2.9	Criterios de evaluación de inversiones	14
2.10	Análisis de riesgo y sensibilidad	15
2.10.1	Modelo de Monte Carlo	15
2.11	Impacto ambiental	16
2.12	Marco legal en compra y venta de energía.....	16
3.	METODOLOGÍA.....	18
3.1	Definición del problema	18
3.2	Objetivos	19
3.2.1	Objetivo general.....	19
3.2.2	Objetivos específicos	19
3.3	Hipótesis.....	20

3.3.1	Especificación de variables	20
3.4	Método científico	20
3.5	Técnicas de investigación aplicadas	21
3.5.1	Técnicas de investigación documental	22
3.5.2	Técnicas de investigación de campo.....	22
4.	ASPECTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA INTELIGENTE	23
4.1	Criterios técnicos del sistema	23
4.1.1	Distribución de energía eléctrica	23
4.1.2	Control de velocidad para pozo de agua y extracción de aire.....	26
4.1.3	Control de iluminación a través de los detectores de luz y presencia.....	31
4.1.4	Generación de energía para áreas comunes.....	33
4.1.5	Circuito de medición electrónica para la supervisión de energía	34
4.2	Costo de la energía eléctrica	35
4.3	Flujo de caja proyectado.....	37
4.3.1	Cálculo de ingresos del flujo proyectado.....	37
4.3.2	Cálculo de egresos del flujo proyectado.....	41
4.3.3	Cálculo de la depreciación y capital de trabajo del flujo proyectado.	45
4.4	Resultados del flujo proyectado	47

4.4.1	Valor Actual Neto (VAN)	47
4.4.2	Tasa Interna de Retorno (TIR)	48
4.4.3	Tasa Interna de rendimiento modificada (TIRM)	48
4.4.4	Periodo de Recuperación (PR)	50
4.4.5	Índice de Rentabilidad (IR)	50
4.4.6	Tasa de Interés Mínima Aceptable (TREMA)	51
4.4.7	Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC)	54
5.	ANÁLISIS DE RIESGO Y SENSIBILIDAD DE LA INVERSION	56
5.1	Riesgo y Sensibilidad	56
5.1.1	Modelo para simular	56
5.1.2	Variables Aleatorias del Modelo	57
5.2	Determinación de las Variables Aleatorias	57
5.3	Resultados de la Simulación	59
5.4	Análisis de sensibilidad	62
5.4.1	Análisis de sensibilidad gráfico tipo tornado.	62
5.4.2	Análisis de sensibilidad gráfico de telaraña	64
5.5	Aspectos del impacto ambiental	67
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	72

BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	76
ÍNDICE DE TABLAS.....	77
ÍNDICE DE GRÁFICAS	79

RESUMEN

En el municipio de Guatemala, el estudio financiero del sistema inteligente para la administración de la energía eléctrica es un tema moderno, poco aplicable por los inversionistas por la desinformación de las ventajas a mediano plazo, siendo la inversión inicial alta; en Guatemala la demanda de vivienda vertical está creciendo por problemas de congestionamiento vehicular y espacios para la construcción de vivienda en las principales zonas de la capital.

El problema de investigación financiera identificado, es la pérdida económica de los inversionistas por no implementar un sistema inteligente de energía eléctrica en edificios de apartamentos en el municipio de Guatemala, por medio de la compra de energía en bloque usando tecnología; el sector enfrenta problemas de incertidumbre en la viabilidad financiera para las edificaciones que se están planificando; la propuesta de solución plantea realizar un estudio financiero, así como el análisis de riesgo para determinar la viabilidad financiera de la inversión y aspectos relevantes del impacto ambiental con el uso de la tecnología.

La presente investigación se realizó con base en la utilización del método científico y el proceso de investigación metodológico con enfoque cuantitativo, a través de la recaudación de datos para probar la hipótesis, por medio del análisis estadístico, con el único objetivo de probar las pautas de comportamiento de las teorías empleadas, siguiendo un orden establecido en el proceso para llegar a los resultados esperados.

Los resultados más importantes concluyen que la investigación muestra cinco factores para realizar un sistema de administración energética; estos factores corresponden a la distribución de la energía eléctrica a lo largo del edificio, el control adecuado de los motores, tanto para la inyección y extracción de aire como el de la bomba de agua que suministra el líquido al edificio, el control óptimo de iluminación por medio de elementos tecnológicos, la generación de energía solar para áreas comunes y el circuito de medición electrónica para gestionar cada

punto que se desea medir, sin embargo, también se obtuvo de la proyección del flujo un Valor Actual Neto Q 13,556.76 con una tasa interna de retorno del 10.25%; con un tiempo de recuperación a partir del décimo año en adelante; aunque, también se describen otros beneficios adicionales además de la recaudación de ingresos directos que crean un valor adicional y que son considerados en el resultado final; como bien se sabe toda inversión tiene un riesgo cuantitativo, llegándose a medir por modelos que faciliten la toma de decisión, para este prototipo el riesgo refleja una probabilidad del 42.12% de que la inversión sea una pérdida cuando su Valor Actual Neto (VAN) sea menor que cero, aunque el riesgo de la tasa interna de retorno dado por la simulación que sea menor a cero es un 17.00%.

Otro dato importante para destacar es que el uso de tecnología ayuda a disminuir el impacto por emisión de CO₂ en un 56.77% como mínimo, con respecto a la construcción de un sistema eléctrico tradicional; sin embargo, el dato es mayor, si el contrato de energía en bloque proviene de un servicio de energía eléctrica generada por combustibles derivados del petróleo.

INTRODUCCIÓN

El objeto de estudio en la presente tesis es el de construcción de sistemas de energía eléctrica eficientes en edificios de vivienda vertical en el municipio de Guatemala.

El estudio se enfoca en un sistema inteligente para la administración de energía, que ayude a los diseñadores de los sistemas sofisticados, a ser implementados por los inversionistas de edificios de apartamentos.

El problema de investigación financiera identificado para el sector de la construcción de edificios se refiere: al desconocimiento, por parte de los inversionistas, en la viabilidad de un sistema de administración de energía, así como el análisis del riesgo que conlleva la implementación e impacto ambiental en torres de apartamentos en el municipio de Guatemala, por medio de la compra de energía en bloque y el uso de tecnología.

Por lo tanto, la propuesta de solución al problema con la incertidumbre para verificar la posibilidad de la inversión consiste en realizar un estudio y evaluación financiera comparativo, así como el análisis de riesgo para determinar la viabilidad financiera de la inversión y el efecto de los principales aspectos del impacto ambiental al ser implementada.

La justificación demuestra la importancia y necesidad de la presente investigación, la cual explica que, en Guatemala la construcción de edificios para vivienda está creciendo, debido a la demanda habitacional insatisfecha; además, la inexistencia de regulaciones de construcción de diseños eficientes para la optimización de recursos energéticos estimula oportunidades para los inversionistas a dar una solución eficiente y distinta a la población.

El objetivo general de la investigación se define como: Demostrar la viabilidad financiera de la implementación de un sistema de administración energética por

medio de un estudio de compra de energía eléctrica en bloque, análisis de riesgo y efecto del impacto ambiental, con el fin de dejarlo como alternativa de inversión por parte de los inversionistas para ser ejecutado en las edificaciones de vivienda vertical.

Los objetivos específicos de la investigación se definen como: a) Establecer una guía técnica financiera para la implementación de un sistema de eficiencia energética, para la administración del servicio de energía eléctrica en edificios de vivienda vertical; b) Obtener el resultado financiero de un sistema de eficiencia energética, a través de la proyección del flujo de caja, fuentes de financiamiento, tasa de descuento, compra de energía, para evaluar las inversiones iniciales aplicando los criterios del Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Periodo de Recuperación; c) Evidenciar el riesgo de la inversión por medio del modelo de simulación de Monte carlo para encontrar la viabilidad financiera y el efecto ambiental del sistema inteligente emitido a la atmosfera utilizando fuentes renovables.

La hipótesis expone la propuesta de solución al problema:

La evaluación económica y el análisis de riesgo de la inversión determinan la viabilidad financiera en un sistema de eficiencia energética en edificios de vivienda vertical por medio de la compra de energía en bloque, criterios de decisión financiera en el municipio de Guatemala e impacto ambiental en la reducción del CO₂ emitido a la atmosfera.

La presente tesis consta de los siguientes capítulos: el capítulo uno, Antecedentes, expone el marco referencial teórico y empírico de la investigación; el capítulo dos, Marco Teórico, contiene el análisis de las teorías, enfoques teóricos y conceptuales, utilizados para fundamentar la solución al problema planteado; el capítulo tres, Metodología, contiene la explicación en detalle del proceso, realizado para resolver el problema de investigación.

El capítulo Cuatro, analiza los aspectos técnicos del sistema inteligente, tanto en costeo como el diseño de ingeniería en sistemas convencionales con la utilización de recursos tecnológicos; también se presentan los resultados del estudio financiero para la determinación del flujo proyectado y fuentes de financiamiento.

El capítulo cinco, se realiza la evaluación financiera de la propuesta de inversión a través de herramientas financieras como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación en conjunto con el análisis de riesgo y sensibilidad, a través del modelo de Monte Carlo; se finaliza con el efecto del impacto ambiental que genera una instalación tecnológica para la administración de la energía.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

1. ANTECEDENTES

Los antecedentes exponen el marco referencial teórico y empírico de la investigación, relacionada con el estudio financiero del sistema inteligente de gestión de energía eléctrica y el análisis de sensibilidad para edificios de vivienda vertical en el municipio de Guatemala. En esta sección se detalla cómo ha evolucionado el crecimiento de las redes eléctricas en los edificios en la ciudad de Guatemala, con ayuda del alcance de nuevas tendencias de tecnología para maximizar el uso del recurso de la energía eléctrica y al mismo tiempo la reducción de efectos de impacto ambiental que inducen calentamiento global.

1.1 Antecedentes del sector de edificio de vivienda vertical

La Cámara Guatemalteca de la Construcción (2017), menciona que el municipio de Guatemala tiene un crecimiento en la construcción de edificios, el Banco de Guatemala menciona que durante el año 2019 el sector construcción creció un 4.9% siendo uno de los sectores de mayor dinamismo en el país; desde los años noventa, el crecimiento de la infraestructura del país es mesurado, teniendo un repunte en el año 2006 seguido de una disminución moderada durante los próximos cinco años; de esta manera, este sector sigue experimentando variaciones en su crecimiento anual. La baja en la construcción de edificios se debió a la crisis de 2008 a 2010 entrando en una recesión, golpeando fuertemente el sector inmobiliario.

Un estudio realizado por la Cámara de la Construcción en Guatemala en el año (2017), establece que el índice de alquiler es alrededor del 32% de la población; solo un 33% cuenta con vivienda propia; el resto de la población se encuentra en situación precaria de vivienda; en la actualidad existe una diversidad de inversiones habitacionales, que están teniendo una demanda alta por el déficit de vivienda que existe en el país; este déficit está siendo aprovechado por diferentes inversionistas para la construcción de nuevas propuestas habitacionales con espacios adaptados a las nuevas generaciones; por otro lado, la poca

regulación existente en las instalaciones de energía eléctrica, la falta de conocimiento por parte de las familias para contribuir a la disminución del impacto ambiental en el tema de eficiencia energética, y el desconocimiento de los inversionistas en Guatemala en la realización de viviendas, hace que se tenga una vivienda tradicional y poco eficiente, tanto en colonias, como en los edificios de apartamentos.

La Cámara Guatemalteca de la Construcción en el año (2017), expone que el crecimiento de edificios de vivienda vertical está en crecimientos en los últimos años por el tema de comodidad, limitaciones de la tierra para la construcción de viviendas en barrios; la falta de infraestructura vial de la carreteras, el congestionamiento del parque vehicular, las tendencias de las nuevas generaciones en optar por una calidad de vida; el hecho de tener acceso a servicios básicos hace que los inversionistas eroguen grandes cantidades económicas en edificios de vivienda vertical; las compañías como Denerpro, Genetec y Macsa, dedicadas al diseño de redes de eficiencia energética en Guatemala, tendrán que estar a la vanguardia de la tecnología para proponer soluciones más eficientes y tecnológicas en el sector de vivienda, sin embargo, el inversionista será consciente de los retos a futuro que se presentan en los edificios inteligentes.

1.2 Antecedentes de las casas inteligentes en Guatemala

Domínguez y Sáez (2006), explican que el inicio de las casas inteligentes se remonta al año 1893. Desde ese año se pensaba en un hogar equipado con electricidad en todas sus áreas, luces eléctricas controladas desde la mesa de noche, ventanas con control eléctrico, puertas automatizadas, entre otros avances; durante los años noventa se consideraba la integración de ciertas partes de los sistemas de datos, telecomunicaciones, energía eléctrica para la administración del edificio en Guatemala, sin embargo, por la falta de desarrollo tecnológico en el país, no se realizaba pues el costo era muy elevado para la gestión del edificio.

Con la incursión del internet, al que nuevas compañías extranjeras incursionaran en el mercado guatemalteco con tecnología como Siemens, Control4, etc., las cosas fueron cambiando, así empezó a ser más factible invertir en sistemas de administración energética, empezar a romper el paradigma que el alcance de una inversión de un sistema inteligente es para las personas que tienen un poder económico alto, para la adquisición de una vivienda, pensamiento que ha cambiado con el transcurrir del tiempo; en la actualidad los fabricantes de tecnología crean soluciones al alcance de la población para que tengan acceso a un bienestar familiar, aumentando su calidad de vida.

Según un estudio realizado por la compañía Schneider Electric, especialista global en la gestión de energía, indica que entre el 30 al 40 por ciento de energía mundial se consumen en centros comerciales, hoteles, vivienda vertical, etc., alrededor del 75 por ciento va destino a los gastos operativos y el 25 por ciento son pérdidas de energía que ocurren dentro de la construcción por las malas prácticas empleadas, ante este dilema se recomienda plantear alternativas con soluciones más eficientes para diferentes sectores para la administración energética, sin embargo, el riesgo de invertir en una solución con tecnología en un edificio era mucho mayor años atrás por el difícil acceso a las comunicaciones inalámbricas, el internet, nuevas tecnologías por el alto costo que presentaban el poder adquirirlas representando así un riesgo financiero mayor para el inversionista.

2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico contiene la exposición del análisis de las teorías utilizados para fundamentar la investigación relacionada con el estudio y riesgo financiero de un sistema de gestión de energía eléctrica, para edificios de vivienda vertical en el municipio de Guatemala. Se busca establecer las bases necesarias para la implementación de un sistema inteligente de energía que incluye las principales causas de pérdida energética en un edificio, siendo estas: sistema de iluminación, circuito de control de aire, pérdidas de energía en el conductor eléctrico del edificio, pérdidas de energía eléctrica por el sistema de bombeo de agua, por último, el circuito de medición electrónica continua, por medio de las diferentes teorías de investigación científica.

2.1 Sistema inteligente de gestión de energía eléctrica

Los autores Carretero y García (2012), exponen que el desempeño energético de un edificio inteligente requiere de procedimientos para las actividades de medición, documentación e información, las prácticas de diseño de equipos eficientes, procesos definidos, personal que contribuya al desempeño energético; existen normas que ayudan a definir, implementar, mantener y mejorar un sistema inteligente, con el único propósito que le permita a la administración del edificio alcanzar la mejora continua como un proceso, estando compuesto por cuatro pasos fundamentales que conforman el ciclo de vida de la eficiencia energética; estos son: la auditoría de medición, establecer las bases por medio de la implementación de equipos eficientes, optimización mediante automatización, monitoreo continuo.

2.2 Edificio inteligente

Es aquella construcción que proporciona un ambiente de armonía por medio de la mejora continua de su estructura, sistemas, servicios, administración, ayudando a los propietarios a tener un sistema de control total sobre la edificación; bajo esta

premisa, la eficiencia energética juega un papel indispensable en el manejo de la energía eléctrica, de manera que siempre se busca alcanzar la máxima eficiencia posible; en una torre de apartamentos la energía se consume principalmente en iluminación, servicios básicos y electrodomésticos que se tienen en un hogar.

De esta forma, se dice que la eficiencia energética es un deber que cumplir; la eficiencia energética se basa en el reducir el consumo por medio de soluciones activas, generar energía por medio de recursos renovables reduciendo el consumo por medio de las últimas tendencias de tecnológicas; la administración de un sistema de energía está compuesto por varios elementos importantes que generan valor al edificio; los equipos altamente eficientes tienen características eléctricas de fabricación que ayudan a maximizar la eficiencia de un sistema eléctrico; dentro de estos equipos se menciona el transformador, el ducto barra o electroducto, panel de control de iluminación, variadores de velocidad, generación de energía eléctrica por medio de paneles solares y equipos de medición.

A continuación, se detalla cada uno de los componentes mencionados.

2.2.1 Distribución de energía eléctrica

Todo el sistema eléctrico de una torre de apartamentos inicia con el diseño de la subestación eléctrica; una subestación eléctrica está compuesta por un transformador de alta eficiencia tipo seco, el transformador tiene la finalidad de hacer cambiar el nivel de voltaje por medio de sus características internas, siendo su conversión de energía eléctrica por medio del magnetismo, ayudando a reducir la pérdida de energía por disipación de calor y costos de mantenimiento a futuro; como bien se sabe, es una máquina de energía eléctrica; es sumamente importante que el equipo tenga características eléctricas que ayuden a minimizar las pérdidas de energía por calor en las bobinas del lado primario y lado secundario por el choque de sus átomos al circular la corriente eléctrica, lo que es

conocido como efecto joule así como pérdidas de energía eléctrica en el núcleo por magnetismo.

