



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**IMPLEMENTACIÓN DE HIDROCARBURO EN UN SISTEMA
DE AIRE ACONDICIONADO PARA REDUCIR EL CONSUMO
DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL IMPACTO AMBIENTAL.**

SUSTENTADO POR:

WALTER MAURICIO VALLADARES FLORES

JORGE LAM CHONG LARA

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE
MÁSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES**

**TEGUCIGALPA M.D.C, FRANCISCO MORAZÁN,,
HONDURAS, C.A.**

ABRIL 2016

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA
UNITEC**

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

LUIS ORLANDO ZELAYA MEDRANO

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ

VICERRECTOR ACADÉMICO

MARLON BREVÉ REYES

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

JOSÉ SERMEÑO LIMA

**IMPLEMENTACIÓN DE HIDROCARBURO EN UN SISTEMA
DE AIRE ACONDICIONADO PARA REDUCIR EL CONSUMO
DE ENERGÍA Y EL IMPACTO AMBIENTAL**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN
GESTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES**

**ASESOR METODOLÓGICO
DR. WILFREDO CESAR FLORES CASTRO**

**ASESOR TEMÁTICO
ING. CARLOS LEONEL HERNÁNDEZ**

MIEMBROS DE LA TERNA:

MOISES STARKMAN

JORGE CENTENO

MARIO ZELAYA



FACULTAD DE POSTGRADO

IMPLEMENTACIÓN DE HIDROCARBURO EN UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE ENERGÍA Y EL IMPACTO AMBIENTAL.

NOMBRE DE LOS MAESTRANTES:

WALTER MAURICIO VALLADARES FLORES

JORGE LAM CHONG LARA

RESUMEN

Ante la evidente necesidad de la utilización de equipos de aire acondicionado, que existe en la región para climatización, se observó que existe la necesidad de reducir el consumo de energía eléctrica y el impacto al medio ambiente, causados por los equipos de aires acondicionados, se llevó a cabo un estudio experimental de implementación de hidrocarburo en un sistema de aire acondicionado con capacidad de enfriamiento de 12,000 BTUh. Realizándose una práctica denominada reconversión la cual consiste en una técnica, con parámetros controlados de temperatura y humedad relativa, que conlleva medidas de seguridad y la implementación de buenas prácticas de refrigeración. Donde se aplicaron metodologías validadas técnicamente, las cuales son respaldadas por entes gubernamentales nacionales e internacionales. Los cuales están enfocados a la reducción del impacto al medio ambiente y la eficiencia energética. En el presente estudio experimental se muestran los impactos de la aplicación de hidrocarburos en sistemas de aire acondicionado que actualmente se encuentran funcionando con gas refrigerante hidrocliclorofluorocarbono (HCFC) como lo es el R-22, siendo esto el principal motivo de consumo de energía, se realizó un experimento en un equipo de aire acondicionado, en donde se implementó un recambio de gas refrigerante de R-22 a gas refrigerante hidrocarburo como lo es el R-290, siguiendo los lineamientos, como la recuperación adecuada del refrigerante, siendo este compatible en el sistema de aire acondicionado mini Split, incluyendo el tipo de aceite. Logrando con lo mencionado anteriormente una reducción en el consumo de energía, y una reducción al impacto ambiental.

Palabras Claves: Eficiencia Energética, Energía, Hidrocarburos, Sistemas de Aire Acondicionado.



FACULTAD DE POSTGRADO

IMPLEMENTATION OF HYDROCARBON IN AN AIR CONDITIONING SYSTEM TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION

BY:

WALTER MAURICIO VALLADARES FLORES

JORGE LAM CHONG LARA

ABSTRACT

Given the obvious need for the use of air conditioning, which exists in the region for air conditioning, it was observed that there is a need to reduce energy consumption and environmental impact caused by the air conditioning equipment is he conducted an experimental study of implementation of hydrocarbons in air conditioning systems with cooling capacity of 12,000 Btuh. Performing a practice called conversion which is a technique with controlled temperature and relative humidity, which involves security measures and the implementation of good refrigeration practices parameters. Where technically validated methodologies, which are supported by national and international government bodies were applied. Which they are aimed at reducing the environmental impact and energy efficiency. In this experimental study the impact of the application of hydrocarbon in an air conditioning system that are currently running hydrochlorofluorocarbon refrigerant (HCFC) such as the R-22 are shown, this being the main reason for energy consumption, is conducted an experiment in an air conditioner, where a replacement refrigerant R-22 refrigerant gas hydrocarbon is implemented as is the R-290, following the guidelines, as appropriate refrigerant recovery and this compatible the air conditioning system mini Split, including the type of oil. Obtaining with the above reduced energy consumption, and reduced environmental impact.

Key Word: Energy Efficiency, Energy, Hydrocarbons, Air Conditioning Systems.

DEDICATORIA

“En primer lugar este logro obtenido en mi vida se lo quiero dedicar al creador del cielo y de la tierra al Dios todopoderoso el cual me dio la fortaleza la fuerza, sabiduría y paciencia necesaria para poder culminar esta meta, a toda mi familia por el apoyo y cariño brindado día a día, con gran amor y ternura a mi madre porque fue cariñosa paciente y firme en mi formación de valores, además con especial amor a mis abuelos que con gran esfuerzo me han inculcado valores, y deseos de superarse no son suficientes las palabras para expresar a todos y todas los que han estado siempre en los momentos difíciles en mi vida y que sin su apoyo no hubiese sido posible lograr este triunfo más en la vida, les agradezco con todo mi corazón.”

WALTER VALLADARES.

Este triunfo va dedicado en primer lugar a Dios, por proporcionarnos salud, paciencia y voluntad para finalizar este propósito, en segundo lugar a mi padre, sé que desde arriba me brinda su amor y protección así como siempre lo hizo mientras tuvo vida; es gran parte de mi inspiración para seguir adelante en cada meta que me propongo, a mis hermanos por estar siempre apoyándome en este camino, a todos muchas gracias.

JORGE CHONG

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional del Dr. Ing. Wilfredo Flores director de tesis y coordinador de la carrera de Ingeniería en energía, quien con mucha paciencia nos han guiado constantemente en este proyecto de grado. Nuestro agradecimiento también es extensivo para el Ing. Carlos Hernández, asesor temático, quien nos colaboró de manera constante y proporcionándonos la ayuda que solicitamos.

Agradecemos el apoyo de la Unidad Técnica de Ozono, institución que nos brindó la información estadística necesaria para nuestra tesis.

Walter Valladares

Jorge Chong

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	1
INDICE DE TABLAS	4
INDICE DE FIGURAS.....	5
GLOSARIO	7
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.1 INTRODUCCIÓN	8
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	8
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	10
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	10
1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	11
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	12
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	14
2.1 ANTECEDENTES DEL USO DE REFRIGERANTES EN HONDURAS.....	14
2.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	15
2.2.1 USO DE REFRIGERANTES EN HONDURAS.....	15
2.2.2 DEMANDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS	16
2.2.3 DEMANDA TÍPICA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS	18
2.3 ANÁLISIS DEL MACRO-ENTORNO.....	20
2.4 ANÁLISIS DEL MICRO-ENTORNO	22
2.5 TEORÍA DE SUSTENTO	23

2.6 CONCEPTUALIZACIÓN	24
2.8 EVOLUCIÓN DE LOS REFRIGERANTES	30
2.9 MARCO LEGAL	31
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	34
3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA	34
3.1.1 HIPÓTESIS	34
3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS	34
3.3 SUSTITUTOS DEL REFRIGERANTE R-22	35
3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.4.1 MUESTRA	36
3.4.2 UNIDAD DE ANÁLISIS	36
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	36
3.5.1 METODOLOGÍA PARA LA RECONVERSIÓN.....	37
3.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD AL UTILIZAR REFRIGERANTES HIDROCARBUROS.	40
3.6.1 MEDIDAS DE PREVENCIÓN	40
3.7 INSTRUMENTOS	41
3.8 ENSAYOS	42
3.8.1 ÁREA DE PRUEBA	42
3.8.2 ENSAYO DE CONSUMO DE ENERGÍA.....	43
3.9 LIMITANTES DEL ESTUDIO	43
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	45
4.1 RESULTADOS DEL EQUIPO FUNCIONANDO CON REFRIGERANTE R-22.....	45
4.1.1 CONDICIONES INICIALES (TEMPERATURA - HUMEDAD RELATIVA).....	45
4.1.2 TOMA DE DATOS DE VARIABLES ELÉCTRICAS.....	47
4.2 RESULTADOS DEL EQUIPO FUNCIONANDO CON HIDROCARBURO.....	50

4.2.1 CONDICIONES INICIALES (TEMPERATURA - HUMEDAD RELATIVA).....	51
4.2.2 NIVEL DE TENSIÓN (VOLTAJE).....	52
4.2.3 CORRIENTE ELÉCTRICA (AMPERAJE)	53
4.2.4 POTENCIA	54
4.2.5 ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA	54
4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	55
4.3.1 COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
CAPÍTULO VI APLICABILIDAD.....	68
ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE R-290 EN LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN HONDURAS.....	69
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	73
ANEXO 1	73
ANEXO 2.....	73
ANEXO 3.....	74
ANEXO 4.....	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplos de alternativas a los HCFC exentas de SAO o con bajo PCA.....	28
Tabla 2. Características de alternativas a las SAO	28
Tabla 3. Tipos de refrigerantes y sus propiedades	29
Tabla 4. Información del Aire Acondicionado a Realizar la reconversión.....	36
Tabla 5. Comparación de valores promedios de humedad relativa	58
Tabla 6. Resumen de resultados en el análisis de corriente.....	59
Tabla 7. Comparación de valores de potencia después del cambio del refrigerante	60
Tabla 8. Comparación de energía eléctrica consumida.	62
Tabla 9. Cálculo de Kilogramos de CO2 equivalentes al año.	65
Tabla 10. Aplicabilidad de la implementación de Hidrocarburos en sistemas de aire acondicionado.	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Importación de gases refrigerantes en Honduras durante los años 2010 al 2015.....	15
Figura 2. Comparación anual de Importación de gases refrigerantes en Honduras.....	16
Figura 3. Comportamiento de la demanda en Honduras sector No Residencial	17
Figura 4. Comportamiento de la demanda en Honduras sector Residencial	18
Figura 5. Demanda típica en San Pedro Sula en el Sector Residencial.	19
Figura 6. Demanda típica en Tegucigalpa en el Sector Residencial.....	20
Figura 7. Distribución de intensidad de energía en el sector residencial.....	21
Figura 8. Distribución de la intensidad energética en el sector comercial.....	22
Figura 9. Esquema y Diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.	25
Figura 10. Esquema de un sistema de compresión de vapor mostrando las partes principales.25	
Figura 11. Evolución de los refrigerantes	30
Figura 12. Proceso de Análisis del Gas refrigerante.....	37
Figura 13. Recuperación del refrigerante.....	37
Figura 14. Proceso de conexión del equipo.	38
Figura 15. Proceso de vacío del equipo.	39
Figura 16. Comparación de Temperaturas Exterior e Interior del Cuarto de Pruebas, sistema funcionando con R-22.....	45
Figura 17. Comportamiento de la Humedad Relativa con el equipo funcionando con R-22	46
Figura 18. Comportamiento de la Corriente eléctrica en ambas líneas antes del cambio.	48
Figura 19. Comportamiento de la Potencia en ambas líneas, antes del cambio del refrigerante..	49
Figura 20. Comportamiento del consumo de energía eléctrica antes del cambio.....	50
Figura 21. Temperatura Exterior e Interior, después del cambio del refrigerante.	51
Figura 22. Comportamiento de la Humedad Relativa en el interior del área de prueba, después del cambio del refrigerante.	52
Figura 23. Comportamiento de la Corriente eléctrica en las Líneas 1 y 2, después del cambio del refrigerante	53
Figura 24. Comportamiento de la potencia en ambas líneas, después del cambio de refrigerante.	54

Figura 25. Comportamiento de la energía eléctrica consumida después de la conversión a hidrocarburo.....	55
Figura 26. Comparación de temperatura exterior o ambiente antes y después del cambio del refrigerante.....	56
Figura 27. Comparación de temperatura y humedad relativa en el interior del área de prueba. ..	57
Figura 28. Comparación de Corrientes eléctricas antes y después del cambio.	59
Figura 29. Comparación de las potencias antes y después del cambio del refrigerante.	60
Figura 30. Correlación entre temperatura de enfriamiento y potencia.	61
Figura 31. Comparación de energía eléctrica consumida	62
Figura 32. Comparación de consumo de energía eléctrica.	63
Figura 33. Curva de duración de Carga año 2015	69

GLOSARIO

A/C	Aire acondicionado
AHRI	Instituto de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración de los Estados Unidos
ANSI	Instituto Nacional de Normalización de los Estados Unidos
Artículo 5	Países que operan al amparo del artículo 5 del protocolo de Montreal (ej.; países en desarrollo)
AS	Australian Standard (Normalización de Australia)
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado
BTU	British Thermal Unit (Unidad Térmica Británica)
BTUh	Unidad Térmica Británica Hora
CEI	Comisión Electrónica Internacional
CFC	Clorofluorocarbono
COP	Coeficiente de Rendimiento.
EIA	Administración de Información de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica.
GEI	Gas de efecto invernadero
GWP	Potencial de Calentamiento Global
HC	Hidrocarburo
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HFC	Hidrofluorocarbono
HFO	Hidrofluorolefinas
HVAC&R	Calefacción, Ventilación, Aire Acondicionado y refrigeración
IAF	Foro Internacional de Acreditación
INE	Instituto Nacional de Estadística.
ISO	Organización Internacional de Normalización
JSA	Asociación Japonesa de Normalización
kJ	Kilo Joule
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt Hora.
NZS	New Zeland Standard (normalización de Nueva Zelanda)
ONG	Organización no Gubernamental
ONN	Organismo Nacional de Normalización
ONUUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo.
PAO	Potencial de agotamiento del ozono
PCA	Potencial de Calentamiento atmosférico
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el medio Ambiente
RAC	Refrigeración y Aire Acondicionado
SAO	Sustancia Agotadora de Ozono
UL	Underwriters Laboratories
UNO	Unidad Nacional de Ozono
UTOH	Unidad Técnica de Ozono de Honduras
W	Watt
WSC	Cooperación Mundial sobre Normas

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Honduras es un país en vía de desarrollo y cuenta con una población de 8,303,771 habitantes (INE, 2013), es un país que cuenta con un extenso parque de equipos de refrigeración y aire acondicionado en los diferentes sectores como ser: la industria, comercio, hotelería, gobierno, oficinas entre otros que funcionan actualmente con hidroclorofluorocarbono (HCFC) y hidrofluorocarbono (HFC) en sus sistemas. Por lo anterior se considera la necesidad de implementar un estudio técnico basado en la implementación de un refrigerante denominado ecológico.

