



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

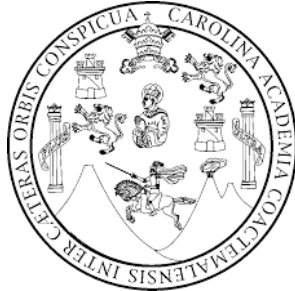
**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN  
SISTEMA DE VOLUMEN DE REFRIGERANTE VARIABLE (VRV), PARA LA REDUCCIÓN DEL  
CONSUMO DE ENERGÍA E IMPACTO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN  
HOTEL EN RETALHULEU**

**Rudy Alejandro Ajuquejay Panteul**

Asesorado por el MA. Ing. Axel Ernesto Sigui Gil

Guatemala, septiembre 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VOLUMEN DE REFRIGERANTE VARIABLE (VRV), PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA E IMPACTO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN HOTEL EN RETALHULEU**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RUDY ALEJANDRO AJQUEJAY PANTEUL**  
ASESORADO POR EL MA. ING. AXEL ERNESTO SIGUI GIL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

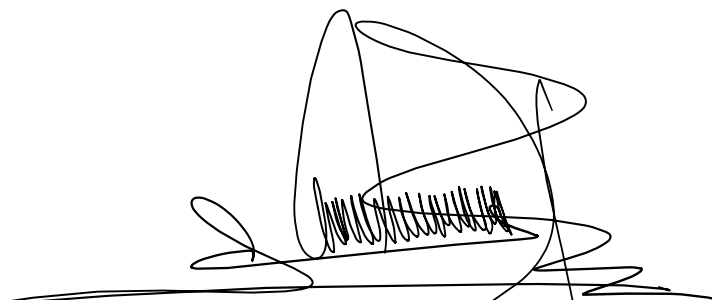
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Hernán Cortes Urioste
EXAMINADOR	Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek
EXAMINADOR	Ing. Carlos Gutierrez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VOLUMEN DE REFRIGERANTE VARIABLE (VRV), PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA E IMPACTO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN HOTEL EN RETALHULEU**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 30 de octubre de 2021.



**Rudy Alejandro Ajquejay Panteul**



**EEPFI-PP-0013-2022**

Guatemala, 12 de enero de 2022

**Director**  
**César Ernesto Urquizú Rodas**  
**Escuela Ingeniería Mecánica Industrial**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Urquizú**

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VOLUMEN DE REFRIGERANTE VARIABLE (VRV), PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA E IMPACTO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN HOTEL EN RETALHULEU**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energía Aplicada - Uso Eficiente de la Energía - Uso eficiente en residencias y edificios**, presentado por el estudiante **Rudy Alejandro Ajuquejay Panteul** carné número **9212457**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

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

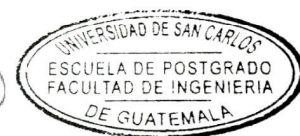
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Axel Ernesto Siguí Gil**  
Ingeniero Electricista  
Colegiado No. 14867

Mtro. Axel Ernesto Siguí Gil  
Asesor(a)

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



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





EEP-EIMI-0013-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VOLUMEN DE REFRIGERANTE VARIABLE (VRV), PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA E IMPACTO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN HOTEL EN RETALHULEU**, presentado por el estudiante universitario **Rudy Alejandro Ajquejay Panteul**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.598.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VOLUMEN DE REFRIGERANTE VARIABLE (VRV), PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA E IMPACTO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN HOTEL EN RETALHULEU**, presentado por: **Rudy Alejandro Ajuquejay Panteul**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, septiembre de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por la bendición de la vida, el regalo de la sabiduría, el conocimiento, la inteligencia y la fuerza necesaria para alcanzar este objetivo.
- Mis padres** Santiago Aiquejay Aiquejay (q. e. p. d.) y Dionisia Panteul Muhún, por sus sabios consejos y apoyo incondicional.
- Mi familia** Por su apoyo incondicional; en especial, a mi hija Claudia Alejandra, por la inspiración para alcanzar esta meta.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios**

**Mis padres**

Por sobre todas las cosas.

**Mi familia**

Por ser un digno ejemplo para seguir a lo largo de mi vida.

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante.

**Mis amigos**

Por la oportunidad de adquirir los conocimientos para ser un profesional.

**Mi asesor**

Por todo su apoyo, consejos, motivación y amistad.

**MA. Ingeniero**

Por el apoyo brindado.

Cesar Ariel Villela Rodas, por todo el aporte y dirección brindados para el desarrollo de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
3.1. Descripción del problema .....	11
3.2. Formulación del Problema .....	13
3.3. Delimitación del problema.....	14
4. JUSTIFICACIÓN .....	15
5. OBJETIVOS.....	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos .....	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Climatización .....	21
7.1.1. Energía utilizada para la climatización .....	22

7.1.2.	Sistemas de climatización por medio de enfriamiento de agua.....	23
7.1.2.1.	Unidades enfriadoras de agua.....	24
7.1.2.2.	Unidades Fan Coil .....	25
7.1.3.	Sistemas de climatización VRV .....	26
7.1.3.1.	Tecnología inverter .....	27
7.1.3.2.	Carga operacional .....	29
7.1.3.3.	Temperatura de refrigerante variable (VRT).....	30
7.1.3.4.	Ventajas de la tecnología Inverter.....	31
7.1.4.	Tipos de sistemas VRV .....	32
7.1.5.	Tipos de unidades interiores VRV .....	32
7.1.5.1.	Unidades interiores tipo cartucho.....	32
7.1.5.2.	Unidades interiores para montaje en pared .....	33
7.1.5.3.	Unidades interiores con ducto.....	34
7.2.	Consumo de energía eléctrica.....	35
7.2.1.	Balance energético MEM.....	35
7.2.2.	Eficiencia energética y ahorro de energía.....	37
7.2.3.	Eficiencia Energética EER.....	38
7.2.4.	Parámetros de eficiencia en sistemas VRV (IEER) .....	38
7.3.	Impactos en el medio ambiente.....	41
7.3.1.	El calentamiento global.....	42
7.3.2.	Disminución de la capa de ozono .....	43
7.3.3.	Gases de efecto invernadero (GEI) .....	43
7.3.3.1.	Emisiones de gases de efecto invernadero, sector energético nacional .....	44

	7.3.3.2.	Coeficientes de emisión .....	46
	7.3.3.3.	Factor de Red (TCO <sub>2</sub> /kWh) .....	47
	7.3.3.4.	Emisiones de CO <sub>2</sub> a nivel mundial .....	47
7.4.		Área de estudio .....	47
	7.4.1.	Condiciones de ambiente exterior en el área de estudio .....	48
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	53
9.		METODOLOGÍA .....	57
	9.1.	Características del estudio.....	57
	9.2.	Unidad de análisis .....	59
	9.3.	Variables .....	59
	9.4.	Fases del estudio.....	61
	9.4.1.	Fase 1: Revisión documental.....	61
	9.4.2.	Fase 2: Cálculo del sistema VRV con software Xpress®.....	61
	9.4.3.	Fase 3: Análisis del consumo de energía.....	62
	9.4.4.	Fase 4: Consumo de energía, sistema de AAC actual.....	63
	9.4.5.	Fase 5. Análisis del Impacto Ambiental.....	64
	9.5.	Muestra .....	64
	9.6.	Resultados esperados .....	65
10.		TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	67
11.		CRONOGRAMA.....	69
12.		FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	71

12.1.	Recursos humanos .....	71
12.2.	Recursos financieros .....	71
12.3.	Inversiones y fuentes de financiamiento.....	72
12.4.	Acceso a la información .....	73
12.5.	Permisos .....	73
12.6.	Equipos .....	73
12.7.	Infraestructura .....	73
12.8.	Recursos tecnológicos .....	74
13.	REFERENCIAS .....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de operación de sistema tipo agua-agua.....	24
2.	Unidad enfriadora de agua con condensación por aire .....	25
3.	Unidad fan-coil esquemática .....	26
4.	Distribución esquemática de un sistema VRV .....	28
5.	Ejemplo comparativo del consumo de energía .....	29
6.	Curva comparativa de temperatura. ....	31
7.	Cartucho para montaje en techo .....	33
8.	Unidad interior para montaje en pared .....	34
9.	Unidad interior con ducto de montaje en techo .....	35
10.	Matriz de participación de los sectores consumidores de energéticos en el año 2019 .....	36
11.	Conversiones energéticas.....	36
12.	Contribución de los sistemas energéticos al calentamiento global .....	42
13.	Contribución de los sistemas energéticos a la disminución de la capa de ozono .....	43
14.	Emisiones de GEI en (%), sector energético, año 2019 .....	45
15.	Emisiones de GEI en la generación eléctrica de Guatemala, en TCO <sub>2</sub> ..	46
16.	Emisiones de CO <sub>2</sub> a nivel mundial. Año 2017 .....	48
17.	Promedio de temperatura en Retalhuleu .....	49
18.	Temperatura por hora en Retalhuleu.....	50
19.	Niveles de comodidad de la humedad en Retalhuleu .....	51
20.	Analizador de calidad de energía .....	63

## TABLAS

I.	Ecuación de cálculo del IEER .....	41
II.	Factor de emisión de GEI, en la red eléctrica nacional .....	47
III.	Matriz de operacionalización de variables .....	60
IV.	Ficha de registro de datos para consumo de energía .....	62
V.	Inversiones por realizar en el estudio.....	72

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>BTUh</b>	British Thermal Unit hora
<b>dB (A)</b>	Decibeles con filtro A
<b>kBEP</b>	kilo barriles de petróleo equivalente
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>m s.n.m.</b>	metros sobre el nivel del mar
<b>MW</b>	Megavatio
<b>TCO<sub>2e</sub></b>	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente





## GLOSARIO

<b>Ahorro energético</b>	Es el resultado de la gestión y uso adecuado de la energía en un sistema.
<b>Amperio</b>	Unidad de medida de la corriente o intensidad eléctrica.
<b>ASHRAE</b>	Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
<b>Condiciones de condensador</b>	Las condiciones en el interior del condensador son de saturación, es decir, está a la presión de saturación correspondiente a la temperatura de condensación del vapor. Esta presión es siempre inferior a la atmosférica.
<b>Consumo eléctrico</b>	Es la cantidad de energía utilizada en un punto de suministro durante un periodo de tiempo determinado. Su unidad de medida es kWh.
<b>EER</b>	Índice de Eficiencia Energética.
<b>Energía</b>	Capacidad de un cuerpo o sistema para producir transformaciones, con independencia de que éstas se produzcan o no.

<b>Energía eléctrica</b>	Es la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.
<b>Energía primaria</b>	Es la que se obtiene directamente de la naturaleza y corresponde a un tipo de energía almacenada o disponible, como el carbón mineral, el gas natural y energías renovables.
<b>Energía secundaria</b>	Es la que se obtiene a través de transformaciones de la energía primaria.
<b>Equilibrio ambiental</b>	Es el estado constante y dinámico de armonía que existe en los ecosistemas, cuando el número de seres vivos de cada especie es constante a lo largo del tiempo y cuando no se presentan factores externos que rompan el estado de equilibrio, como la contaminación ambiental y la deforestación; entre otros.
<b>Expansión directa</b>	Es el método mediante el cual el flujo másico de refrigerante suministrado al evaporador está limitado a la cantidad que pueda evaporarse completamente en su recorrido hasta el final del evaporador de tal manera que llegue solo vapor a la entrada de succión del compresor.

<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero en la atmósfera de la tierra.
<b>IEER</b>	Índice de Eficiencia Energética Integrado.
<b>Intensidad</b>	La intensidad de corriente eléctrica(I) es la cantidad de electricidad o carga eléctrica (Q) que circula por un circuito en la unidad de tiempo(t). Para denominar la Intensidad se utiliza la letra I y su unidad es el Amperio(A).
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.
<b>Potencia activa</b>	Es la que se aprovecha como potencia útil. También se llama potencia media, real o verdadera y es debida a los dispositivos resistivos; su unidad de medida es el vatio (W).
<b>SAO</b>	Sustancias agotadoras del ozono. Son sustancias químicas que tienen el potencial de reaccionar con las moléculas de ozono de la estratosfera en una reacción fotoquímica en cadena. Una vez destruida una molécula de ozono, la SAO está disponible para destruir otras más. La duración de la vida destructiva de una SAO puede extenderse entre los 100 y 400 años. Por consiguiente, una molécula de SAO puede destruir cientos de miles de moléculas de ozono.



## RESUMEN

A nivel mundial, el consumo de energía derivado del uso de sistemas de aire acondicionado se ha incrementado durante los últimos años; los fabricantes y proveedores de servicios de estos sistemas deben buscar diferentes alternativas en tecnología para aumentar la eficiencia energética de los equipos de climatización residencial, comercial e industrial, con el objetivo de resolver en cierto porcentaje los problemas derivados del consumo excesivo de energía eléctrica utilizado para su operación y coadyuvar a la mitigación del desequilibrio ambiental y el cambio climático.

En este estudio, se busca determinar la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de climatización con volumen de refrigerante variable en edificios del área hotelera, sustituyendo el sistema de climatización actual que opera con enfriadores de agua y unidades del tipo fan-coil con tecnología obsoleta. Se calcularán los beneficios ambientales y los beneficios en el consumo de energía eléctrica que se obtienen al utilizar compresores del tipo inverter para la compresión del gas refrigerante, unidades evaporadoras con un mejor aprovechamiento de la energía para enfriamiento del aire dentro de los ambientes, menor nivel de ruido y una mejor experiencia para los usuarios.

Como resultados esperados del estudio, se pretende el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados. En el caso del análisis de los factores que influyen en la reducción del consumo de energía del sistema de climatización VRV, se espera que las mediciones realizadas y los resultados proporcionen la información necesaria para describir de forma clara la incidencia de la tecnología nueva sobre el consumo de energía del hotel.



# 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio, consiste en el análisis de los beneficios que se obtienen a través de la implementación de tecnología actualizada para reemplazar el sistema convencional de climatización de un edificio del área hotelera en Retalhuleu, Guatemala.

Dado que la demanda global de energía a nivel mundial se ha incrementado por el uso de sistemas de aire acondicionado durante los últimos años; la tecnología y la eficiencia energética de los equipos de climatización residencial, comercial e industrial han evolucionado, con el objetivo de resolver en cierto porcentaje los problemas derivados del consumo excesivo de energía eléctrica utilizado para su operación.

A pesar de que el clima de Guatemala es propicio para utilizar sistemas de ventilación natural, se ha incrementado el uso de equipos de climatización en los edificios, debido a las condiciones de temperatura actuales, por efectos del cambio climático. Varios de estos edificios, hoteles y centros comerciales entre otras edificaciones, aún cuentan con equipos de aire acondicionado de baja eficiencia, los cuales consumen más energía de la necesaria. Algunas de las barreras para la sustitución de estos equipos son: el alto costo inicial de los equipos con tecnología de alta eficiencia, la falta de asesoría profesional en el uso eficiente de la energía en edificios, carencia de un marco legal que regule la eficiencia energética, entre otros.