El otro factor importante resaltar es el ducto barra o electroducto, siendo el medio de conducción de energía eléctrica, principalmente empleado a la salida del transformador, para la distribución de la energía a los diferentes puntos que se desee; como bien lo indica el nombre, son barras de cobre sólidas para transportar la energía eléctrica, que es calculada en función de las cargas que estarán conectadas; el ducto barra tiene características constructivas de diseño que minimizan las pérdidas de energía por disipación de calor.

2.2.2 Variadores de velocidad

Los variadores de velocidad tienen como propósito contribuir a la reducción del consumo eléctrico por la tecnología que traen incorporada, por medio del control de velocidad en la extracción e inyección de aire y control de los pozos de agua, los cuales son de fácil acceso para ser interrogados remotamente, por medio de comunicación inalámbrica o por medio de señales eléctricas.

El autor Jacques Schonek (2010), menciona que existe formas de variar el flujo de aire por medio de aparatos mecánicos, una manera es instalarlos en la entrada o salida del ducto de ventilación para controlar las caídas de caudal; sin embargo, la opción más viable es a través del control de velocidad del ventilador; también dice, que las características fundamentales de un ventilador están relacionadas directamente a la velocidad de giro; si consideramos que la bomba gira a una velocidad individual N diferente de la velocidad nominal N_1 se tiene:

- El caudal Q es proporcional a (N/N_1)
- La altura manométrica H es proporcional $(N/N_1)^2$
- La potencia P es proporcional a $(N/N_1)^3$

De esta forma variar la velocidad permite utilizar siempre el nivel más alto de eficiencia, siendo el método que ofrece el menor consumo energético.

Como bien se mencionó, esta solución es aplicable al sistema de bombeo, sistema de ventilación y compresores; este tipo de cargas en la cual las necesidades de potencia van conforme a la velocidad que exige la carga, ofreciendo grandes oportunidades de ahorro energético por medio del control de velocidad.

En el caso de una torre de apartamentos el control de aire en los sótanos es necesaria; así como el bombeo de agua por tener pozo propio; por ende, los parqueos requieren dos ventiladores por sótano para tener el sistema de aire adecuado, esta capacidad de motor generalmente es de 7.5 hp o 10 hp; para el bombeo de un pozo propio dependerá de la cantidad de apartamentos que se desea suministrar, siendo variable la capacidad de la bomba, oscilando entre 30 a 150 hp para impulsar el agua que requieren las personas a plena carga; sin embargo, independientemente del sistema que esté manejando el motor trabaja desde un 50 al 80 por ciento de su capacidad según su demanda en el horario que esté es requerido, en el caso del área metropolitana, la distancia de un pozo oscila entre 100 a 200 metros de profundidad para encontrar el valioso líquido.

2.2.3 Generación de energía renovable

Los paneles solares son una forma de generación de energía eléctrica, fácil de implementar, sustituyendo así, un generador de energía para las áreas comunes de un edificio; los inversores son equipos utilizados en la generación de energía solar con el propósito de transformar la corriente directa a corriente alterna; estos tienen un fácil acceso a ser conectados a una red de comunicación, con el fin de extraer los datos para llevarlos a una plataforma con el propósito de visualizarlos, los cuales son útiles para la toma de decisión y análisis del buen funcionamiento del sistema eléctrico evaluando las posibles fallas a futuro que se presenten en las instalaciones.

El empleo de recursos naturales, maximiza el uso de fuentes limpias de energía eléctrica por medio de la generación de energía renovable en edificios; los paneles solares que captan energía del sol, son la base fundamental del sistema de energía solar, sin embargo, requiere el uso de tecnología para realizar una instalación eficiente, garantizando así que el sistema funcione correctamente, de esta manera permite garantizar una energía de alta calidad, muchas veces empleada para las áreas comunes del edificio, sustituyendo la colocación de un generador eléctrico con motor Diesel; la instalación de los paneles solares es realizada en el techo, utilizando así el espacio disponible para inyectar esta energía a la red eléctrica del edificio. Estos sistemas generan una potencia entre 30 y 75 kilowatts, lo cual dependerá del área disponible en el techo; esta capacidad normalmente es suficiente para la alimentación de energía eléctrica a las áreas comunes del edificio.

2.2.4 Control y Automatización de la iluminación

El control de iluminación se realiza por medio de paneles de control remoto que buscan minimizar el consumo de energía en áreas comunes del edificio, por medio de sensores de detección programados los 365 días.

La automatización de las luminarias juega un papel importante en el manejo y el ahorro del consumo de energía eléctrica, cuando se desea minimizar el consumo energético, es necesario la instalación de un panel de control que reciba las señales de control de los sensores de movimiento que están instalados en lugares estratégicos del edificio para la detección de movimiento; la función principal del panel es esencial, debido a que toma la señal del sensor e internamente manda a realizar una acción de apagado o encendido en el circuito de luminarias; adicional, los paneles de control tienen la capacidad de almacenaje de datos para realizar una acción futura, como asuetos o fechas especiales donde se requiera un apagado de algunas áreas en un cierto periodo de tiempo; este control proporciona una versatilidad en el control de horarios, días festivos y ahorro

energético, a través de las señales de los sensores para maximizar el rendimiento y eficacia de la vida útil de las luminarias.

2.2.5 Medición electrónica

La medición electrónica contribuye a la captación de la información, por medio de una plataforma de software para el almacenamiento, registro, configuración, análisis y toma de decisión de cada punto de medición electrónica; de esta manera, el personal que administra la plataforma genera un informe del punto de medición que se desea obtener sin necesidad de tener un conocimiento avanzado en sistemas informáticos.

Considerar la implementación de un sistema de medición de consumo energético en un edificio de apartamentos, constituye una clave fundamental para la comprensión del funcionamiento óptimo de la plataforma; la medición de los consumos energéticos es importante determinarla, tanto para las áreas comunes, como para los puntos de consumo de cada apartamento, esto, con el fin de transmitir la medición de los consumos en tiempo real a una computadora o servidor; sin embargo, adicional a las medición que es realizada en cada punto, los medidores tienen la capacidad de mostrar variables eléctricas que indiquen el estatus de posibles fallos o consumos fantasmas en diferentes puntos del edificio por medio del software; la comunicación de los equipos de medición se realiza por medio de protocolos de comunicación con ayuda de pasarelas para la transmisión de los datos a la nube; una vez concentrada la información de los consumos, se tiene acceso permanente a la información más clara del consumo del edificio.

2.3 Estudio técnico de una inversión

Lo indicado por Sapag (2011), define que el objetivo del estudio técnico de la inversión busca la viabilidad económica financiera, calculando los costos, inversiones o beneficios derivados de los aspectos técnicos de ingeniería, que serán implementados para llegar a la composición óptima, analizando los aspectos

tecnológicos que se desean implementar, cualquier error que se cometa se debe evaluar las consecuencias a futuro; normalmente el evaluador de una inversión desconoce los aspectos técnicos, sin embargo, se recomienda tener un equipo multidisciplinario que permita contemplar todas las variables de cada una de las disciplinas para minimizar el riesgo de la inversión.

2.3.1 Balance de equipo

Es un proceso que ayuda a determinar la inversión inicial según lo mencionado por Sapag y Sapag (2008), donde se incluyen los equipos que se desean implementar de manera que la inversión propuesta sea la correcta. En este análisis se consideran todos los equipos necesarios sin importar la estrategia financiera de cómo serán adquiridos; el cuadro de equipos estará compuesto por la cantidad, costo unitario, costo total, vida útil del activo y el valor de liquidación.

2.3.2 Estimación de costos método de factores combinados

La estimación de costo por medio de factores combinados es una forma sencilla y rápida de establecer los costos de la implementación; esta metodología es aplicada en situación donde existe un componente de costo elevado y otro significativamente pequeño, cuyo cálculo es realizado según la ecuación siguiente:

$$C = \sum C_d + \sum C_{U_i} \times q_i$$

Donde C es el costo que se busca calcular; C_d el costo real de cada componente, C_{U_i} el costo unitario de la componente i de la estructura y q_i es la cantidad del componente.

2.4 Inversión de una solución

Existen inversiones que se realizan antes de la puesta en marcha y también inversiones que se realizan durante la operación de una inversión; esto según Sapag y Sapag (2008), debido al reemplazo de activos adquiridos al inicio de la

inversión, o bien para ser más eficientes en la capacidad de la instalación, de manera que el capital de trabajo puede verse afectado por los cambios durante el proceso de renovación de la operación; están clasificadas como inversiones previas a la puesta en marcha que se enfocan en tres tipos que son los activos intangibles, activos fijos y el capital de trabajo, tanto los activos fijos como intangibles pierden valor en el tiempo; el otro tipo de inversión es el capital de trabajo, que es un conjunto de recursos económicos necesarios como activos a corto plazo para la operación y funcionamiento normal de la solución implementada; de esta manera se dice que constituye una inversión a largo plazo.

2.5 Beneficios de una inversión

Toda inversión debiese tener beneficios cuando son empleados los recursos de la manera más eficiente, pero adicional a los beneficios directos por la recaudación de ingresos directos, existen otros beneficios adicionales que crean valor a la inversión realizada y deben ser considerados en el resultado final.

2.5.1 Tipos de beneficios

En los tipos de beneficios adicionales que se dan por una inversión, es importante considerar la posibilidad de venta de los activos que se reemplazarán como un ingreso adicional, contribuyendo a cargas tributarias, si genera una utilidad o pérdida contable, razón importante por la que debiese incorporarse en el flujo de caja; otro beneficio adicional que puede identificarse es por la venta de servicios o subproductos que genere la nueva instalación.

2.6 Estimación de costos

La estimación de costos es fundamental en una inversión que deberá realizar el evaluador para determinar la viabilidad de inversión por los elementos que están sujetos a la valorización como desembolsos; siempre será necesario la cuantificación de costos contables que son útiles en una compañía para los

requerimientos legales o tributarios; dentro de la estimación de costos se encuentran los diferenciales que representan los existentes entre las alternativas evaluadas a futuro, que representa la solución que se pretende implementar.

2.7 Elementos del flujo de caja proyectado

La proyección del flujo de caja es pieza fundamental de cualquier evaluación que se realice según lo define Sapag (2011), esta proyección deberá ser efectiva. Las razones por las cuales es importante un flujo de caja es que, ayuda a medir la rentabilidad, mide las ganancias de los propios recursos y por ende la capacidad de pago por los préstamos realizados en función de la tasa de descuento; el flujo de caja contempla todas las variables que giran alrededor de la inversión, como es el caso de la depreciación, amortización, efectos tributarios, ganancias, pérdidas, etc.; sin embargo, contempla un orden específico, el primer elemento que corresponde a los egresos de la inversión inicial necesaria para la puesta en marcha; el capital de trabajo se considera como un egreso inicial que corresponde a la operación; para el segundo elemento de operación corresponden a todos los flujos de entradas y salidas de efectivo que son reales de la caja; el tercer elemento corresponde a las transacciones de efectivo, por último, el valor de salvamento que corresponde a la venta del activo en el transcurrir del tiempo en el último año de operación.

Los métodos para calcular la depreciación son varios, aunque, en los estudios de viabilidad se acepta el método de línea recta, suponiendo que se deprecia todo el activo en proporción similar en cada año; también existe un flujo de caja del inversionista, el cual ayuda a medir la rentabilidad de su capital; para eso, es necesario agregar el efecto del financiamiento; varios autores establecen diferente orden, pero con el mismo resultado esperado. A continuación, se presenta una estructura de un flujo de caja que será el utilizado en la presente investigación.

Tabla 1. *Estructura de flujo de caja*

+	Ingresos afectos a impuestos
-	Egresos afectos a impuestos
-	Gastos no desembolsables
=	Utilidad antes de impuesto
-	Impuesto
=	Utilidad después de impuesto
+	Ajustes por gastos no desembolsables
-	Egresos no afectos a impuestos
+	Beneficios no afectos a impuestos
=	Flujo de caja

Fuente: Sapag Nassir C.; Sapag Reinaldo C.; Sapag José M.; (2008) Preparación y evaluación de proyectos México. McGraw-Hill Interamericana. Sexta Edición

2.8 Tasas de descuento

La tasa de descuento es una importante variable en la evaluación financiera; es utilizada para la actualización de los flujos de caja proyectado e importante definirla para tener un valor real de la tasa que el inversionista espera obtener de la inversión, concepto definido por Sapag (2011).

2.8.1 El costo de capital

El costo de capital se refiere a un valor utilizado para encontrar el dato del flujo a futuro que genera la implementación de un sistema o solución, o más bien, es la rentabilidad que se le exige a la inversión por el hecho de renunciar a otra alternativa de inversión que genera beneficios similares según lo define Sapag (2011), sin embargo, es difícil encontrar el valor real del costo de capital, por ende, queda muchas veces a discreción del inversionista la rentabilidad que se desea obtener.

2.8.2 El costo de la deuda

El costo de la deuda que tiene una compañía al evaluar una inversión se basa en el hecho que se pagará en una fecha futura y en un monto superior al obtenido originalmente por la devaluación de la moneda, según Sapag y Sapag (2008); de esta manera, el costo de la deuda está antes de impuestos y los intereses del préstamo se deducen de las utilidades y permiten disminuir la tributación por incluir el efecto de la tasa de descuento.

2.8.3 El costo del capital propio

La evaluación de una inversión se considera como capital patrimonial a aquella parte de la inversión que se realiza con capital propio según Sapag y Sapag (2008); de esta manera, el inversionista depositará los recursos económicos en la alternativa de inversión donde obtenga mayores ganancias.

2.9 Criterios de evaluación de inversiones

La evaluación financiera por medio de los criterios de Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno, compara los beneficios proyectados que están asociados a la toma de decisiones según lo define Sapag (2011); estas técnicas financieras miden la rentabilidad del proyecto; para conocer la viabilidad financiera se debe establecer el flujo de caja, una vez fijado el flujo, se evalúa el Valor Actual Neto (VAN), obteniendo como resultado tres escenarios; el primero, si el resultado es menor que cero la inversión no es viable debido a que existen mayor egreso que ingresos proyectados, si el resultado es igual a cero la inversión no procede, si el resultado final es mayor que cero la inversión es viable. .

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es otra técnica para evaluar una inversión; esta herramienta se enfoca en evaluar una tasa de rendimiento en un tiempo determinado que el inversionista espera obtener por la ejecución de un proyecto.

Como un tercer método para evaluar la inversión, se encuentra el periodo de recuperación; esta alternativa encuentra el tiempo requerido para recuperar el monto económico del inversionista, siendo un complemento del Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

2.10 Análisis de riesgo y sensibilidad

El riesgo define la variabilidad de los flujos de caja reales respecto a los esperados por el inversionista según lo menciona Sapag (2011); su medición es a través de parámetros estadísticos como la desviación estándar de una distribución de probabilidades de posibles ingresos y egresos; existen varios métodos para la evaluación del riesgo; ajustar la tasa de descuento, o bien ajustar los flujos de caja, según un índice que represente un factor de ajuste por riesgo llamado equivalencia a certidumbre o utilizar métodos probabilísticos; parecieran ser estos los más adecuados, aunque tienen el inconveniente de calcular una probabilidad de ocurrencia que sea confiable.

Un análisis de sensibilidad demuestra qué tan sensible es la evaluación realizada a variaciones de una o más variables en un flujo de caja proyectado; son determinantes en la inversión para evidenciar la marginalidad, así como para indicar su grado de riesgo o para incorporar valores no cuantificados; se dice que es unidimensional o multidimensional, dependiendo del número de variables que se están analizando.

2.10.1 Modelo de Monte Carlo

El origen del método de Monte Carlo se asigna a Stanislaw Ulam y a John von Neumann en el año 1946 y es llamado así por pertenecer a una ciudad de Mónaco en el país de Francia; este método comenzó con fines de investigación del desarrollo de la bomba atómica en la segunda guerra mundial, durante su desarrollo Ulam y Von Neumann perfeccionaron la técnica para ser aplicada al cálculo de neutrones de un material, conforme paso el tiempo durante la década

de los 70s, los desarrollos teóricos fueron trasladados a un sistema computacional, donde tuvo mayor auge en la precisión y empleo del método para diferentes fines.

El modelo de simulación de Monte Carlo, es una técnica estadística que combina los muestreos aleatorios, proporcionando la diversidad de resultados que toma el valor actual neto en un flujo de caja proyectado, de manera que se asigna un factor diferente al flujo aleatoriamente; de esta forma la probabilidad de que aparezca es siempre la misma e independiente de los resultados; estos resultados demuestran los diferentes parámetros del Valor Actual Neto, especialmente cuando existen dudas del comportamiento de más de una variable a la vez. Los pasos principales para la realización de una simulación de riesgo por este método, es construir un flujo de caja, referenciando las celdas sobre las cuales se aplicará la simulación, así como definir el modelo para cada supuesto de entrada, definir el pronóstico de salida, ejecutar la simulación y analizar la información del gráfico según el resultado.