En el presente trabajo se muestran los impactos de la aplicación de hidrocarburos, en sistemas de aire acondicionado, específicamente los sistemas de aire acondicionado que actualmente están funcionando con HCFC-22, en donde se hace mención que este es un gas refrigerante que repercute negativamente en el medio ambiente, ya que es un gas refrigerante con alto potencial de calentamiento global y con un porcentaje de agotamiento de la Capa de Ozono ubicada en la estratosfera, la cual juega un papel importante para la vida del planeta desenvolviéndose como un escudo protector de los rayos ultravioletas.

De igual manera los productos clorofluorocarbono (CFC), hidroclorofluorocarbono (HFC), y los hidroclorofluorocarbono (HCFC), tienen alto potencial de calentamiento, miles de veces superiores al dióxido de carbono y el metano, los cuales prácticamente son indestructibles en la troposfera y sus periodos de vida superan en algunos casos los cien años.

Siendo Honduras un país netamente importador de equipos de refrigeración y aire acondicionado, tanto usados como nuevos, pero en su mayor parte usados, el presente trabajo contempla el estudio de la Implementación de hidrocarburos en sistemas de aire acondicionado para reducir el consumo de energía y el impacto ambiental.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A nivel mundial la preocupación por la capa de ozono inició en el año de 1974 cuando dos destacados investigadores, Sherwood Roland y Mario Molina ambos de la Universidad de

Berkeley en California, Estados Unidos de América, publicaron su teoría que la capa de ozono protege a la tierra de los rayos ultravioletas que llegan producto de la energía solar (Mayta, 2007, p. 3)

Dicha investigación les hizo acreditarse con el premio nobel de química en el año 1995, una vez que lograron dilucidar la amenaza que representan los gases CFC a la capa de ozono.

Una investigación del científico británico James Lovelock quien descubrió que los clorofluorocarbonos se hallaban distribuidos en la atmósfera, influyó en la investigación de Roland y Molina.

En 1987 se suscribió y ratificó, por 184 países, el protocolo de Monteral incluido Honduras. El objetivo es la reducción y eliminación del uso de las sustancias agotadoras de Ozono.

En el año de 1990 se realiza la enmienda de Londres al Protocolo de Montreal en la cual se calendarizó la eliminación de las sustancias que agotan la capa de Ozono.

Por otro lado la crisis energética es uno de los principales problemas que aquejan a Honduras, y un claro ejemplo es el aumento de los costos de la energía eléctrica, por tal razón ha surgido un especial interés de búsqueda de alternativas para aumentar la eficiencia energética de un equipo y consecuentemente obtener una reducción de costos por este concepto.

El fenómeno de la eficiencia energética se inició en octubre de 1973 cuando la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) cuadruplicó el precio del barril, lo que ocasionó un crisis energética a nivel mundial, a raíz de dicha crisis, los países desarrollados comenzaron a evaluar una sustitución del petróleo por otras fuentes de energía. Previo a la crisis antes mencionada, el bajo precio del petróleo dio lugar a que se implantaran costumbres de malos hábitos de consumo en la población. Al presentarse la crisis, muchos países en especial países desarrollados optaron por eficientar su consumo energético (Romani & Arroyo, 2012)

Día a día, surgen nuevas ideas para utilizar el recurso energético de forma más eficiente, estas ideas van mancomunadas a lograr de la misma forma una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y de las Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO's)

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Honduras, es uno de los países más afectados por las consecuencias del cambio climático en los últimos 20 años, en la actualidad es un país importador, en su mayor parte de equipos de refrigeración y aire acondicionado de los países desarrollados, dichos equipos tienen un alto índice de impacto al medio ambiente, que nos está afectando directamente. Actualmente Honduras está afrontando este problema aplicando algunos controles de la importación, exportación, comercialización a través del gobierno implementando calendarios de reducción.

Para contribuir con las estrategias de reducción de emisiones de sustancias agotadoras de ozono y la reducción del consumo de energía eléctrica, en el presente trabajo, se estudió la propuesta de implementar el hidrocarburo R-290 (Gas Propano) con el fin de medir y analizar la eficiencia energética de un sistema de aire acondicionado, así como calcular la contribución al medio ambiente con la sustitución del refrigerante.

1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los refrigerantes Hidroclorofluorocarbonados como el HCFC-22 constituyen un grave problema ambiental debido al daño que produce a la capa de ozono, es por esta razón que diversos países han suscrito convenios para eliminar el uso de dichos refrigerantes. Sumado a lo anterior, el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado es uno de los más elevados en los diferentes sectores: Residencial, Comercial e Industrial.

Calm (1994) afirma que los impactos del aire acondicionado y los sistemas de refrigeración en el ozono de la estratósfera están principalmente relacionados con la liberación de los refrigerantes agotadores de ozono.

L. Maclaine-Cross & E. Leonardi (1997) estableció en su artículo científico, que al realizar una comparación de pequeños sistemas usando refrigerantes de hidrocarburos y fluorocarbonos algunas veces reducían hasta en un 20% el consumo de energía.

A nivel global, las discusiones con respecto a las implicaciones del uso del refrigerante R-22 son constantes. Arun Vohra & Van D. Baxter, (2004) indican que el refrigerante R-22 es el más común para aplicaciones como Bombas de Calor y Aires Acondicionados, los que son comúnmente usados en el sector residencial y edificios comerciales; el uso es extendido de igual forma en sistemas de refrigeración de supermercados.

De acuerdo al estudio realizado por (Michael McNeil & Virginie Letschert, 2007) Honduras tiene una saturación de sistemas de aires acondicionados en zonas residenciales del 3.2%, dicha saturación refiere a la capacidad de los propietarios de la vivienda en adquirir un sistema de aire acondicionado en función del ingreso familiar.

Las políticas y buenas prácticas internacionales están encaminando a la eficiencia del uso de la energía en unos de los pilares del sostenimiento de la economía de un país, tanto económica como ambiental.

Es importante mencionar que adicionalmente a la reducción en el consumo de energía eléctrica que se puede obtener al implementar los hidrocarburos en un sistema de aire acondicionado, se puede obtener un impacto en la reducción de las emisiones de sustancias agotadoras de la capa de ozono.

1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Es factible el uso de hidrocarburos en sistemas de aire acondicionado?
2. ¿Existe un marco regulatorio para el control de la implementación de estas sustancias?
3. ¿Cuál es el impacto de los refrigerantes convencionales al medio ambiente comparado con los ecológicos?
4. ¿Qué beneficios energéticos se obtienen al implementar sustancias ecológicas en sistemas de Aire Acondicionado?

5. ¿Cuánto Bióxido de Carbono se dejaría de liberar a la atmósfera al implementar estas sustancias?
6. ¿Qué impacto al cambio climático se lograría al implementar una sustitución de HCFC a HC?
7. ¿Qué medidas de seguridad se deben de implementar para manipular sustancias derivadas de Hidrocarburos en Sistemas de Aire Acondicionado?

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar Gas Propano (Refrigerante R-290) en un sistema de aire acondicionado para obtener una reducción en el consumo de energía eléctrica y la reducción del impacto ambiental mediante la sustitución del gas refrigerante tradicional (R-22).

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular el consumo de energía eléctrica antes y después de la implementación del hidrocarburo en el sistema de aire acondicionado.
- Evaluar la unidad de aire acondicionado para verificar si el equipo es apto técnicamente para desarrollar la implementación de hidrocarburos.
- Evaluar las propiedades termodinámicas del sistema de aire acondicionado antes y después de realizar la sustitución a hidrocarburos.
- Calcular la reducción del impacto ambiental por la sustitución de refrigerantes con contenido de cloro por hidrocarburos.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Actualmente Honduras es miembro del Protocolo de Montreal desde el año 1993, ejecutando diferentes proyectos en cuanto el control, importación y exportación de equipos y sustancias agotadoras de la capa de ozono, aplicando calendarios de eliminación de dichas

sustancias; actualmente se han realizado estudios de impactos ambientales ocasionados por las SAOs, razón por la cual resulta de importancia el estudio de sustancias refrigerantes alternativas y con poco o ningún potencial de agotamiento de ozono y/o de calentamiento global.

Por lo anterior se están desarrollando técnicas e implementación de nuevas tecnologías para reducir el impacto ambiental y el consumo de energía eléctrica en la utilización de aerosoles, espumas rígidas y sistemas de refrigeración.

Se considera de vital importancia realizar el presente estudio de implementación de sustitutos de los refrigerantes tradicionales por sustancias amigables con el medio ambiente, como los son los hidrocarburos, para conocer a su vez, su eficiencia en el consumo energético de manera que se alcance obtener datos específicos en Honduras, tropicalizando la tecnología que se ha estado desarrollando en otros países y estimar el porcentaje de eficiencia y reducción de impacto ambiental con las variables de nuestro entorno, ya que Honduras cuenta con un gran parque de equipos de refrigeración y aire acondicionado instalados en los diferentes sectores.

Debido a la evidente necesidad de la reducción de emisiones de contaminantes a la atmósfera de equipos de aires acondicionados mediante la utilización de gases refrigerantes con alto contenido de cloro, es necesaria la implementación de nuevas tecnologías con respecto a los refrigerantes tradicionales funcionando dentro de un ciclo de refrigeración tradicional; esto se logra con la implementación de gases refrigerantes provenientes del destilado del crudo y gas natural (hidrocarburos), el cual dentro de algunas funciones nos permite determinar propiedades termodinámicas semejantes a los refrigerantes tradicionales.

Mediante la implementación de hidrocarburos se pretende mejorar el desempeño de los sistemas que funcionan actualmente con HCFC-22 al sustituir mediante buenas prácticas de manera directa denominada “drop in” del gas refrigerante que se menciona anteriormente, por una nueva tecnología como ser los hidrocarburos especialmente el gas propano (R-290).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL USO DE REFRIGERANTES EN HONDURAS

Honduras no cuenta con la tecnología necesaria para el desarrollo de sustancias agotadoras de ozono (SAO's) por lo que es un país importador de gases refrigerantes.

La Secretaría de Energía Recursos Naturales Ambiente y Minas (MiAmbiente) a través de la Unidad Técnica de Ozono de Honduras (UTOH) es la encargada de regular, controlar, verificar, administrar y autorizar las importaciones realizadas por las empresas que estén legalmente y técnicamente, cumpliendo con los requerimientos que establece el Reglamento General de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono y que demandan el uso de estas sustancias para el mantenimiento y operación de las mismas la cual se establece mediante compromisos adquiridos ante el Protocolo de Montreal.

La mayor importación de refrigerantes a Honduras vienen con procedencia en su mayor parte de China, USA, Hong Kong, Panamá, Colombia y México (UTOH, 2015).

Las empresas que más importan sustancias agotadoras de ozono y las únicas autorizadas para importar Hidrocloroflorocarbono (HCFC) mediante un calendario de eliminación establecido por el Protocolo de Montreal son: Aire Frio, Frio Partes y Equipos y Repuestos Wolozny, se hace mención de igual manera que las empresas que cumplan con los requisitos establecidos por la UTOH pueden importar Hidroflorocarbono (HFC), Hidrocarburos, Amoniac, Dióxido de Carbono como gases refrigerantes; siempre y cuando cumplan con el manejo adecuado y el personal técnico certificado para manipular dichas sustancias.

De acuerdo a datos estadísticos recopilados por la Unidad Técnica de Ozono (UTOH, 2015) el gas refrigerante que más se ha importado a Honduras en los años del 2010 al 2015 es el denominado R-22, como se muestra en la siguiente figura:

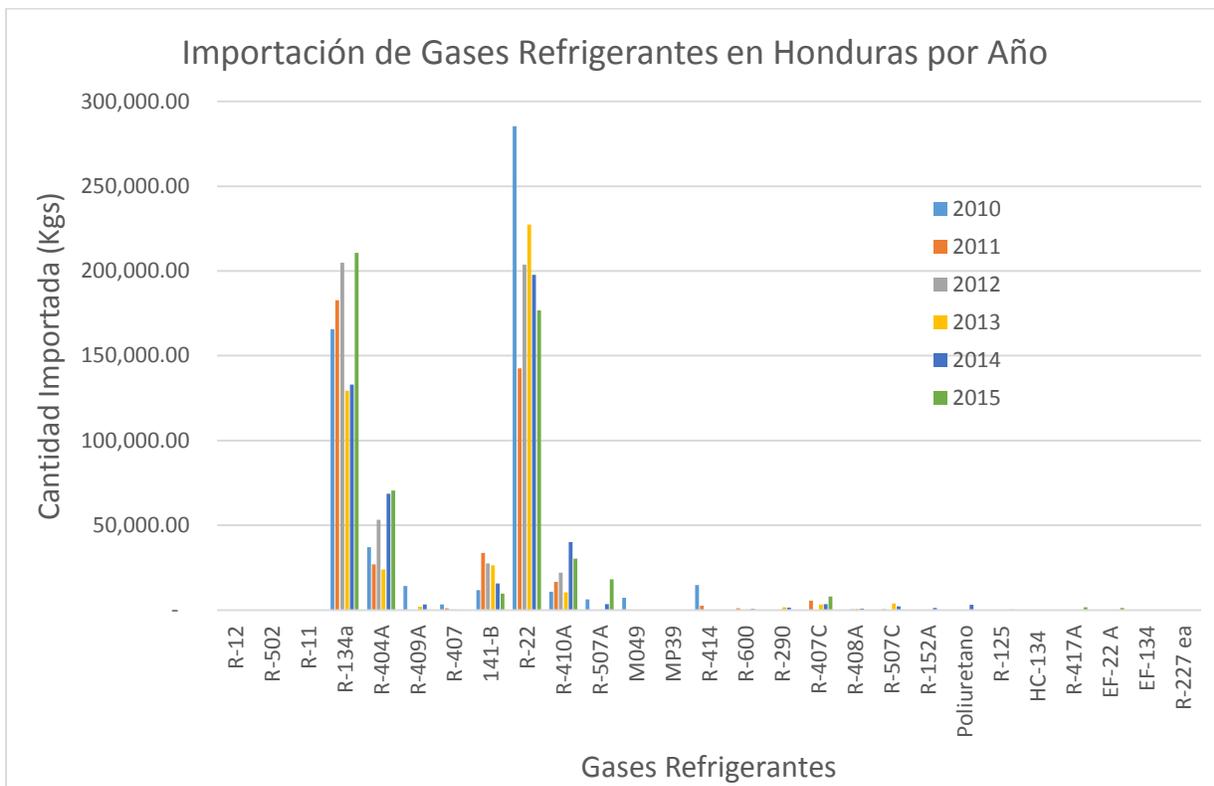


Figura 1 Importación de gases refrigerantes en Honduras durante los años 2010 al 2015

Fuente: Elaboración Propia con datos de la UTOH, 2015.