La Agencia Internacional de Energía, IEA por sus siglas en inglés, (2018), advierte que se dispare la demanda de energía en un 30 % hacia el 2040: “el stock global de aires acondicionados en edificios crecerá a 5,600 millones en 2050 frente a los 1,600 millones actuales”; esto es motivo para analizar soluciones que sirvan de base para optimizar la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado (AAC), con el objetivo de reducir los costos de operación de los edificios y contribuir positivamente al Cambio Climático, reduciendo las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y evitar el uso de Sustancias Agotadoras del Ozono (SAO).

Con la realización del presente análisis, se pretende determinar el ahorro en el consumo de energía que se puede alcanzar con la implementación de un sistema de climatización con tecnología actualizada y alta eficiencia energética, a través de mediciones en campo que coadyuven a realizar el análisis descriptivo del comportamiento de las variables analizadas en un equipo VRV en operación. Se analizarán los resultados sobre la demanda de potencia activa y de energía consumida, se cuantificarán los efectos sobre los costos de operación del edificio y sobre el medio ambiente. Con los datos obtenidos, se realizará el análisis utilizando estadística descriptiva para presentar los resultados.

Dado que se cuenta con los permisos de acceso al área de estudio en general, permisos para instalación de los instrumentos de medición en el equipo de climatización objeto de estudio, disponibilidad de los recursos humanos y financieros necesarios y se dispone de los instrumentos requeridos para la recolección, análisis e interpretación de resultados, se determina que sí es factible realizar la investigación propuesta.

En el capítulo del marco teórico de la investigación, se realiza una recopilación de la teorías y conceptos que sustentan y dan consistencia el estudio

propuesto, detallando los aspectos teóricos basados tanto en estudios realizados previamente por otros autores, así como las definiciones conceptuales que permitan delimitar el problema en análisis. Esto proporciona una mejor orientación para delimitar y sustentar las bases que darán solución a los objetivos propuestos y a las preguntas de investigación planteadas.

El marco teórico incluye la conceptualización de las variables de estudio, conceptos acerca de las características de los diferentes tipos de sistemas de climatización, definición de las configuraciones de interés de los equipos de aire acondicionado existentes en la actualidad, implicaciones de las nuevas tecnologías en climatización sobre el uso y consumo de la energía en edificios, así como en el medio ambiente; situación actual del consumo de energía de la industria hotelera en Guatemala, ventajas teóricas del sistema de climatización en análisis, entre otros.

En el siguiente capítulo, se describe la metodología a utilizar para la recolección, el ordenamiento y análisis posterior de la información obtenida. Se describen brevemente las características principales del estudio, la teoría filosófica que sirve de base al estudio, el diseño de investigación propuesto, el tipo de enfoque y alcance. También se delimita la unidad de análisis, la operacionalización de variables, descripción de las fases de estudio, instrumentos y equipo de medición que se utilizarán, determinación de la población y muestra para recolección de datos y los resultados esperados.

Posteriormente, se describen de forma breve y concisa, las técnicas de análisis de la información que serán utilizadas para la presentación de los resultados. Basado en el enfoque cuantitativo del estudio, dado que se analizarán de forma independiente las variables, se propone el uso de estadística

descriptiva, análisis de medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y gráficas estadísticas para una mejor apreciación de resultados obtenidos.

En el capítulo siguiente, la factibilidad del estudio forma parte de los aspectos fundamentales que deben analizarse para determinar la disponibilidad de los recursos humanos, recursos financieros, recursos tecnológicos y, en general, la disponibilidad material, intelectual, administrativa y tecnológica que sea necesaria para determinar la viabilidad de la investigación.

Se realizarán las conclusiones y recomendaciones basado en los resultados obtenidos, con el objetivo de proporcionar una herramienta que sirva de base para ampliar la investigación en el tema de consumo de energía, derivado del uso de sistemas de climatización, como el analizado en el estudio propuesto; de igual forma, las implicaciones de realizar actualización tecnológica en este campo.

## 2. ANTECEDENTES

Derivado de la alta demanda de energía que los equipos de climatización necesitan para funcionar, proyectada para las próximas décadas, y sumado esto, a la demanda actual en el sector residencial, comercial e industrial, y con el objetivo de optimizar la eficiencia energética en general de los edificios, se han realizado estudios enfocados a optimizar el consumo de electricidad de los equipos de aire acondicionado, así como minimizar su impacto en el medio ambiente, el cual es producto del uso indiscriminado de los recursos energéticos; principalmente, los que se derivan de la generación de energía eléctrica con combustibles fósiles. A este impacto medioambiental, se debe sumar el uso de refrigerantes con sustancias agotadoras del ozono, las cuales deben eliminarse lo antes posible para dar paso al uso de refrigerantes ecológicos como el R32 o en su defecto, el uso de R410a.

Una de las tecnologías en equipos de climatización utilizada en la actualidad es la de Volumen de Refrigerante Variable (VRV), tanto para instalaciones nuevas como para sustituir los antiguos equipos “on/off”, de baja eficiencia. Acertadamente, Roosa (2007), enfatiza que “las mejores tecnologías son aquellas que reducen la necesidad de energía” (p.425).

El informe de la Agencia Internacional de Energía (2018), *The Future of Cooling*, indica que sin nuevos estándares de eficiencia, el mundo se enfrentará a un elevado crecimiento de la demanda de enfriamiento en las próximas décadas; además, se espera que para el año 2050, la demanda mundial de energía de los equipos de climatización de aire se triplique; “este comportamiento requerirá la modificación de la matriz energética mundial para adaptarse a

una nueva demanda de electricidad, equivalente a la capacidad eléctrica combinada actual de los Estados Unidos, la Unión Europea y Japón”. (Agencia Internacional de Energía, 2018, p.1)

En nuestro país, así como en otros países en vías de desarrollo, se hace necesaria la implementación de un marco legal que establezca los lineamientos adecuados para exigir el uso de equipos de climatización más eficientes en los edificios, en el sector comercial y residencial. No debe restarse importancia al informe de la IEA (2018), donde indica que el uso de climatizadores de aire y ventiladores eléctricos actualmente representa casi el 20% del consumo mundial de energía eléctrica.

Laplana (2017), realizó un estudio de tesis denominado Análisis de Eficiencia Energética de un Hotel en Jaca, enfocado a optimizar la gestión del uso de la energía para el ahorro. El estudio realizado está orientado al objetivo de minimizar la energía eléctrica requerida, así como mejorar la eficiencia del sistema de climatización. Se revisó en esta investigación, el material bibliográfico referente al tema de eficiencia energética en este tipo de edificaciones y la normativa actual, para obtener un panorama claro de la situación del edificio y desarrollar de mejor forma la investigación. En el mencionado estudio, se realizó una estimación anual de la energía utilizada por el edificio, tanto para la energía primaria consumida, como de las emisiones de CO<sub>2</sub> y se evaluaron las mejoras y diferentes modalidades de funcionamiento alternativo.

Con la aplicación de todas las medidas de forma simultánea, Laplana (2017), indica que se consigue una alta disminución del consumo de energía primaria y de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas; se alcanza, además, un ahorro de consumo de energía estimado del 60 %.

El ahorro en el consumo de la energía estimado puede tener variación considerable, ya que depende de diferentes y múltiples factores que intervienen en la operación global del sistema, tales como la tecnología utilizada, la estructura física y orientación de las ventanas y paredes expuestas a la radiación solar, la temperatura y humedad relativa del ambiente exterior, la temperatura asignada del ambiente acondicionado, la variación automática o el comportamiento fijo de la temperatura a la que se evapora el refrigerante utilizado, la periodicidad y adecuada rutina de mantenimiento, entre otros. Se deben tomar en cuenta estas y otras variables para optimizar el objetivo de ahorro.

En la tesis Optimización del sistema de aire acondicionado para el ahorro energético en el centro comercial plaza Vea Chiclayo, Rimapa (2019), plantea el objetivo de reemplazar el sistema de climatización actual por uno con eficiencia más alta para alcanzar el confort de los clientes y optimizar el consumo de energía. La investigación es de tipo descriptiva, no experimental, ya que utiliza la metodología de observación de las variables sin modificarlas, para llevar a cabo un análisis posterior. Sus conclusiones muestran interesantes resultados, ya que se determina que la climatización inverter es un sistema muy eficiente y podrá contribuir con un ahorro de energía eléctrica considerable, en el rango del 50 al 70 por ciento.

En lo que respecta al uso de los sistemas de aire acondicionado, específicamente del área hotelera, existen derroches de energía, ya que por lo general los usuarios parecen ignorar la necesidad del ahorro de energía y no toman conciencia acerca de las extensas horas que no ocupan las habitaciones dejando el equipo de AAC en operación. Si el sistema de AAC instalado no tiene la capacidad de optimizar el consumo de energía durante las horas de no ocupación, el consumo total se incrementa de forma desmedida.

Herrera (2017), en su tesis doctoral Análisis experimental de la instalación de climatización de un edificio administrativo singular para la reducción del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero, presenta el desarrollo de herramientas informáticas. El software utilizado permite, a través de datos reales del sistema de gestión del lugar de estudio, modificar positivamente el rendimiento y determinar si las recomendaciones sobre la programación diaria de los sistemas de control de la climatización alcanzan el ahorro en la energía. Se realiza un estudio comparativo entre equipos de AAC condensados por aire y equipos de AAC condensados por agua. También se realizan análisis medioambientales.

Haciendo uso de las tecnologías nuevas para medición de calidad de energía, es factible realizar un análisis del comportamiento de la variable *consumo de energía eléctrica* en motores, compresores de refrigeración, ventiladores y otros componentes que forman parte de un equipo de climatización. En la tesis de Magister en Ingeniería Industrial denominada Estudio del consumo energético de la climatización de una vivienda unifamiliar de 160m<sup>2</sup> con los sistemas [...] Enfriadora y VRV, Cordero (2016), se apoya en varios programas informáticos para determinar el comportamiento energético del objeto de estudio; en especial, hace uso del software *EsoView®* para realizar una simulación de la potencia demandada de energía eléctrica necesaria para climatización.

Los medidores de calidad de energía para realizar tomas físicas de la operación nos brindan un panorama más certero de la potencia activa y la energía que demanda un sistema de AAC bajo ciertas condiciones de uso, tal es el caso de medidor Dranetz®, que será utilizado para toma de datos de potencia y energía en el presente estudio.

En el artículo Eficiencia energética y Medio Ambiente, Llamas (2009), hace referencia al ahorro y eficiencia energética como elementos fundamentales para la mejora del medio ambiente, en especial a lo referente al calentamiento global. Asimismo, menciona a estas dos variables como las principales opciones para hacer frente a la crisis económica, energética y medioambiental; el ahorro de energía permite también ahorrar los escasos recursos económicos y aplazar el agotamiento de los recursos fósiles, con lo que se convierte en una de las mejores alternativas para mitigar los efectos de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Menciona también, que un aspecto importante para entender la clave del ahorro radica en que no consumimos energía, sino servicios energéticos, los cuales son susceptibles de seguir siendo utilizados de la misma forma, pero con un menor nivel de consumo de recursos energéticos y, aunque el ahorro de energía no resolverá todos los problemas medioambientales, sí puede contribuir significativamente con el cambio climático. El “*Intergovernmental Panel on Climate Change*” (IPCC, 2007), estimó que se pueden ahorrar en emisiones de GEI para 2030 entre 7 y 14 por ciento de las emisiones de GEI a nivel mundial, aplicando medidas de ahorro y eficiencia energética.

En la Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Balbis, García, Cabello, y Sousa (2019), publican el artículo denominado Caracterización energética del funcionamiento de un equipo de aire acondicionado *en un local dado*. El artículo hace referencia a la caracterización energética completa del régimen de trabajo de un sistema de climatización en el enfriamiento y deshumidificación de un local utilizado como laboratorio. En la metodología utilizada para realizar el estudio destaca el uso de sensores digitales de temperatura y humedad relativa; también, se registra el decremento de la temperatura y humedad relativa en el tiempo, para calcular el calor sensible, el calor latente y la entalpía del aire húmedo de la habitación.



De forma simultánea, en el equipo de AAC, registran el consumo de energía eléctrica con un analizador de red digital. Dentro de las conclusiones obtenidas, dan a conocer que la metodología para la caracterización y evaluación energética del equipo observado permite hacer una evaluación de su funcionamiento de forma confiable y efectiva.

En la revista Espacios, Barros, et al. (2017), publican el artículo Comparación del consumo energético entre las tecnologías de aire acondicionado tipo mini-split y volumen de refrigerante variable en un edificio educativo, en el cual, realizan análisis a nivel de laboratorio acerca del comportamiento de consumo energético de un sistema VRV, comparado con un sistema de climatización “on/off”. La metodología utilizada incluye recolección de datos de potencia activa, así como de consumo de energía del sistema “on/off” durante la operación típica del equipo en un período semanal. Para comparar los resultados obtenidos con los resultados de la tecnología de volumen de refrigerante variable, se realizó una modelación y simulación del comportamiento energético utilizando el software EnergyPlus®. Se obtuvo en los resultados presentados, un ahorro potencial del 30 % al realizar la variación de la tecnología.

En las investigaciones mencionadas, se han utilizado diferentes metodologías con las se han alcanzado resultados importantes; resultados que denotan ahorros potenciales entre 30 % y 70 % para diferentes condiciones y métodos de análisis. Tomando de referencia las investigaciones previamente realizadas, se pretende llevar a cabo un estudio descriptivo del comportamiento de consumo de energía, realizando mediciones en campo de la potencia activa y energía en kWh de un equipo VRV en operación; posteriormente, se analizarán los resultados y serán presentados bajo un esquema de parámetros y condiciones particulares, propias de la presente investigación.

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

#### **3.1. Descripción del problema**

Reducir el consumo de energía eléctrica utilizado por los equipos de aire acondicionado debe ser un objetivo global, dado el incremento de la fabricación y uso de estos equipos tanto para el confort en oficinas, residencias y edificios, como los utilizados para procesos industriales. En el entendido de que prescindir del uso del AAC no es una opción factible, se debe considerar seriamente migrar al uso de tecnologías con la mejor eficiencia energética posible. Para efectos del presente estudio, se pretende realizar un análisis de los resultados favorables que puede generar la implementación de un sistema VRV para sustituir el sistema de climatización actual en un edificio hotelero en el departamento de Retalhuleu, Guatemala

En el departamento de Retalhuleu, opera un edificio del área hotelera, integrado por 153 habitaciones; iniciando operaciones en el año 2000. Tiene instalado, desde su construcción, un sistema de climatización para el complejo de edificios con el que cuenta, integrado por un equipo de aire acondicionado que funciona por medio de enfriamiento de agua. Este tipo de sistemas se conoce como “Chiller” o “Unidad enfriadora de Agua”. Cuenta además con (2) bombas de recirculación de agua, las cuales funcionan con caudal fijo y el tipo de arranque es directo (sin rampa). Distribuidas dentro de las habitaciones, tiene más de 200 unidades de enfriamiento de aire.

El sistema completo tiene más de veinte años de operación; sin embargo, durante los últimos cinco años, el departamento de refrigeración del Hotel ha

reportado un alto consumo de energía tanto en ocupación alta como en baja ocupación. El tipo de sistema instalado, por diseño de fabricación, debería regular parcialmente el consumo de energía eléctrica en función de la ocupación de las habitaciones; sin embargo, esto no sucede de forma eficiente en la actualidad.

Sumado al alto consumo de energía y en discrepancia con el objetivo de la institución de proveer esparcimiento y recreación con excelencia en el servicio, se reportan quejas de los usuarios quienes no reciben una habitación debidamente climatizada, ya que la temperatura y la humedad dentro de las mismas no es suficientemente confortable.