2.11 Impacto ambiental

El impacto ambiental es necesario evaluarlo para determinar la viabilidad financiera de una inversión, siendo una herramienta útil para paliar efectos forzados por situaciones que se caracterizan por el crecimiento de la infraestructura, la contaminación y mala gestión de los recursos atmosféricos e hidráulicos según lo menciona el autor Fernández (1993).

2.12 Marco legal en compra y venta de energía

El mercado eléctrico en Guatemala está regulado para que todas las operaciones de energía eléctrica se realicen bajo Ley, según la Ley General de Electricidad dictada por el Congreso de la República de Guatemala; bajo estos lineamientos se crea el Mercado Mayorista con la finalidad de mantener la continuidad del suministro de energía eléctrica en el país, tratando siempre de velar por el

cumplimiento de la demanda por parte de los usuarios, buscando la eficiencia del sector eléctrico; la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) tiene como objetivo hacer cumplir la Ley General de Electricidad, dando estabilidad al sistema nacional; sin embargo, existen agujeros legales sobre la mesa que la Ley General de Electricidad no cubre. El marco legal establece que en la comercialización de energía eléctrica se realiza un convenio entre el sector público y privado, para dar un servicio, por ejemplo, el servicio de energía eléctrica que se presta a las casas en una colonia, las carreteras dentro del condominio pasan a ser del servicio público; por ende, se considera un servicio entre lo público y privado dentro de un condominio.

En el caso de las torres de apartamentos existe el agujero legal, debido a que solo se tiene una acometida eléctrica principal del edificio, de manera que no se considera que cada apartamento en una construcción vertical este entre lo público y privado; esta situación la observan los inversionistas para prestar un servicio de energía eléctrica en los apartamentos, comprando energía en bloque a una tarifa menor para luego venderla a cada usuario del edificio, aunque la venta de energía no está regulada, se encuentra en términos de la propiedad privada, sin embargo, la comercializadora tiene la obligación de prestar el servicio a la población; esto conlleva un proceso a través de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), donde dicho ente, debe estudiar cada caso para dar un dictamen, proceso que ha demostrado ser sumamente engorroso y carente de agilidad para otorgar una resolución.

3. METODOLOGÍA

El presente capítulo contiene la Metodología de investigación, explica en detalle de qué y cómo se hizo para resolver el problema de la investigación, relacionado con la construcción de un diseño de sistema de eficiencia energética inteligente en la vivienda vertical y el análisis financiero respectivo.

El contenido del capítulo incluye: la definición del problema, los objetivos planteados, hipótesis, especificación de variables y metodología científica empleada. En general, la metodología presenta el resumen del procedimiento usado en el desarrollo de la investigación.

3.1 Definición del problema

El problema de investigación financiera identificado es la pérdida económica de los inversionistas por no implementar un sistema inteligente de administración de energía eléctrica en edificios de apartamentos en el municipio de Guatemala, por medio de la compra de energía eléctrica en bloque, utilización de equipos eficientes y uso de tecnología, que permitirá la gestión correcta de los recursos energéticos del edificio para maximizar la sustentabilidad a futuro de la edificación, el aprovechamiento de fuentes renovables; maximizando la rentabilidad del inversionista para impulsar el crecimiento sostenible de un país mas verde.

La propuesta de solución a la mala administración de la energía eléctrica en edificios de vivienda vertical consiste en realizar un estudio de evaluación financiera, análisis de riesgo, análisis de sensibilidad y el impacto ambiental en la reducción del CO₂ con la utilización de equipos eficientes para determinar la viabilidad de la inversión; el estudio se hará en base a fuentes confiables de información como la Comisión Nacional de Energía Electrica, Banco de Guatemala y otras entidades que brinden información para minimizar el riesgo del inversionista.

3.2 Objetivos

Los objetivos de la presente investigación están relacionados con la gestión inteligente de la energía eléctrica en el sector de la construcción de vivienda vertical en el municipio de Guatemala

3.2.1 Objetivo general

Demostrar la viabilidad financiera de la implementación de un sistema de administración energética por medio de un estudio de compra de energía eléctrica en bloque, análisis de riesgo y efecto del impacto ambiental, con el fin de dejarlo como alternativa de inversión por parte de los inversionistas para ser ejecutado en las edificaciones de vivienda vertical.

3.2.2 Objetivos específicos

- Establecer una guía técnica financiera para la implementación de un sistema de eficiencia energética, para la administración del servicio de energía eléctrica en edificios de vivienda vertical.
- Obtener el resultado financiero de un sistema de eficiencia energética, a través de la proyección del flujo de caja, fuentes de financiamiento, tasa de descuento, compra de energía, para evaluar las inversiones iniciales aplicando los criterios del Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Periodo de Recuperación.
- Evidenciar el riesgo de la inversión por medio del modelo de simulación de Monte Carlo para encontrar la viabilidad financiera y el efecto ambiental del sistema inteligente emitido a la atmosfera utilizando fuentes renovables.

3.3 Hipótesis

La evaluación financiera y el análisis de riesgo de la inversión determinan la viabilidad económica para la implementación de un sistema de eficiencia energética en edificios de vivienda vertical en el municipio de Guatemala, por medio de la compra de energía eléctrica en bloque en conjunto con los beneficios otorgados en la reducción del impacto ambiental.

3.3.1 Especificación de variables

La especificación de variables de la hipótesis es la siguiente:

Variable Independiente

Análisis de viabilidad financiera de la inversión con base en el estudio y evaluación financiera comparativos, el análisis de riesgo de inversión y el análisis de aspectos relacionados con el impacto ambiental.

Variabes dependientes

- Resultados del valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y periodo de recuperación (PR).
- Resultados del riesgo por medio de la simulación de Monte Carlo.
- Resultados de análisis de aspectos relacionados con el impacto ambiental.

3.4 Método científico

El método científico es el fundamento de la presente investigación relacionada con el diseño y estudio financiero del sistema inteligente de gestión de energía eléctrica para edificios de vivienda vertical en el municipio de Guatemala, relacionado con el sector de construcción de inmuebles.

A continuación, se desarrollan las fases del método científico y el proceso de investigación metodológico con enfoque cuantitativo, para probar la hipótesis con base a en la medición numérica, que busca determinar pautas de comportamiento y teorías aplicadas. El enfoque cuantitativo tiene un orden específico quedando prohibido el saltar los pasos respectivos según Hernández Sampieri (2014), bajo este principio se estableció desarrollar el tema de investigación sobre la evaluación de un sistema de administración de energía eléctrica.

Una vez establecida la idea sobre el planteamiento del problema se procedió a la revisión literaria para resolverlo; se determinó el alcance del estudio en conjunto con la hipótesis, determinación de variables tanto independiente como dependientes; se realizó una propuesta económica del diseño eléctrico tradicional y otra propuesta para el diseño inteligente para determinar los egresos que implica cada diseño. Estos datos ayudaron a determinar un flujo proyectado de ambas alternativas para la realización de la evaluación financiera; conjuntamente se revisan las fuentes de financiamiento disponibles para la realización de la inversión, a través del análisis del Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y periodo de recuperación (PR). Esta información fue apoyada con la información verbal proporcionada de diseñadores eléctricos para considerar la opinión de un experto sobre las tendencias del mercado; seguidamente se realizó un análisis de riesgos en conjunto con el nivel de incertidumbre de la inversión, por medio de la metodología de la simulación de Monte Carlo, concluyendo con el análisis de aspectos relacionados con el impacto ambiental.

3.5 Técnicas de investigación aplicadas

Las técnicas son reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos en la aplicación del método de investigación científico. Las técnicas de investigación documental y de campo aplicadas en la presente investigación, se refieren a lo siguiente:

3.5.1 Técnicas de investigación documental

Estas se realizaron, utilizando fuentes confiables a través de una revisión bibliográfica de diferentes autores, por medio de fuentes de documentales de ingeniería para la realización de diseños de sistemas inteligentes por medio de una lectura analítica y documentación de entidades del sector eléctrico.

3.5.2 Técnicas de investigación de campo

Para la realización de la investigación de campo se utilizó la observación directa y entrevistas verbales con los principales actores de las compañías de diseño, para obtener una perspectiva de un experto hacia donde se enfoca el mercado eléctrico, tendencias y futuras soluciones.

Según el autor Hernández (2014), al momento de aplicar instrumentos de medición y recolectar datos representa la oportunidad para el investigador de confrontar el trabajo conceptual, este proceso esta definido de la siguiente forma:

- Definir la forma idónea de recolectar información de acuerdo con el planteamiento del problema y las etapas previas de la investigación, en este caso se tomó la observación directa y conversación con diseñadores.
- Selección instrumentos para recolectar información.
- Aplicar los instrumentos de medición.
- Obtener, codificar y archivar para el análisis respectivo.

La recolección de información se nutre de diversos elementos según el autor Hernández (2014); sin embargo, el trabajo de campo se realiza para obtener los datos requeridos, sin olvidar que los atributos o cuales de las variables siempre deben ser medibles.

4. ASPECTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA INTELIGENTE

Se expone en este capítulo los resultados de la investigación relacionada con respecto al bosquejo o esquematización de una red de energía eléctrica en edificios de vivienda vertical; también se detallan los factores a tomar en cuenta para determinar los ingresos y egresos del flujo de caja.

4.1 Criterios técnicos del sistema

Para lograr los resultados esperados en un edificio de vivienda vertical, se debe considerar los siguientes criterios, que analizan las pérdidas de energía en cada punto en específico que conforma un sistema de administración energética.

4.1.1 Distribución de energía eléctrica

La distribución de energía eléctrica en un edificio empieza por medio del uso de un transformador seco, acompañado de un trayecto vertical de ducto barra a lo largo del edificio para reducir aún más la caída de tensión y pérdidas por efecto joule que genera el utilizar cable.

Un dato importante que considerar es el factor de potencia, que por definición indica la cantidad de energía total que se ha convertido en trabajo, el factor de potencia ideal es la unidad, esto indicaría que no existen pérdidas o que toda la energía consumida ha sido transformada en trabajo útil, para ello se considera un factor del 0.95 para el análisis.

Este análisis está enfocado en las construcciones de edificios mayores a 100 apartamentos que considera un transformador de 500KVA a 1MVA de capacidad; un transformador de alta eficiencia oscila entre el 98.3 y 99.2 por ciento de eficiencia, para mostrar los resultados de las pérdidas que provocan el no instalar equipos de alta eficiencia en edificio se considera una eficiencia promedio del 99 por ciento para el análisis, a continuación, se presenta las pérdidas de energía en tres transformadores tipo seco.

Tabla 2: *Perdidas de transformadores alta eficiencia*
cifras en Kilowatts (Kw)

	Kva	% E	Kva	Fp	Kw	P(Kw)
Transformador	500	99.0	495.0	0.95	470.25	4.75
Transformador	750	99.0	742.5	0.95	705.37	7.13
Transformador	1000	99.0	990.0	0.95	940.5.	9.50

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada.

Un transformador de perdidas estándar de 500KVA a 1MVA, oscila entre el 97.5% y 98.5% de eficiencia, siendo comúnmente utilizado en las edificaciones actuales; se considera una eficiencia intermedia del 98% y un factor de potencia de 0.95. Para el siguiente análisis se establece:

Tabla 3: *Perdidas en transformadores estándar*
cifras en Kilowatts (Kw)

	Kva	% E	Kva	Fp	Kw	P(Kw)
Transformador	500	98.0	490.0	0.95	465.50	9.50
Transformador	750	98.0	735.0	0.95	698.25	14.25
Transformador	1000	98.0	980.0	0.95	931.0	19.00

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada.

El análisis del uso de ducto barra para el trayecto de energía eléctrica a lo largo del edificio, se considera el efecto joule como la principal fuente de pérdidas de energía por calentamiento; esta potencia está dada por la corriente del sistema al cuadrado multiplicado por la resistencia del conductor $P = I^2R$, para el caso del ducto barra; el valor de la resistencia es un parámetro eléctrico proporcionado por el fabricante.

Tabla 4: *Perdidas en ducto barra por cada 100 pies.*
cifras en Kilowatts (Kw)

I	R	I²	P(Kw)
1600 A.	0.00088	2560000	2.252
2000 A.	0.00078	4000000	3.120
3000 A.	0.00048	9000000	4.320

Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por Schneider Electric

Al realizar el análisis del uso del cable, bajo el mismo principio, se debe conocer la resistencia del cable; para el caso del siguiente análisis se considera una resistencia estándar para el cálculo de las pérdidas por efecto joule.

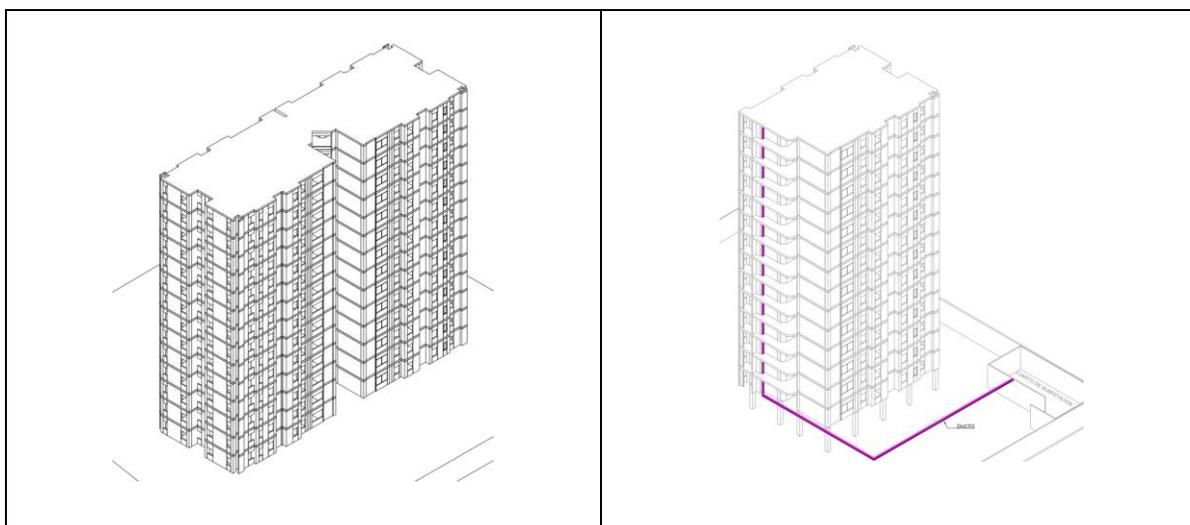
Tabla 5: *Perdidas por el uso de cable por cada 100 pies.*
cifras en Kilowatts (Kw)

I	C/ F	R	I²	P(Kw)
1600	6	0.0014	2560000	3.84
2000	8	0.0013	4000000	5.20
3000	12	0.0009	9000000	8.10

Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por Schneider Electric

Como resultado se observa claramente que existen mayores pérdidas en Kilowatts en transformadores de baja eficiencia y por el uso de cable para alimentación principal de la energía eléctrica; por ello, es recomendable la utilización de transformadores de alta eficiencia y ducto barra para la distribución de energía eléctrica.

La siguiente figura representa un prototipo de trayecto del ducto barra.

Gráfico 1: *Prototipo de trayecto de ducto barra*

Fuente: Elaboración propia con base en la investigación realizada

Tabla 6: *Estimación de costos de conductor factores combinados*

	Cantidad	Ducto Barra	Conducto Cable
Pie de material	200	Q 1830.00	Q 1300.00
Pie de instalación	200	Q 120.00	Q 200.00
Total		Q 1950.00	Q 1500.00

Fuente: Elaboración propia con base a la investigación realizada.

4.1.2 Control de velocidad para pozo de agua y extracción de aire.

Otra variable para considerar es el control de velocidad de todos los motores existentes en el edificio, para este caso se toma en cuenta que cada dueño de un apartamento tiene un derecho de agua a 30 m^3 o media paja como se conoce. Para el cálculo de la bomba se tomará en cuenta un consumo máximo de $1 \text{ m}^3 / \text{h}$; para cada apartamento, en ese caso se evalúan con una cantidad de 100, 120 y

140 apartamentos, de esta manera se llega al cálculo del valor de la bomba con base en el método de peso específico y con eficiencia del 80% de la bomba.

Para llegar a obtener el valor de la bomba se debe tener el valor de cada una de las variables que conforman el método específico, estas son:

$$P = Ha \times \rho \times g \times Qt$$

P = Potencia de la bomba (W)

Ha = Altura de bombeo (m)

ρ = Densidad del Agua (kg/ m³)

g = Gravedad (m/s)

Qt = Caudal en (m³/s)

- Altura de bombeo: Para conocer la altura de bombeo **Ha** se trabajará a una distancia de 100, 150 y 200 metros de profundidad para el análisis, esto debido a que los mantos de agua se encuentran en su mayoría a esa distancia de la superficie.
- Densidad de Agua: Tiene una constante en su densidad de 1000 (kg/ m³).
- Gravedad: Coeficiente constante de 9.81 (m/s)
- Caudal : para este caso se considera el flujo de consumo máximo que circulara por apartamento siendo 1 (m³ / h), para este caso es necesario calcular el caudal (m³/s).

$$Qt = 1 \frac{m^3}{Hora} * \frac{1 Hora}{60 minutos} * \frac{1 minuto}{60 segundos} = 0.0002777778 \frac{m^3}{Segundo}$$

Con el valor obtenido multiplicado por la cantidad apartamentos se obtiene el caudal **Qt** requerido para el edificio.