2.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Habiendo considerado y enunciado el objetivo general, además de las preguntas de investigación y así mismo después de justificar la importancia de considerar el estudio de la implementación de hidrocarburos en sistemas de aire acondicionado; en el presente capítulo desarrollaremos un análisis de los entornos que rodean el planteamiento del problema.

2.2.1 USO DE REFRIGERANTES EN HONDURAS

Debido a los problemas que el cambio climático ha provocado en el país, se ha vuelto una necesidad la aplicación de climatización en hogares, hospitales, oficinas, centros educativos, centros comerciales e industrias, lo cual trae como consecuencia un aumento significativo al estilo de vida como ser: lugares más herméticos para crear un confort a través de sistemas de climatización para el mejor desempeño y desarrollo de Honduras.

Siendo lo anterior necesario debido a las altas temperaturas que se presentan en los diferentes puntos cardinales de nuestro país en donde se muestra el crecimiento de las importaciones de nuevas tecnologías alternativas debido al control establecido para frenar la incidencia de los gases sintéticos a la atmósfera y así adaptarnos al cambio climático.

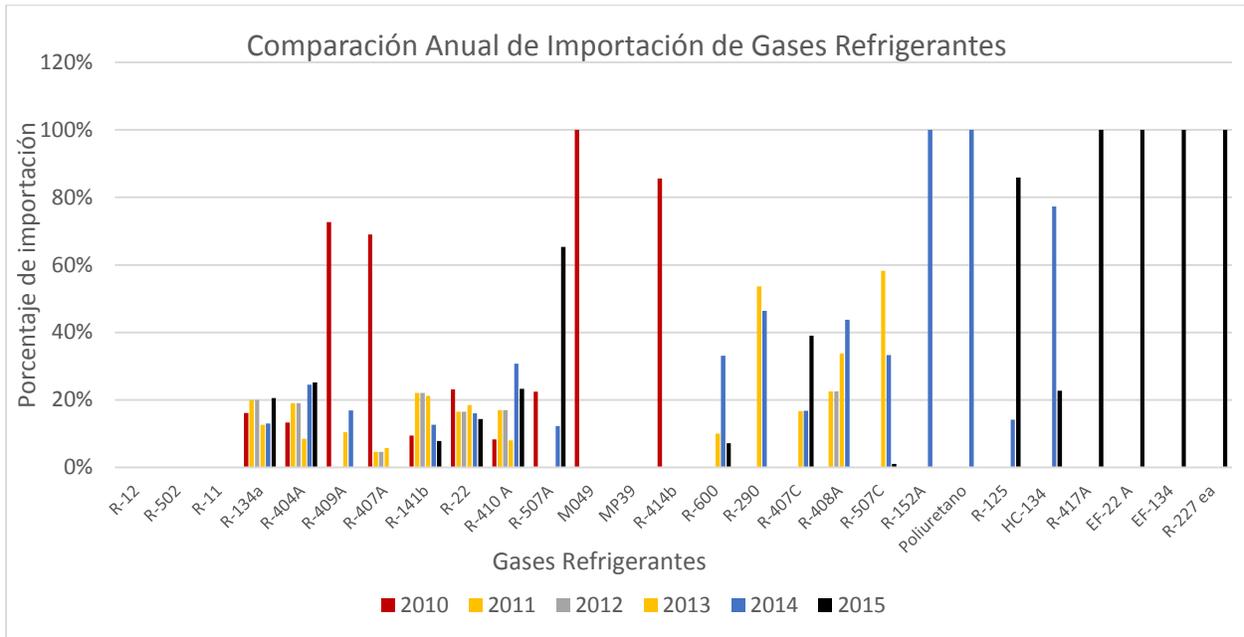


Figura 2. Comparación anual de Importación de gases refrigerantes en Honduras

Fuente: Elaboración Propia con datos de (UTOH, 2015)

En la figura anterior se muestra el porcentaje de importación de los gases refrigerantes realizados en nuestro país, bajo un control establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) a través del Protocolo de Montreal, de sustancias agotadoras de ozono, dirigida por la Unidad Técnica de Ozono de Honduras.

2.2.2 DEMANDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS

De acuerdo a la proyección del Informe Preliminar sobre el modelo de manejo de la demanda para Honduras, la demanda no residencial está compuesta por los sectores: Industrial, Gubernamental y Comercial.

Dicha demanda tiene un comportamiento de crecimiento por dichos sectores, lo cual muestra una demanda de consumo de energía eléctrica para desarrollar actividades económicas y propias del aparato estatal.

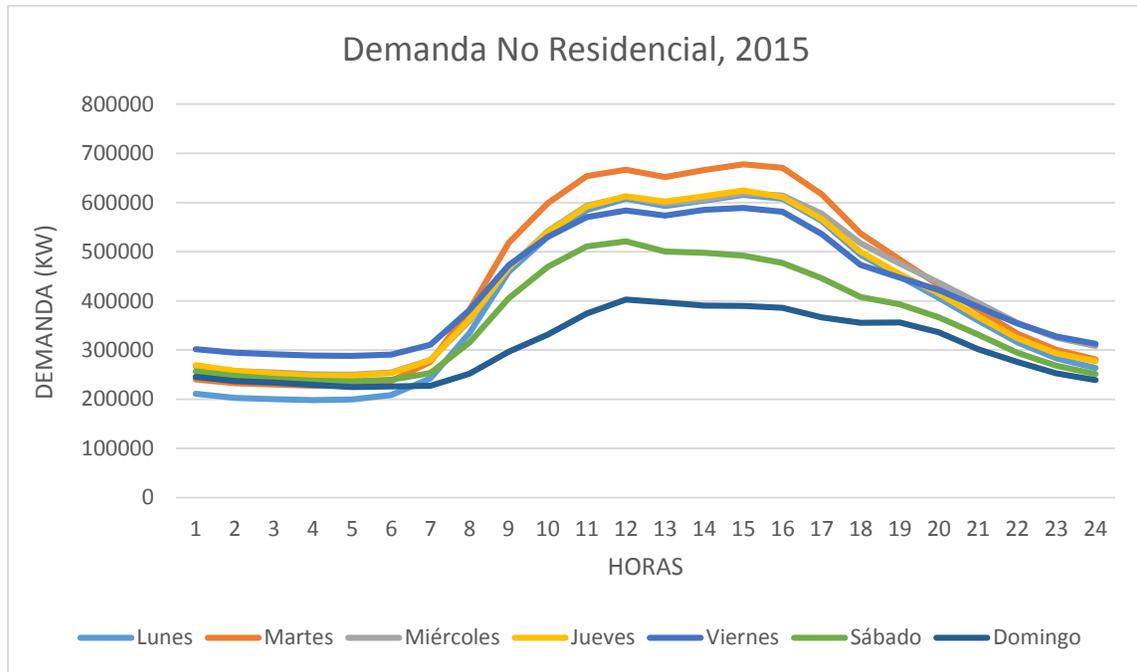


Figura 3. Comportamiento de la demanda en Honduras sector No Residencial

Fuente: (Banco Mundial, 2016)

En la figura anterior, para el sector no residencial, se muestra una mayor demanda en los días martes teniendo una demanda máxima aproximada de 690,000 kW en donde su pico máximo se presenta entre las 10:00 y 16:00 horas.

El sector residencial es el mayor consumidor de energía eléctrica en Honduras, lo cual representa una alta demanda en el consumo que genera dicho sector, como se observa en la figura siguiente:

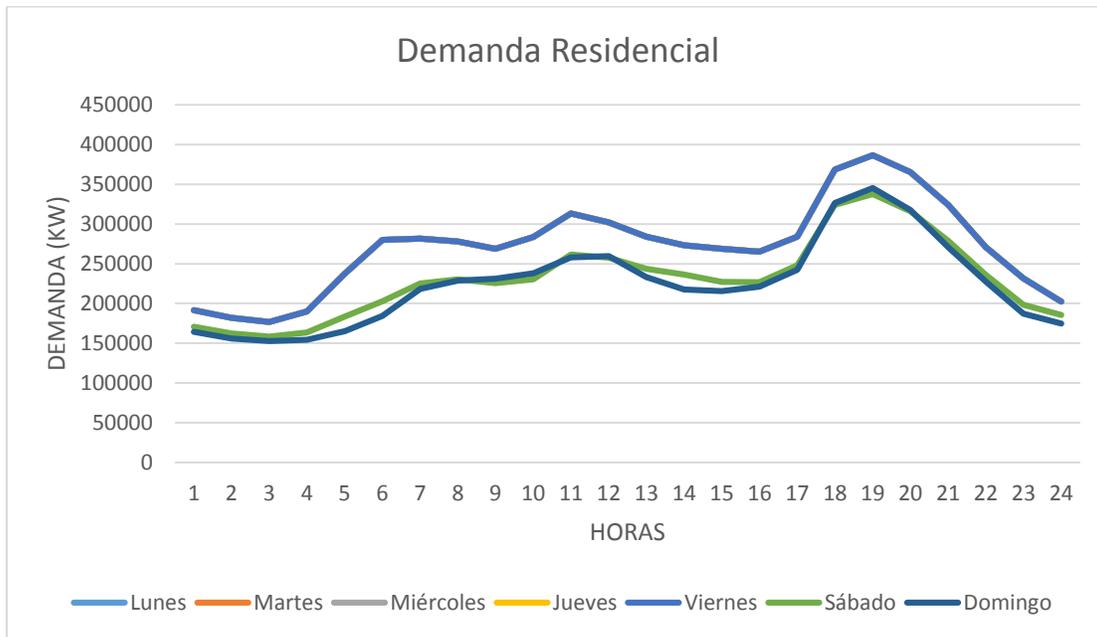


Figura 4. Comportamiento de la demanda en Honduras sector Residencial

Fuente: (Banco Mundial, 2016)

En la figura anterior, se observa las diferentes variaciones en base a una serie de actividades que se llevan a cabo por las actividades domésticas y los picos de demanda se ven influenciados principalmente por el uso de la cocina en la preparación de alimentos. Se muestran tres picos de demanda: de cinco a ocho de la mañana, de diez a una de la tarde y de cinco a ocho de la tarde.

2.2.3 DEMANDA TÍPICA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS

La demanda típica de Honduras se encuentra concentrada en las dos principales ciudades (Tegucigalpa y San Pedro Sula) que es en donde se desarrollan las actividades económicas y políticas.

Para la zona de San Pedro Sula, la demanda típica se ve representada como se muestra en la figura siguiente:

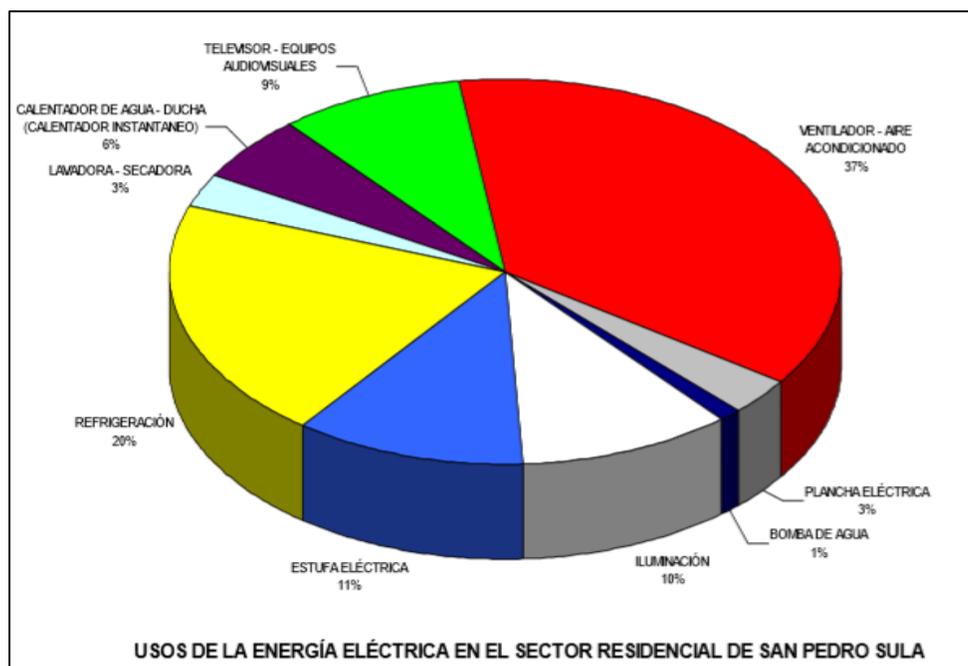


Figura 5. Demanda típica en San Pedro Sula en el Sector Residencial.

Fuente: (Banco Mundial, 2016)

Como se observa en la Figura 5, la mayor demanda del consumo de energía se puede observar las áreas de ventilación - aire acondicionado y refrigeración, que representa un porcentaje del 37% y 20% respectivamente. Ambas áreas con un alto potencial en ahorro de energía al implementar Hidrocarburos como refrigerante.

Con respecto a la Zona del Distrito Central, la demanda típica se encuentra representada de acuerdo a la siguiente figura, en donde se puede observar que dicha demanda se ve influenciada por las condiciones climatológicas, adicionalmente por ser una zona predominantemente residencial que industrial.

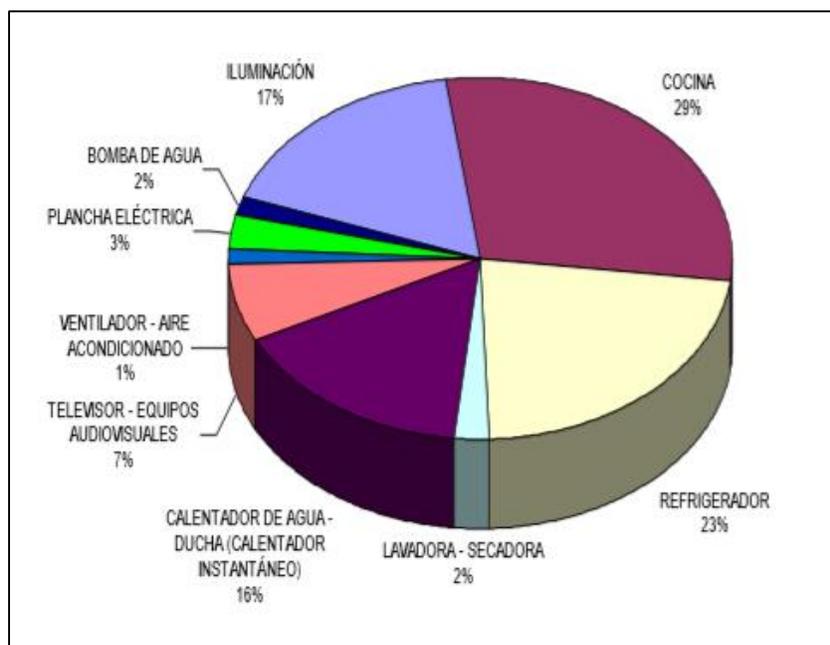


Figura 6. Demanda típica en Tegucigalpa en el Sector Residencial

Fuente: (Banco Mundial, 2016)

La demanda típica para el área de ventilación y aire acondicionado representa solamente el 1% del total de la demanda de energía eléctrica en el sector residencial en Tegucigalpa, sin embargo una de las áreas que más demanda energía es refrigeración en la cual es posible implementar Hidrocarburos con el fin de obtener eficiencia energética.