Según ASRHAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers) el rango de humedad relativa ideal para confort se sitúa entre 40 % y 60 %. Asimismo, el standard 55 de ASHRAE establece los rangos de condiciones ambientales interiores para lograr un confort térmico aceptable para los ocupantes. Agrega, además, que el rango de humedad relativa no debe sobrepasar del 70 %; sin embargo, existen en el edificio reportes de mediciones hasta del 88 % de humedad relativa dentro de las habitaciones.

En la red de tuberías de conducción de agua helada se observan recorridos con aislamiento térmico dañado y las tuberías que ya no cuentan con aislamiento térmico están deterioradas por el óxido. Las consolas de distribución de aire instaladas dentro de las habitaciones se ven obsoletas y presentan constantes fallas de operación. Estas deficiencias generan pérdidas importantes de energía térmica. El equipo central de enfriamiento de agua cuenta con 2 compresores de refrigeración, los cuales ya se han cambiado por fallas de sus componentes internos. Cada cambio de compresor ha significado altos costos económicos para el Hotel.

Debido a la operación constante de los compresores, bombas de recirculación de agua, motores y ventiladores de condensación, alrededor de la ubicación del equipo de enfriamiento de agua existe contaminación auditiva y calor disipado al ambiente. También las unidades interiores provocan ruido dentro de las habitaciones.

El aporte de la investigación propone realizar el análisis de la implementación de un sistema de climatización, con actualización tecnológica de última generación, para reducir el consumo de energía y con ello también reducir el impacto ambiental generado por la operación del sistema en las condiciones actuales. Adicionalmente, proporcionar a la administración del Hotel una visión clara de los puntos de mejora en cuanto a la gestión y aprovechamiento de la energía del sistema de climatización de las habitaciones.

### **3.2. Formulación del Problema**

Basado en el objetivo de resolver las interrogantes derivadas del planteamiento del problema de estudio, se formulan las siguientes preguntas de investigación que servirán de base para la adecuada ubicación y segmentación de la información, tanto de forma documental como la que se pueda obtener a través de mediciones en campo:

- Pregunta principal

¿De qué forma la implementación de un Sistema VRV puede reducir el consumo energético e impacto ambiental del sistema de climatización de un Hotel en Retalhuleu?

- Preguntas auxiliares
  - ¿Cuáles son los factores que influyen en la reducción del consumo de energía del sistema de climatización VRV?
  - ¿Qué relación existe entre el consumo de energía eléctrica y la demanda de potencia activa del sistema de climatización VRV?
  - ¿Cuáles son beneficios económicos y medioambientales que se obtienen por el cambio de tecnología en el sistema de climatización del Hotel?

### **3.3. Delimitación del problema**

El estudio propuesto será realizado en un edificio de la industria hotelera, el cual ha presentado consumo de energía eléctrica significativamente alto en el sistema de climatización debidos a varios factores, dentro de los cuales destacan la falta de actualización tecnológica, la falta de auditorías energéticas, el deterioro de materiales de instalación, entre otros factores de interés. El hotel está ubicado en el departamento de Retalhuleu, Guatemala; a una altura promedio de 232 m s.n.m., integrado por 10 edificios que contienen un total de ciento cincuenta y tres (153) habitaciones.

El cambio de tecnología propuesto implica el análisis de la implementación de 10 condensadores del tipo VRV y 239 unidades de distribución de aire del tipo “pared alta” de expansión directa, como propuesta para sustituir el actual sistema de climatización integrado por un equipo central de enfriamiento de agua, bombas de recirculación de agua, sistema de distribución por tuberías y unidades interiores del tipo “fan coil”.

## 4. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio, se basa en la Línea de investigación Gestión y Uso Eficiente de la Energía, en referencia al Uso eficiente en edificaciones urbanas y rurales; asimismo, en el Uso eficiente en sistemas industriales y comerciales, pertenecientes a la Maestría en Energía y Ambiente.

Realizar el análisis de operación del sistema de climatización de un edificio en el área hotelera es importante, ya que se pueden evidenciar las mejoras considerables que pueden obtenerse al optimizar el uso de la energía en las instalaciones actuales y servir de base para estudios posteriores que amplíen el tema acerca de las implicaciones de una gestión adecuada del uso de la energía en este tipo de edificios; de la misma forma, contribuir social y ambientalmente a la reducción de la contaminación producida por la generación de energía eléctrica por la quema de combustibles líquidos y otras fuentes térmicas no renovables; acciones forzadas por la alta demanda de energía que no puede ser cubierta con recursos renovables; asimismo, la contaminación acústica y térmica de algunos sistemas de tecnología no actualizada.

El aporte práctico del presente estudio conlleva realizar mediciones reales de los consumos de energía eléctrica del equipo de climatización existente para determinar el ahorro que puede obtenerse al implementar un sistema de climatización con tecnología actualizada VRV. Delgado (2015), afirma que la aplicación de medidas de ahorro energético en edificios existentes resulta clave para equilibrar la balanza comercial del país y contribuir a la reducción del cambio climático.

Al realizar los estudios propuestos, se beneficiará al Hotel objeto de la investigación, dado que optimizar la eficiencia energética contribuye, sumado a la contribución social y ambiental, a reducir sus costos variables, los cuales se han incrementado significativamente, derivado del consumo de energía eléctrica. Implementar un sistema de climatización más eficiente y actualizado tecnológicamente puede contribuir a mejorar la gestión de la operación del Hotel y como valor agregado, beneficiar a los usuarios de estas instalaciones turísticas, brindándoles una mejor experiencia en la estadía y descanso, al hospedarse en un ambiente de mejor confort térmico.

Los ahorros en el consumo de energía eléctrica contribuyen a mantener estables los precios de la energía utilizada, dado que se disminuye el uso de generación por medio de combustibles fósiles de fuentes no renovables. Estos aspectos proporcionan un aporte social positivo sumado al beneficio sobre el medio ambiente. Se pretende encontrar los beneficios óptimos que pueden obtenerse con la reducción del consumo energético de la operación del sistema de climatización del Hotel, a través del análisis profesional del sistema instalado; de forma comparativa, se realizará el análisis del comportamiento y el uso de la energía de uno de los sistemas de climatización más eficientes disponibles en la actualidad. Los estudios se realizarán dentro del marco de la Maestría en Energía y Ambiente.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Establecer si la implementación de un sistema de climatización con tecnología VRV, reduce de forma significativa el consumo de energía eléctrica y el impacto ambiental de un Hotel en Retalhuleu.

### **5.2. Específicos**

- Analizar cuáles son los factores que influyen en la reducción del consumo de energía del sistema de climatización VRV.
- Determinar la relación que existe entre la variación de demanda de potencia activa, propia del sistema VRV, con el consumo de energía eléctrica.
- Estimar cuáles son los beneficios en los costos de operación, la eficiencia energética y en el medio ambiente que pueden alcanzarse con el cambio a tecnología VRV, en el sistema de climatización del Hotel.





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

La observación del comportamiento de las variables de estudio y la presentación de resultados pretende obtener información que pueda contribuir a la reducción considerable en los costos de operación actuales del edificio de estudio, generados por el alto consumo de energía, así como las implicaciones en el medio ambiente. El reporte final presentará los resultados que podrán servir de base para la toma de decisiones al respecto de realizar el montaje del sistema enmarcado en el estudio realizado.

Actualmente, a nivel regional y local, existen varios edificios que cuentan con sistemas de climatización por medio de equipos de baja eficiencia, en similares condiciones al edificio en estudio, los cuales no han sido reemplazados por falta de análisis acerca de los beneficios económicos, de mejora en el confort y beneficios medioambientales que el cambio de tecnología representa. Realizar un análisis que conlleve al ahorro energético y el aumento de la eficiencia de los sistemas de climatización, proporciona una herramienta práctica que puede utilizarse para tomar acciones prontas que lleven a mejorar la gestión del gasto de energía en otros edificios y de forma paralela contribuir al equilibrio ambiental.

Basado en el problema a resolver, se realizará un estudio del consumo de energía del sistema actual, para determinar el comportamiento del uso de la energía en el sistema de climatización, durante un período determinado. A partir de los resultados, se podrán establecer los patrones de consumo de electricidad, estimar cuantitativamente las implicaciones económicas, así como las consecuencias medioambientales que el alto consumo de energía conlleva. Posteriormente, se realizará un comparativo con la demanda de energía del

sistema de climatización VRV para cuantificar el ahorro de energía y la contribución a la mitigación del cambio climático en materia de emisiones.

Realizar un análisis comparativo con mediciones en campo de la demanda de potencia activa y energía de un equipo en operación con Volumen de Refrigerante Variable, proporcionará información más certera del ahorro en el consumo de energía que puede obtenerse y presentar una solución documentada al problema actual, dado que se utilizará instrumentación y equipos previamente validados. La investigación cuenta con validez técnica ya que se encuentra dentro de las líneas de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente.

Este análisis, dirigido a reducir el consumo de energía eléctrica del sistema de climatización de un edificio en el área hotelera de Retalhuleu, no se ha realizado previamente en las condiciones planteadas; con la metodología propuesta, basado en la práctica profesional de la maestría en Energía y Ambiente, se pretende evidenciar las mejoras considerables que se obtendrán al optimizar el ahorro de energía de las instalaciones actuales. Asimismo, podrá ser utilizado de base para estudios posteriores que amplíen el tema acerca de las implicaciones de una gestión adecuada del uso de la energía, en este tipo de edificios; de la misma forma, contribuir social y ambientalmente a la reducción de la contaminación ambiental producto de la generación de energía eléctrica por la quema de combustibles líquidos u otras fuentes térmicas no renovables.

## **7. MARCO TEÓRICO**

El marco teórico, según Balestrini (2006), es el que “determina la perspectiva de análisis, la visión del problema de investigación asumido; muestra la voluntad de analizar la realidad objeto de estudio, de acuerdo con una explicación pautada de conceptos y categorías, atendiendo a un determinado paradigma teórico”. (p.91)

### **7.1. Climatización**

“El acondicionamiento de aire, es el proceso de tratamiento en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento”. (Pita, 2005, p.2)

El primer aparato de aire acondicionado fue diseñado por Willis Haviland Carrier, en 1902, para dar solución a los inconvenientes que presentaba la imprenta Sackett & Wilhelms de Brooklyn, NY, USA para fijar los 4 colores básicos, debido a que las altas condiciones tanto de humedad como de temperatura alteraban el tamaño de papel. La Compañía Buffalo Forge, resolvió el problema al fabricar una máquina que modificaba las condiciones de temperatura y humedad del aire por medio de tubos enfriados, dando paso al primer “aparato para tratar el aire”.

“El segundo principio de la termodinámica, enunciado por Clausius, establece que el calor fluye espontáneamente, siempre de una fuente de mayor temperatura a una de menor temperatura, hasta que las mismas se igualan”. (Universidad de Sevilla, 2021, p.2)

El proceso inverso, para evacuar el calor desde un ambiente interior, al cual queremos enfriar, hacia un ambiente externo, se puede llevar a cabo utilizando equipos de AAC, por medio de la absorción de calor durante la evaporación del gas refrigerante en el ciclo de refrigeración, sumado a la utilización de motores eléctricos. Este proceso requiere el uso de una cantidad significativa de energía; misma que debe optimizarse para obtener la mayor eficiencia energética que permita alcanzar la temperatura de confort deseada.

#### **7.1.1. Energía utilizada para la climatización**

En la actualidad, los aparatos utilizados para climatizar edificios se han convertido en uno de los consumidores de energía eléctrica de más alto índice alrededor del mundo, haciendo cada día más importante el tomar acciones encaminadas a la solución del problema de la alta demanda de energía que exigen. Según afirma Roosa (2010), cuando se realizan estudios de las instalaciones de climatización de un edificio, se debe prestar especial atención a racionalizar los costos, tanto desde el aspecto de inversión inicial, como del consumo eléctrico para su operación y obtener los mayores beneficios; asimismo, enfatiza que “las mejores tecnologías son aquellas que reducen la necesidad de energía”. (p.425)

En la revista Mundo HVACR (2021), afirman que, de forma proporcional al aumento del clima a un nivel extremo, las tecnologías de climatización cambian de prioridad para convertirse en un bien de primera necesidad que consumen diferentes sectores de la población. Consecuencia de este comportamiento, se incrementa la demanda de confort, la demanda de energía y, finalmente, la emisión desmedida de GEI a la atmósfera.

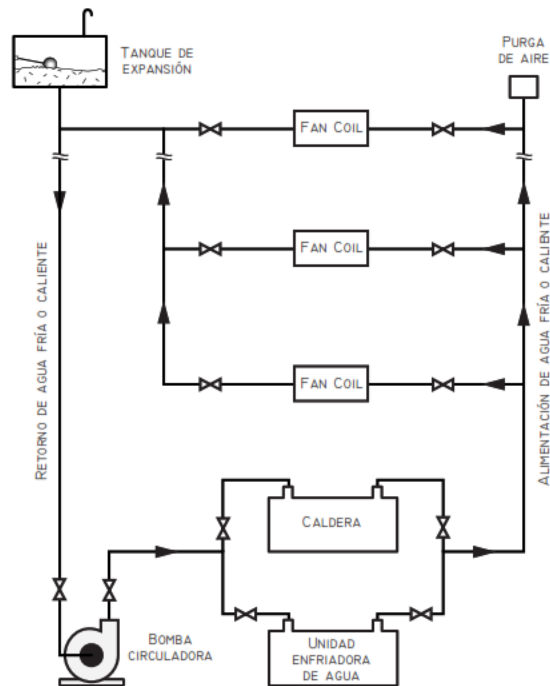
Se debe prestar especial atención a la optimización del consumo eléctrico de los sistemas de climatización, principalmente en las edificaciones de grandes dimensiones, tal como el edificio objeto del presente estudio, no restando importancia a la alta cantidad de equipos instalados en el sector residencial y que también suman considerablemente a la demanda global de energía eléctrica.

### **7.1.2. Sistemas de climatización por medio de enfriamiento de agua**

Según Quadri (2001), un sistema de climatización del tipo agua-agua, “es aquel en el cual dentro del espacio acondicionado se encuentran unidades individuales denominadas *fan-coil*, en su interior circula agua fría por serpentines y se utilizan ventiladores para impulsar el aire enfriado dentro del ambiente”. (p.144)

En este tipo de configuración, el agua fría es impulsada por medio de bombas, y se distribuye hacia las unidades interiores a través de un sistema de tuberías; el líquido enfriado fluye a una temperatura promedio de 44 °F desde una unidad central remota de enfriamiento de agua.

Figura 1. **Esquema de operación de sistema tipo agua-agua**



Fuente: Quadri (2001). *Sistemas de aire acondicionado, calidad de aire interior*.