- Potencia de la bomba: para llegar a calcular la potencia real de la bomba se tomará en cuenta dos variables más que aparecen en la tabla 7, **N** que representa la cantidad de apartamentos y **% E** que indica el porcentaje de eficiencia de la bomba considerando para este caso un 80 por ciento.

De esta manera que con la siguiente ecuación se obtiene la potencia real de la bomba en kilowatts para diferentes alturas y diferentes números de apartamentos.

$$P(kw) = \frac{Ha * \rho * g * Qt * N}{1000 * \%E}$$

Tabla 7: *Calculo de la bomba de agua en Kilowatts.*

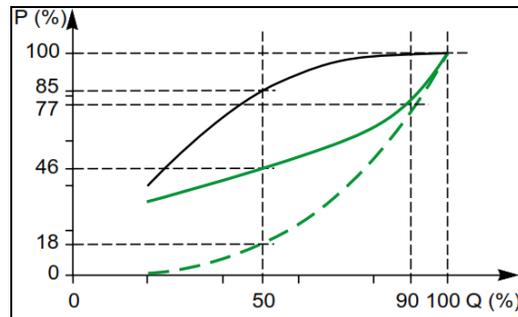
N	Ha	ρ	g	Qt	% E	P (Kw)
100	100 m	1000	9.81	0.00027	0.8	33.11
120	100 m.	1000	9.81	0.00027	0.8	40.46
140	100 m.	1000	9.81	0.00027	0.8	46.60
100	150 m.	1000	9.81	0.00027	0.8	49.66
120	150 m.	1000	9.81	0.00027	0.8	60.69
140	150 m.	1000	9.81	0.00027	0.8	69.89
100	200 m.	1000	9.81	0.00027	0.8	66.22
120	200 m.	1000	9.81	0.00027	0.8	80.93
140	200 m.	1000	9.81	0.00027	0.8	93.19

Fuente: Elaboración propia con base en investigación realizada.

Otro factor para determinar es el consumo de energía eléctrica en la inyección y extracción de aire en los sótanos; los ventiladores son equipos diseñados para impulsar aire conteniendo poca compresión; Jacques Schonek (2010), muestra la

curva característica del control de velocidad de un ventilador por diferentes métodos, donde el vertical representa el porcentaje de la potencia de la bomba $P(\%)$ y en el horizontal se representa el porcentaje de caudal $Q(\%)$

Gráfico 2: *Curva característica para el control de velocidad*



Fuente: Cuaderno técnico No. 214, Eficiencia energética: Ventajas del uso de los variadores de velocidad en la circulación de fluidos.

La curva punteada representa la velocidad por medio de variación de velocidad; las dos curvas sólidas representan el uso de accesorio mecánicos en la entrada y salida de los ductos de ventilación.

Para el siguiente análisis, se consideran dos ventiladores por cada sótano para la inyección y extracción de aire; estos ventiladores comúnmente son de capacidad de 2 o 3 hp, con eficiencia en los motores del 95% al 90% de la velocidad nominal y eficiencia del 90% al 50% de la velocidad nominal de la ventilación, para comprender la tabla 8 se ha considerado las siguientes variables:

- HP, representa la capacidad de los motores en caballos de fuerza.
- Kw, representa la capacidad de los motores en Kilowatts.
- % Em, indica la eficiencia del motor operando entre el 90 y 95 por ciento.
- % Ev, representa la eficiencia del variador de velocidad

- $P(Q)$, representa la potencia de la bomba consumida usando variador de velocidad al 50 y 90 por ciento del flujo de agua según grafico 2.
- $P(kw)$, es la potencia real utilizada por la bomba usando variador de velocidad.

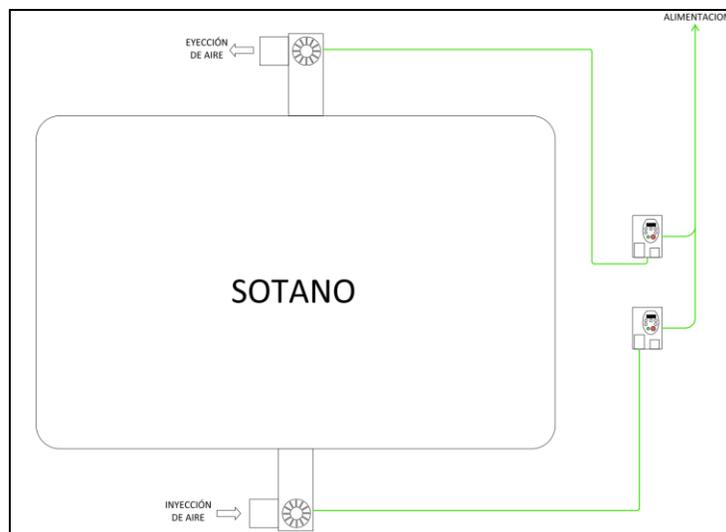
Tabla 8: *Calculo de potencia $P(Kw)$ para motores de 2 y 3 hp*

	Hp	Kw	% Em	% Ev	P(Q)	P (Kw)
Ventilador	2	1.492	0.95	95	0.77	1.272
Ventilador	3	2.238	0.95	95	0.77	1.909
Ventilador	2	1.492	0.90	95	0.18	0.314
Ventilador	3	2.238	0.90	95	0.18	0.471

Fuente: Elaboración propia con base en información realizada.

Los resultados obtenidos reflejan una disminución de la potencia que consume el motor y que dependerá de la rotación de velocidad del ventilador.

Gráfico 3: *Representación del control de velocidad*



Fuente: Elaboración propia con base en la investigación realizada

En la siguiente tabla se estiman los costos de instalación de los variadores de velocidad por medio de factores combinados.

Tabla 9: *Estimación de costos de variadores*

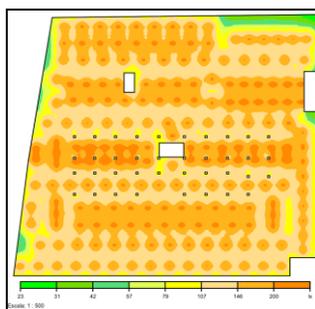
Componente	Cantidad	Costo en Q
Variador	8	Q 28,000.00
Instalación	8	Q 4,000.00
Cable comunicación	200	Q 3,000.00
Gateway (interfaz)	1	Q 1,700.00
Total		Q 36,700.00

Fuente: Elaboración propia con base en información investigada

4.1.3 Control de iluminación a través de los detectores de luz y presencia

El sistema de iluminación es uno de los factores más importante a considerar para la reducción del consumo de energía eléctrica; para el control de iluminación es importante instalar detectores de presencia en las principales zonas del edificio, con el único objetivo de activar la iluminación artificial al momento de ser requerida; de esta manera las luces se estarán apagando o encendiendo automáticamente cuando las áreas comunes queden desocupadas.

Gráfico 4: *Estudio lumínico área de sótanos.*



Fuente: Elaboración propia con base al software DIALux .

El gráfico 4, es una simulación por medio del software *DIALux*, que permite determinar el número de luminarias requeridas y sensores para establecer los lúmenes óptimos; dejando como resultado:

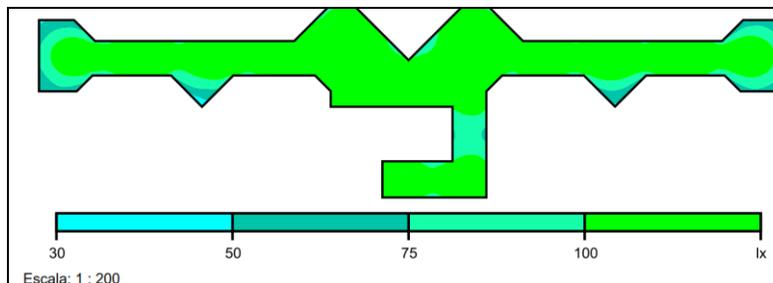
- 70 luminarias por sótano.
- 15 sensores de movimiento 360 grados.
- 3 sensores de pared.

Al realizar el mismo estudio en el área del pasillo se determina el numero adecuado de elementos luminosos maximizando el recurso energético del edificio.

El gráfico 5, muestra una simulación del pasillo para determinar la cantidad de componentes, siendo estos:

- 16 luminarias por cada nivel de capacidad de 40 watts.

Gráfico 5: *Estudio lumínico área de pasillo.*



Fuente: Elaboración propia con base al software *DIALux* .

El otro aspecto para determinar es el panel de control de la iluminación, esto permitirá tener el control de fechas festivas, programación de horarios dentro del edificio. En la siguiente tabla se calculan los costos de iluminación por medio de factores combinados.

Tabla 10: *Estimación de costos de iluminación*

Componente	Cantidad	Costo U	Costo Total
Luminaria sótanos	280	Q 560.00	Q 156,800.00
Luminaria Pasillos	192	Q 560.00	Q 107,520.00
Sensores de Pared	12	Q 650.00	Q 7,800.00
Sensores de 360	60	Q 300.00	Q 18,000.00
Panel de Control	4	Q 13,500.00	Q 54,000.00
Cable comunicación	100	Q 15.00	Q 1,500.00
Total	----	----	Q 345,620.00

Fuente: Elaboración propia con base en la investigación realizada

4.1.4 Generación de energía para áreas comunes.

El sistema solar está compuesto por paneles solares con capacidad de 325 Watts, los inversores con capacidad de 5 Kw, tiene la función transformador la corriente directa que recibe de los paneles a corriente alterna para el suministro de energía; el inversor debe tener un protocolo de comunicación para conectarse a la red de medición; adicionalmente el uso de fuentes de energía limpia, ayuda a reducir la contaminación por la quema de combustible que provoca un generador de energía eléctrica, inclusive minimiza el mantenimiento preventivo.

Tabla 11: *Estimación de costos de energía limpia*

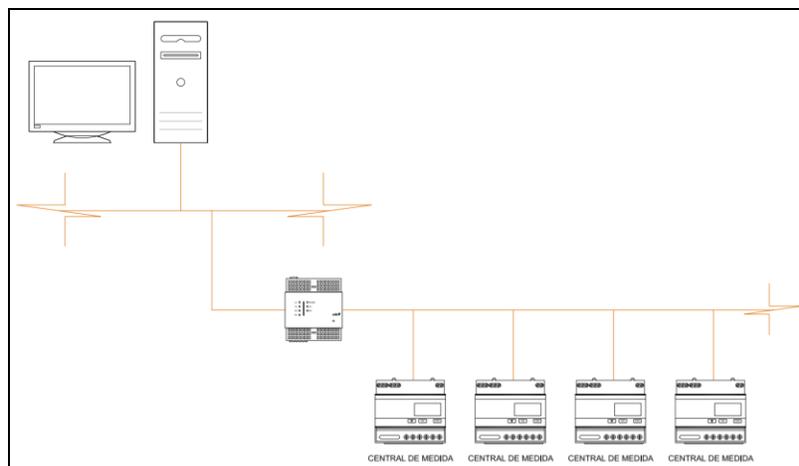
Componente	Potencia	Cantidad	Costo U	Costo Total
Generación Solar	5.2 Kw	7	Q 65,000.00	Q 455,000.00
Cable comunicación	-	50	Q 15.00	Q 750.00
Total	----	----	----	Q 455,750.00

Fuente: Elaboración propia con base a la investigación realizada

4.1.5 Circuito de medición electrónica para la supervisión de energía

El gráfico siguiente muestra la interconexión entre los equipos de medición a través de una red de comunicación con protocolo Modbus, usando una pasarela de comunicación Ethernet que será la infraestructura de la red para la administración de edificio, por medio de una dirección IP y un servidor designado para el monitoreo del sistema; este último tiene la capacidad para recibir las señales que emitan los medidores de energía, los variadores de velocidad y otro equipo adicional que se encuentre dentro del edificio que se desee medir o almacenar datos dentro de la plataforma.

Gráfico 6: *Bosquejo de conectividad de la red de medición*



Fuente: Elaboración propia con base a información de Schneider Electric.

A continuación, se presenta la estimación de costos por cada 10 puntos de medición electrónica que se desean realizar, obteniendo la cantidad de 120 puntos de medición por medio del método de factores combinados.

Tabla 12: *Estimación de costos de medición electrónica*

Componente	Cantidad	Costos U	Costo Total
Armario y protección	6	Q 8,250.00	Q 49,500.00
Pasarela de comunicación	6	Q 5,460.00	Q 32,760.00
10 medidores electrónicos	12	Q 22,000.00	Q 264,000.00
Accesorios de control	6	Q 17,000.00	Q 102,000.00
Software de Monitoreo	1	Q 16,000.00	Q 16,000.00
Ingeniería de Diseño	1	Q 14,000.00	Q 14,000.00
Cable de comunicación	50	Q 15.00	Q 15.00
Total	----	----	Q 479,010.00

Fuente: Elaboración propia con base a la investigación realizada

4.2 Costo de la energía eléctrica

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica estableció diferentes tarifas bajo distintas condiciones de operación por parte de los usuarios; estas tarifas tienen el objetivo de tener una estabilidad del subsector eléctrico, eficiencia e inversión con estándares altos de calidad en un ambiente libre de competencia. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica dictó nueve conceptos en tarifas para diferentes condiciones de operación, sin embargo, para el análisis del precio de la energía en el modelo propuesto se trabajará con los siguientes conceptos:

- Tarifa Baja Tensión Simple (BTS)
- Tarifa Baja Tensión con Demanda Fuera de Punta (BTDFP)

Las tarifas BTS y BTDFp son utilizadas en sistemas donde no existe distorsión en las horas pico o cargas críticas en la demanda siendo el sector residencial; la diferencia entre las tarifas BTS y BTDFp corresponde al consumo mínimo que debe tener el cliente, el caso de la BTDFp el consumo debe ser mayor a los

100KWh/mes, mientras que en la tarifa BTS el usuario que la requiera no deberá exceder una potencia máxima demandada de 11Kw; entre ambas tarifas se manejan cuatro conceptos fundamentales que será útiles para comprender las siguientes tablas, estos conceptos son:

- Cargo por energía (Q/kWh), representa el cobro de energía del kilovatio hora que el cliente deberá pagar a la empresa eléctrica.
- Cargo por consumidor (Q/usuario-mes), indica gastos por mantenimiento a la red eléctrica de distribución.
- Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes), es la potencia máxima que demandara el usuario sin superar la potencia contratada al distribuidor.
- Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes), es el límite máximo de potencia que se podría llegar a consumir por medio de un contrato con el distribuidor.

Para el modelo propuesto se tomó el único distribuidor que es Empresa Eléctrica de Guatemala S.A., mostrando las tendencias de las tarifas mencionadas:

Tabla 13: Precio de la tarifa BTS cifras en quetzales

Tarifa	Año	Cargo por Energía (Q/kWh)	Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)
BTS	2018	1.113715	9.946598
BTS	2017	1.097415	10.283701
BTS	2016	1.123876	10.180527
BTS	2015	1.233726	9.969959
BTS	2014	1.736214	9.929336
BTS	2013	1.828227	9.376831
BTS	2012	1.929254	9.134121
Promedio	-----	1.437489	9.831582

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2019), recuperado de [http // www.cnee.gob.gt](http://www.cnee.gob.gt)

Tabla 14: Precio de la tarifa *BTDfp* cifras en quetzales

Tarifa	Año	Cargo por Energía (Q/kWh)	Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)
BTDfp	2018	0.753098	196.182838	22.735473	28.475448
BTDfp	2017	0.703603	236.525129	22.996944	29.089180
BTDfp	2016	0.728406	234.152118	23.588322	29.167928
BTDfp	2015	0.840138	229.309043	23.635508	28.835078
BTDfp	2014	1.339438	228.374726	23.807125	29.083813
BTDfp	2013	1.452928	215.667111	33.919841	50.480721
BTDfp	2012	1.559179	210.084776	36.256453	55.200156
Promedio	----	1.0538271	221.47082	26.705667	35.761761

Fuente: Comisión nacional de Energía Eléctrica (2019), recuperado de [http // www.cnee.gob.gt](http://www.cnee.gob.gt)

4.3 Flujo de caja proyectado

El flujo de caja proyectado para el diseño eficiente de energía eléctrica en torres de apartamentos estará compuesto por los ingresos y egresos de la compra de energía en bloque (tarifa *BTDfp*) como gran usuario, depreciaciones de equipos e inversión inicial, los siguientes incisos se analizan los montos del flujo de caja.

4.3.1 Cálculo de ingresos del flujo proyectado.

Los ingresos están compuestos de tres vías; siendo estas:

- Ingreso por la venta de energía que consume cada apartamento; para calcular el consumo energético en cada apartamento se considera los siguientes valores de consumo promedio por electrodoméstico utilizados en un apartamento.

Tabla 15: Consumo de electrodomésticos en Kwh por apartamento.