En cuanto al comportamiento de la demanda solamente en el área de aire acondicionado, está influenciada principalmente por el comportamiento del usuario con el fin de obtener su confort especialmente en las horas de descanso, tal como se muestra en la siguiente figura:

2.3 ANÁLISIS DEL MACRO-ENTORNO

Las preocupaciones sobre la degradación de la Capa de Ozono ubicada en la estratósfera, debido a los CFC, HCFC y otro tipo de sustancias nocivas la Capa de Ozono, surgieron en la década de los setentas. “Por esos días, los científicos advirtieron que la liberación de dichas sustancias en la atmósfera dañaba la Capa de Ozono” (PNUMA, 2006).

Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado a nivel mundial representan un porcentaje importante del consumo de energía eléctrica; de acuerdo datos recabados por la Administración de Información de Energía de los Estados Unidos EIA (2015), en el año 2013 el consumo de energía por cada vivienda en este tipo de sistemas es de aproximadamente 50 millones de BTU por año y representa el mayor consumo de energía para el sector residencial, lo anterior se encuentra representado gráficamente de la siguiente forma:

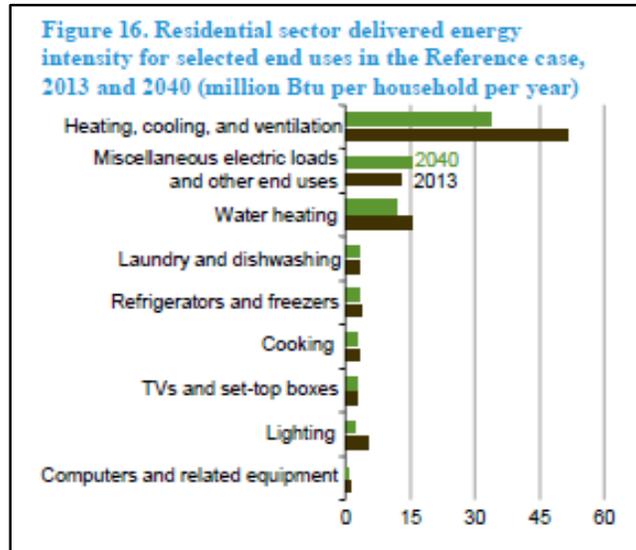


Figura 7. Distribución de intensidad de energía en el sector residencial

Fuente: (EIA, 2015)

En cuanto al sector Industrial, de acuerdo a los datos de EIA (2015), el sector de Calefacción, enfriamiento y ventilación, representa el segundo rubro con mayor intensidad de energía, alcanzando 39 mil BTU por pie cuadrado, y cuya representación gráfica es la siguiente:

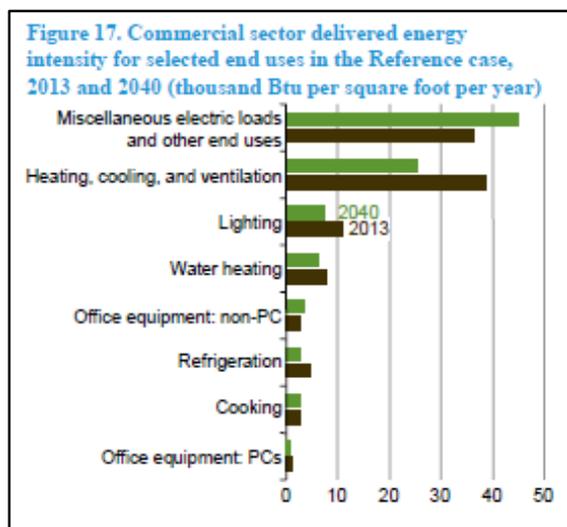


Figura 8. Distribución de la intensidad energética en el sector comercial.

Fuente: (EIA, 2015)

La problemática ambiental generada por la destrucción de la capa de ozono, ha provocado que los países tomen medidas a través de tratados internacionales así como convenios que permitan reducir el impacto causado por las sustancias contaminantes, tomando en cuenta en estas políticas tanto a países desarrollados como a países en desarrollo.

Duque Guzmán (2008) indica: “El convenio de Viena, el protocolo de Montreal y el Protocolo de Kyoto, han sido instrumentos determinantes para canalizar el compromiso y la participación de los países desarrollados y en vía de desarrollo con miras a la reducción de las emisiones atmosféricas que tienen un impacto significativo sobre el medio ambiente”

2.4 ANÁLISIS DEL MICRO-ENTORNO

En el estudio denominado Estimación de Emisiones globales y regionales de HCFC-22 (E. Saikawa et al., 2012) indica que a pesar que los países desarrollados han disminuido sustancialmente el uso de los HCFC, en países en vías de desarrollo, aún no ha disminuido el uso de dichas sustancias las cuales son agotadoras de Ozono.

De acuerdo a estimaciones indicadas en el estudio antes mencionado se ha estimado que las emisiones globales han incrementado especialmente por las emisiones atribuidas a los países

en vías de desarrollo, de acuerdo al estudio desarrollado por (Montzka et al., 2011) estimó que el 79% del consumo de HCFC's ocurre en los países en vías de desarrollo.

2.5 TEORÍA DE SUSTENTO

Una de las aplicaciones principales de la termodinámica es la refrigeración, que es la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una temperatura superior, existen varios dispositivos que producen refrigeración para diferentes necesidades según se requiera se les denomina refrigeradores o sistemas de aires acondicionados, el ciclo de refrigeración que se utiliza más comúnmente es el de compresión de vapor, donde el refrigerante sufre diferentes cambios de estado de evaporación y condensación alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor.

Otro ciclo de refrigeración estudiado es el ciclo de refrigeración de gas en la que el refrigerante permanece todo el tiempo en fase de gaseosa, y existen otros sistemas de refrigeración con mejoras como son los sistemas de refrigeración en cascadas la cual se utiliza más para refrigeración, refrigeración por absorción, donde el refrigerante se disuelve en un líquido para luego ser comprimido, y como interés especial la refrigeración termoeléctrica donde la refrigeración es producida mediante el paso de corriente eléctrica a través de dos materiales distintos.

La capacidad de enfriamiento (la carga de refrigeración) de un sistema de refrigeración, en resumen la tasa de calor extraída de un espacio refrigerado, en donde suele expresarse en toneladas de refrigeración, una tonelada de refrigeración equivale a 211 KJ/min o 200 Btu/min, por ejemplo una residencia típica de 200 metros cuadrados está en el intervalo de tres toneladas lo cual equivale a 10 Kw. (Yunus A. Cengel & Michael A. Boles, s. f., p. 618)

2.6 CONCEPTUALIZACIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo proporcionar una explicación simple sobre los conceptos y términos propios del tema que se trata en la presente tesis.

Es importante indicar que los sistemas de aire acondicionado, están formados por diferentes componentes que están basados en los principios de la termodinámica, los principales conceptos a considerar son los siguientes:

Definición de Aire Acondicionado:

Es el sistema de refrigeración del aire cuya función principal es asegurar el confort de las personas en un espacio determinado, así mismo es destinado para tratar el aire por medio de un control simultáneo de la temperatura, higiene, humedad y distribución.

Refrigeración

Es un proceso termodinámico donde se extrae calor de un lugar donde no se desea que exista y transferir dicho calor a un lugar donde su existencia no tiene importancia. En una casa normal la temperatura ambiente de verano e invierno se encuentra normalmente entre los 20 grados centígrados y los 35 grados centígrados. La temperatura de la sección donde se tiene almacenada la comida fresca de la nevera debe de estar en torno a los 2 grados centígrados. El calor fluye de manera natural desde las zonas cálidas a las zonas frías. Por lo tanto el calor de la habitación trata de fluir hacia la nevera y de hecho, fluye a través de las paredes aislantes a través de la puerta cuando este se abre a través de la comida caliente. El término empleado para designar a esta evaluación es la tonelada de refrigeración, una tonelada de refrigeración es la cantidad de calor requerida para fundir una tonelada de hielo por lo anterior se tiene que $1 \text{ Tr} = 12,000.00 \text{ Btu}$. (William C. Whitman & William M. Johnson, s. f.)

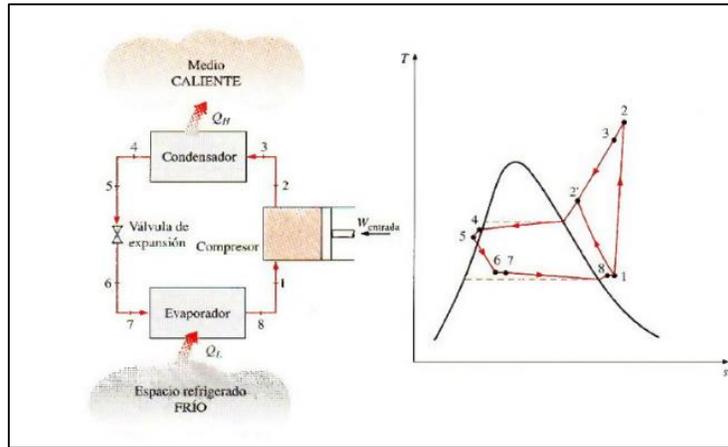


Figura 9. Esquema y Diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Fuente: (Yunus A. Cengel & Michael A. Boles, s. f., p. 660)

El ciclo de refrigeración tiene cuatro elementos constitutivos importantes:

1. Dispositivo de expansión: encargado del control del fluido
2. El evaporador que realiza evaporización del refrigerante
3. Compresor o bomba de vapor encargada de controlar la temperatura
4. El condensador que realiza la recuperación del refrigerante.

El ciclo de refrigeración maneja dos tipos de presiones la presión del lado de la succión y la presión del lado de la descarga, la primera es la presión denominada del lado de baja presión, y en el lado de la descarga se le denomina lado de alta presión. La ubicación de la misma se puede verificar en la figura que se muestra en la siguiente figura.

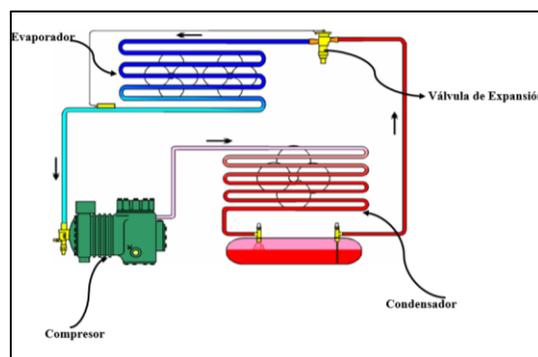


Figura 10. Esquema de un sistema de compresión de vapor mostrando las partes principales.

Fuente: (William C. Whitman & William M. Johnson, s. f.)

Se mencionan algunas aplicaciones de La primera ley de la termodinámica especialmente en los ciclos de la refrigeración, la Primera ley de la termodinámica hace mención que la energía no se puede crear ni destruir, en donde es una simple expresión para la conservación de la energía sosteniendo que la energía es una propiedad termodinámica. En donde esta solo puede cambiar de forma, es así como la ecuación de la energía del ciclo de refrigeración encontramos términos como: la energía cinética, la energía potencial, y la transferencia de calor sin embargo ambos cambios de energía potencial y cinética suelen ser muy pequeños, en relación a otros por eso suelen desprejarse, dejando en términos generales la primera ley al ciclo de refrigeración tal como se muestra en la ecuación siguiente.

$$Q_{\text{entrada}} - Q_{\text{salida}} = W_{\text{entrada}} - W_{\text{salida}}$$

Como se observa en el ciclo de refrigeración el calor de entrada es el calor absorbido, y el calor de salida se le denomina calor de rechazo, y el trabajo de entrada se le conoce como trabajo de compresión entonces si ajustamos el ciclo de refrigeración tendríamos la ecuación siguiente. (Yunus A. Cengel & Michael A. Boles, s. f., p. 2)

$$Q_{\text{absorbido}} + W_{\text{compresor}} = Q_{\text{rechazado}}$$

Seguidamente los términos generales utilizados en un ciclo de refrigeración se mencionen algunos como ser el **efecto del refrigerante** que es el calor por unidad de masa que se extrae del espacio refrigerado, y sea de un producto, sustancia o para el confort humano, debiéndose al efecto del refrigerante por unidad de masa de líquido circulando siempre es menor que el calor latente de vaporización esto es debido a la temperatura que llega al dispositivo de control es mayor que la temperatura de evaporización en el componente denominado evaporador.

Capacidad del sistema: es la rapidez por la cual se elimina el calor del espacio refrigerado expresado en BTU/h.

Coefficiente de Rendimiento (COP): en los sistemas de refrigeración es lo que da la eficiencia del ciclo determinando así de la siguiente forma: (Yunus A. Cengel & Michael A. Boles, s. f., p. 624)

$$\text{COP} = \frac{\text{CALOR ABSORBIDO EN EL ESPACIO REFRIGERADO}}{\text{ENERGIA SUMINISTRADA AL COMPRESOR}}$$

Condensador

El condensador es un intercambiador de temperatura similar al evaporador que expulsa del sistema el calor absorbido por el evaporador.

Evaporador

Es un intercambiador de calor y su nombre proviene por el cambio de estado que sufre el refrigerante al recibir dicho intercambio. En el proceso de evaporación, el fluido refrigerante pasa de estado líquido a gaseoso.

Compresor

Es el componente del sistema que aumenta la presión del líquido refrigerante y que sea posible la circulación del refrigerante a través del sistema. (William C. Whitman & William M. Johnson, s. f.)

2.7 ALTERNATIVAS A LAS SUSTANCIAS AGOTADORAS DE OZONO

De acuerdo a las Normas Internacionales de Refrigeración y Aire Acondicionado, para la sustitución de los HCFC, las alternativas deben de cumplir con el requisito básico de tener un potencial de agotamiento de la capa de ozono igual a cero. (PNUMA, 2015)

Cada alternativa tiene sus ventajas y desventajas, por lo cual es importante considerar y estudiar cada de una de ellas, enmarcadas y analizadas de acuerdo a sus características individuales.