Un sistema agua-agua está determinado por 03 componentes principales:

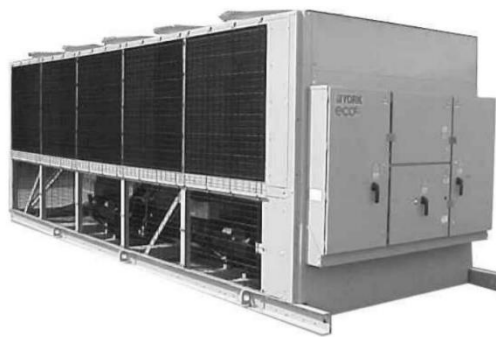
- Unidad central de enfriamiento de agua,
- Unidades de distribución de aire o fan-coil y
- Sistema de distribución compuesto por bombas y tuberías

### 7.1.2.1. **Unidades enfriadoras de agua**

Se conoce como unidad enfriadora de agua a un equipo de enfriamiento de líquidos, por lo general agua; el cual, tiene la capacidad de bajar la temperatura del líquido a temperaturas entre 41 y 50 °F. Dentro de sus principales usos, se encuentran instalaciones de gran tamaño, edificios de

oficinas, hoteles, hospitales, centros comerciales, entre otros. Está compuesto, principalmente, por uno o varios compresores, el intercambiador de calor, el condensador, los diferentes componentes de refrigeración y un sistema de control.

Figura 2. **Unidad enfriadora de agua con condensación por aire**



Fuente: Johnson Controls. *Chillers de tornillo enfriados por aire.*

Consultado el 30 de octubre de 2021. Recuperado de

<https://docs.johnsoncontrols.com/chillers/api/khub/documents/Tjhy6NppIUoP8rCCNV3RsQ/content>

### **7.1.2.2. Unidades Fan Coil**

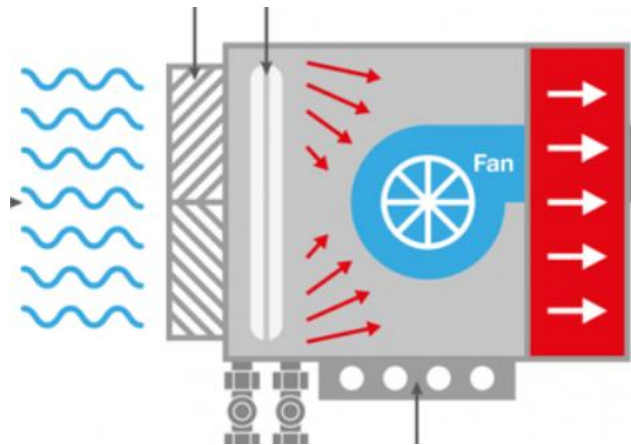
Compuesto por un ventilador (fan) y un serpentín(coil). Es básicamente una terminal tipo consola o en ocasiones un gabinete con un serpentín por medio del cual se hace pasar el líquido enfriado; además, ventiladores del tipo centrífugo que impulsan el aire dentro del ambiente acondicionado.

Según Quadri (2001), los sistemas que emplean este tipo de equipos son de instalación muy simple; además, cuentan con la posibilidad de regular manual o automáticamente la temperatura de cada ambiente y regular la capacidad del ventilador, comúnmente en 3 velocidades. Con estas unidades, se puede lograr



el control individual de temperatura para obtener una instalación altamente eficiente.

Figura 3. **Unidad fan-coil esquemática**



Fuente: Johnson Controls. *Chillers de tornillo enfriados por aire.*

Consultado el 30 de octubre de 2021. Recuperado de

<https://docs.johnsoncontrols.com/chillers/api/khub/documents/Tjhy6NppiUoP8rCCNV3RsQ/content>

### 7.1.3. **Sistemas de climatización VRV**

Un sistema de climatización VRV, según lo expresa Quadri (2001), está conformado por un conjunto múltiple que permite la conexión de tuberías de refrigerante a varias unidades interiores con una sola unidad condensadora. Según ASHRAE (2016), un sistema de volumen de refrigerante variable:

Es un sistema termodinámicamente similar al sistema de expansión directa (DX), el cual, por medio de por lo menos un compresor inverter, distribuye refrigerante a través de una red de tuberías a varias unidades interiores de climatización, cada una de las cuales es capaz de controlar

la temperatura de zonas independientes, a través de controles de temperatura de zona y una red de comunicaciones común. (p.313)

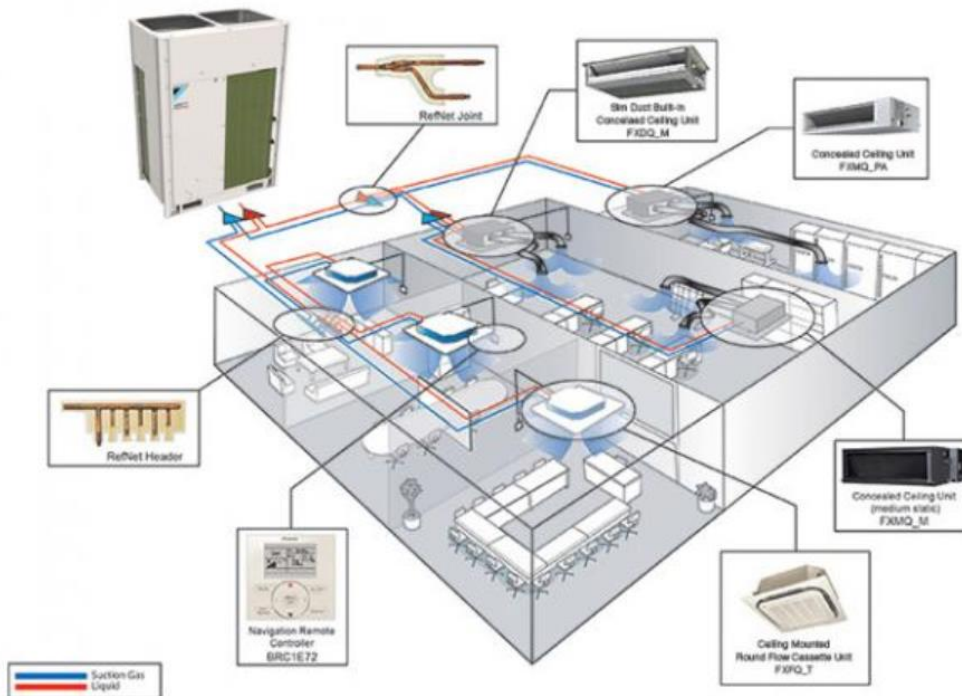
A diferencia de los sistemas multisplit, los cuales también permiten la conexión de varias tuberías de refrigeración a una sola unidad condensadora, pero partiendo cada sistema de tubería desde la propia unidad de condensación, los sistemas VRV están conformados por una red de tuberías (gas y líquido) que envían en una distribución troncal, de forma proporcional, el gas refrigerante a cada unidad interior instalada en cada ambiente acondicionado, según el requerimiento de cada una, por medio de cajas de control y válvulas de expansión electrónicas. Ambas tuberías deben ser instaladas con aislamiento térmico, Daikin (2021).

Yildiz y Ersöz (2015), hacen referencia a los sistemas de volumen de refrigerante variable, indicando que son populares porque requieren menos espacio para las unidades condensadoras exteriores que los sistemas de aire acondicionado central convencionales; además, son menos perjudiciales para adaptarse a los edificios existentes (particularmente cuando están ocupados) y, como valor agregado, pueden enfriar y calentar a través de tuberías comunes.

#### **7.1.3.1. Tecnología inverter**

Se denomina Inverter, a la tecnología que, por medio del uso de forma eficiente de la velocidad del motor, elimina el desperdicio del funcionamiento de los equipos de climatización, optimizando el ahorro de energía, ajustando la temperatura establecida al cambiar la velocidad con la que el motor opera, sin la necesidad de apagarlo o encenderlo (Daikin, 2021).

Figura 4. **Distribución esquemática de un sistema VRV**



Fuente: Daikin®. *La tecnología VRV*. Consultado el 30 de septiembre de 2021. Recuperado de <http://www.daikinac.com/content/commercial/vrv/vrv-iv/>

Los equipos de aire acondicionado convencionales o con tecnología “on/off” funcionan apagando y encendiendo el motor de acuerdo con el requerimiento de temperatura: cuando la temperatura ambiente sube 1 o 2 °F por encima del punto establecido, el equipo enciende; cuando la temperatura ambiente baja superando el punto establecido, el motor se apaga. Estos constantes paros y arranques en el funcionamiento provocan alto consumo de energía eléctrica.

Al margen de la cantidad de unidades interiores que estén en operación en un determinado momento, los sistemas VRV, utilizando un compresor inverter,

tienen la capacidad de variar la velocidad, basados en la necesidad o requerimiento de climatización y operar con la presión óptima.

Se ilustra a continuación un comparativo de ejemplo, “calculado en cumplimiento de la norma Japanese Industrial Standard (JIS) B8616, para el modelo SSRC 140BA (inverter) de la marca DAIKIN® y su equivalente de acondicionador de aire del tipo no-inverter” (Daikin, 2021).

Figura 5. **Ejemplo comparativo del consumo de energía**



Fuente: Daikin©. La tecnología inverter. Consultado el 30 de septiembre de 2021. Recuperado de: <https://daikinlatam.com/es/solution/inverter/>

### 7.1.3.2. **Carga operacional**

La carga operacional o carga en bloque, hace referencia a la carga térmica que puede ser removida de un ambiente en un determinado período de tiempo por el sistema de climatización. El concepto de carga operacional está directamente ligado a la cantidad de fuentes de calor activas que deben ser removidas por la unidad evaporadora interior. Las fuentes de calor pueden ser producidas por personas, computadoras, lámparas, radiación solar, entre otras.

La carga operacional difiere de la carga total en que la primera es dinámica dentro del ambiente acondicionado. Dentro de los factores que determinan la variación de carga térmica, podemos mencionar a la incidencia de la luz solar sobre las paredes o ventanas del edificio, la cual es variable debido al movimiento rotacional de la tierra; asimismo, por la cantidad de personas que ocupan o desocupan cada ambiente en determinado momento, lámparas encendidas, computadoras en operación, entre otros.

### **7.1.3.3. Temperatura de refrigerante variable (VRT)**

La Temperatura de Refrigerante Variable (VRT), es tecnología que funciona realizando ajuste continuo de la velocidad del compresor inverter, como de la temperatura del refrigerante. La capacidad del sistema se controla mediante el compresor inverter y variando la temperatura de evaporación ( $T_e$ ) del refrigerante (Daikin, 2021).

VRT, mejora la eficiencia del sistema VRV ajustando automáticamente la temperatura de evaporación del refrigerante, no solo en función de la carga, sino también de las condiciones climáticas, para lograr una eficiencia de enfriamiento estacional adicional del 25 % (Daikin, 2021).

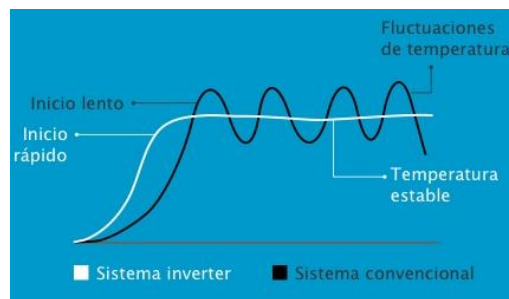
Cuando existen descensos en la temperatura ambiente, la temperatura de evaporación del refrigerante del equipo VRV tiende a subir de forma automática, dando como resultado una reducción en la potencia activa del compresor inverter y por lo consiguiente, incremento en la eficiencia energética.

#### 7.1.3.4. Ventajas de la tecnología Inverter

La tecnología inverter, debido a su principio de operación, ofrece ventajas considerables sobre los sistemas convencionales “encendido/apagado”. En la figura de la curva comparativa de temperatura, se muestra la curva de operación de un sistema inverter, como el que utiliza el sistema VRV, comparada con la curva de operación de un sistema convencional, en el cual las fluctuaciones de temperatura en el ambiente provocan varios inconvenientes; desde el incremento en el consumo de energía, hasta la falta de confort térmico para el usuario del sistema, debido a los cambios continuos en la temperatura ambiente.

La operación a temperatura estable también contribuye a mantener estables los niveles de humedad relativa dentro de los ambientes al deshumidificar de forma continua el área acondicionada. Este efecto es notable principalmente en climas cálidos y húmedos, al equilibrar de forma notable la carga de calor. Según la revista Construir (2019), los sistemas VRV, debido a la tecnología del control de refrigerante, ofrecen un notable ahorro energético, reducen sustancialmente los costos operativos y facilitan la administración de las instalaciones.

Figura 6. **Curva comparativa de temperatura.**



Fuente: Daikin©. *La tecnología inverter*. Consultado el 30 de septiembre de 2021.

Recuperado de: <https://daikinlatam.com/es/solution/inverter/>

#### **7.1.4. Tipos de sistemas VRV**

Se pueden clasificar a los sistemas de climatización VRV en sistemas de 2 tubos y sistemas de 3 tubos. Los sistemas de 2 tubos se denominan bombas de calor y a los sistemas de 3 tubos se les conoce como “*heat recovery*” o recuperadores de calor.

En los sistemas de 2 tubos, con bomba de calor, se puede configurar la operación tanto para enfriar todos los ambientes, como para calefactar a estos. Importante hacer notar que no se pueden tener en este sistema, ambientes con sistema de enfriamiento y sistema de calefacción al mismo tiempo. En los sistemas “*heat recovery*” o sistemas de 3 tubos, se puede configurar la operación para mantener ambientes con enfriamiento y ambientes con calefacción al mismo tiempo.

#### **7.1.5. Tipos de unidades interiores VRV**

Existen diferentes tipos de unidades interiores que funcionan con el sistema VRV, atendiendo a la posición de instalación, configuración de distribución del aire interior, de tipo consola decorativa para un solo ambiente o con ductos acoplados para distribución del aire en varios ambientes.

##### **7.1.5.1. Unidades interiores tipo cartucho**

Este tipo de unidad evaporadora interior tiene la particularidad de poder distribuir el aire en cuatro direcciones o de forma circular dentro del ambiente acondicionado. La capacidad de enfriamiento de estos equipos puede variar desde 9,000BTUh hasta 48,000BTUh. Algunos modelos incluyen sensor

infrarrojo de presencia de personas y sensor infrarrojo de la temperatura del piso, para el ahorro de energía.

Figura 7. **Cartucho para montaje en techo**



Fuente: Daikin©. *La tecnología inverter*. Consultado el 30 de septiembre de 2021. Recuperado de: <https://daikinlatam.com/es/product/casette-flujo-circular-sensor-movimiento-vrv/>

#### **7.1.5.2. Unidades interiores para montaje en pared**

Las unidades interiores para uso en sistema VRV del tipo montaje en pared, se utilizan principalmente para acondicionar ambientes relativamente pequeños. Los modelos existentes tienen capacidad de enfriamiento desde 9,000BTUh hasta 24,000BTUh. Poseen diseño plano y por lo general, un nivel bajo de sonido en operación, en el rango de 31 dBA hasta 47dBA. Este tipo de equipo es utilizado en áreas de oficinas, bancos y hoteles.



Figura 8. **Unidad interior para montaje en pared**



Fuente: Daikin©. *La tecnología inverter*. Consultado el 30 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://daikinlatam.com/es/product/vrv-unidad-pared/>

### **7.1.5.3. Unidades interiores con ducto**

Este tipo de unidades interiores que funcionan con el sistema VRV, tienen la capacidad de manejar alta, mediana y baja presión estática. La selección de las características de capacidad y presión estática de la unidad depende de las condiciones del diseño, espacios en entre cielo del ambiente acondicionado, capacidad de ventilación requerida, entre otros. Dado que cuentan con altura que varía entre 20 y 30 cm, pueden instalarse en espacios reducidos en el entre cielo. Están disponibles en capacidades entre 9,000BTUh y 90,000BTUH.