Aparato eléctrico	Cantidad	Potencia	Horas al día	Días al mes de uso	Consumo al mes
Refrigerador	1	350 W	24	30	252 Kwh
Licuadaora	1	300 W	0.1	10	0.30 Kwh
Lavadora	1	500 W	1	30	15.00 Kwh
Calentador	1	3200 W	1	30	96 Kwh
Tostador	1	900 W	0.5	15	6.75 Kwh
Cafetera	1	700 W	1	30	21 Kwh
microondas	1	1200 W	0.5	30	18 Kwh
bombillas	8	88 W	6	30	15.84 Kwh
Televisor	1	350 W		30	21 Kwh
computadora	1	1050 W	2	30	21 Kwh
Total	--	----	----	----	466.9 Kwh

Fuente: Energuate, recuperado del sitio <http://www.energuate.com/calcula-tu-consumo>

Una vez obtenido el consumo, se debe multiplicar la cantidad de unidades de apartamentos al precio promedio obtenido de la tabla 13 con la tarifa BTS, obteniendo el resultado como un ingreso anual, quedando de la siguiente manera:

$$\text{Ingreso por Venta} = 120 \text{ U} * 466.9 \text{ Kwh} * 12 \text{ meses} * 1.437489 \frac{Q}{\text{Kwh}}$$

$$\text{Ingreso por Venta} = Q 966,475.60$$

- El segundo Ingreso es la venta de energía por prestar los servicios generales del edificio; para determinar cuál es el consumo por los servicios generales se consideran los datos de la siguiente tabla 16.

Tabla 16: Consumo energía en la operación de equipos estándar

Concepto	Cantidad	P(Kw)	1		4		20		Consumo Total Kwh
			hr.	Consumo Kwh	hrs.	Consumo Kwh	hrs	Consumo Kwh	
Transformador estándar	1	19.00	-	-	90%	68.40	50%	190.00	258.40
Conducto Cable	200	16.20	-	-	90%	58.32	40%	129.60	187.92
Arranques directos de ventilación	8	2.238	-	-	90%	71.62	50%	358.08	429.70
Arranque directo Bomba de agua	1	40.46	90%	40.46	50%	161.84	-	-	202.30
Iluminación	485	19.40	-	-	90%	69.84	80%	310.40	380.24
Total	---	---	---	---	---	---	---	---	1,459.56

Fuente: Elaboración propia con base en información investigada.

La tabla 16 muestra el consumo de energía utilizando una solución estándar en arrancadores directos para ventilación, en la bomba de agua, iluminación del edificio, pérdidas por uso de transformador estándar y uso de cable para la distribución de energía eléctrica, dando como resultado 1,459.56 Kwh al día; tomando en consideración los siguientes aspectos:

- El transformador estándar y los arranques directos de ventilación se considera que este operando 4 horas al día al 90 por ciento de su capacidad, mientras las 20 horas restantes al 50 por ciento, debido a la demanda en horas pico.
- El conducto de cable trabaja 4 horas al 90 por ciento y 20 horas al día al 40% de su capacidad.
- El arranque directo de la bomba trabaja 1 hora al 90 por ciento y 4 horas al 50 por ciento de su capacidad.
- La iluminación del edificio trabaja durante 4 horas al 90 por ciento y 20 horas al 80% de su capacidad.

Para calcular el Ingreso por prestar el servicio de energía de los servicios generales, se considera el precio promedio de la tarifa BTS que es 1.437489, quedando el cálculo de la siguiente manera:

$$\text{Ingreso por Servicios Generales} = 365 \text{ dias} * 1,459.56 \text{ Kwh} * 1.437489 \frac{Q}{\text{Kwh}}$$

$$\text{Ingreso por Servicios Generales} = Q 765,807.027$$

- El tercer ingreso corresponde al cargo por consumidor a cada usuario por recibir el servicio de energía eléctrica, para el cálculo de este ingreso se

considera el dato promedio de la tabla 13 tarifa BTS, dando como resultado el siguiente:

$$\text{Ingreso Cargo del Consumidor} = 12 \text{ meses} * 120 \text{ U} * 9.831582$$

$$\text{Ingreso Cargo del Consumidor} = \text{Q } 14,157.478$$

De esta manera se determinan los ingresos del flujo de caja proyectado, conformado por la venta de energía de cada apartamento, la venta de energía por prestar los servicios generales y el ingreso por cargo del consumidor.

4.3.2 Cálculo de egresos del flujo proyectado.

Los egresos por la compra de energía estarán conformados por cinco elementos, estos serán, compra de energía para los apartamentos, compra de energía para el suministro de servicios generales, el egreso por carga por consumidor, el egreso por carga unitario de potencia máxima y por último el egreso por carga unitario por potencia contratada; a continuación, se describen cada uno de los diferentes egresos.

- El primer Egreso es por compra de energía eléctrica para el suministro de los apartamentos, para determinar cuanta energía eléctrica es requerida, se tomará el resultado de la tabla 15 de un apartamento promedio que consume 466.9 Kwh a un precio promedio de la tarifa BTDFp, dando como resultado el siguiente:

$$\text{Egreso por Compra} = 120 \text{ U} * 466.9 \text{ Kwh} * 12 \text{ meses} * 1.0538271 \frac{\text{Q}}{\text{Kwh}}$$

$$\text{Egreso por Compra} = \text{Q } 708,525.897$$

- El segundo egreso, es la compra de energía por los servicios generales del edificio; para llegar a determinar cuáles son los egresos, es indispensable saber que el utilizar transformadores de alta eficiencia, ducto barra, variadores de velocidad y sistemas de iluminación automatizados, reducen las pérdidas en el sistema eléctrico del edificio; se está considerando un tiempo aproximado de uso dentro de las instalaciones para llegar a obtener un consumo energético el cual se describe a continuación.
 - El transformador de alta eficiencia se consideró 4 horas de trabajo al 90 por ciento y 20 horas al 50 por ciento, debido a las horas pico de mayor demanda.
 - Los variadores de velocidad para la ventilación de los sótanos se consideran 4 horas de trabajo al 90 por ciento y 20 horas al 50 por ciento
 - El ducto barra se espera que trabaje 4 horas al 90 por ciento y 20 horas al día al 40% de su capacidad.
 - El variador de la bomba se espera que trabaje 1 hora al 90 por ciento y 4 horas al 50 por ciento de su capacidad.
 - La iluminación del edificio se espera que trabaje 4 horas al 90 por ciento y 20 horas al 80% de su capacidad

Los resultados que se muestran en la tabla 17, se puede apreciar un consumo energético de 595.55 Kwh utilizando equipos eficientes, reduciendo alrededor de un 60% el consumo de energía eléctrica en las áreas comunes del edificio comparado con la utilización de equipo estándar.

Tabla 17: Consumo de energía en la operación de equipos eficientes y tecnológicos.

Concepto	Cantidad	P(Kw)	1	Consumo	4	Consumo	20	Consumo	Consumo
			hr.	Kwh	hrs.	Kwh	hrs	Kwh	Total Kwh
Transformador eficiente	1	9.50	-	-	90%	34.20	50%	95.00	129.20
Ducto Barra	200	8.64	-	-	90%	31.10	40%	69.12	100.22
Variador velocidad para ventilación	8	2.238	-	-	90%	55.14	50%	64.45	119.60
Variador velocidad para Bomba	1	40.46	90%	31.15	50%	29.13	-	-	60.29
Iluminación	485	19.40	-	-	90%	69.84	30%	116.40	186.24
Total	---	---	---	---	---	---	---	---	595.55

Fuente: Elaboración propia con base en información realizada

Una vez obtenido el resultado del consumo de energía por prestar los servicios generales, se procede a calcular el egreso por comprar esa energía a la distribuidora siempre bajo el régimen de la tarifa BTDFp como gran usuario, dando como resultado el siguiente:

$$\text{Egreso por Servicios Generales} = 365 \text{ dias} * 595.55 \text{ Kwh} * 1.0538271 \frac{Q}{Kwh}$$

$$\text{Egreso por Servicios Generales} = Q 229,076.4562$$

- Los últimos egresos para considerar son tres, estos son debido que, al comprar energía como gran usuario, genera otros tipos de desembolsos económicos; están clasificados como cargo por consumidor, cargo unitario por potencia máxima y cargo unitario por potencia contratada; para determinar los egresos se estableció un promedio en los últimos años con base a la tabla 14; para el caso de las potencias, se determinó un valor aproximado del consumo máximo del edificio.

Tabla 18: *Egresos por cargo como gran usuario*

Tipo de Egreso	Potencia	Tarifa promedio BTDFp	Meses	Egresos
Cargo por consumidor	-	221.47082	12	Q 2,657.649
Cargo Unitario por potencia Máxima	400 Kw	26.705667	12	Q 160,234.002
Cargo Unitario por potencia Contratada	400 Kw	35.761761	12	Q 180,239.275
Total	-----	-----	----	Q 343,130.926

Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2019), recuperado de [http // www.cnee.gob.gt](http://www.cnee.gob.gt)

4.3.3 Cálculo de la depreciación y capital de trabajo del flujo proyectado.

Las depreciaciones de los equipos es otro factor para considerar en el flujo proyectado, para esta evaluación se considera el método de línea recta según la ley de actualización tributaria artículo 19, decreto 4-2012 quedando de la siguiente manera.

Tabla 19: *Depreciación de equipos eficientes*

Equipo	Costo del Equipo	Vida útil en años	Depreciación Anual
Transformador de alta eficiencia	Q 252,679.00	5	Q 50,535.80
Alimentador ducto barra	Q 392,000.00	5	Q 78,400.00
Depreciación de paneles de medición eléctrica (ver tabla 12)	Q 479,010.00	5	Q 95,802.00
Variador de velocidad pozo	Q 33,700.00	5	Q 6,740.00
Variadores de velocidad sótanos (ver tabla 9)	Q 36,700.00	5	Q 7,340.00
Sistema de iluminación completo (ver tabla 10)	Q 345,620.00	5	Q 69,124.00
Generación Energía Solar (ver tabla 11)	Q 455,750.00	5	Q 91,150.00
Total	Q 1,995,459	-----	Q 395,091.80

Fuente: Elaboración propia con base a la investigación realizada

De la tabla 19, se obtienen 2 datos importantes a destacar, el primero es el capital de trabajo necesario de Q 1,995,459 por usar equipos altamente eficientes con ayuda de tecnología y el segundo dato es la depreciación anual de los equipos de Q 395,091.80, datos que ayudarán a establecer el flujo de efectivo para determinar la viabilidad del proyecto representado en la siguiente tabla.

Tabla 20: Flujo de efectivo Cifras en miles de quetzales

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso											
Por Venta	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966
Servicios Generales	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765
Cargo Consumidor	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Egreso											
Por compra	(708)	(708)	(708)	(708)	(708)	(708)	(708)	(708)	(708)	(708)	(708)
Servicios Generales	(229)	(229)	(229)	(229)	(229)	(229)	(229)	(229)	(229)	(229)	(229)
Por Gran usuario	(302)	(302)	(302)	(302)	(302)	(302)	(302)	(302)	(302)	(302)	(302)
Depreciación de Equipo	(395)	(395)	(395)	(395)	(395)	(395)	(395)	(395)	(395)	(395)	(395)
Utilidad antes de Impuestos	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
Impuestos 25%	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)
Utilidad Neta	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
Depreciación de Equipo	395	395	395	395	395	395	---	---	---	---	---
Inversión inicial											
							1995				
Flujo Neto de Fondos	(1995)	479	479	479	479	479	83	83	83	83	83

Fuente: Elaboración propia con base a la investigación realizada

4.4 Resultados del flujo proyectado

En esta sección se analizarán varios elementos financieros que ayudará a tomar una decisión sobre la viabilidad del proyecto, se contempla el análisis del Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Tasa Interna de Rendimiento Modificada (TIRM), periodo de recuperación (PR), Índice de Rentabilidad (IR), Tasa de interés mínima Aceptable (TREMA), costo promedio ponderado de capital (CPPC) y finalizando con la prima de riesgo de mercado.

4.4.1 Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) se define como el valor presenta de un flujo de efectivo futuro de un activo menos la inversión inicial, este se calcula de la siguiente manera:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+r)^t}$$

$$VPN = FE_o + \frac{FE_1}{(1+r)^1} + \frac{FE_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FE_n}{(1+r)^n}$$

$$VPN = -1,995,459 + \frac{478,525}{(1+0.1)^1} + \frac{478,525}{(1+0.1)^2} + \dots + \frac{83,433}{(1+0.1)^{10}}$$

$$VPN = Q 13,556.76$$

Donde, FE_t es el flujo neto esperado en el periodo t y r es la tasa de rendimiento que el inversionista espera para invertir en el proyecto, para esta evaluación se considera un 10 por ciento, dando como resultado un Valor Actual Neto de Q 13,556.76.

4.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Esta tasa de rendimiento representa el porcentaje que el inversionista espera ganar si decide llevar a cabo el proyecto; nuevamente se toman los valores del flujo proyectado de la tabla 20, la manera de calcular el dato es el siguiente:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

$$FE_o = \frac{FE_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FE_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FE_n}{(1 + TIR)^n}$$

$$1,995,459 = \frac{478,525}{(1 + TIR)^1} + \frac{478,525}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{83,433}{(1 + TIR)^{10}}$$

$$TIR = 10.25\%$$

El resultado refleja una TIR del 10.25% siendo un valor de rendimiento mínimo aceptable si así lo considera el inversionista.

4.4.3 Tasa Interna de rendimiento modificada (TIRM)

Tasa Interna de Rendimiento Modificada (TIRM), considera que los flujos de efectivo se reinvierten a la tasa de rendimiento requerida llamado costo de oportunidad, mientras la Tasa Interna de Retorno (TIR), supone que los flujos de efectivo se reinvierten a la propia (TIR) del proyecto; en términos generales la (TIRM), es un mejor indicador de la rentabilidad del proyecto para la toma de decisión del inversionista, a continuación, se tiene el análisis siguiente de la (TIRM) del flujo de efectivo presentado en la tabla 20.

$$VP \text{ de los flujos de egresos de efectivo} = \frac{VT \text{ costos}}{(1 + TIRM)^n}$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{FEE_t}{(1+r)^t} = \frac{\sum_{t=0}^n FIE_t (1+r)^{n-t}}{(1+TIRM)^t}$$

$$VT \text{ costos} = \sum_{t=0}^n FIE_t (1+r)^{n-t}$$

$$VT \text{ costos} = 478,525(1 + 0.1)^9 + \dots + 83,433(1 + 0.1)^1 + 83,433(1 + 0.1)^0$$

$$VT \text{ costos} = Q 5,214,379.938$$

$$VP \text{ de VT} = Q 1,995,459.000$$

$$(1 + TIRM)^{10} = \frac{5,214,379.938}{1,995,459.000}$$

$$TIRM = \sqrt[10]{\frac{5,214,379.938}{1,995,459.000}} - 1$$

$$TIRM = 10.082\%$$

El resultado demuestra que la Tasa interna de Rendimiento Modificada está por encima del valor esperado por el inversionista si decide tener una tasa esperada del 10 por ciento.

4.4.4 Periodo de Recuperación (PR)

Se llama periodo de recuperación al tiempo que lleva en amortizar la inversión que el inversionista ha determinado como apropiado, el cálculo es sencillo de la siguiente forma:

$$PR = \left\langle \begin{array}{l} \text{Número de años antes de la} \\ \text{recuperación total} \end{array} \right\rangle + \frac{\left\langle \begin{array}{l} \text{Cantidad de la inversión inicial no recuperada} \\ \text{al principio del año de recuperación.} \end{array} \right\rangle}{\left\langle \begin{array}{l} \text{Flujo de efectivo total generado durante el} \\ \text{año de recuperación.} \end{array} \right\rangle}$$

$$PR = 4 + \frac{Q \ 81,358}{Q \ 478,525}$$

$$PR = 4.17 \text{ Años}$$

El resultado demuestra que la inversión inicial se recupera en 4.17 años.

4.4.5 Índice de Rentabilidad (IR)

Es una forma para determinar la valorización económica de la inversión, donde se miden los cobros generados por cada unidad monetaria invertida en el proyecto, para calcular el índice de rentabilidad utiliza la sumatorio de los flujos futuros del proyecto descontados a una tasa del 10 por ciento dividida entre el valor absoluto de la inversión inicial.

$$IR = \frac{\frac{FE_1}{(1+r)^1} + \frac{FE_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FE_9}{(1+r)^9} + \frac{FE_{10}}{(1+r)^{10}}}{FE_0}$$

$$IR = \frac{\frac{478,525}{(1+0.1)^1} + \frac{478,525}{(1+0.1)^2} + \dots + \frac{83,433}{(1+0.1)^9} + \frac{83,433}{(1+0.1)^{10}}}{1,995,459}$$

$$IR = \frac{2,010,369.14}{1,995,459}$$

$$IR = \frac{2,010,369.14}{1,995,459}$$

$$IR = 1.00747$$

El índice de rentabilidad indica que por cada quetzal que se invierta, se obtiene una ganancia del 0.747 por ciento.