En el siguiente cuadro, se mencionan algunos ejemplos de alternativas a los HCFC, tomando en cuenta su característica de nulidad en contenido de sustancias agotadoras de ozono y de su bajo Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA):

Tabla 1. Ejemplos de alternativas a los HCFC exentas de SAO o con bajo PCA

Refrigerantes naturales	HC (hidrocarburos) Amoniaco CO2(dióxido de carbono)	Ej. R-290(propano),R-600a (isobutano), R-1270 (propano) R-717 R-744
HFC sintéticos	HFC saturados HFC no saturados (conocidos como hidrofloreofinas o HFO)	Ej. R-161, R-152 ^a Ej. R-1234yf, R-123ze

Fuente:(PNUMA, 2015)

En cuanto a sus características de seguridad las alternativas a las SAO's se encuentran clasificadas de la siguiente forma:

Tabla 2. Características de alternativas a las SAO

Refrigerante	Refrigerante naturales			HCF sintéticos	
	HC	Amoniaco	CO2	HFC saturados	HFC no saturados (HFO)
PCA(100 años)	++	++	++	- -*	++
Inflamabilidad	- -	-	++	++*	-
Toxicidad	++	- -	+	++	++
Presión	+	+	- -	+	+
Disponibilidad	+	+	+	++*	- -
Familiaridad	+	+	-	++	-

*se refiere a los HFC convencionales y ampliamente utilizados, tales como R-404^a, R-407^a, R-410^a, etc. Algunos HFC saturados como el R-161 y el R-152^a tienen un bajo PCA, son inflamables y puede que no sean tan fáciles de obtener como los HFC habituales.

++	Muy positivo
+	Positivo
-	Negativo
--	Muy negativo

Fuente: (PNUMA, 2015)

El sustento en la utilización de Hidrocarburos como sustituto de los refrigerantes tradicionales, está basado en los diferentes estudios realizados al respecto del tema a nivel mundial, una de las referencias a mencionar es el estudio realizado por el investigador Daniel Colbourne, quien desarrolló una tabla comparativa de los diferentes refrigerantes, su potencial de

Calentamiento Global (GWP por sus siglas en Inglés), eficiencia y datos relevantes en relación a su uso.

A continuación ilustramos mediante la Tabla 3, las ventajas de los hidrocarburos en comparación con los refrigerantes alternativos de reemplazo a las SAO's.

En dicha imagen, revela que los hidrocarburos (HC) se obtiene una “Buena” eficiencia, su uso está condicionado a tomar las medidas de seguridad pertinentes para mitigar los riesgos de inflamabilidad, es ventajoso por su baja toxicidad, bajo índice de potencial de calentamiento global y su costo, que puede variar entre la mitad y el doble del costo del refrigerante R22.

Tabla 3. Tipos de refrigerantes y sus propiedades

Tipo de Refrigerante	Seguridad	PCA	Eficiencia	Costo	Otros
Hidrocarburos	Baja Toxicidad, mayor inflamabilidad, se deben de tomar las medidas de seguridad pertinentes para reducir el riesgo por ser inflamable; fácil de usar en sistemas nuevos.	+3	Buena	½ x a 2 x R22	Miscible con aceites minerales, pero se debe de evitar la sustitución directa razones de seguridad
Amoníaco	Altamente tóxico, baja inflamabilidad uso limitado en sistemas indirectos o en espacios desocupados, es necesario un diseño por especialista.	0	Excelente	<<R22	Incompatibilidad con materiales de cobre, no se puede utilizar la sustitución directa.
Dióxido de Carbono	Baja toxicidad, no inflamable, bajas restricciones de aplicación, pero requiere de una alta presión de operación, por lo que la construcción debe estar correctamente diseñada.	1	Buena en frio, pobre en climas cálidos.	<R22	No se puede usar en sistemas existentes por ser de altas presiones de operación, requiere de diseño de un experto.
HFC no Saturados	Baja toxicidad, baja inflamabilidad, cambios en el sistema de construcción es necesario (si la reconversión es de R22, pocos cambios hacia R134a)	+4	Media	>>R22	Uso en productos muy nuevos, se desconocen muchos factores.

Fuente:(Daniel Colbourne, 2010)

2.8 EVOLUCIÓN DE LOS REFRIGERANTES

La primera maquinaria de refrigeración fue construida por Jacob Perkins en 1834; usaba un ciclo compresor a vapor. La primera máquina de absorción fue desarrollada por Edmon Carré en 1850, usando agua y ácido sulfúrico como refrigerante, su hermano Ferdinand Carré, demostró que el Amoniaco/ Agua podía usarse como refrigerante en 1859.

El dióxido de carbono fue introducido como refrigerante en el año 1866, así como una mezcla llamada chemogene consistente en petróleo y nafta. Calm, 1994 (Refrigerant Safety)

A continuación se ilustra las tendencias de las generaciones de los refrigerantes:

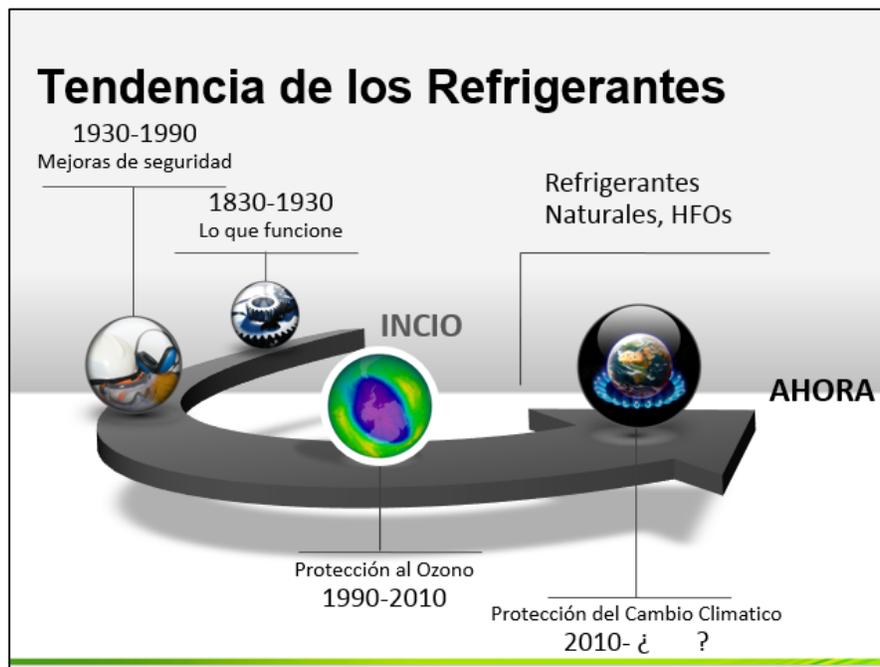


Figura 11. Evolución de los refrigerantes

Fuente: (Gildardo Yáñez, 2015)

En la Figura 11, se ilustra que el nuevo camino que se prevee en cuanto a los refrigerantes, tomando en cuenta los convenios firmado a nivel mundial y debido a su características de gases sintéticos con alto Potencial de Agotamiento de Ozono; la sustitución de dichas sustancias, se

debe está llevando a cabo utilizando refrigerantes naturales con bajo o nulo potencial de agotamiento de ozono.

2.9 MARCO LEGAL

Honduras firma el Protocolo de Montreal, mediante Decreto Legislativo Número 73-93 de fecha 4 de Mayo de 1993, Publicado en el Diario Oficial la Gaceta Número 27,128 el 21 agosto de 1993, el Estado de Honduras aprobó en todas y cada una de sus partes el Convenio de Viena para la protección de la Capa de Ozono y sus anexos y el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono, las Enmiendas acordadas por la Segunda Reunión de las Partes en Londres, Inglaterra del 27 al 29 de Junio de 1990 y la Enmienda acordada por la Cuarta Reunión de las Partes en Copenhague, Dinamarca del 23 al 25 de Noviembre de 1992, aprobadas mediante Decreto Legislativo Número 141-2000 de fecha 30 de Noviembre del 2000, Publicadas en el Diario Oficial la Gaceta Número 29,341 el 30 de Noviembre del 2000, las Enmiendas acordadas en la novena reunión de las partes en Montreal, Canadá, aprobadas mediante Decreto Legislativo Número 213-2006 de fecha 19 de Septiembre del 2006, Publicadas en el Diario Oficial la Gaceta Número 31,269 el 30 de Marzo de 2007 y las Enmiendas acordadas en la undécima reunión de las partes en Beijín, China, aprobadas mediante Decreto Legislativo Número 214–2006 de fecha 19 de Septiembre del 2006, Publicadas en el Diario Oficial la Gaceta Número 31,276 el 11 de Abril de 2007.

La Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas MiAmbiente a través de la Unidad Técnica de Ozono, es la encargada de la implementación del Protocolo de Montreal en Honduras, y tiene como objetivo principal la eliminación del uso de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAOs), mediante el control de la importaciones, exportaciones de equipos y sustancias, así como de la aplicación de calendarios de eliminación de SAOs, por tipo de sustancias. (Congreso Nacional, 2012)

A pesar de lo anterior, en Honduras no existe un Marco Legal que regule o norme la implementación de los Hidrocarburos en sistemas de Aire Acondicionado, por lo tanto, uno de los objetivos en el presente trabajo es realizar una revisión general de las normas a nivel internacional que existe sobre la sustitución de SAO's por el Hidrocarburo.

NORMA EUROPEA UNE-EN 378-1:2008+A2

En el estudio experimental donde se aplicó Hidrocarburos en un sistema de aire acondicionado tipo mini Split con una capacidad de 12,000Btuh, se siguieron lineamientos y parámetros establecidos en la Norma Europea EN-378, donde se establecen requisitos de seguridad y medioambientales, de los cuales se utilizaron para instalación, funcionamiento, mantenimiento de los equipos y sistemas de aire acondicionado en relación con el respeto al medio ambiente local y global, pero no a la eliminación de los refrigerantes.

En donde se pretende minimizar los posibles riesgos a las personas, bienes y al medio ambiente, que provienen de los sistemas de aire acondicionado y gases refrigerantes, estos riesgos están asociados con las características físicas y químicas de los refrigerantes como lo son sus propiedades termodinámicas, como ser presiones y temperaturas existentes en los sistemas de refrigeración, de igual manera se mencionan los daños posible al ocurrir lo siguiente:

- Rotura o explosión de un componente, con riesgo de proyección de materiales;
- Escape de refrigerante con riesgo de daño medioambiental o toxicidad debido a una rotura, a una fuga debida a deficiencias en el diseño, a un funcionamiento incorrecto y a un mantenimiento, reparación, carga o desmantelamiento inadecuado;
- Inflamación o combustión del refrigerante fugado con el consecuente riesgo de incendio incluyendo el riesgo de productos tóxicos de combustión de los refrigerantes no inflamables.

Los refrigerantes, sus mezclas y sus combinaciones con aceites, agua u otros materiales, que están presentes en el sistema de refrigeración, a propósito o no, afectan a los materiales interiores circundantes química y físicamente por ejemplo debido a la presión y a la temperatura. Estos, cuando se escapan del sistema de refrigeración, pueden, si tienen propiedades dañinas, poner en peligro a las personas, propiedades y al medioambiente directa o indirectamente debido a los efectos globales a largo plazo (ODP, GWP). Los refrigerantes deben seleccionarse según su influencia potencial sobre el medio ambiente global, así como sus posibles efectos sobre el medio ambiente local. La evaluación de las prestaciones del medio ambiente sin embargo requiere un ciclo de vida aproximado. Con vistas al cambio climático global, el impacto total

equivalente de calentamiento (Total Equivalent Warming, TEWI) aproximado es generalmente utilizado como base (véase el Anexo 1). Debería realizarse una referencia a las series de Normas EN ISO 14040 para mencionar otros aspectos medioambientales. Muchos factores influyen en los impactos medioambientales tales como:

- Emplazamiento del sistema;
- Eficiencia energética del sistema;
- Tipo de refrigerante;
- Frecuencia de servicio;
- Fugas de refrigerante;
- Sensibilidad de la carga sobre la eficiencia;
- Minimización de la carga térmica;
- Métodos de control.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

Mediante el planteamiento del problema de la presente investigación y de los impactos ambientales y energéticos que causan los diferentes dispositivos de enfriamiento y climatización, se establece la metodología para obtener una medida de la reducción de los impactos anteriormente mencionados.

Por lo anterior se hace mención que la reducción de estos impactos dependerán de las condiciones geográficas y climáticas de la región o país, sector o industria, así mismo se deben de considerar las normativas de seguridad y legislación para el desarrollo de la implementación de Hidrocarburos en el estudio experimental que se desarrollará en un sistema de aire acondicionado, con el fin de mejorar la eficiencia energética y de esta forma contribuir a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y agotamiento de la capa de ozono, de las cuales depende la vida del planeta.

3.1.1 HIPÓTESIS

- a) Con la implementación de Hidrocarburos en un sistema de aire acondicionado se obtiene un ahorro en el consumo de energía eléctrica.
- b) Con la implementación de Hidrocarburos se obtiene una reducción del impacto ambiental.

3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

El uso de los refrigerantes sintéticos Clorofluorocarbonos como ser el R-22 y otras familias como ser los CFC's y los HFC's en las aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado trae como consecuencia la destrucción de la capa de ozono y el aumento del calentamiento global, por lo anterior, ciertos países desarrollados y en vías de desarrollo promueven el uso de gases refrigerantes como ser los Hidrocarburos.

La metodología aplicada para la reconversión del sistema de aire acondicionado haciendo uso de hidrocarburos se basa en primer lugar en las medidas de seguridad apropiadas evitando el

riesgo de accidentes y en segundo lugar, el estudio de las ventajas ambientales y energéticas obtenidas y medibles por medio del ensayo de experimentación.

Mediante la revisión bibliográfica de las normas internacionales, en el presente trabajo, se pretende implementar un método que considere o unifique todos los aspectos de seguridad, así como de los aspectos técnicos que sean más favorables para su aplicación en Honduras.

3.3 SUSTITUTOS DEL REFRIGERANTE R-22

Tomando en cuenta la regulación global de las sustancias agotadoras de ozono, inició una campaña de investigación de refrigerantes alternativos que pudieran reemplazar a los refrigerantes que están relacionados con el deterioro o daño de la capa de ozono. Como se mencionó en el Capítulo II, Marco Teórico una de las opciones para la reconversión de aire acondicionado son los refrigerantes naturales.

Los refrigerantes naturales son sustancias que están presentes en la atmósfera de forma natural y no dañan la capa de ozono; por tal razón se les denominan como refrigerantes ecológicos por su bajo o nulo Potencial de Calentamiento Global (PCG).

Otra de las ventajas de los hidrocarburos es que son compatibles con los materiales que funcionan dentro de un sistema de aire acondicionado como los lubricantes que se utilizan en el mismo.

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo, se ha considerado desarrollar una parte de **Investigación experimental**; la cual consiste en el análisis de un estudio termodinámico y eléctrico que se implementará mediante la sustitución refrigerante hidrocarburo en un equipo de Aire Acondicionado con el fin de obtener un índice de eficiencia energética mejorando el funcionamiento de este mismo. En el Anexo 2 se ha adjuntado el flujograma del desarrollo del presente trabajo, tomando en consideración las variables de estudio.