Figura 9. **Unidad interior con ducto de montaje en techo**



Fuente: Daikin©. *La tecnología inverter*. Consultado el 30 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://daikinlatam.com/product/vrv-slim-ceiling-mounted-duct/>

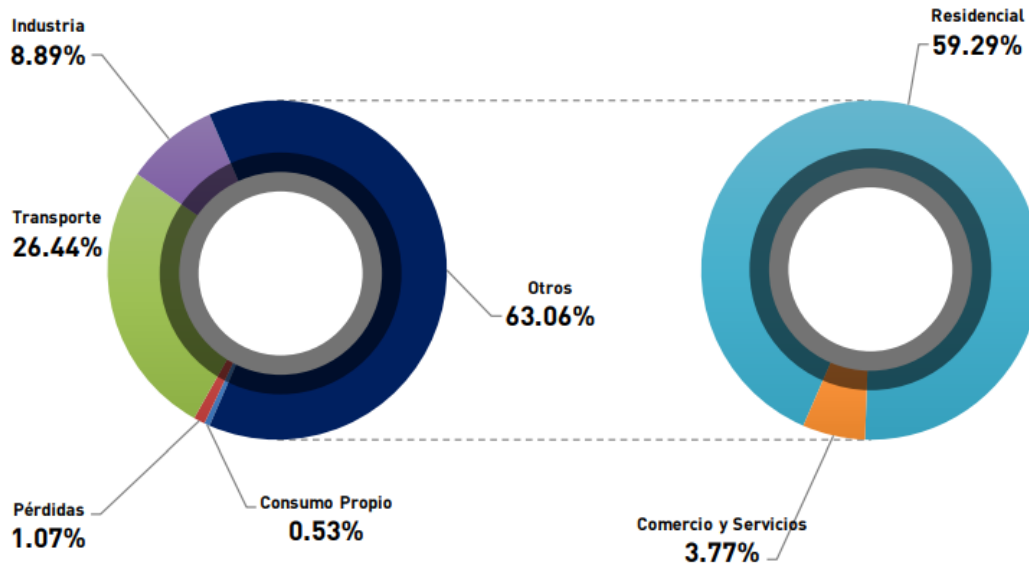
## **7.2. Consumo de energía eléctrica**

El consumo de energía eléctrica hace referencia a la energía que es utilizada para distintos usos; ejemplo de esto es la energía necesaria para fabricación en distintas áreas industriales, operación de dispositivos eléctricos y electrónicos, utilización de vehículos eléctricos, entre otra diversidad de aplicaciones; cada consumo, se mide durante un período de tiempo determinado.

### **7.2.1. Balance energético MEM**

Durante el año 2019, el consumo energético del sector Comercios y Servicios en Guatemala, finalizó con un dato de 3446.28 kBEP de un total consumido a nivel general de 91,488.15 kBEP, según lo reporta en el Balance energético 2019, MEM (2020). Este sector, donde también puede clasificarse el sector hotelero, a pesar de no ser uno de los mayores consumidores a nivel global, constituye un sector de consumo de energéticos para tomar en cuenta.

Figura 10. **Matriz de participación de los sectores consumidores de energéticos en el año 2019**



Fuente: MEM (2019). *Balance energético*.

Figura 11. **Conversiones energéticas**

CONVERSIÓN DE UNIDADES ENERGÉTICAS BÁSICAS	
1 cal	4,18 julios (J)
1 kWh (kilowatio hora)	3,6 MJ
1 kWh	1,36 CV (caballo de vapor)
1 kWh	3413 BTU
1 TEP (tonelada equivalente de petróleo)	41,8 GJ
1 TEC (tonelada equivalente de carbón)	0,7 TEP
1 GWh	223,3 TEP
1000 barriles de petróleo	132,05 TEP

Fuente: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*

### **7.2.2. Eficiencia energética y ahorro de energía**

En Guatemala, la Política Energética 2019-2050, dentro de los objetivos y acciones operativas, incluye para el subsector de comercio y servicios, “crear una estructura de calidad y eficiencia en equipos eléctricos, electrónicos y electrodomésticos para el año 2023; asimismo, la creación de un marco legal para la adopción del código eléctrico nacional de baja tensión para el año 2022”. (MEM, 2018, p.53)

Este tipo de acciones por tomar, son muy importantes para el tema de eficiencia energética a nivel local, ya que permitiría, dentro de otro tipo de acciones para optimizar el uso global de la energía de los edificios, enmarcar la utilización de equipos de climatización más eficientes y disminuir el uso desmedido de energía en sistemas de aire acondicionado con eficiencia energética muy baja.

Tal y como afirman Salazar, Bueno y Peña (2010), la Eficiencia Energética se puede definir como:

La capacidad de un equipo, instalación o proceso para realizar su función con el menor consumo energético posible; produce, entre otras, la ventaja de mayor capacidad de generación disponible, lo cual permite la utilización del sistema eléctrico para otros usos; menor desperdicio de energía y disminución de contaminantes. (p.2)

Asimismo, Salazar, Bueno y Peña (2010), Se refieren al ahorro de energía como:

La disminución del consumo de energía primaria de un centro de consumo de energía, por la implementación de medidas técnicas y no técnicas. Aplicando estos conceptos en la gestión energética de la empresa, se incrementa su productividad y competitividad. (p.2)

Tanto la eficiencia como el ahorro de energía son factores determinantes que deben ser tomados en cuenta para establecer de mejor forma las implicaciones sobre la gestión energética del edificio objeto de estudio, que conlleva implementar un sistema de tecnología actualizada en climatización. En este, caso el VRV.

### **7.2.3. Eficiencia Energética EER**

El término EER, Energy Efficiency Ratio (índice de eficiencia energética), “es un valor que muestra la eficiencia de un sistema a la capacidad de carga máxima. Es el cociente entre la potencia de refrigeración y la potencia eléctrica absorbida” (Daikin Aplicado, 2019).

Este índice, es un indicador válido utilizado para determinar la capacidad de refrigeración que un equipo entrega y la potencia absorbida de la red eléctrica, en BTU/Wh. El inconveniente con este índice es que sirve únicamente cuando el equipo funciona al 100 %, lo cual constituye un valor aproximado del 2 % al 5 % del tiempo total de operación. No es funcional para determinar parámetros de los sistemas de volumen de refrigerante variable.

### **7.2.4. Parámetros de eficiencia en sistemas VRV (IEER)**

Los sistemas de Volumen de Refrigerante Variable son más eficientes cuando operan a diferentes niveles de carga. Esta modalidad de operación

requiere de una calificación de eficiencia diferente al que se puede medir con el EER. Basado en esa conjetura, surge el “índice de eficiencia energética integrado”, o (“Integrated Energy Efficiency Ratio”, IEER), el cual considera la eficiencia real de los equipos de climatización que operan tanto con carga total como a cargas parciales.

El Índice de eficiencia energética integrado (IEER) se desarrolló recientemente para abordar la eficiencia real de los equipos HVAC que operan a diferentes niveles de carga. Esta relación tiene en cuenta las eficiencias tanto a plena carga como a carga parcial. Lo hace ponderando los valores de EER en diferentes capacidades de carga y sumándolos. Las ponderaciones de IEER en la fórmula se basan en el número aproximado de horas que una unidad pasa en cada punto de carga durante su vida útil. (Daikin, 2021)

Los cuatro puntos de calificación a condiciones de condensador observadas durante esos puntos de carga (100 %, 75 %, 50 % y 25 %), están definidos en la Norma AHRI 1230, Estándar 2014, para la calificación de Rendimiento de Flujo de Refrigerante Variable, Aire acondicionado Multisplit y equipos de bomba de calor.

La clasificación IEER requiere que la eficiencia de la unidad se determine al 100 %, 75 %, 50 % y 25 % de carga en las condiciones especificadas en temperatura exterior (80 °F bulbo seco y 67 °F bulbo húmedo) y en el flujo de aire nominal de carga parcial, si es diferente del flujo de aire nominal de carga completa. (AHRI, 2014, p.19)

Según AHRI (2014), para los equipos cubiertos por esta norma, el IEER se calculará según resultados de los datos de prueba y la ecuación definida a continuación:

Tabla I. **Ecuación de cálculo del IEER**

---

$$\text{IEER} = (0.020 \cdot A) + (0.617 \cdot B) + (0.238 \cdot C) + (0.125 \cdot D)$$

---

A = EER al 100 % de su capacidad en las condiciones de calificación estándar de AHRI

B = EER al 75 % de capacidad y temperatura reducida del condensador

C = EER al 50 % de capacidad y temperatura reducida del condensador

D = EER al 25 % de capacidad y temperatura reducida del condensador

---

Fuente: elaboración propia con datos de AHRI, realizado con Microsoft Excel©

### **7.3. Impactos en el medio ambiente**

Se han realizado diversos estudios para analizar el impacto ambiental que genera la producción de energía eléctrica, principalmente los impactos provocados en la generación utilizando recursos no renovables, en el entendido de que también la generación de energía proveniente de fuentes renovables genera impactos ambientales, pero en menor escala.

Algunos de estos estudios están basados en el método de “Análisis de Ciclo de Vida, (ACV)”;

por medio del cual se estima y evalúa el impacto en el ambiente que provoca cierto servicio o producto, durante todo el ciclo de vida. A esto se conoce como huella ecológica. “Todas las actividades o procesos provocan impactos medioambientales, consumen recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su vida”. (Desarrollo Sustentable, 2019, p.1)



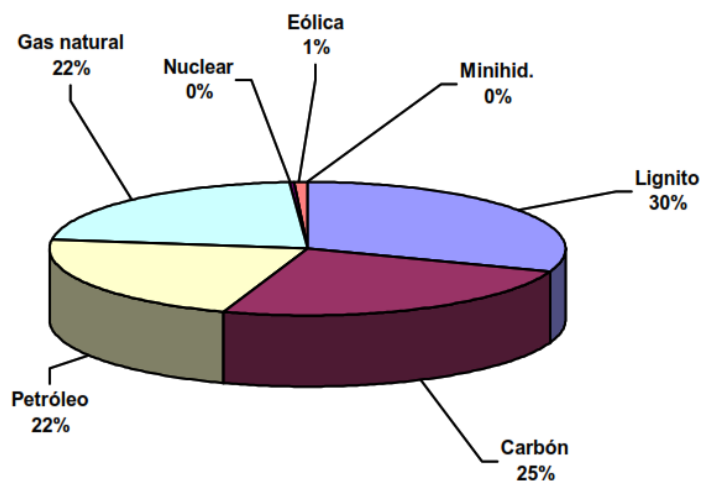
Dentro de los impactos ambientales de mayor relevancia, enmarcados en los resultados de estudios previos, se pueden mencionar al calentamiento global, la disminución de la capa de ozono, metales pesados, agotamiento de recursos energéticos, entre otros.

### 7.3.1. El calentamiento global

Según estudios realizados por la Asociación de productores de energías renovables, APPA (2014),

Los sistemas térmicos basados en combustible fósiles lignito, carbón, petróleo y gas natural, contribuyen al 99 % del calentamiento global provocado por las tecnologías de generación de electricidad. La causa de ello radica en sus emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano, provocadas durante las fases de transporte y combustión. (p.18)

Figura 12. **Contribución de los sistemas energéticos al calentamiento global**

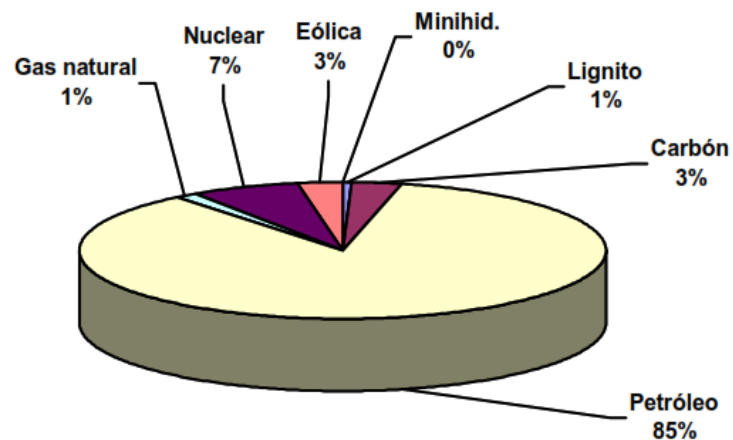


Fuente: APPA (2014). *Impactos ambientales de la producción de energía eléctrica.*

### 7.3.2. Disminución de la capa de ozono

El sistema térmico basado en el petróleo es el principal responsable, entre las tecnologías de generación de electricidad, de la disminución de la capa de ozono a causa de sus emisiones de halones y clorofluorocarbonos (CFC), dos sustancias usadas como retardadores de llama y aditivos del combustible. (APPA, 2014, p.19)

Figura 13. **Contribución de los sistemas energéticos a la disminución de la capa de ozono**



Fuente: APPA (2014). *Impactos ambientales de la producción de energía eléctrica.*

### 7.3.3. Gases de efecto invernadero (GEI)

El problema actual, radica en que los gases existentes en la atmósfera, denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI), reflejan el calor hacia superficie terrestre de forma excesiva y son responsables del aumento de la

temperatura de la atmósfera, provocado por los agujeros existentes en la capa de ozono, los cuales permiten radiaciones excesivas de rayos ultravioleta.

Según Benavidez y León (2007), los GEI “son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes”. (p.36)

“En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>)”. (Ministerio de Energía y Minas -MEM-, 2018, p.39). De forma antropológica, existen otros GEI que afectan la atmósfera, dentro de los cuales podemos mencionar a los hidrofluorocarbonos (HFC), utilizados en los sistemas de climatización.

El Dióxido de carbono, conocido como CO<sub>2</sub>, se desprende por la quema de gas, carbón y petróleo, y tiene la propiedad de retener los rayos infrarrojos, por lo que la quema de combustibles provocada por la acción antropogénica contribuye a aumentar la temperatura de la tierra. Climatización de edificios, antracita, hulla de centrales térmicas para producción de energía eléctrica, incendios forestales y gas, son los responsables del 70 % de las emisiones de CO<sub>2</sub>, según afirma Escoda (s.f.).