4.4.6 Tasa de Interés Mínima Aceptable (TREMA)

Es la tasa mínima que se le exige a un proyecto de manera que cubra la inversión inicial, las salidas de dinero, los intereses que deben de pagarse por préstamo de dinero ajeno y los impuestos, los factores a tomar en consideración para evaluar la TREMA son; La tasa bancaria Activa promedio, la inflación promedio, la Elasticidad, Riesgo del sector, riesgo 0 (bonos emitidos por el estado) y riesgo país, el cálculo de la TREMA se realiza según la siguiente ecuación:

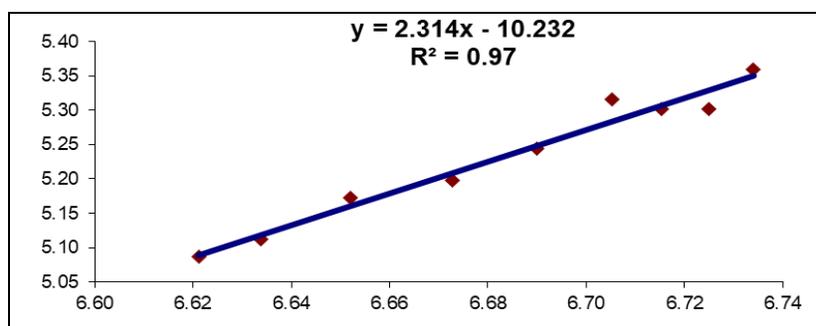
$$TREMA = \text{Riesgo sector} + \text{riesgo 0} + \text{riesgo país}$$

Para el análisis del riesgo del sector, se consideran datos del Banco de Guatemala mostrados en la tabla 21; este análisis ayudará a determinar la elasticidad, seguido de la inflación promedio y por último la tasa Bancaria Activa para determinar el riesgo del sector.

Tabla 21: *Datos para calcular la Elasticidad del sector.*

Año	PIB (Miles de quetzales)	Sector Electricidad (miles de quetzales)	(X) PIB (Miles de quetzales)	Sector (Y) Electricidad (miles de quetzales)
1995	4,179,766.70	122,000.00	6.62	5.09
1996	4,303,395.00	129,400.00	6.63	5.11
1997	4,488,406.00	149,000.00	6.65	5.17
1998	4,706,907.10	157,800.00	6.67	5.20
1999	4,896,900.00	175,400.00	6.69	5.24
2000	5,073,600.00	206,700.00	6.71	5.32
2001	5,191,900.00	200,300.00	6.72	5.30
2002	5,308,700.00	200,300.00	6.72	5.30
2003	5,420,900.00	228,700.00	6.73	5.36
2004	5,571,000.00	242,500.00	6.75	5.38
2005	5,747,000.00	246,800.00	7.76	5.39

Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por Banco de Guatemala, recuperado de [http // www.banguat.gob.gt](http://www.banguat.gob.gt)

Gráfico 7: *Relación del PIB del sector*

Fuente: Elaboración propia con base en investigación realizada.

Como resultado del gráfico 7, se obtiene un valor teórico de elasticidad según la pendiente proporcionada por la ecuación, siendo este de 2.314.

Tabla 22: *Inflación años 2015-2019*

Año	Ritmo Inflacionario
2015	3.07
2016	4.23
2017	5.68
2018	2.31
2019	3.41
Promedio	3.74

Fuente: Instituto Nacional de Estadística -INE-, recuperado de <https://www.ine.gob.gt/ine>

Tabla 23: *Tasa de Interés Activa 2015-2019*

Año	Tasa de Interés activa
2015	13.23%
2016	13.10%
2017	13.05%
2018	12.93%
2019	12.74%
Promedio	13.01%

Fuente: Elaboración propia con base a la información del Banco de Guatemala, recuperado de [http // www.banguat.gob.gt](http://www.banguat.gob.gt)

Las tablas anteriores reflejan los resultados de la inflación promedio y la tasa de interés activa; con estos datos se procede a calcular el riesgo del sector siendo de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo del Sector} = \text{Elasticidad} (\text{Tasa de Interés Activa} - \text{Inflación})$$

$$\text{Riesgo del Sector} = 2.314 * (13.01 - 3.74)$$

$$\text{Riesgo del Sector} = 21.45078\%$$

De manera que para determinar el valor de la TREMA se toma el riesgo país con un valor de 2.88 por ciento según la Comisión Regional de interconexión Eléctrica (CRIE) en su resolución No. CRIE-99-2018 y una tasa de riesgo 0 correspondiente a los bonos emitidos por el estado de 5.5 por ciento, de esta forma se obtiene el valor de la tasa mínima de rendimiento.

$$\text{TREMA} = 21.45078\% + 5.5\% + 2.88\%$$

$$\text{TREMA} = 29.83\%$$

4.4.7 Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC)

Para el análisis del costo promedio ponderado de capital, es necesario realizar el costo del endeudamiento, siendo la tasa que cobrará el sistema bancario por tener un préstamo, la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$K_i = K_d * (1 - t)$$

Siendo K_d la Tasa de Interés Activa promedio, t la tasa fiscal del 31 por ciento y K_i es el costo después de impuestos del financiamiento.

$$K_i = 13.01 * (1 - 0.31) = 8.97\%$$

Para calcular el Costo Promedio de Capital Ponderado (CPPC), se considera un 20 por ciento de capital propio y 80 por ciento de endeudamiento; el análisis se realiza según la siguiente ecuación.

$$CPPC = (\% \text{ de deuda} * \text{costo de la deuda}) + (\% \text{ de capital} * \text{capital propio})$$

$$CPPC = (0.80 * 0.0897) + (0.20 * 0.2983)$$

$$CPPC = 13.142\%$$

Como resultado se tiene un costo promedio ponderado de capital de 13.142 por ciento, la lógica menciona que, la Tasa Interna de Retorno (TIR) debe ser mayor que el costo promedio ponderado de capital para que sea viable un proyecto, sin embargo, como bien menciona Sapag (2008), hay beneficios adicionales que dan valor intangibles a la inversión y que deben ser considerados en el resultados final; para esta inversión, la calidad de vida, la reducción en el impacto ambiental son algunos de ellos que deberá de considerar el inversionista.

5. ANALISIS DE RIESGO Y SENSIBILIDAD DE LA INVERSION

En este capítulo se presenta el estudio de riesgo y sensibilidad relacionada con la investigación planteada, es importante mencionar que el análisis de riesgo es utilizado con el fin de minimizar el error en la toma de decisión en condiciones de incertidumbre; el análisis hecho en este capítulo está basado en la metodología de Monte Carlo por medio de SimulAr bajo la plataforma de trabajo de Excel; de esta manera, se asignan distribuciones de frecuencias a las variables del modelo que tienen riesgo para generar el comportamiento a futuro, con el fin de obtener un resultado más confiable al momento de la toma de decisión.

Adicionalmente, la plataforma no solo evalúa el escenario pesimista, medio y optimista, prediciendo solo un resultado, sino que permite evaluar todos aquellos escenarios que se encuentran en el rango del medio, permitiendo así obtener cualquier probabilidad que se ejecuta para diferente propósito.

5.1 Riesgo y Sensibilidad

Para la realización del análisis de riesgo y sensibilidad del prototipo, se empleará la simulación de Monte Carlo, que ayudará a entender matemáticamente el impacto del riesgo por medio de la utilización de números aleatorios; existen varios elementos fundamentales a considerar en la simulación, el primero de ellos en la construcción de un modelo adecuado, el segundo es la identificación de las variables aleatorias del modelo, para luego correr la simulación y extrayendo los datos para la toma de decisión.

5.1.1 Modelo para simular

El modelo para simular es el elemento más importante para el análisis del riesgo; para el caso del prototipo es de suma importancia realizar el flujo de efectivo donde todas las celdas estén atadas por complejas interrelaciones que incluye varias pestañas u hojas de Excel, esto con el fin de obtener el resultado esperado,

caso contrario el resultado será erróneo; en este análisis se realizará la simulación del flujo de la tabla 20, página 46.

5.1.2 Variables Aleatorias del Modelo

La definición de las variables se asigna, una vez se tenga el modelo adecuado con todas las celdas conectadas en Excel, es factible clasificar las celdas del flujo conteniendo tres tipos de variables: la primera serían las variables de decisión sobre las que se tiene un pleno control, la segunda serían las variables aleatorias donde no se tiene ningún control y por ultimo las variables de salida que son celdas que siempre contienen formulas del resultado final de la simulación.

Para el caso de las variables que no se controlan, se debe describir su comportamiento en el modelo de simulación de Monte Carlo, esto con el fin de trazarlo mediante una función de distribución.

5.2 Determinación de las Variables Aleatorias

Las variables que se tomarán en cuenta para realizar la simulación del riesgo corresponden a los datos del modelo de la tabla 20; hay dos aspectos importantes a resaltar en cada variable: la primera se refiere a qué tipo de distribución y la segunda a los parámetros a utilizar para la distribución seleccionada.

Las variables que considerar son los consumos en Kwh tanto en la venta como en la compra de energía eléctrica que aparecen en la tabla 20 pagina 46; los nombres asignados a cada variable para realizar la simulación son:

- Variable de entrada *Ingreso por Venta*, representa el consumo en condiciones normales por prestar el servicio de energía eléctrica en cada apartamento durante 10 años.

- Variable de entrada *Ingreso por Servicio Generales*, representa el consumo en condiciones normales por prestar los servicios de energía eléctrica por los servicios generales del edificio, en un periodo de 10 años.
- Variable de entrada *Ingreso Cargo Consumidor*, variable que representa el consumo por cargo de cada consumidor por pertenecer a la tarifa BTS., en un periodo de 10 años.
- Variable de entrada *Egreso por Compra*, representa el consumo que deberá pagar el inversionista por el servicio de energía eléctrica en cada apartamento, por ser gran usuario la tarifa que aplica será BTDFp, en un periodo de 10 años.
- Variable de entrada *Egreso por Servicios Generales*, indica el consumo en Kwh a pagar por el inversionista a la empresa eléctrica por el servicio del suministro de energía a las áreas comunes; en un periodo de 10 años.
- Variable *Egreso por Gran Usuario*; indica los precios que deberá de pagar el inversionista por pertenecer a la tarifa BTDFp.
- Variable *Inversión Inicial*; representa el costo que el inversionista deber de invertir por tener una solución de un sistema de administración de energía.

La tabla 24 representa los valores requeridos para la distribución triangular, cada inversión es distinta según la posición geográfica donde este el edificio, factor que limita obtener datos; la distribución triangular tiene la característica de extraer la opinión de un experto, esta distribución contempla parámetros, un mínimo, un máximo y un valor más probable, La tabla 24 detalla 7 variables de entrada; para este modelo se considera el 90%, 100% y 110%.

Tabla 24: *Variables de entrada aleatorias cifras en quetzales*

Variable	Modelo	Mínimo	Mas probable	Máximo
<i>Ingreso por Venta</i>	Triangular	869,828.00	966,476.00	1,063,123.00
<i>Ingreso por Servicio Generales</i>	Triangular	689,226.00	765,807.00	842,388.00
<i>Ingreso Cargo Consumidor</i>	Triangular	12,742.00	14,147.00	15,573.00
<i>Egreso por Compra</i>	Triangular	-637,673.00	-708,526.00	-779,378.00
<i>Egreso por Servicios Generales</i>	Triangular	-206,169.00	-229,076	-251,984.00
<i>Egreso por Gran Usuario</i>	Triangular	-272,251.00	-302,501.00	-332,751.00
<i>Inversión Inicial</i>	Triangular	-1,795,913.00	-1,995,459.00	-2,195,004.0

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada.

La determinación de las variables de entrada tiene el único objetivo de determinar cómo se comportará las variables que son de suma importancia en el resultado final, para ello se considera dos variables de salida siendo el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

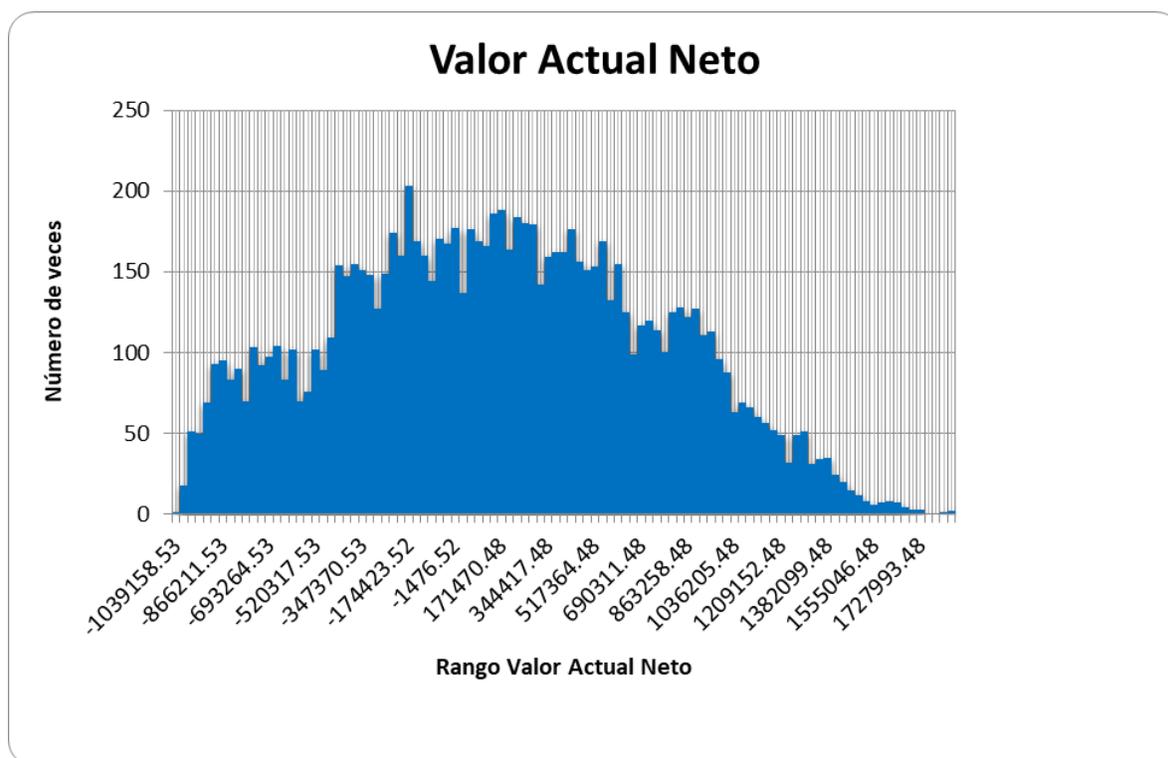
5.3 Resultados de la Simulación

Como resultado del análisis de riesgo, se ha considerado las dos variables de salida importantes, siendo Valor Actual Neto (VNA) y la Tasa Interna Retorno (TIR).

Para el caso del Valor Actual Neto (VAN) se consideró un número de iteraciones de 10,000 dando como resultado una media de Q 145,681.4006.

Adicionalmente, se refleja una desviación estándar de Q 588,980.44 indicando que tan disperso está del promedio del Valor Actual Neto; sin duda otro dato recolectado de la información proporcionada por la simulación es la probabilidad de ocurrencia que el Valor Actual Neto (VAN) sea menor a cero siendo de 42.12 por ciento, esto indica que existe una probabilidad media que la inversión sea favorable con una facilidad de ocurrencia del 57.88 por ciento.

Gráfico 8: Resultado del Valor Actual Neto del flujo de caja



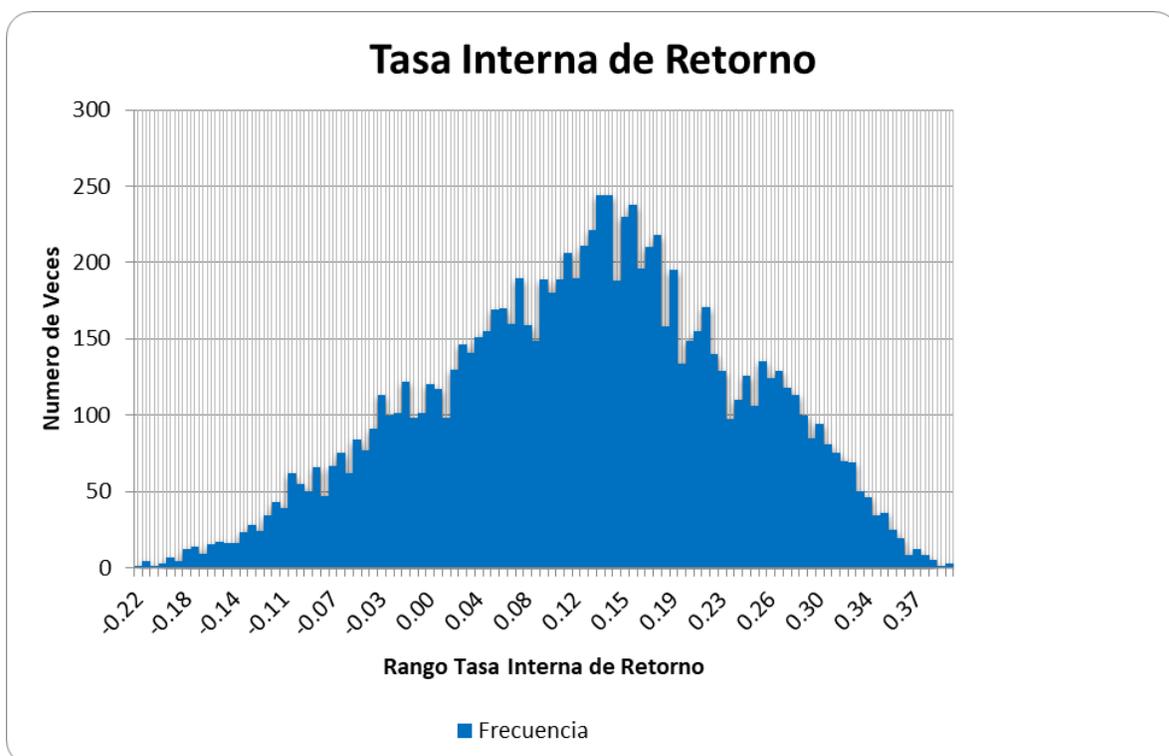
Fuente: Elaboración propia con base en la plataforma de SimulAir de Excel.