Es importante mencionar que las condiciones iniciales del ambiente en donde se tomarán las mediciones, serán consideradas estables para ambos casos y por lo tanto se espera una baja o nula incidencia de dichas variables en los resultados obtenidos.

3.4.1 MUESTRA

El presente estudio se desarrolla como una investigación integral para la implementación de hidrocarburos en todo el centro interactivo y analizar el impacto tanto en reducción energética como en reducción de emisiones de sustancias agotadoras de ozono.

3.4.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

A continuación se describe el equipo en el cual se implementará el estudio experimental mediante la sustitución de gases refrigerantes a hidrocarburos cuyas características y especificaciones son las siguientes:

Tabla 4. Información del Aire Acondicionado a Realizar la reconversión

Marca	Comfort Star
Capacidad de enfriamiento	12000 BTU/h
Tipo	Mini Split
Modelo	AS-12CR2FUL
Consumo de corriente eléctrica (A)	5.3 / 5.4 A
Voltaje (V)	208 – 230 V/ 60 Hz
Potencia	1100/1200 W
Refrigerante	R22/ 0.55 kg

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Siguiendo los procedimiento correspondientes con la aplicabilidad de las medidas de seguridad se aplicara la implementación de los procesos prácticos en una mini Split detallando las áreas a trabajar que deben estar bien ventiladas estar alejados de la áreas donde se puede dar una fuente de ignición, y tomar los parámetros iniciales como presión , temperatura, corriente eléctrica.

3.5.1 METODOLOGÍA PARA LA RECONVERSIÓN

Análisis del Gas Refrigerante. Se analizó el gas refrigerante que contenía el equipo para constatar si este mismo no estaba contaminado, el cual se realizó con el equipo analizador de gases refrigerantes ULTIMA ID, el cual es un equipo certificado por el Protocolo de Montreal y diseñado por la compañía NEUTRONICS. Ver figuras siguientes:



Figura 12. Proceso de Análisis del Gas refrigerante.

Recuperación de Refrigerante (Obligatorio): es absolutamente necesario realizar este procedimiento técnico para evitar la liberación de refrigerantes, R-22 al ambiente. Aplicar auto limpieza a la recuperadora, con el fin de eliminar los residuos de refrigerante o de gases no condensables, verificar las dos válvulas del equipo de aire acondicionado para acceder al sistema, Revisar que las válvulas del juego de manómetros se encuentren cerradas.



Figura 13. Recuperación del refrigerante

En la figura 13 muestra el proceso de registro de datos (Ver Anexo 3: plantilla para registro de datos); se tomó el peso del cilindro de donde se recuperaría el gas refrigerante, este mismo

tenía un buen vacío de 1000 micrones lo cual es lo recomendado para realizar recuperación de gases refrigerantes, se hace mención que el peso del cilindro se tomó sin contener conectadas mangueras ni sensores de llenado para no tener variaciones del peso neto extraído del gas refrigerante que contenía el sistema de aire acondicionado.

Posteriormente conectar la manguera del lado de baja presión del juego de manómetros (azul), al lado de succión del circuito de aire acondicionado, Conectar la manguera del lado de alta presión del juego de manómetros (roja), al lado de descarga del circuito de refrigeración y mantenerla cerrada durante todo el proceso, Conectar la manguera de servicio del juego de manómetros (amarilla), al lado de entrada del filtro de la recuperadora y posteriormente conectar con otra manguera la salida del filtro a la válvula de entrada (gas) de la recuperadora, Conectar la válvula de salida (líquido) de la recuperadora, con la válvula de entrada (gas) del tanque final que por norma debe de tener un vacío de 1000 micrones el cual deberá estar colocado en una balanza de manera plana, se debe verificar la conexión del sensor de seguridad (cilindro lleno) de la recuperadora al cilindro final de recuperación, Abrir las válvulas de baja y alta, Encender la máquina de recuperación para recuperar el refrigerante del circuito de refrigeración. Monitorear el peso del cilindro, cuando el refrigerante sea recuperado totalmente el manómetro de baja nos indicara que está en vacío, apagar la máquina y realizar las respectivas desconexiones.



Figura 14. Proceso de conexión del equipo.

Barrido con nitrógeno (opcional): El barrido con nitrógeno consiste en hacer al equipo de refrigeración, una evacuación de gases no condensables y partículas menores en suspensión.

Reemplazo del filtro secador (opcional), luego de esto se procedió a realizar vacío.

El vacío no es opcional debido a que un buen vacío elimina partículas de humedad dentro del sistema y evita daños en el mismo, el cual se realizó con una bomba de vacío de 4.5 CFM, y monitoreado con un dispositivo denominado Vacuómetro, el cual se muestra en las figuras siguientes:



Figura 15. Proceso de vacío del equipo.

Como se puede observar en la última figura se alcanzó el vacío establecido en la norma de 500 micrones para aceite sintético. El cual se obtuvo con el equipo que se mencionó anteriormente.

Posteriormente al vacío se realizaron las medidas del gas refrigerante Hidrocarburo R-290 utilizando la balanza electrónica, para establecer su peso y realizar la carga correcta con el porcentaje adecuado.

Luego de esto se procedió a realizar la purga para eliminar el aire acumulado y luego la respectiva carga con HC-22a por peso, presión, temperatura, volumen, por placa sin perder el vacío y al final el etiquetado del equipo que notifica que es un gas inflamable y advierte que ese equipo deberá ser manipulado por expertos en el área de Hidrocarburos.

El vacío no es opcional debido a que un buen vacío elimina partículas de humedad dentro del sistema y evita daños en el mismo, luego de esto se procedió a realizar la purga para eliminar el aire acumulado y luego la respectiva carga con HC-22a ya sea por peso, presión, temperatura, volumen, por placa sin perder el vacío y al final el etiquetado del equipo que notifica que es un gas inflamable y advierte que ese equipo deberá ser manipulado por expertos en el área de Hidrocarburos.

Al final de la reconversión se etiquetó el sistema de aire acondicionado para advertencia de que el equipo está cargado con Hidrocarburo, y así evitar accidentes al momento de realizar algún mantenimiento por técnicos no certificados (Ver **Anexo 4**). Se podrá observar un ahorro energético en el sistema de un determinado porcentaje de energía, al hacer las comparaciones correspondientes antes y después. De igual manera las presiones bajan de uno a dos grados y las temperaturas mejoraron su capacidad de enfriamiento.

3.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD AL UTILIZAR REFRIGERANTES HIDROCARBUROS.

Como se ha mencionado anteriormente en el presente trabajo, uno de los puntos más importantes en cuando a la implementación de refrigerantes hidrocarburos como refrigerante es su inflamabilidad, razón por la cual no se ha extendido su uso.

Tomando en cuenta el uso de otros diferentes hidrocarburos que son empleados con seguridad en otras áreas de uso común por las personas, ya sea para calefacción, cocina, combustible para transporte, etc.; para el uso de estos hidrocarburos se han desarrollado normas y métodos específicos para garantizar su seguridad, de la misma forma se pueden desarrollar para el sector de aire acondicionado y refrigeración.

Para llevar a cabo la reconversión del sistema, se consideró lo establecido en la Norma EN-378, en la cual se dictan los lineamientos en cuanto a las medidas de seguridad a tomar en cuenta.

3.6.1 MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Con el objetivo que el refrigerante hidrocarburo no se mezcle con el aire y para evitar que inicie combustión de deben de tomar las siguientes medidas preventivas:

- Realizar una revisión física- visual minuciosa de todos los elementos del aire acondicionado para identificar los lugares donde hay fugas y con esto prevenir que el hidrocarburo se mezcle con el aire.

- Asegurarse que el proceso de vacío se realice correctamente con el propósito de eliminar la presencia de aire en el sistema.
- Realizar una revisión eléctrica y electrónica de los equipos que emitan arcos y llevar a cabo las reparaciones pertinentes para evitar que el hidrocarburo se mezcle con el aire.
- Se debe de revisar los aislamientos del equipo de aire acondicionado, en especial aquellos que puedan alcanzar temperaturas de auto – ignición.
- Se debe contar con un espacio bien ventilado para evitar la acumulación del límite inferior de inflamabilidad.

3.7 INSTRUMENTOS

A continuación se hace una descripción de los instrumentos y equipos utilizados para el ensayo experimental que incluye la reconversión del equipo, así como los necesarios para los ensayos de prueba:

- Equipo de Aire Acondicionado a reconvertir.
- Recuperadora de gas refrigerante.
- Vacuómetro
- Bomba de vacío
- Termómetro.
- Juego de manómetros
- Multímetro
- Analizador de Redes.

- Bombona de recuperación de refrigerante.
- Alicates de presión con perforador de tubería de cobre.
- Bombona de propano (R290)
- Balanza electrónica.

3.8 ENSAYOS

Para obtener los objetivos planteados en el presente trabajo, es necesario llevar a cabo dos ensayos con el fin de obtener las medidas deseadas en los dos escenarios planteados: Antes de la implementación de hidrocarburos en el sistema de aire acondicionado, es decir con refrigerante R-22 y después de la implementación del hidrocarburo; ya una vez hecha la reconversión tomando en cuenta todas las medidas de prevención pertinentes.

Para estos ensayos se determinó utilizar las Normas ANSI/ASHRAE 16 – 1983 que refiere al método de prueba para clasificar aires acondicionados para habitaciones y para terminales unitarios.

3.8.1 ÁREA DE PRUEBA

La Norma ANSI /ASHRAE 16 – 1983 hace mención de dos tipos de habitaciones para la prueba de aires acondicionados:

Cuarto Calorimétrico Calibrado: Este tipo de cuarto debe de incluir una división interna, debe de estar aislado y debe de evitar la fuga de calor hasta un 5% de la capacidad el aire acondicionado.

Cuarto Calorimétrico de ambiente Balanceado: El cielo, piso, y paredes en este tipo de cuarto deben de estar lo suficientemente espaciados de las áreas de control, con el fin de proveer una temperatura de aire en el área intervenida, se recomienda un distanciamiento de al menos 12 pulgadas.

La Norma ANSI/ ASHRAE 16 – 1983 está diseñada para establecer un método de prueba para obtener datos de capacidad de enfriamiento y flujo de aire, sin embargo, el presente análisis de concentró en la medición de la eficiencia energética obtenida por la reconversión del refrigerante en un aire acondicionado. Por lo tanto, se ha considerado que si se mantiene el área de ensayo en las mismas condiciones antes y después de la implementación del hidrocarburo, la influencia de las variables no será significativas si se permanecen inamovibles las condiciones de prueba.

3.8.2 ENSAYO DE CONSUMO DE ENERGÍA

Para obtener los datos de consumo de energía, se consideró la utilización de un analizador de redes, el cual registra las variaciones de las variables eléctricas como ser: Corriente eléctrica(Amperaje), Nivel de Tensión (Voltaje) y Potencia.

Las mediciones se registran cada cinco minutos y el valor registrado corresponde al valor medio de cada una de las variables durante el período establecido de registro (cinco minutos).

El método de ensayo realizado proporciona una amplia cantidad de datos y se eliminó el error humano en la lectura y registro de cada valor. La Norma ANSI/ ASHRAE 16 – 1983 especifica la toma de data por medios manuales, cada 10 minutos por espacio de una hora. Al realizar el experimento durante una jornada de 9.2 horas y tomando lecturas cada cinco minutos, los valores obtenidos tienen una validez más exacta y cercana a las condiciones de funcionamiento que pudiera experimentar el equipo.

3.9 LIMITANTES DEL ESTUDIO

Las limitantes del presente estudio, corresponden al no control de las variables independientes y se realiza en el entendido que se depende de las condiciones del equipo a realizar el ensayo, dicho equipo es usado y de cuyos mantenimientos preventivos y correctivos se desconocen.

El ensayo se realiza en un equipo solamente y la eficiencia obtenida, así como el cálculo de reducción de impacto ambiental es en relación a la capacidad de un equipo de 12,000 BTU/h; los

resultados pueden diferir de equipos de mayor capacidad, en donde la cantidad de refrigerante es mayor.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se presentan los resultados de las variables medidas durante el experimento dentro del cuarto de prueba. Se han separado los resultados en dos etapas: Antes y Después del cambio del refrigerante.

4.1 RESULTADOS DEL EQUIPO FUNCIONANDO CON REFRIGERANTE R-22

4.1.1 CONDICIONES INICIALES (TEMPERATURA - HUMEDAD RELATIVA)

Las condiciones iniciales para la primera etapa del experimento, en el cual el equipo se encontraba funcionando con el refrigerante original, es decir, R-22 se tomó nota de la temperatura tanto dentro como fuera del cuarto de prueba y de la humedad relativa dentro del habitáculo de experimento.

Se registraron datos al azar durante el período de funcionamiento del equipo con R-22, cuyos resultados se presentan gráficamente:

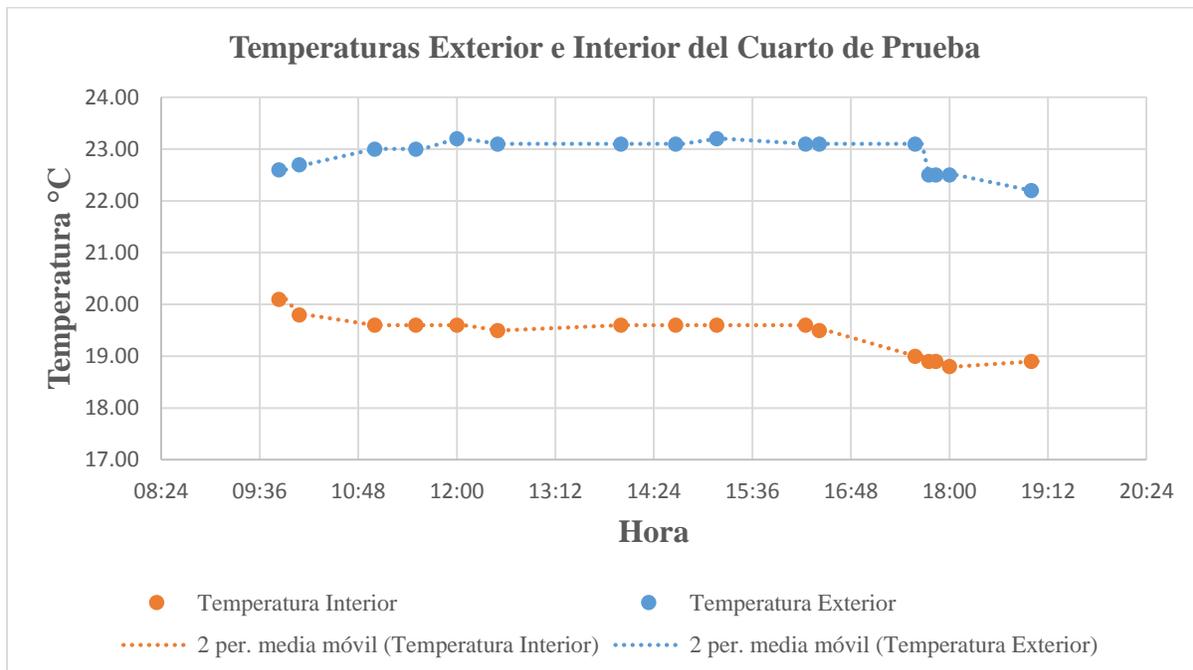


Figura 16. Comparación de Temperaturas Exterior e Interior del Cuarto de Pruebas, sistema funcionando con R-22.