### **7.3.3.1. Emisiones de gases de efecto invernadero, sector energético nacional**

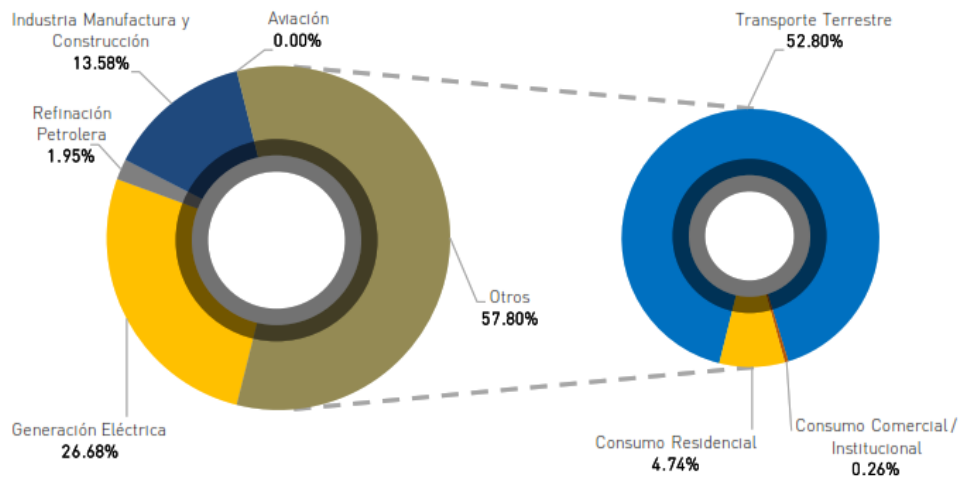
Según la Política Energética de Guatemala 2019-2050 (Ministerio de Energía y Minas -MEM-, 2018), “Guatemala se encuentra entre los 10 países más vulnerables ante los efectos del cambio climático, aunque este no sea uno de los

países que produce más emisiones de Gases de Efecto Invernadero”. Se define al CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) como “la concentración de CO<sub>2</sub> que produciría el mismo nivel de forzamiento radiactivo que una mezcla dada de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero”. (p.13)

Asimismo, en el Balance Energético 2019, MEM (2020), se dan a conocer valores importantes acerca de la producción de GEI; el informe indica que “durante el año 2019 se produjeron 23.13 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e, de las cuales el 46.42 % corresponden al transporte terrestre y el 23.45 % corresponden a las actividades de generación eléctrica”. (p.13)

El consumo de energía de los sistemas de climatización contribuye en mayor porcentaje con las emisiones de GEI cuando la fuente de generación eléctrica proviene de combustibles fósiles y otros recursos no renovables como el carbón mineral. Es importante maximizar el ahorro de energía utilizado por la operación de estos equipos, para minimizar las emisiones en este sector.

Figura 14. **Emisiones de GEI en (%), sector energético, año 2019**



Fuente: MEM (2019). *Balance energético*.

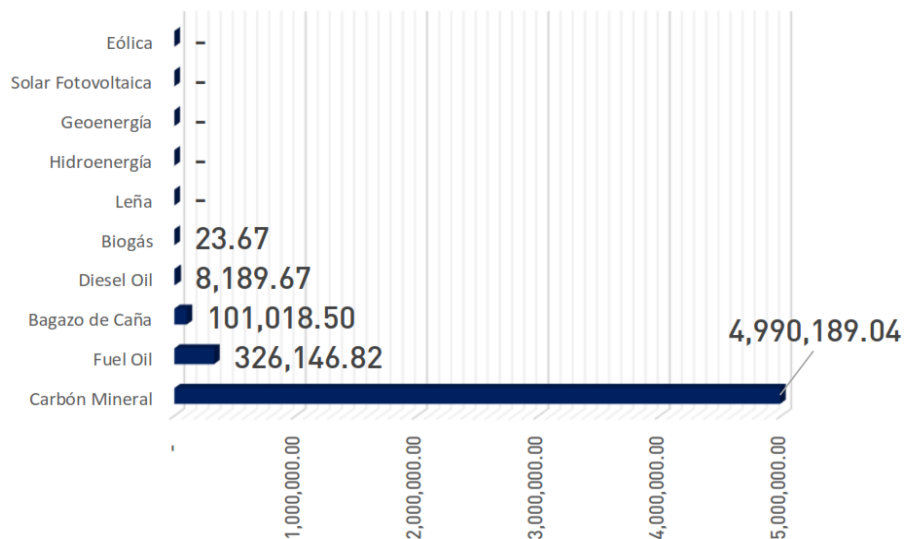
### 7.3.3.2. Coeficientes de emisión

Tal y como se especifica en el Balance Energético 2019:

Los coeficientes de emisión del sector eléctrico en Guatemala son indicadores de eficiencia que determinan la cantidad de emisiones de GEI liberadas por la generación o consumo de energía eléctrica. El cálculo de los coeficientes de emisión se realiza en función del total de emisiones de GEI por cada tipo de combustible, expresadas en CO<sub>2</sub>e, y su relación con la generación eléctrica total producida por cada uno de estos. (Ministerio de energía y Minas -MEM-, 2020, p.14)

Sus dimensionales son: Coeficiente de emisión = Kg CO<sub>2</sub>e / kWh

Figura 15. **Emisiones de GEI en la generación eléctrica de Guatemala, en TCO<sub>2</sub>e**



Fuente: MEM (2019). *Balance energético*.

### 7.3.3.3. Factor de Red (TCO<sub>2</sub>/kWh)

El Balance Energético 2019, MEM (2020), define al Factor de Red como “la proporción cuantitativa que determina la cantidad de emisiones de GEI liberadas por el consumo de energía eléctrica de la red nacional”. (p.16)

Tabla II. **Factor de emisión de GEI, en la red eléctrica nacional**

Por energía consumida	Kg CO <sub>2</sub> e / kWh
Factor de Emisión (Red)	0.3913

Fuente: MEM (2019). *Balance energético*.

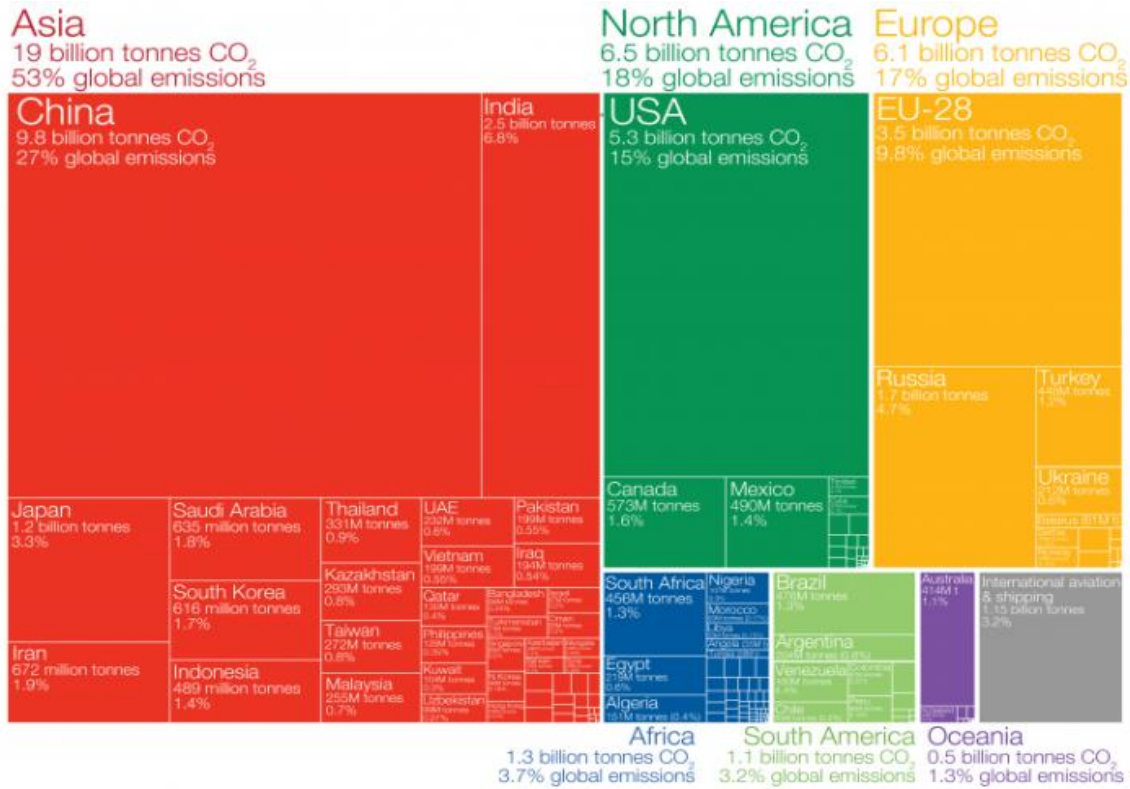
### 7.3.3.4. Emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial

En Guatemala, durante el año 2019, el total de emisiones de GEI fue de 23.13 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e, según el “Balance Energético del Ministerio de Energía y Minas”. Aunque este dato es de valor mínimo comparado con las emisiones a nivel mundial, las cuales sobrepasaron las 36.7 billones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el año 2017, es importante contribuir en lo que esté a nuestro alcance con la reducción de estas emisiones y evitar desastres futuros generados por el cambio climático.

## 7.4. Área de estudio

“Una habitación de hotel mal climatizada representaría un mal marketing de boca en boca. El propietario debe impulsar los más altos estándares de calidad de aire interior para los ocupantes a través de equipos eficientes, instalaciones de calidad y revisión regular de los sistemas”. (Mundo HVACR, 2021)

Figura 16. Emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial. Año 2017



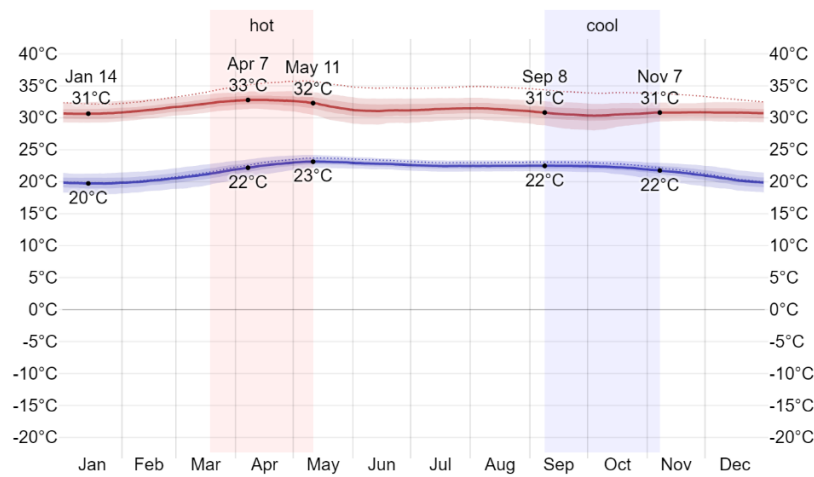
Fuente: *Nuestro mundo en datos*. Consultado el 30 de septiembre de 2021. Recuperado de: <https://ourworldindata.org/annual-co2-emissions>

#### 7.4.1. Condiciones de ambiente exterior en el área de estudio

La temperatura ambiente en el sector geográfico de estudio define un factor importante para la selección de los equipos de climatización. Con base en la temperatura del ambiente exterior, sumado a otros parámetros importantes, se define la capacidad y configuración de los equipos de climatización. Otro factor importante, es la humedad relativa.

Según Weatherspark (2021), Retalhuleu mantiene una temporada de lluvias dominante y nublada; por el contrario, la temporada seca se torna asfixiante y por lo general despejada. Durante todo el año predomina el calor, y la temperatura comúnmente varía entre 20 °C y 33 °C. De vez en cuando es inferior a 18 °C o superior a 34 °C. Asimismo, experimenta una variación estacional significativa en la humedad percibida. El período más húmedo del año dura de 9 a 7 meses, del 3 de marzo al 25 de diciembre, tiempo durante el cual el nivel de comodidad es asfixiante, opresivo o insoportable al menos el 69 % del tiempo.

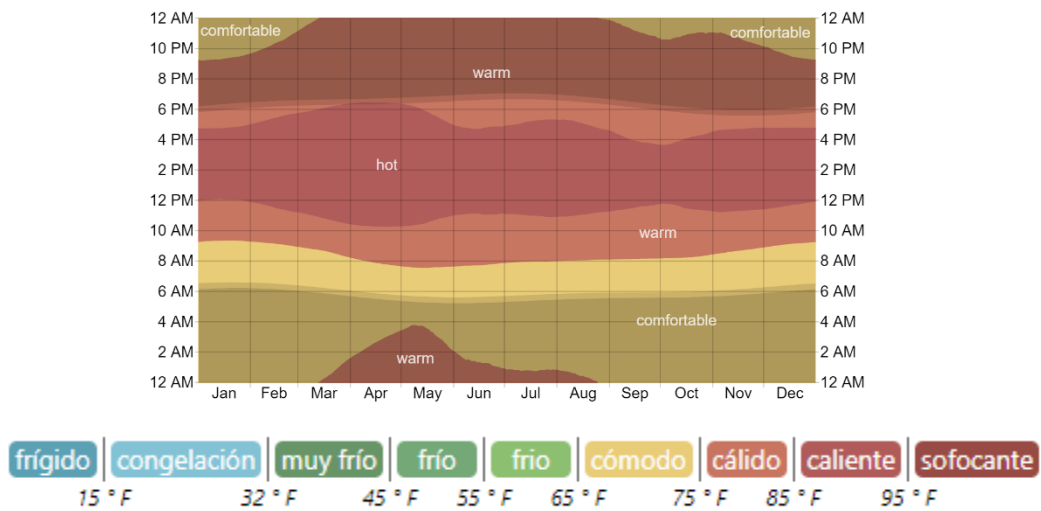
Figura 17. Promedio de temperatura en Retalhuleu



Fuente: Weatherspark.com. Clima en Retalhuleu. Consultado el 07 de noviembre de 2021.  
 Recuperado de: <https://weatherspark.com/h/y/11182/2020/Historical-Weather-during-2020-in-Retalhuleu-Guatemala#Figures-Temperature>



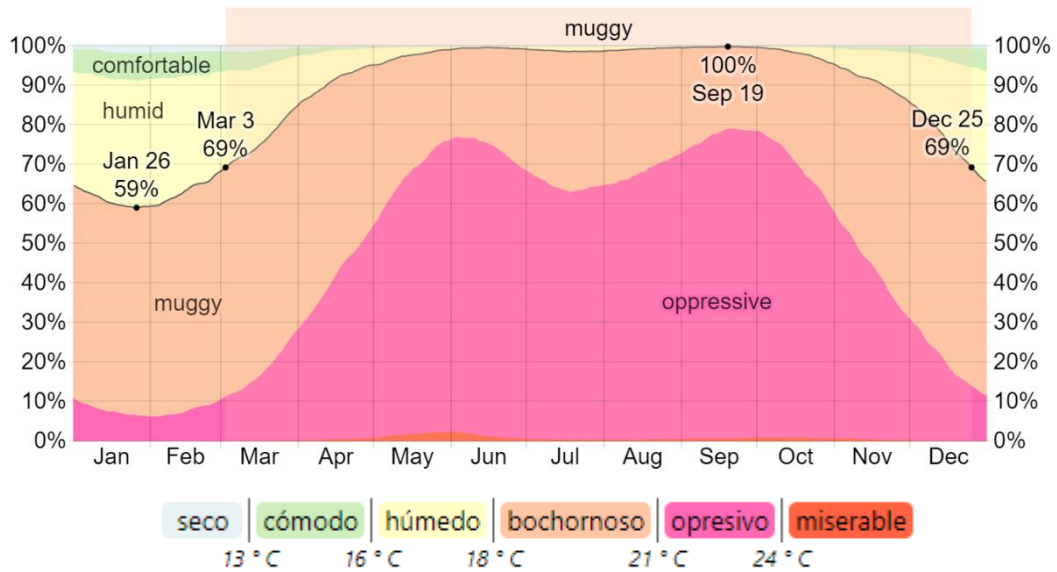
Figura 18. Temperatura por hora en Retalhuleu



Fuente: Weatherspark.com. Clima en Retalhuleu. Consultado el 07 de noviembre de 2021.  
 Recuperado de: <https://weatherspark.com/h/y/11182/2020/Historical-Weather-during-2020-in-Retalhuleu-Guatemala#Figures-Summary>

El nivel de confort de la humedad está basado en el punto de rocío, el cual determina si la transpiración se evaporará de la piel, enfriando así el cuerpo. Los puntos de rocío más bajos se sienten más secos y los puntos de rocío más altos se sienten más húmedos. A diferencia de la temperatura, que suele variar significativamente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, por lo que, si bien la temperatura puede bajar por la noche, un día húmedo suele ir seguido de una noche húmeda. (Weatherspark, 2021)

Figura 19. Niveles de comodidad de la humedad en Retalhuleu



Fuente: Weatherspark.com. Clima en Retalhuleu, Consultado el 07 de noviembre de 2021.  
 Recuperado de: <https://weatherspark.com/y/11182/Average-Weather-in-Retalhuleu-Guatemala-Year-Round>

Datos importantes acerca del clima en Retalhuleu, lugar con clima cálido, humedad relativa alta y temperaturas que no varían considerablemente durante el año, son necesarios a considerar para efectos de seleccionar de mejor forma el equipo de climatización que funcione en condiciones de operación óptimas.



## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Estudios previos (recientes)

1.1 Antecedentes

### 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Climatización

2.1.1. Energía utilizada para la climatización

2.1.2. Sistemas climatización por medio de enfriamiento de agua

2.1.3.1. Unidades enfriadoras de agua

2.1.3.2. Unidades fan-coil

2.1.3. Sistemas de climatización VRV

2.1.3.1. Tecnología inverter

2.1.3.2. Carga operacional

- 2.1.3.3. Temperatura de refrigerante variable (VRT)
    - 2.1.3.4. Ventajas de la tecnología inverter
  - 2.1.4. Tipos de sistemas VRV
  - 2.1.5. Tipos de unidades interiores VRV
    - 2.1.5.1. Unidades interiores tipo cartucho
    - 2.1.5.2. Unidades interiores para montaje en pared
    - 2.1.5.3. Unidades interiores con ducto
- 2.2. Consumo de energía eléctrica
  - 2.2.1. Balance energético de MEM
  - 2.2.2. Eficiencia energética y ahorro de energía
  - 2.2.3. Eficiencia Energética EER
  - 2.2.4. Parámetros de eficiencia en sistemas VRV (IEER)
- 2.3. Impactos en el medio ambiente
  - 2.3.1. El calentamiento global
  - 2.3.2. Disminución de la capa de ozono
  - 2.3.3. Gases de efecto invernadero (GEI)
    - 2.3.3.1. Emisiones de GEI, sector energético nacional
    - 2.3.3.2. Coeficientes de emisión
    - 2.3.3.3. Factor de Red (TCO<sub>2</sub>/kWh)
    - 2.3.3.4. Emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial
- 2.4. Área de estudio
  - 2.4.1. Condiciones ambiente exterior área de estudio

### 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Características del estudio

- 3.1.1 Diseño
- 3.1.2 Enfoque
- 3.1.3 Alcance
- 3.1.4 Unidades de análisis
- 3.2. Variables
- 3.3. Fases del estudio.
  - 3.3.1. Fase 1: Revisión documental
  - 3.3.2. Fase 2: Cálculo del sistema VRV con software Xpress®
  - 3.3.3. Fase 3: Análisis de Consumo de energía
  - 3.3.4. Fase 4: Consumo de energía, sistema de AAC actual
  - 3.3.5. Fase 5. Análisis del Impacto Ambiental
- 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
  - 4.1. Descripción del escenario analizado
  - 4.2 Consumo de energía del sistema actual de climatización
  - 4.3. Consumo de energía de un sistema VRV en operación
  - 4.4. Impacto ambiental
  - 4.5. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## 9. METODOLOGÍA

La metodología que se utiliza en una investigación es una de las partes fundamentales del estudio, ya que en esta parte se determina la forma en la que se va a realizar la recolección, el ordenamiento y posterior análisis de la información de forma estructurada y sistemática, para luego presentar y discutir los resultados obtenidos.

Según Balestrini (2006), el marco metodológico tiene como finalidad lo siguiente:

Situar en el lenguaje de investigación, los métodos e instrumentos que se emplearán en la investigación planteada, desde la ubicación acerca del tipo de estudio y el diseño de investigación; su población, muestra, los instrumentos y técnicas de recolección de los datos; medición hasta la codificación, análisis y presentación de los datos. (p.126)

### 9.1. Características del estudio

Dado que se plantea realizar el Análisis de la implementación de un sistema de volumen de refrigerante variable para la reducción del consumo de energía e impacto ambiental del sistema de climatización *en un hotel*, se procederá a realizar un estudio basado en la teoría positivista; el enfoque a utilizar es del tipo cuantitativo, basado en investigaciones previas. El diseño de la investigación es del tipo no experimental: con lógica deductiva, para llegar a los datos a partir de las leyes.



Según Hernández, Fernández, & Baptista (2014), es el mismo investigador quién debe plantear su problema de investigación, definiendo sus objetivos y preguntas; asimismo, estos autores definen una investigación cuantitativa no experimental de la forma siguiente:

Es la que se realiza sin manipular variables deliberadamente. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural. (p.152)

En el estudio planteado, no existe una manipulación intencionada de las variables, tanto del consumo de energía de los motores inverter y compresores inverter del sistema de climatización, como del impacto ambiental que produce la generación de energía eléctrica con combustibles líquidos de fuentes no renovables. Se realizará la observación del comportamiento de las variables mencionadas, para luego proceder a revisar los datos obtenidos y hacer una descripción de su comportamiento e incidencia tanto sobre la totalidad de la energía consumida y por ende en los costos de operación del hotel, como en el medio ambiente. Estos datos, luego de ser observados, tabulados y analizados, servirán de base para plantear los resultados y su posterior discusión.

El alcance de la investigación es del tipo descriptivo. Hernández, Fernández y Baptista (2014), conceptualizan una investigación descriptiva de la siguiente forma:

Especifica las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger

información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (p.92)

## **9.2. Unidad de análisis**

El objeto o población de estudio es el sistema de climatización de un complejo del área hotelera, ubicado en el departamento de Retalhuleu, Guatemala; a una altura promedio de 232 m s.n.m. El hotel está integrado por 10 edificios que contienen un total de ciento cincuenta y tres (153) habitaciones. Tiene instalado, desde su construcción, un sistema de climatización integrado por un equipo de aire acondicionado central denominado “Unidad enfriadora de Agua”. Utiliza dos (2) bombas de recirculación de agua, las cuales funcionan con caudal fijo y el tipo de arranque es directo (sin rampa). Distribuidas dentro de las habitaciones, tiene más de 200 unidades de enfriamiento de aire del tipo “fan-coil”.

El cambio de tecnología propuesto implica el análisis de la implementación de 10 condensadores del tipo VRV y 239 unidades de distribución de aire del tipo “pared alta” de expansión directa.

## **9.3. Variables**

Las variables objeto del presente estudio se presentan a continuación para determinar de forma operacional el significado de cada una de ellas en la investigación; esto, servirá de base para identificar los datos empíricos y poder expresarlos en términos de “medidas”.

- Definición teórica

Según Kerlinger y Lee (2002), una definición teórica o conceptual se refiere a “las definiciones de diccionarios o de libros especializados”. (p.37)

Tabla III. **Matriz de operacionalización de variables**

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>
<b>Consumo de energía</b>	Gasto total de energía, que se utiliza para llevar a cabo un proceso determinado o un trabajo; es toda la energía que se consume con la operación de las instalaciones y el proceso productivo.	Medición de la demanda gradual de potencia en kW y corriente eléctrica en kWh, obtenidos de la red del Sistema Nacional Interconectado para facilitar la operación de motores y equipos en general.
<b>Impacto ambiental</b>	Causa o resultado de una actividad o la intervención humana, que genera un efecto sobre los ecosistemas naturales; supone una ruptura del equilibrio ambiental o una alteración en el medio ambiente.	Medición cuantitativa del impacto ambiental en KgCO <sub>2</sub> e/kWh referente a la cantidad de emisiones de GEI liberadas por el consumo de energía eléctrica de la red nacional.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel©

- Definición operacional

La definición operacional constituye el conjunto de procedimientos que describen las actividades que un observador debe realizar para recibir las impresiones sensoriales, las cuales indican la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado, tal como lo expresa Reynolds (como se citó en Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Por su parte, Kerlinger y Lee (2002), enfatizan que “una definición *operacional* asigna significado a un constructo o

variable al especificar las actividades u “operaciones” necesarias para medirlos y evaluar la medición; constituye una especificación de las actividades del investigador para medir una variable o para manipularla”. (p.37)

#### **9.4. Fases del estudio**

Para el estudio del tipo cuantitativo no experimental planteado, el proceso de recolección de información se realizará en 5 fases:

##### **9.4.1. Fase 1: Revisión documental**

Como base fundamental de la investigación, se procederá a realizar la revisión bibliográfica de varios estudios realizados previamente, relacionados con el objeto estudiado, para tener una visión amplia de la metodología utilizada por otros autores, así como de los resultados que han obtenido. La exploración bibliográfica se realizará de forma global y local para enriquecer el marco referencial que sirva de base para posterior discusión de resultados.

##### **9.4.2. Fase 2: Cálculo del sistema VRV con software Xpress®**

Se realizarán en esta fase, las selecciones de equipos VRV utilizando el software Xpress® para determinar las características técnicas de los equipos que mejor se adapten al objetivo de ahorro de energía del hotel. Las selecciones incluyen características físicas, capacidades de enfriamiento, características eléctricas, esquema de distribución de tuberías y la ubicación propuesta de unidades condensadoras y unidades interiores; asimismo, la cantidad de refrigerante que se utilizará, el tipo de derivaciones y/o cajas de distribución de

refrigerante en el sistema de tuberías y otras especificaciones que tengan influencia directa con la eficiencia energética del sistema.

### 9.4.3. Fase 3: Análisis del consumo de energía

Para la recolección de datos de la potencia activa y la energía consumida, se utilizará la técnica de observación, medición y documentación de los datos, haciendo uso de fichas de observación del comportamiento de la variable en análisis; la ficha contendrá las características eléctricas principales del equipo instalado en campo, el cual servirá de muestra. Se utilizará, para realizar las mediciones, un instrumento que ha demostrado ser válido y confiable en estudios previos denominado “medidor de calidad de energía”, el cual mantendrá una recopilación automática y constante de datos de la potencia y energía demandadas por el condensador VRV en operación. El instrumento será programado para toma de datos a cada 5 minutos durante 1 a 2 semanas.

Tabla IV. **Ficha de registro de datos para consumo de energía**

<b>Investigador</b>					
<b>Empresa</b>					
<b>Ubicación</b>					
<b>Tipo de equipo:</b>					
<b>Modelo:</b>			<b>Capacidad:</b>		
<b>Potencia en placa:</b>			<b>Datos eléctricos:</b>		
<b>Período:</b>					
No.	Fecha	Hora	Amperios (A)	Potencia (kW)	Energía (kWh)

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel©

Figura 20. **Analizador de calidad de energía**



Fuente: Dranetz©. *Medidores de calidad de energía*. Consultado el 02 de octubre de 2021.  
Recuperado de: <https://www.dranetz.com/wp-content/uploads/2017/04/Dranetz-General-Product-Catalog.pdf>

Dado que el equipo de medición es especializado, previo al uso de este, será necesario obtener el adiestramiento y capacitación en el uso correcto y, si fuese necesario, solicitar el apoyo de un profesional de la rama de instrumentación de análisis de calidad de energía para garantizar la correcta y confiable recolección de datos.

#### **9.4.4. Fase 4: Consumo de energía, sistema de AAC actual**

En esta fase, se procederá a realizar el análisis de la totalidad de energía consumida por el sistema actual de climatización; para el efecto se utilizarán los datos de consumo de energía y potencia activa recopilados por un medidor de

calidad de energía marca Dranetz©. Con el análisis comparativo posterior, se determinará la cantidad de energía ahorrada en kWh. Para homologar las mediciones, se tomará el parámetro de energía consumida por cada tonelada de refrigeración en similares condiciones de operación.

#### **9.4.5. Fase 5. Análisis del Impacto Ambiental**

El análisis del impacto ambiental derivado del cambio de tecnología propuesto se realizará basado en el cálculo de la reducción de emisiones de GEI, tomando de referencia el Factor de Red, en kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente por energía consumida en kWh de la red nacional (KgCO<sub>2e</sub>/kWh). El parámetro que se utilizará estará basado en los datos del Balance Energético 2019 del Ministerio de Energía y Minas (MEM). Al igual que en la fase de análisis del sistema de climatización actual, se utilizará el parámetro de energía consumida por cada tonelada de refrigeración.

#### **9.5. Muestra**

La población de estudio está constituida por 10 módulos de condensadores de aire acondicionado y 239 unidades interiores, los cuales constituyen la totalidad de los equipos necesarios para cubrir el requerimiento de climatización del hotel objeto de investigación, el cual, como se ha indicado anteriormente, cuenta con la totalidad de 10 edificios.

Hernandez & Carpio (2019), definen a la muestra como “el subconjunto del universo o una parte representativa de la población, conformada a su vez por unidades muestrales que son los elementos objetos de estudio”. (p.76)

Dado que se realizarán mediciones en campo del comportamiento de la variable Consumo de Energía, durante 1 a 2 semanas, se utilizará como objeto de estudio para el efecto un sistema VRV actualmente en operación. En este sistema instalado, se procederá a la observación, según el procedimiento descrito en la fase de análisis de la variable consumo de energía.

## **9.6. Resultados esperados**

Como resultados esperados del estudio, se pretende el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados. En el caso del análisis de los factores que influyen en la reducción del consumo de energía del sistema de climatización VRV, se espera que las mediciones realizadas y los resultados proporcionen la información necesaria para describir de forma clara la incidencia de la tecnología nueva sobre el consumo de energía del hotel.

Al analizar de forma asociativa la relación que existe entre la variación de demanda de potencia activa del sistema VRV y el consumo de energía eléctrica, se espera describir si existe relación significativa entre las mismas y su influencia sobre el consumo de energía. De la misma forma, se pretende hacer una descripción cuantitativa concreta de los beneficios en los costos de operación, la eficiencia energética y en el medio ambiente que pueden alcanzarse con el cambio a tecnología VRV, en el sistema de climatización del Hotel.

Con la información recopilada, tabulada y analizada se podrá realizar la discusión de todos los resultados obtenidos y compararlos con algunos resultados previos de otras investigaciones. En general, se espera que los resultados obtenidos puedan evidenciar la medida en que se resuelve el problema planteado a través de la solución propuesta en la presente investigación.





## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

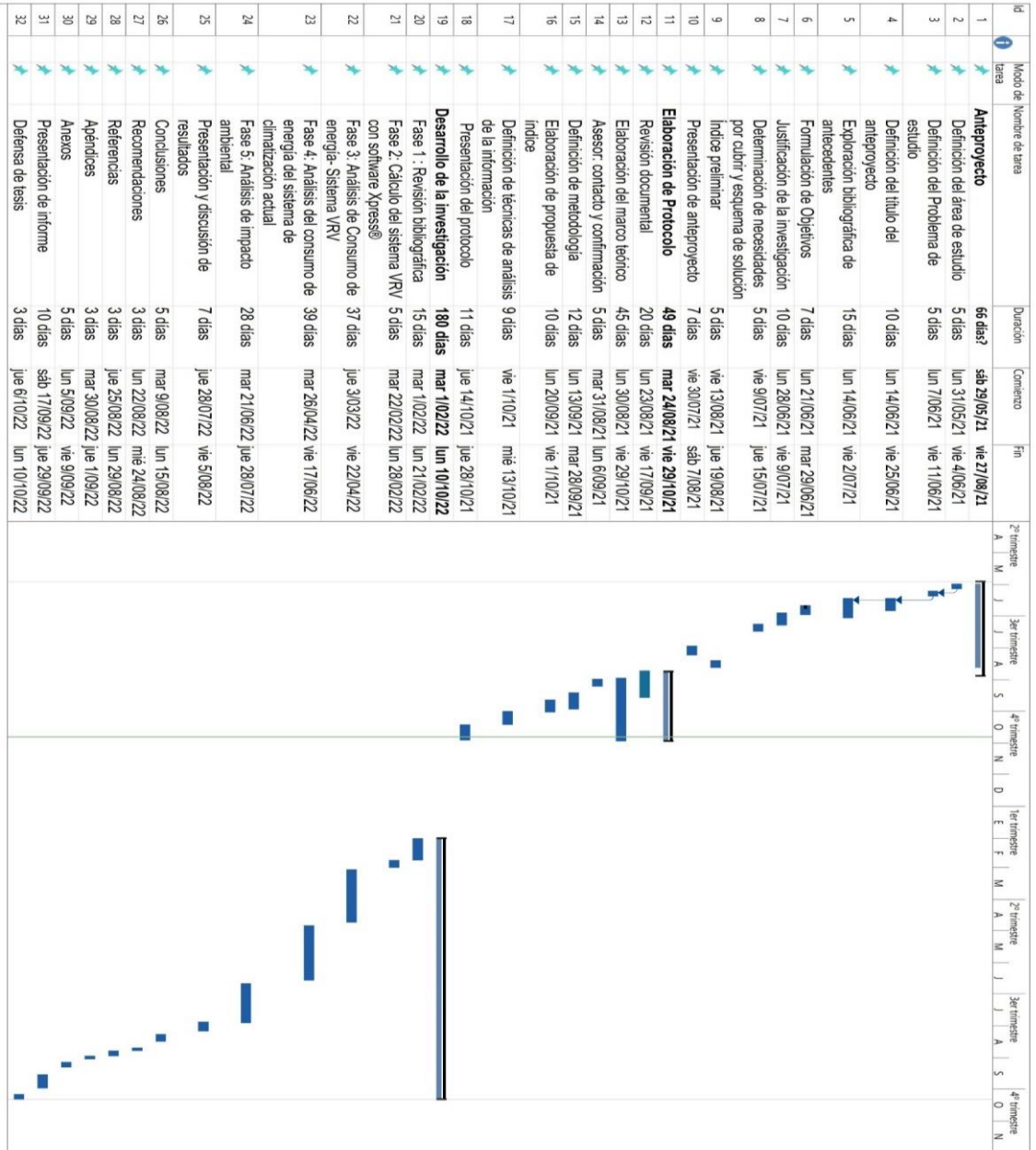
Posterior al proceso de recolección de datos, es necesario establecer la forma en la que se realizará el análisis de la información. Basado en el tipo de investigación cuantitativa no experimental, se utilizará la estadística descriptiva como herramienta de análisis y la interpretación de la información previamente recolectada y tabulada.

Se analizarán medidas de tendencia central: análisis de frecuencias, media, mediana y moda; asimismo las medidas de variabilidad desviación estándar y varianza. Los cálculos serán realizados utilizando una hoja electrónica y herramientas de análisis de datos. Se utilizarán las gráficas que se adapten a una presentación clara de los análisis realizados y los resultados obtenidos, principalmente gráficos de series de tiempo.

La estadística descriptiva se utiliza principalmente para el análisis de datos cuantitativos, como los contenidos en el estudio objeto de la presente investigación. Según López (2019), “es una disciplina que tiene por objetivo recoger, almacenar, ordenar, realizar tablas o gráficos y calcular parámetros básicos como medidas de tendencia central o medidas de dispersión, sobre el conjunto de datos”. (p.1)



# 11. CRONOGRAMA



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project®



## **12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

Aspectos importantes para considerar en la realización del estudio, son la factibilidad y/o la viabilidad para llevarlo a cabo, ya que la disponibilidad de tiempo, recursos humanos y recursos tecnológicos resulta indispensable para el desarrollo de las fases de investigación. Asimismo, el acceso a la información, los permisos de ingreso a instalaciones objeto de estudio y el equipo necesario para recopilación de datos, en conjunto, constituyen la mayoría de los recursos a los que se debe prever tener acceso. Por último, y no menos importante, los recursos financieros o fuentes de financiamiento, también constituye base importante para el alcance de la investigación.

### **12.1. Recursos humanos**

Como parte fundamental para la realización de la presente investigación, se tiene considerado el apoyo de varias personas que formarán parte del equipo que realizará diferentes actividades, de acuerdo con las necesidades de las fases contenidas en el estudio: el investigador, el ingeniero asesor de tesis, así como personal técnico de apoyo proporcionado por el departamento de refrigeración y electricidad del hotel objeto de estudio para proporcionar el acceso a las áreas de recopilación de datos.

### **12.2. Recursos financieros**

El financiamiento para la realización de las diferentes fases del estudio se realizará inicialmente con fondos proporcionados por el investigador; posteriormente, se contará con el apoyo de una empresa privada que

proporcionará financiamiento para el equipo de medición de potencia y energía consumida. Adicionalmente, la administración del hotel analizará el alcance del apoyo que proporcionará en el tema de viáticos y hospedaje durante el tiempo del montaje del equipo de medición y recopilación de información.

### 12.3. Inversiones y fuentes de financiamiento

Para realizar el estudio propuesto, es necesario contar con fuentes de financiamiento que permitan cubrir todos los gastos de transporte, combustibles, viáticos, equipo, tecnología y otros. Asimismo, cubrir los honorarios de profesionales, técnicos y recursos humanos en general. Un listado de las inversiones principales se detalla a continuación:

Tabla V. **Inversiones por realizar en el estudio**

<b>Estimación de las inversiones proyectadas</b>	
<b>Recurso por utilizar</b>	<b>Costo estimado (Q)</b>
<b>Investigador</b>	12,000.00
<b>Asesor</b>	2,500.00
<b>Personal técnico de apoyo</b>	1,500.00
<b>Analizador de energía</b>	10,000.00
<b>Transporte</b>	2,000.00
<b>Viáticos</b>	750.00
<b>Computadora portátil</b>	6,000.00
<b>Impresora</b>	1,400.00
<b>Imprevistos</b>	3,500.00
<b>TOTAL</b>	<b>39,650.00</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel©

#### **12.4. Acceso a la información**

En el tema de acceso a la información, se cuenta con las herramientas necesarias para realizar la revisión bibliográfica previa y durante la realización de todas las fases de la investigación, principalmente de bibliotecas virtuales a través de internet, bibliotecas virtuales, plataformas para búsqueda de artículos científicos y otros. No constituye ninguna barrera para completar el estudio propuesto.

#### **12.5. Permisos**

Dado que el tema de investigación es de interés para el hotel analizado, se han realizado las gestiones necesarias con el personal administrativo y operativo del hotel; a la fecha actual, se cuenta con la autorización de ingreso y de permanencia en las áreas de instalaciones especiales de aire acondicionado, para realizar el desarrollo de las fases de estudio correspondientes. Los permisos solicitados ya fueron autorizados.

#### **12.6. Equipos**

Como instrumento principal para recopilación de datos, se necesita un medidor de calidad de energía. Se cuenta con apoyo de empresa privada para tener al alcance este equipo.

#### **12.7. Infraestructura**

El hotel donde se encuentra instalado el equipo VRV que servirá para realizar los estudios, cuenta con los espacios necesarios para instalar equipo de medición y resguardarlo durante el tiempo estipulado. Asimismo, las áreas para



la toma de datos son accesibles, están debidamente ordenadas e identificadas. Se cuenta con las autorizaciones necesarias para movilizarse dentro de las instalaciones para obtener de mejor forma la información necesaria y realizar la recopilación de datos.

### **12.8. Recursos tecnológicos**

En cuanto a los recursos tecnológicos requeridos, se utilizarán: computadora personal, servicio de internet, impresora, software para recopilación y análisis de la información, entre otros. Todos los recursos necesarios están al alcance del investigador para el desarrollo del estudio.

### 13. REFERENCIAS

1. Agencia Internacional de Energía. (mayo de 2018). *The Future of cooling*. Recuperado el 30 de octubre de 2021, de Agencia Internacional de Energía: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>
2. AHRI. (2014). *Performance Rating of Variable Refrigerant Flow (VRF) Multi-split Air-conditioning and Heat Pump Equipment*. 2014 Standard, Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute.
3. APPA. (2014). *Impactos ambientales en la producción de energía eléctrica*. Asociación de productores de energías renovables, Madrid, España.
4. ASHRAE. (2016). *HVAC Systems and Equipment Handbook- IP*. ASHRAE, Inc.
5. Balbis, M., García, F., Cabello, J. J., & Sousa, V. (2019). Caracterización energética del funcionamiento de un equipo de aire acondicionado en un local dado. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*.
6. Balestrini, M. (2006). *Cómo se elabora el proyecto de investigación - Séptima edición*. Caracas: BL Consultores Asociados. Servicio Editorial.
7. Barros, M., Balbis, M., Tovar, I., Castropeña, J., De León, L., Silva, J., & Rosales, D. (2017). Comparación del consumo energético entre las tecnologías de aire acondicionado tipo mini-split y volumen de refrigerante variable en un edificio educativo. *Espacios*, 19.

8. Benavidez, H., & León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogotá, Colombia.
9. Cordero, J. M. (2016). *Estudio del consumo energético de la climatización de una vivienda unifamiliar de 160m<sup>2</sup> con los sistemas Enfriadora y VRV*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
10. Daikin. (30 de Septiembre de 2021). *Que es tecnología Inverter?* Obtenido de Daikin: <https://daikinlatam.com/es/solution/inverter/>
11. Daikin Aplicado. (19 de Octubre de 2019). *Centro de Noticias*. Obtenido de EER frente a IEER: <https://www.daikinapplied.com/news/blogs/eer-vs-ieer>
12. Delgado, Y. (2015). *Estudio de medidas de ahorro energético en rehabilitación energética de edificios terciarios*. (Tesis de pregrado), Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
13. Desarrollo Sustentable. (08 de Mayo de 2019). *Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 2021, de Análisis del ciclo de vida: <https://desarrollosustentableplijl.blogspot.com/2019/05/49-analisis-del-ciclo-de-vida-huella.html>
14. Escoda, S. (s.f.). *Manual Práctico de Ventilación, Catálogo Técnico - 2da. Edición*. Barcelona: Salvador Escoda, S.A.
15. Hernandez, C., & Carpio, N. (15 de febrero de 2019). Introducción a los tipos de muestreo. *Revista ALERTA*, 2(1), 75-79. doi:<https://doi.org/10.5377/alerta.v2i1.7535>

16. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación - Sexta Edición*. México, D.F.: McGraw-Hill.
17. Herrera, J. C. (2017). *Análisis Experimental de la instalación de climatización de un edificio Administrativo para la Reducción del Consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero*. (Tesis doctoral), Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
18. Kerlinger, F., & Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento - (Cuarta Edición ed.)*. California: McGraw-Hill.
19. Laplana, D. (2017). *Análisis de eficiencia energética de un hotel en Jaca*. (Tesis de pregrado), Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.
20. Llamas, P. L. (2009). Eficiencia Energética y Medio Ambiente. *Información Comercial Española*, 75-92.
21. Lopez, J. F. (15 de Noviembre de 2019). *Estadística Descriptiva*. Recuperado el 22 de Octubre de 2021, de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/estadistica-descriptiva.html>
22. Medina, M. O. (2018). *Análisis del comportamiento energético del sistema de climatización de expansión directa a caudal variable del gimnasio del hotel Iberostar Holguin*. Holguin: Universidad de Holguin.
23. Ministerio de Energía y Minas -MEM-. (2018). *Política Energética de Guatemala 2019-2050*. Política Energética, Ministerio de Energía y Minas (MEM).

24. Ministerio de energía y Minas -MEM-. (2020). *Balance energético 2019*. Ministerio de Energía y Minas , Guatemala.
25. Mogollon, P. P. (2016). *Modelación y control avanzado de un sistema de aire acondicionado, para ahorro de consumo energético*. Piura: Universidad de Piura.
26. Montero, R., Hechavarria, J., & Norroto, A. (04 de Septiembre de 2021). *Carga térmica y consumo energético en edificación turística con climatización centralizada a flujo variable*. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212011000400003&lng=es&tlng=en](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212011000400003&lng=es&tlng=en).
27. Mundo HVACR. (1 de Octubre de 2021). *La industria HVACR frente al cambio climático*. Obtenido de Revista Mundo HVACR: <https://www.mundohvacr.com.mx/2021/05/la-industria-hvacr-frente-al-cambio-climatico/>
28. Nuestro mundo en datos. (30 de Septiembre de 2021). *Emisiones anuales de CO2*. Obtenido de Nuestro mundo en datos: <https://ourworldindata.org/annual-co2-emissions>
29. Ojea, L. (06 de Agosto de 2018). *El periódico de la Energía*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-uso-del-aire-acondicionado-triplicara-la-demanda-mundial-de-electricidad-para-2050-segun-la-aie/>
30. Pita, E. (2005). *Acondicionamiento de Aire, Principios y Sistemas- 2da. Edición*. Mexico, D.F.: Grupo GEO Impresores, S.A. de C.V.

31. Quadri, N. (2001). *Sistemas de Aire Acondicionado, Calidad de Aire Interior - 1ra. Edición*. Buenos Aires: Librería y editorial Alsina.
32. Revista Construir. (12 de Enero de 2019). *VRV: Las ventajas que todos buscan*. Obtenido de Construir, America Central y El Caribe: <https://revistaconstruir.com/daikin-vrv-las-ventajas-todos-buscan/>
33. Rimapa, E. (2019). *Optimización del sistema de aire acondicionado para el ahorro energético en el centro comercial Plaza vea Chiclayo*. (Tesis de pregrado), Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.
34. Roosa, S. A. (2020). *Sustainable Development Handbook, Second Edition*. Alsbjergvej 10, 9260 Gistrup, : River Publishers.
35. Salazar, L., Bueno, A., & Peña, A. (2010). Metodología para implementación de un sistema integral de gestión de la energía. *INGENIUS - Revista de Ciencia y Tecnología*, 1-8.
36. Weatherspark. (2021). *El clima en Retalhuleu*. Obtenido de <https://weatherspark.com/y/11182/Average-Weather-in-Retalhuleu-Guatemala-Year-Round>
37. Yildiz, A., & Ersöz, M. (2 de Julio de 2015). Determinación del espesor de aislamiento óptimo económico para sistemas VRF (flujo variable de refrigerante). *Energy*(89), 835-844.