El gráfico anterior se muestra el rango del Valor Actual Neto en el horizontal y el número de iteraciones que se repiten para cierto valor en el vertical.

Para Tasa Interna de Retorno (TIR), se realiza bajo las mismas consideraciones del Valor Actual Neto (VAN); como resultado se obtiene una media de 11.74 por ciento con una desviación estándar del 11.57 por ciento indicando que tan disperso se encuentra de la media .

El otro factor que muestra un análisis de Monte Carlo es el nivel de ocurrencia que la Tasa Interna de Retorno sea menor a cero, siendo un 17 por ciento, esto indica que existe una probabilidad que la Tasa Interna de Retorno mayor a cero sea un 83 por ciento; el siguiente gráfico 9, representa el comportamiento de la Tasa Interna de Retorno.

Gráfica 9 : *Resultado de la Tasa Interna de Retorno del flujo de caja*



Fuente: Elaboración propia con base en la plataforma de SimulAir de Excel.

El gráfico 9, muestra el comportamiento en un rango de la Tasa Interna de Retorno en el eje horizontal y en el eje vertical el número de iteraciones.

5.4 Análisis de sensibilidad

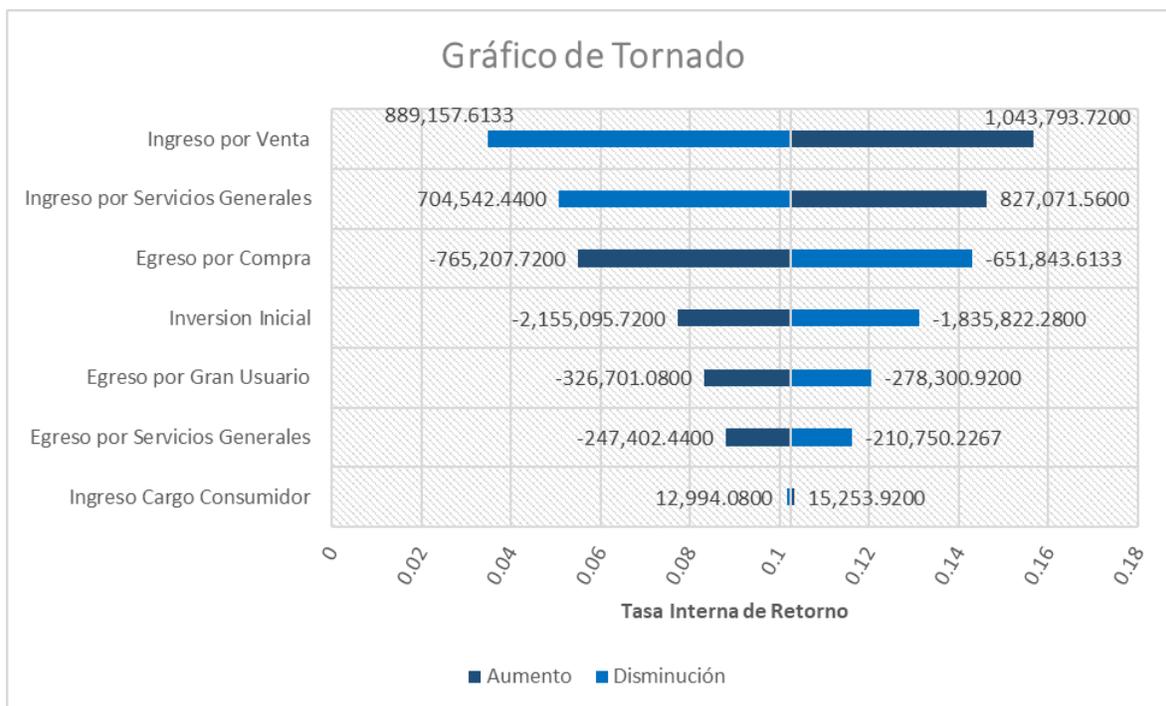
El análisis de sensibilidad permite descubrir el impacto que tienen las variables de entrada sobre la variable de salida; para ellos existen dos tipos gráficos que ayudan en el análisis, siendo el tipo tornado y tipo telaraña.

5.4.1 Análisis de sensibilidad gráfico tipo tornado.

El análisis de sensibilidad usando el gráfico tipo tornado, es un análisis de una perturbación al cual se aplican cambios uno a la vez; a cada una de las variables independientes que afectan a la variable de impacto u objetivo; en este caso, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR); de esta manera interesa saber la sensibilidad sobre las variables mencionadas a causa de las variables de entrada; el gráfico 9, esquematiza la tasa interna de retorno en un rango de prueba de 0 al 20 por ciento; este gráfico muestra las variables:

- *Ingreso por Venta*
- *Ingreso por Servicios Generales*
- *Ingreso Cargo Consumidor*
- *Egreso por Compra*
- *Egreso por Servicios Generales*
- *Egreso por Gran Usuario*
- *Inversión Inicial*

Nótese que todas las variables están descritas en el gráfico 10; debido a la variación que provoca en la Tasa Interna de Retorno (TIR), el gráfico tornado que se observa es el resultado de calcular la Tasa Interna de Retorno cuando cada una de las variables toma su valor original entre el rango establecido.

Gráfico 10: *Resultado Tasa Interna de Retorno tipo tornado*

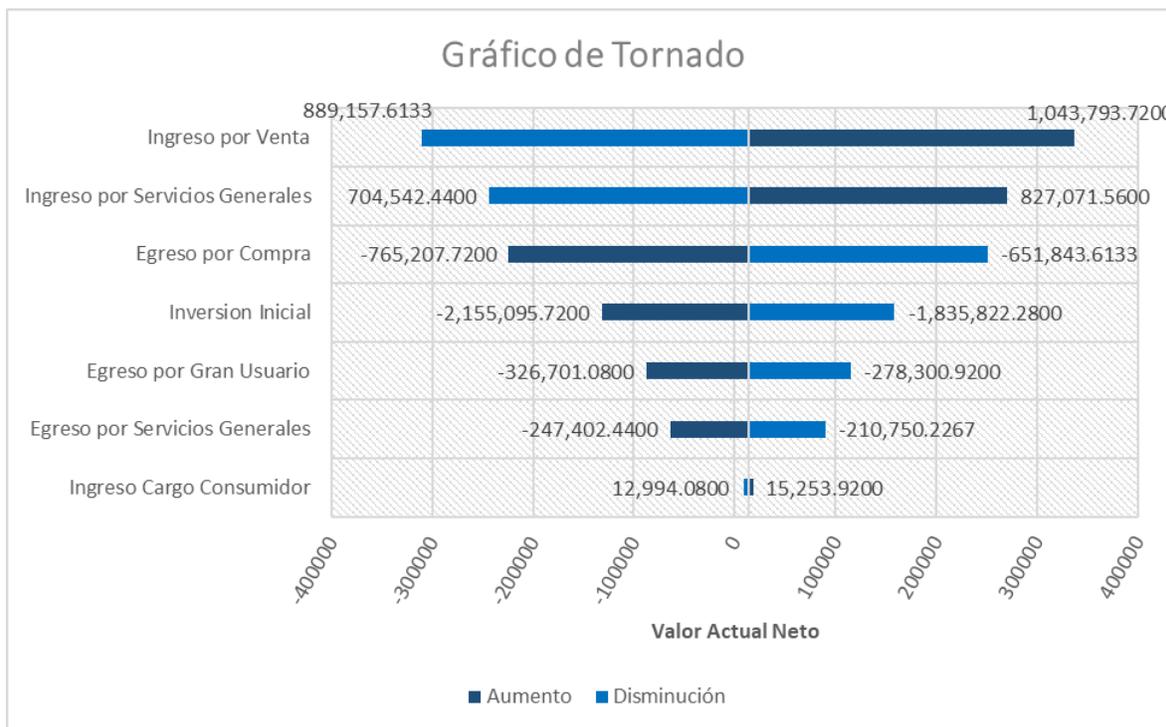
Fuente: Elaboración propia con base en la plataforma de SimulAir de Excel

Para entender la gráfico anterior, se analizará como ejemplo la variable Ingreso por venta siendo una de la variable más sensible; si el ingreso por venta llega a su valor mínimo de Q 889,157.61, se tendrá una Tasa Interna de Retorno (TIR) aproximadamente de 3.5 por ciento, caso contrario si llega a un valor máximo de Q 1,043,793.72 se obtendrá una Tasa Interna de Retorno aproximadamente del 15%, esto en el entendido que todas las demás variables no sufren ningún cambio; básicamente este gráfico muestra el cambio de una variable de salida respecto a las variables de entrada.

Al igual que el gráfico de tornado de la Tasa Interna de Retorno (TIR), se tienen las mismas variables de entrada; el gráfico 11 muestra el comportamiento de la variable de salida respecto a cada una de las variables de entrada; el eje

horizontal se muestra el Valor Actual Neto en cierto Rango y el eje horizontal el nombre de cada variable de entrada.

Gráfico 11: *Resultado Valor Actual Neto tipo tornado*



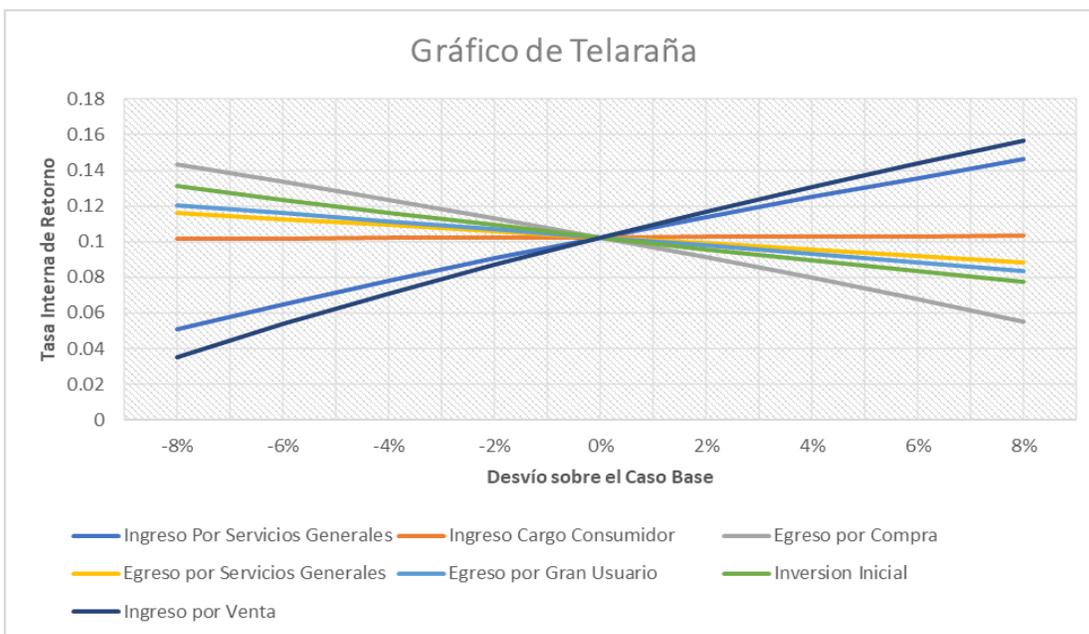
Fuente: Elaboración propia con base a la plataforma de SimulAir de Excel.

Ambos gráficos de tornado muestran que las variables de entrada, Ingreso por venta, Ingreso por servicios generales y egreso por compra, son a las que hay que tener el debido cuidado al momento de realizar la inversión para obtener los resultados esperados de parte del inversionista.

5.4.2 Análisis de sensibilidad gráfico de telaraña

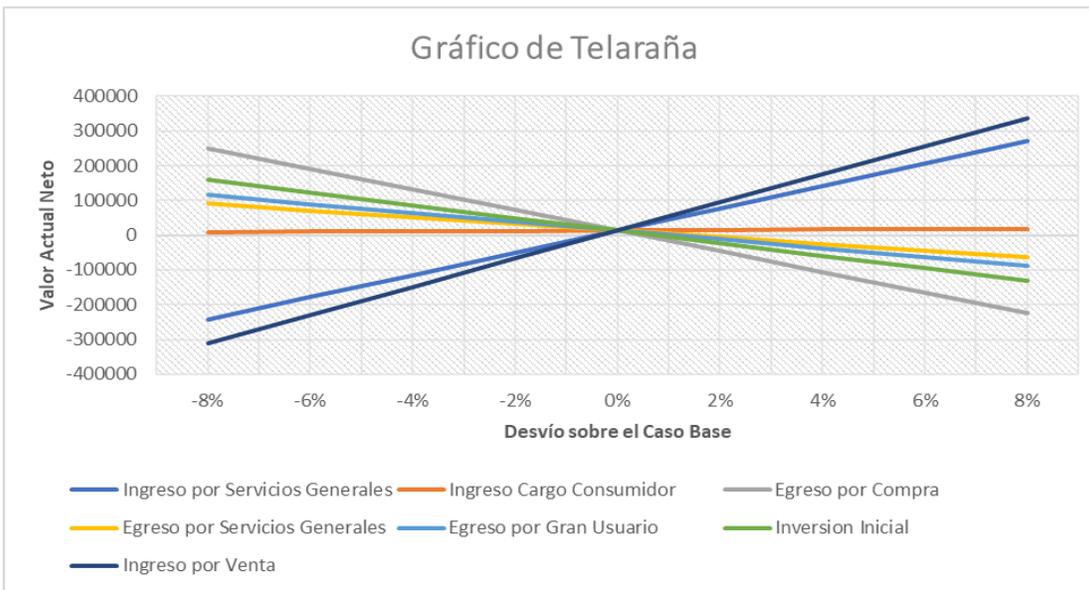
Este gráfico de telaraña está compuesto en el eje horizontal por las desviaciones porcentuales del caso base del 10 por ciento y en el vertical la variable de salida; en el gráfico es importante analizar la pendiente de cada curva, esto determinará si el signo es positivo o negativo.

Gráfico 12: Tipo telaraña Tasa Interna de Retorno



Fuente: Elaboración propia con base a la plataforma de SimulAir de Excel.

Gráfico 13: Tipo telaraña Valor Actual Neto



Fuente: Elaboración propia con base a la plataforma de SimulAir de Excel.

Los gráficos tipo telaraña mostrados anteriormente, se observan líneas con mayor pendiente que otras, esto significa que en estos casos las variables de entrada son las que mayormente afectan las variables de salida, es decir la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

El signo de la pendiente de cada una de las variables indica la relación entre la variable de entrada y la variable de salida, se dice que cuando la pendiente es positiva la relación es directa, cuando la pendiente es negativa la relación es indirecta, por ejemplo; la variable inversión inicial indica que a mayor inversión menor será la Tasa Interna de Retorno (TIR) al igual que el Valor Actual Neto (VAN); de la misma forma se analiza la variable ingreso por servicios Generales, a mayores ingresos mayor será el resultado de las variables de salida.