En la Figura 16 se puede apreciar el comportamiento casi simétrico de los cambios de temperatura. La temperatura promedio del ambiente externo fue de: 22.8 °C y al interior del habitáculo de prueba fue de 19.4 °C. El promedio anterior fue calculado de los datos tomados durante el período de prueba del equipo con su refrigerante original (sin cambio alguno).

En cuanto a la humedad relativa, el comportamiento de la misma se ve reflejada en la siguiente figura:

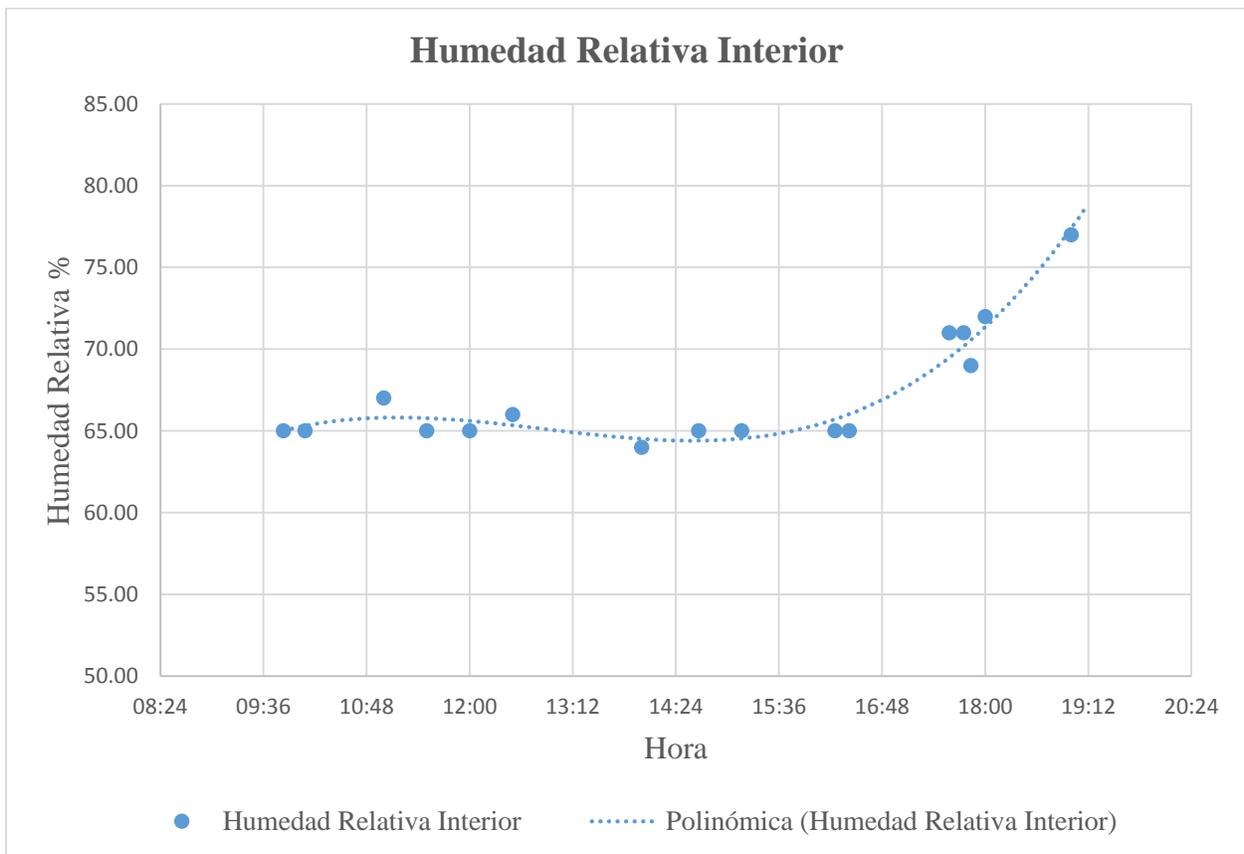


Figura 17. Comportamiento de la Humedad Relativa con el equipo funcionando con R-22

Se puede observar el comportamiento polinómico de grado 3 de la humedad relativa presente dentro del cuarto de prueba, indicando un aumento de la humedad a partir de las 4:00 PM. El valor promedio para el período de prueba en esta primera etapa fue de: 67.31% de humedad relativa.

4.1.2 TOMA DE DATOS DE VARIABLES ELÉCTRICAS

Antes de realizar la reconversión del sistema refrigerante, fue necesario tomar los datos iniciales de funcionamiento del equipo con el refrigerante tradicional, para este propósito se consideró dentro de la metodología experimental, la utilización de un analizador de redes Marca: FLUKE. Dicho analizador fue conectado por el tiempo descrito en el capítulo anterior, es decir, 9.2 horas continuas, cuyo propósito fue el de registrar el comportamiento del nivel de tensión y principalmente el consumo de energía del aire acondicionado con refrigerante R-22.

El procedimiento de la puesta en marcha del equipo y la toma de datos, se ilustra a continuación:



Se conectó el analizador de redes en la L1, L2, Neutra y Línea de tierra para tomar los valores de nivel de tensión (voltaje), corriente eléctrica (amperaje), potencia, energía y factores de potencia. Es importante destacar que la alimentación de energía del equipo, no tiene ningún aparato conectado y es exclusiva para el aire acondicionado.

Una vez conectado el analizador de redes, se procedió al arranque del equipo y se realizó la medición de las variables antes descritas.

Del funcionamiento del equipo con el refrigerante original (R-22) se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.2.1 NIVEL DE TENSIÓN (VOLTAJE)

El registro del nivel de tensión tuvo un valor constante sin cambios importante en las lecturas, esta variable es del tipo independiente puesto que es suministrada por la Empresa de Energía Eléctrica y no tiene mayor influencia en el consumo del equipo.

4.1.2.2 CORRIENTE ELÉCTRICA (AMPERAJE)

El consumo de corriente eléctrica o amperaje del equipo en su estado inicial, fue tomado y luego de la medición arrojó los valores siguientes que se ilustran y describen a continuación:

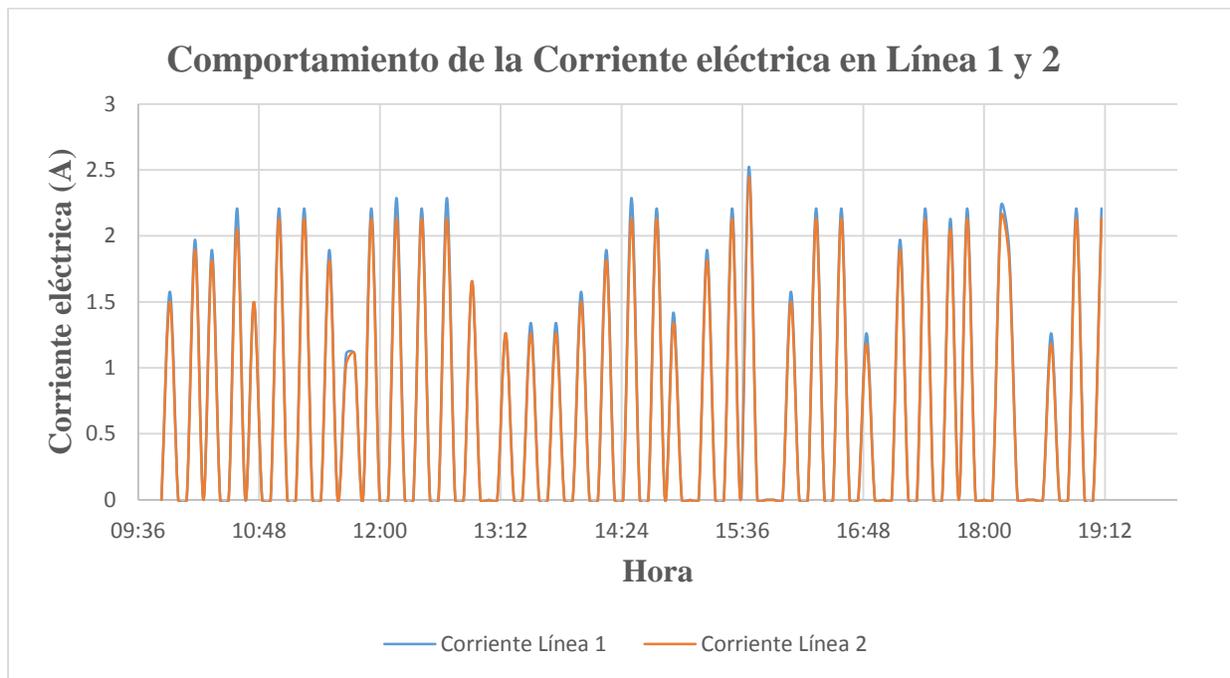


Figura 18. Comportamiento de la Corriente eléctrica en ambas líneas antes del cambio.

Se puede observar en la Figura 18 que las lecturas para ambas líneas son casi iguales, resultando una diferencia porcentual entre ellas de 4.07%. En las lecturas de la Línea 1 se obtuvo un valor promedio de corriente eléctrica de 1.89 Amperios y en la Línea 2 un valor de corriente eléctrica promedio de 1.82 Amperios.

Gráficamente, el consumo de amperaje, es afectado principalmente por la entrada en funcionamiento del compresor, esto al comprimir el gas refrigerante y enviarlo a alta presión al serpentín condensador para provocar el cambio de estado e intercambio de calor para provocar la función de refrigerar un área.

Los ciclos de consumo debido al arranque y funcionamiento del compresor, se observa en la figura anterior, siendo los picos el consumo de amperaje por la entrada en funcionamiento del compresor. Como se pudo observar el equipo funcionando con R-22, tuvo 37 arranques de

compresor a lo largo de 9.2 horas de prueba; es decir que hubo 37 ciclos de compresión del líquido refrigerante cuyo valor máximo de amperaje fue de 2.52 amperios.

4.1.2.3 POTENCIA

La potencia nominal del aparato de prueba es de 1100/1200W, con lo cual se procedió a obtener los valores de medición del experimento obteniendo los siguientes resultados para cada una de las líneas, en la etapa inicial del equipo funcionando con el refrigerante de fábrica (R-22):

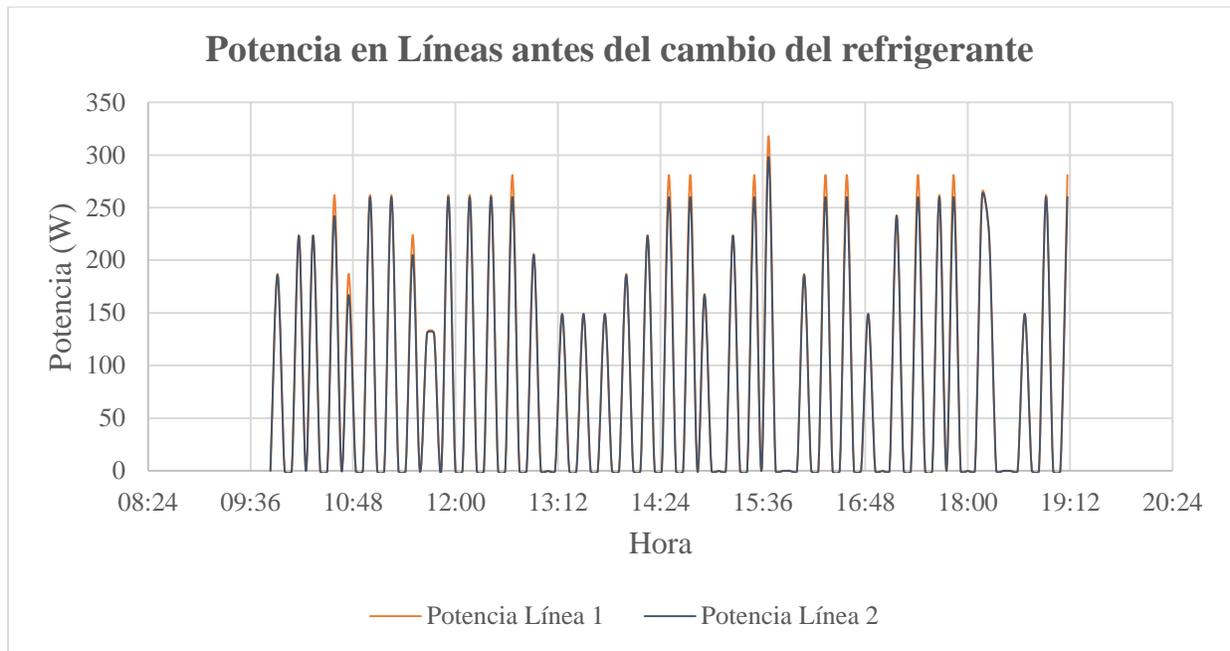


Figura 19. Comportamiento de la Potencia en ambas líneas, antes del cambio del refrigerante.

Los resultados obtenidos para la potencia máxima experimentada en el equipo, alcanzaron valores de hasta de 318 watts. El promedio de la potencia experimentada con el sistema con el refrigerante original fue de: 228.74 Watts y de 221.13 Watts para la Línea 1 y Línea 2 respectivamente. Lo anterior significa que entre líneas se experimentó una diferencia de 3.33%, un valor prácticamente depreciable y lo cual muestra el balance de consumo entre ambas líneas.

La potencia del equipo está claramente definida en los ciclos de compresión y evaporación, los cuales alcanzan valores de potencia elevados específicamente en el arranque de la compresión y potencia cero en el ciclo de evaporación.