Entre las principales variables que afectan el resultado esperado y que requiere un control adecuado para obtener lo esperado por parte del inversionista están:

- *Ingreso por Servicios Generales*
- *Ingreso por Venta*
- *Egreso por compra*

5.5 Aspectos del impacto ambiental

El impacto ambiental se relaciona directamente con el cambio climático; la convención de las Naciones Unidas estableció el protocolo de Kioto, este menciona seis gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global; dentro de estos gases de calentamiento se encuentra el dióxido de carbono (CO₂), los cuales son generados en los procesos de combustión, carbón, petróleo o gas natural; en Guatemala se cuenta con una matriz energética de diferentes fuentes de generación de energía; dentro de ellas se tienen centrales térmicas que producen electricidad; según el informe del balance energético 2016 por parte del Ministerio de Energía y Minas, se establecieron los coeficientes por cada diferente fuente de generación de energía eléctrica, al igual que el factor por el uso de la red eléctrica. Para determinar las emisiones de CO₂ del prototipo propuesto, frente a una instalación tradicional se debe conocer los consumos de energía en el edificio, para ellos se toman la suma de energía eléctrica consumida por los apartamentos más la energía consumida por las áreas comunes del edificio, esta información se encuentra en las tablas 15, 16 y 17, el cálculo se realiza de la siguiente manera.

$$\text{Consumo Estandar} = \text{Consumo Apartamentos} + \text{Consumo Servicios Generales}$$

$$\text{Consumo mensual Estandar} = \frac{466.9 \text{ Kwh}}{30 \text{ dias}} * 120 \text{ U} + 1459.56 \text{ Kwh} * 30 \text{ dias}$$

$$\text{Consumo mensual Estandar} = 45,654.4 \text{ Kwh al mes.}$$

$$\text{Consumo Eficiente} = \text{Consumo Apartamentos} + \text{Consumo Servicios Generales}$$

$$\text{Consumo mensual Eficiente} = \frac{466.9 \text{ Kwh}}{30 \text{ dias}} * 120 \text{ U} + 595.55 \text{ Kwh} * 30 \text{ dias}$$

Consumo mensual Eficiente = 19,734.1 Kwh al mes

$$\% \text{ de reducción} = 1 - \frac{\text{Consumo mensual Eficiente}}{\text{Consumo mensual Estandar}}$$

$$\% \text{ de reducción} = 1 - \frac{19,734.1 \text{ Kwh al mes}}{45,654.4 \text{ Kwh al mes}}$$

$$\% \text{ de reducción} = 56.77 \%$$

Tabla 25: Consumo total según tipo de generación en solución tradicional

Generación por tipo de combustible.	Coefficiente de emisión [kg CO2 / KWh]	Consumo solución Estandar	Consumo por tipo de combustible	Total, de Consumo Estandar
Carbón mineral	1.3173	45,654.40	60,140.54	105,794.94
Fuel Oil	0.6641	45,654.40	30,319.08	75,973.49
Bagazo de caña	0.0604	45,654.40	2,757.52	48,411.93
Biogás	0.0007	45,654.40	31.95	45,686.36
Diesel Oil	0.7814	45,654.40	35,674.34	81,328.75
Leña	0.1515	45,654.40	6,916.64	52,571.04
Hidroenergía	0.0000	45,654.40	0	45,654.40
Geoenergía	0.0000	45,654.40	0	45,654.40
Solar Fotovoltaica	0.0000	45,654.40	0	45,654.40
Eólica	0.0000	45,654.40	0	45,654.40

Fuente: Balance Energético MEM, 2016

Tabla 26: Consumo total según tipo de generación en solución eficiente

Generación por tipo de combustible.	Coefficiente de emisión [kg CO2 / KWh]	Consumo solución Eficiente	Consumo por tipo de combustible	Total, de Consumo Eficiente
Carbón mineral	1.3173	19,734.10	25,995.73	45,729.83
Fuel Oil	0.6641	19,734.10	13,105.42	32,839.52
Bagazo de caña	0.0604	19,734.10	1,191.94	20,926.04
Biogás	0.0007	19,734.10	13.81	19,747.91
Diesel Oil	0.7814	19,734.10	15,420.23	35,154.33
Leña	0.1515	19,734.10	2,989.72	22,723.82
Hidroenergía	0.0000	19,734.10	0	19,734.10
Geoenergía	0.0000	19,734.10	0	19,734.10
Solar Fotovoltaica	0.0000	19,734.10	0	19,734.10
Eólica	0.0000	19,734.10	0	19,734.10

Fuente: Balance Energético MEM, 2016

Con los datos proporcionadas en las dos tablas 25 y 26, se muestran las diferencias de consumo energético en el grafico 14, entre ambas soluciones.

En el eje vertical contienen el total del consumo de energía eléctrica al mes (kwh) según la fuente de alimentación que proporcionara la energía al edificio y en el eje horizontal las diferentes fuentes de energía eléctrica que se tienen disponible en Guatemala.

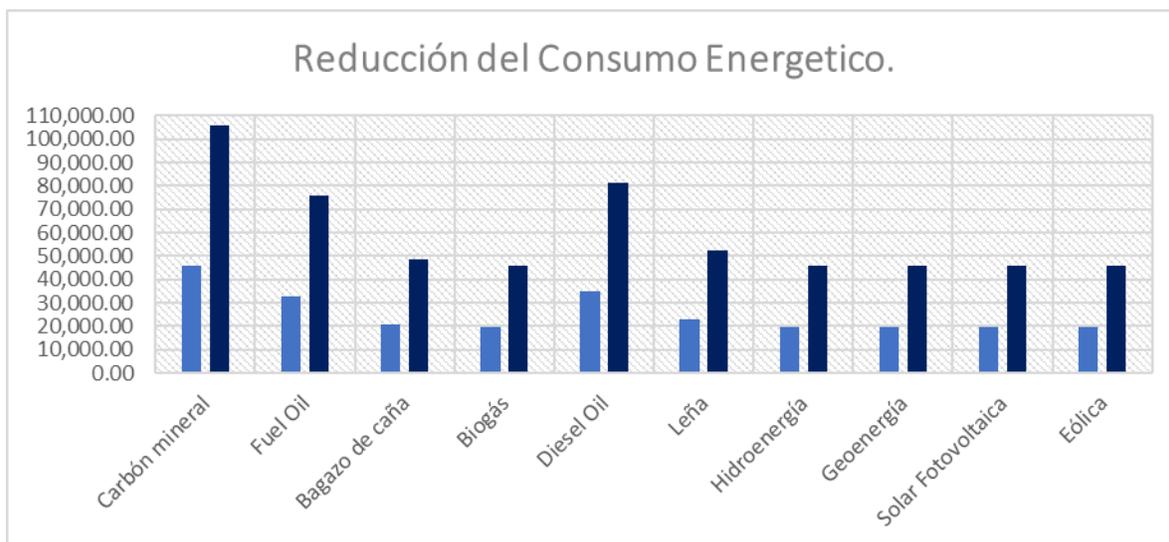
Las barras representan el consumo en una solución eficiente y solución estándar para cada una de las diferentes fuentes de generación, por ejemplo:

Si se desea conocer la reducción en la emisión del CO2 cuando el edificio es suministrado por una fuente de carbón mineral, el resultado sería:

$CO_2 = 105,794.94 \text{ kwh} - 45,729.83 \text{ Kwh}$

$CO_2 = 60,065.11 \text{ Kg } CO_2 \text{ al mes}$

Gráfico 14: Emisión de CO2 según su fuente de generación



Fuente: Elaboración propia con base al Balance Energético MEM, 2016

CONCLUSIONES

1. Se demuestra que la hipótesis planteada, respecto a la evaluación financiera, análisis de riesgo de la inversión y aspectos del impacto ambiental es viable para los inversionistas a ser implementada a futuro con un riesgo considerable.
2. El desarrollo de los cinco ejes principales del sistema inteligente para la administración de la energía eléctrica de un edificio mayor a cien apartamentos son: La distribución de la energía eléctrica, control de velocidad para pozo de agua, control de aire, control de iluminación a través de los detectores de luz, generación de energía para áreas comunes y circuito de medición electrónica para la supervisión de energía eléctrica.
3. Los resultados del flujo de caja proyectado sostienen que la inversión es viable con un valor actual neto de Q 13,556.76, una tasa interna de retorno del 10.25% con un tiempo de recuperación a partir del cuarto año en adelante por medio de la compra de energía como gran usuario.
4. El análisis de riesgo del flujo de caja justifica la inversión con un riesgo considerable del 42.17% en el Valor Actual Neto sea negativo y un riesgo de 17.00 % que la Tasa Interna de Retorno sea cero.
5. El impacto ambiental por la emisión de dióxido de carbono que provoca un edificio con un sistema de administración de energía inteligente respecto a una construcción tradicional se reduce en un 56.77% como mínimo, sin embargo, este dato aumenta si la fuente de alimentación de energía eléctrica es generada de combustibles derivados del petróleo.
6. Basado en el análisis de sensibilidad, existen alrededor de 3 variables aleatorias que se debe aplicarse un riguroso control al momento de ejecutar, para obtener los resultados que se esperan en la inversión.

RECOMENDACIONES

1. Establecer un modelo económico financiero similar para el sistema de circuitos de cámaras, sistemas de accesos para optimizar aún más los recursos energéticos que requiere la edificación.
2. Promover, a través de los desarrolladores, firmas de arquitecturas e inversionistas diseños ergonómicos, para maximizar el uso de la luz natural, garantizando así el confort de las personas y reduciendo aún más el uso de energía eléctrica.
3. Fomentar a través de la concientización a las desarrolladoras inmobiliarias, empresarios y población en general, acerca del impacto ambiental que provocan construcciones no eficientes en el sistema eléctrico de un edificio, incentivando nuevas construcciones a futuro con el uso de la tecnología.
4. Impulsar a través de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales del país, nuevas propuestas acerca del uso eficiente de la energía eléctrica e incentivar leyes que regulen el impacto ambiental por las malas prácticas ejecutadas en los edificios.

BIBLIOGRAFÍA

1. Carretero Peña, A.; García Sanchez, J.; (2012) Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora.; AENOR, Asociación española de normalización y certificación. Segunda Edición.
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2018), recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>
3. Comisión Interdepartamental del cambio climático.; (2011) Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
4. Comisión Regional de interconexión Eléctrica (CRIE) en su resolución No. CRIE-99-2018.
5. Domínguez, H.; Sáez Vacas, F.; Domótica: Un enfoque sociotécnico (2006), Madrid, primera edición.
6. Fernández Vitor, V.; (1993) Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental, Madrid España, Editorial Mundi-Prensa. Segunda Edición.
7. Ley General de Electricidad, Congreso de la República de Guatemala, Decreto No. 93-96.
8. Gitman, L.; Zutter, C.; (2012) Principios de administración financiera, México. Person Educación. Décimo segunda edición.
9. Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C.; y, Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. México. McGraw-Hill Interamericana. Sexta Edición.
10. Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C.; y, Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. Manuales de investigación aplicada. Recuperado de http://highered.mheducation.com/sites/1456223968/student_view0/manuales_de_investigacion_aplicada.html

11. IICA/CATIE. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (1999). Redacción de Referenciar Bibliográficas: Normas Técnicas del IICA Y CATIE. Turrialba, Costa Rica. Biblioteca Conmemorativa Orton. Cuarta edición.
12. Machain Luciano. SimulAir, Simulación de Monte Carlo en Excel, toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.
13. Ministerio de energía y minas, balance energético 2016, Gobierno de Guatemala.
14. Miranda Miranda, J.; (2008) Gestión de Proyectos, Identificación-Formulación-Evaluación.
15. Pimentel, E.; (2008). Formulación y Evaluación de Proyecto de Inversión, Aspectos Teóricos y Prácticos.
16. Revista construcción (2017) Cámara Guatemalteca de la Construcción.
17. Sapag Chain, N.; (2011). Proyectos de Inversión formulación y Evaluación. Chile. Pearson Educación de Chile. Segunda edición.
18. Sapag Nassir C.; Sapag Reinaldo C.; Sapag José M.; (2008) Preparación y evaluación de proyectos. México. McGraw-Hill Interamericana. Sexta Edición.
19. Schneider Electric.; (2010) Soluciones de Eficiencia energética para edificios.
20. Schneider Electric USA. Inc, (2016) Busway Systems, catalog 5600CT9101R08/15, Class 5600.
21. Schonek, Jacques.; (2010) Cuaderno Técnico No. 214, Eficiencia energética: ventajas del uso de los variadores de velocidad en la circulación de fluidos, Schneider Electric España S.A.
22. Scott, B.; Grigham, E.; (2008) Fundamentos de administración Financiera, México. McGraw-Hill Interamericana. Décimo cuarta edición.

23. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Estudios de Postgrado. (2009). Guía metodológica para la elaboración del plan e informe de investigación de postgrado de Ciencias Económicas.
24. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Económicas. Centro de Documentación Vitalino Girón Corado. (2001). Normas para la Elaboración de Bibliografías en Trabajos de Investigación. Licda. Dina Jiménez de Chang. Segunda edición.
25. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Estudios de Postgrado. (2009). Normativo de Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias.

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Estructura de flujo de caja</i>	13
Tabla 2: <i>Pérdidas de transformadores alta eficiencia cifras en Kw</i>	24
Tabla 3: <i>Pérdidas de transformadores estándar cifras en kw</i>	24
Tabla 4: <i>Pérdidas en ducto barra por cada 100 pies cifras en kw</i>	25
Tabla 5: <i>Pérdidas por el uso de cable por cada 100 pies cifras en kw</i>	25
Tabla 6: <i>Estimación de costos del conductor factores combinados</i>	26
Tabla 7: <i>Cálculo de la bomba de agua en Kilowatts</i>	28
Tabla 8: <i>Cálculo de potencia en Kw para motores de 2 y 3 hp</i>	30
Tabla 9: <i>Estimación de costos de variadores</i>	31
Tabla 10: <i>Estimación de costos de iluminación</i>	33
Tabla 11: <i>Estimación de costos de energía limpia</i>	33
Tabla 12: <i>Estimación de costos de medición electrónica</i>	35
Tabla 13: <i>Precio de la tarifa BTS cifras en quetzales</i>	36
Tabla 14: <i>Precio de la taifa BTDFp cifras en quetzales</i>	37
Tabla 15: <i>Consumo de electrodomésticos en Kwh por apartamento</i>	38
Tabla 16: <i>Consumo energía en la operación de equipos estándar</i>	39
Tabla 17: <i>Consumo de energía en la operación de equipos eficientes y tecnológicos</i>	43

Tabla 18: <i>Egresos por cargo como gran usuario</i>	44
Tabla 19: <i>Depreciación de equipos eficientes</i>	45
Tabla 20: <i>Flujo de efectivo cifras en miles de quetzales</i>	46
Tabla 21: <i>Datos para calcular la Elasticidad del sector</i>	52
Tabla 22: <i>Inflación años 2015-2019</i>	53
Tabla 23: <i>Tasa de interés Activa 2015-2019</i>	53
Tabla 24: <i>Variables de entrada aleatorias cifras en quetzales</i>	59
Tabla 25: <i>Consumo total según tipo de generación en solución tradicional</i>	68
Tabla 26: <i>Consumo total según tipo de generación en solución eficiente</i>	69

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1:	<i>Prototipo de trayecto de ducto barra</i>	26
Gráfica 2:	<i>Curva característica para el control de velocidad</i>	29
Gráfica 3:	<i>Representación del control de velocidad</i>	30
Gráfica 4:	<i>Estudio lumínico área de sótanos</i>	31
Gráfica 5:	<i>Estudio lumínico área de pasillos</i>	32
Gráfica 6:	<i>Bosquejo de conectividad de la red de medición</i>	34
Gráfica 7:	<i>Relación PIB del sector</i>	52
Gráfica 8:	<i>Resultado del Valor Actual Neto del flujo de caja</i>	60
Gráfica 9:	<i>Resultado de la Tasa Interna de Retorno del flujo de caja</i>	61
Gráfica 10:	<i>Resultado Tasa Interna de Retorno tipo tornado</i>	63
Gráfica 11:	<i>Resultado Valor Actual Neto tipo tornado</i>	64
Gráfica 12:	<i>Tipo telaraña Tasa Interna de Retorno</i>	65
Gráfica 13:	<i>Tipo telaraña Valor Actual Neto</i>	65
Gráfica 14:	<i>Emisión de CO2 según su fuente de generación</i>	70

CONCEPTOS TÉCNICOS

- Eficiencia energética: capacidad de reducir el consumo de energía eléctrica en un sistema eléctrico.
- Subestación eléctrica: Sistema eléctrico destinado para transformar el nivel de voltaje en la transmisión, distribución de la energía eléctrica.
- Transformador tipo Seco: Máquina eléctrica que convierte un nivel de voltaje primario a un nivel de voltaje secundario, sin conexión alguna por medio de magnetismo, sin uso de aceite para el enfriamiento de este.
- Lado Primario: Se le llama lado primario a la bobina de cobre o aluminio de un transformador que recibe el voltaje de alimentación al que la máquina estará conectado.
- Lado Secundario: Se le llama lado secundario a la bobina de cobre o aluminio de un transformador que recibe el nivel voltaje inducido por la bobina primaria.
- Plena carga: Capacidad de que una máquina o sistema funcione al 100 %.
- Caudal: Cantidad de agua o fluido que circula a través de una tubería por unidad de tiempo.
- Altura manométrica: Es la suma total de las alturas manométricas de aspiración e impulsión; esta altura únicamente es expresada en metros columna de agua.
- Corriente directa: es aquella cuyos valores instantáneos a lo largo del tiempo son de la misma magnitud, teniendo polaridad en cada uno de los conductos, siendo positivo y negativo, como por ejemplo baterías.

- Corriente alterna: es aquella cuyos valores instantáneos a lo largo del tiempo son variables.
- Efecto Joule: es la pérdida de energía por calentamiento en un conductor al circular energía eléctrica.
- Lúmenes: es la cantidad de luz que sale de una luminaria a cierto punto en específico.
- Protocolo de comunicación: se define como las reglas para la transmisión de datos entre dos puntos.
- Protocolo Modbus: Protocolo de comunicación industrial diseñado para la comunicación entre dispositivos electrónicos.
- Protocolo Ethernet: Protocolo de comunicación más utilizado en el mundo, permite la conexión entre dispositivos montado sobre la red LAN.
- Factor de potencia: Es la relación en potencia activa y potencia aparente
- Consumos fantasmas: Es el gasto de energía eléctrica que realizan los electrodomésticos o cualquier otro equipo eléctrico conectado a la red incluso cuando no están en uso.
- Pasarelas: es un puente de comunicación entre dispositivos electrónicos.
- Nube: Es un sistema interconectado de servidores en el mundo con la única finalidad de almacenar y administrar datos.
- Potencia Activa: Es la cantidad de energía eléctrica, que se transporta o se consume en una unidad de tiempo.
- Potencia Aparente: Es la cantidad de potencia eléctrica que se consume en un equipo eléctrico.

NOMECLATURA

Kwh	Kilovatio hora
Kw	Kilovatio
KVA	Kilovoltio ampere
MVA	Megavoltio amperio
I	Corriente
R	Resistencia
C/F	Conductores por fase
Hp	Caballos de fuerza
% E	Porcentaje de eficiencia
Fp	Factor de potencia
P(Kw)	Perdida de potencia en kilovatio
KA	Kilo Amperios