4.1.2.4 ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA

De acuerdo al análisis, la energía consumida utilizando el R-22 como refrigerante del sistema en el período establecido fue de 1.46 kWh, en el siguiente gráfico se ilustra el comportamiento de la energía a lo largo del tiempo:

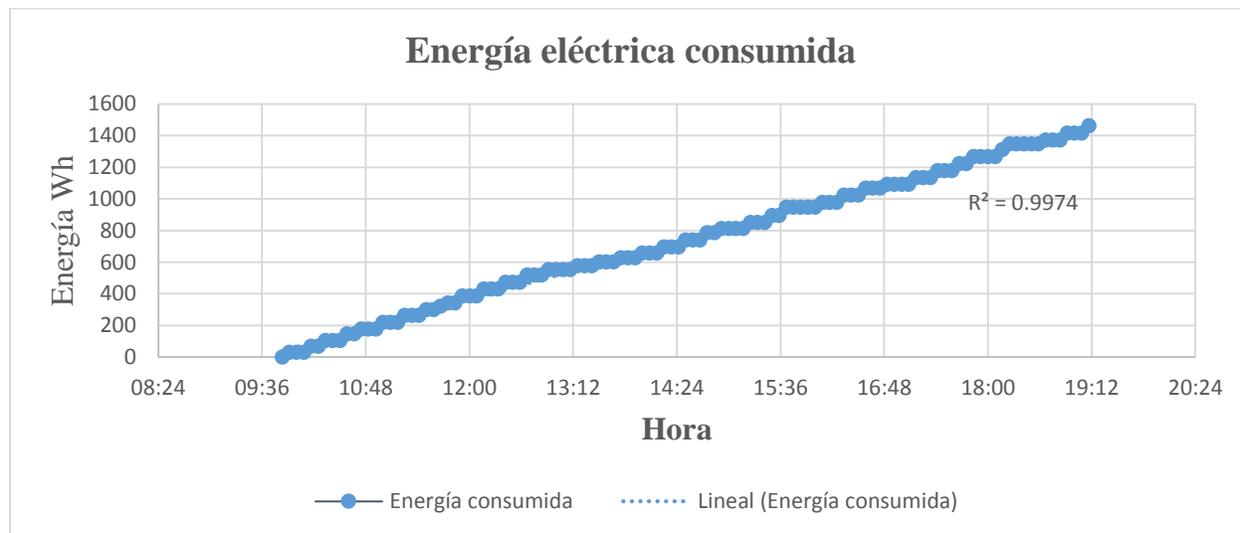


Figura 20. Comportamiento del consumo de energía eléctrica antes del cambio.

La energía eléctrica consumida tuvo un comportamiento lineal ascendente, con el sistema de aire acondicionado programado para climatizar el área a 18 °C.

4.2 RESULTADOS DEL EQUIPO FUNCIONANDO CON HIDROCARBURO.

Una vez realizado el cambio del refrigerante por el hidrocarburo siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo III y tomando todas las medidas de seguridad descritas, se procedió a realizar la medición de las variables eléctricas, considerando que las condiciones de funcionamiento se mantuvieron de manera constante y sin cambios de las mismas que en las condiciones iniciales (antes del cambio), puesto que el área a climatizar se encuentra bajo una losa de concreto y los cambios ambientales fueron mínimos entre mediciones. Los resultados obtenidos una vez realizado el cambio del medio refrigerante fueron los siguientes:

4.2.1 CONDICIONES INICIALES (TEMPERATURA - HUMEDAD RELATIVA)

Una vez realizado el cambio del refrigerante (al día siguiente) se tomaron lecturas de las variables de temperatura interna y externa, así como de la humedad relativa en el interior del área de prueba.

En cuanto a las temperaturas registradas, tuvieron un comportamiento que se ilustra en la siguiente figura:

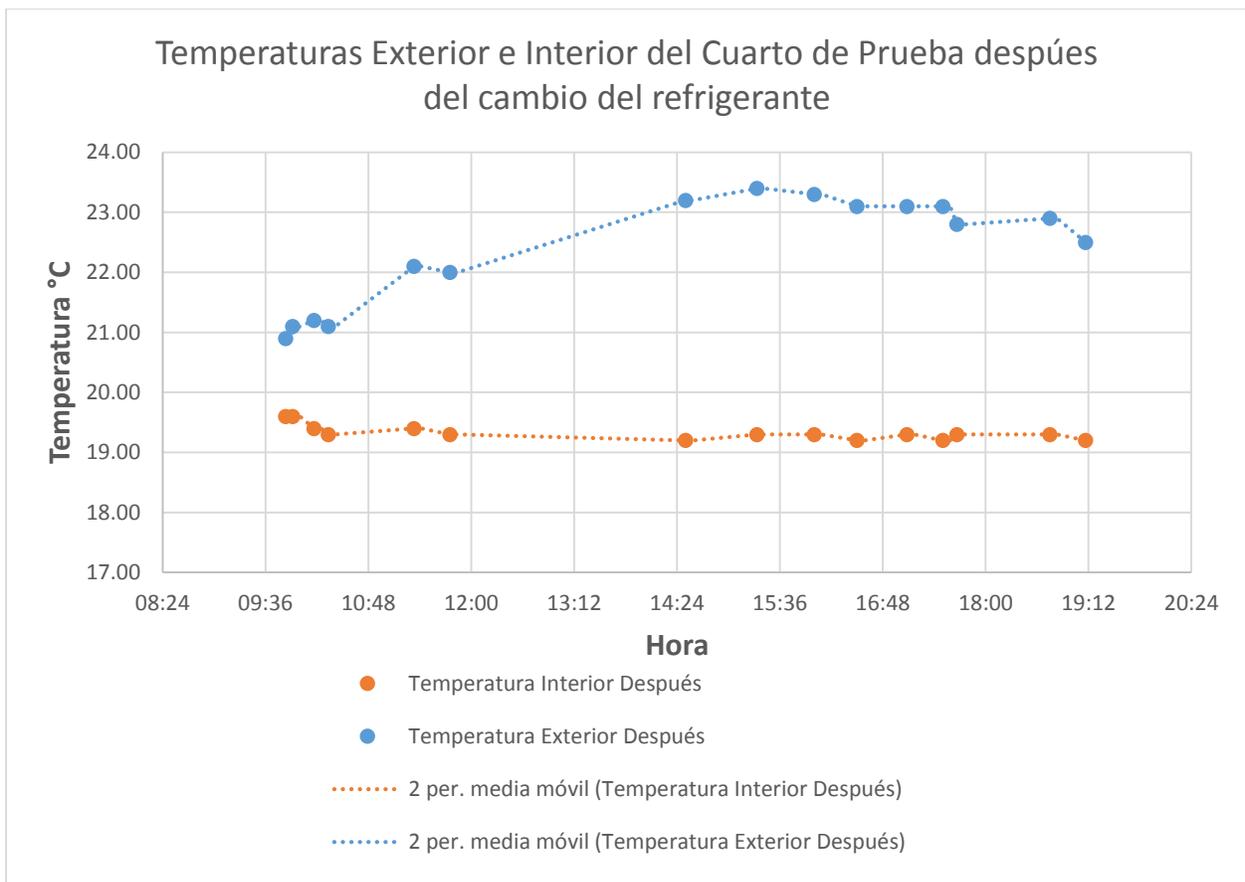


Figura 21. Temperatura Exterior e Interior, después del cambio del refrigerante.

La temperatura exterior registrada en el segundo día de prueba, con el sistema convertido con el hidrocarburo como refrigerante, tuvo un comportamiento normal con las temperaturas bajas en los extremos del día, el promedio de temperatura exterior registrada fue de 22.39 °C, y para el interior fue de 19.33 °C.

En el caso de la humedad relativa en el interior del área de prueba tuvo el siguiente comportamiento que se ilustra en la siguiente figura:

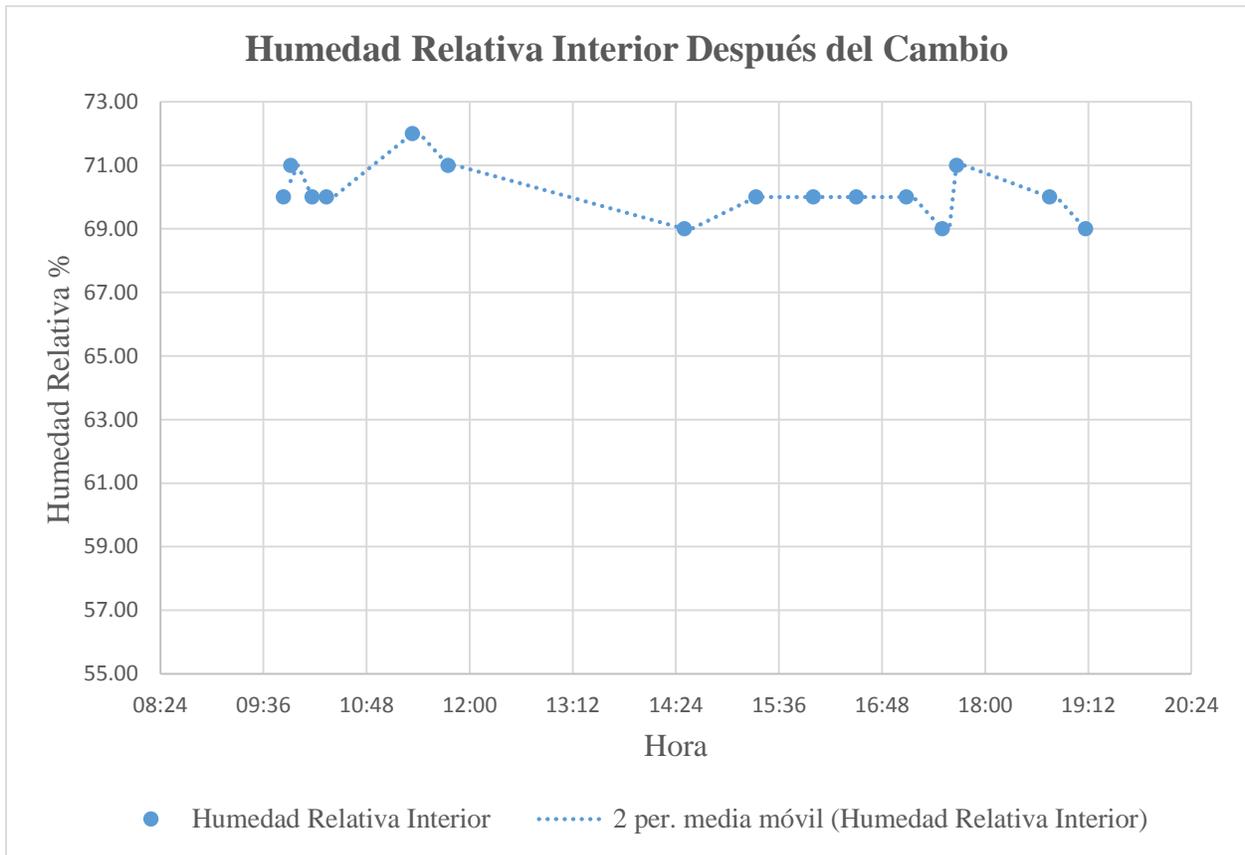


Figura 22. Comportamiento de la Humedad Relativa en el interior del área de prueba, después del cambio del refrigerante.

De acuerdo a la Figura 22, el comportamiento de la Humedad Relativa fue con cambios mínimos con un rango de amplitud reducido, el promedio de la Humedad Relativa después del cambio fue de 70.13%.

4.2.2 NIVEL DE TENSION (VOLTAJE)

Como se explicó en el apartado anterior con el sistema funcionando con R-22, las condiciones de voltaje se mantuvieron constantes, adicionalmente es una variable que no influye en el consumo del equipo.

4.2.3 CORRIENTE ELÉCTRICA (AMPERAJE)

Los datos obtenidos del amperaje consumido por el equipo una vez realizado el cambio del refrigerante, gráficamente muestran el siguiente comportamiento ilustrado mediante la siguiente figura:

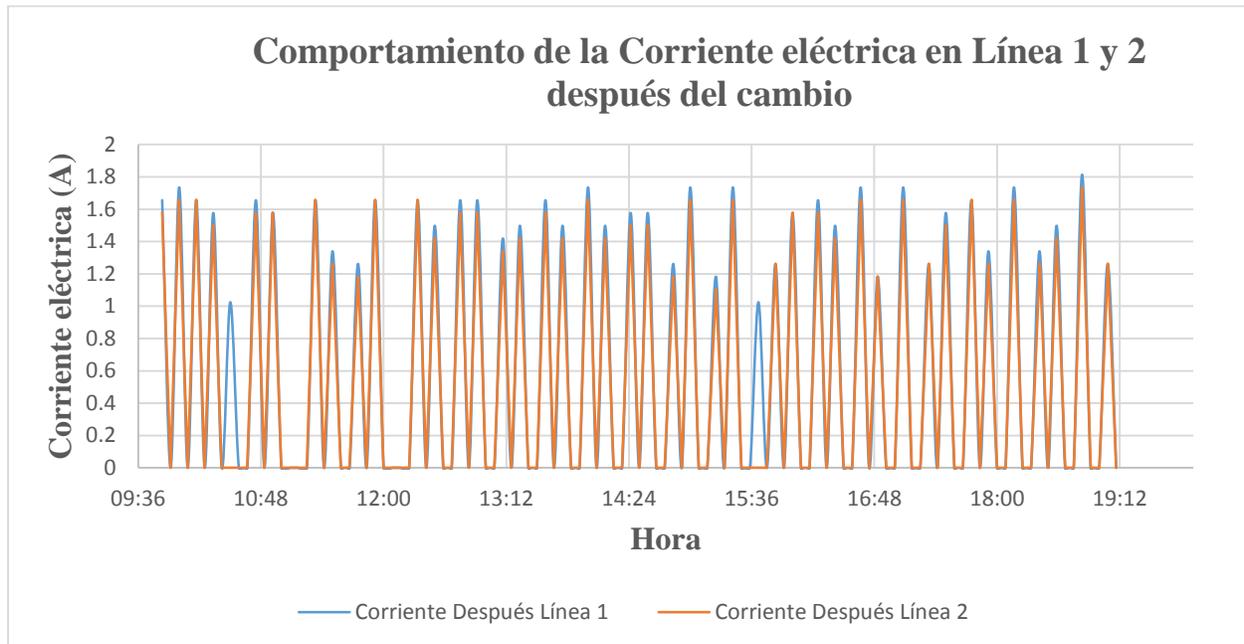


Figura 23. Comportamiento de la Corriente eléctrica en las Líneas 1 y 2, después del cambio del refrigerante

En el análisis de datos de amperaje, se logró observar como valor máximo de 1.81 Amperios. El valor promedio obtenido de la Línea 1 fue de 1.52 Amperios y para la Línea 2 fue de 1.42. El valor promedio máximo de la corriente cuando el compresor se encontraba en funcionamiento es de 1.82 Amperios. Es importante mencionar que el número de arranques del compresor en el período analizado, en esta etapa, fue de 44 veces.

Hubo pequeñas variaciones entre las dos líneas en cuanto al consumo de corriente eléctrica, el diferencial experimentado entre líneas fue de 6.62%.

4.2.4 POTENCIA

En el análisis de potencia, los valores resultantes luego de 9.2 horas de prueba, arrojaron los siguientes valores que se ilustran de manera gráfica:

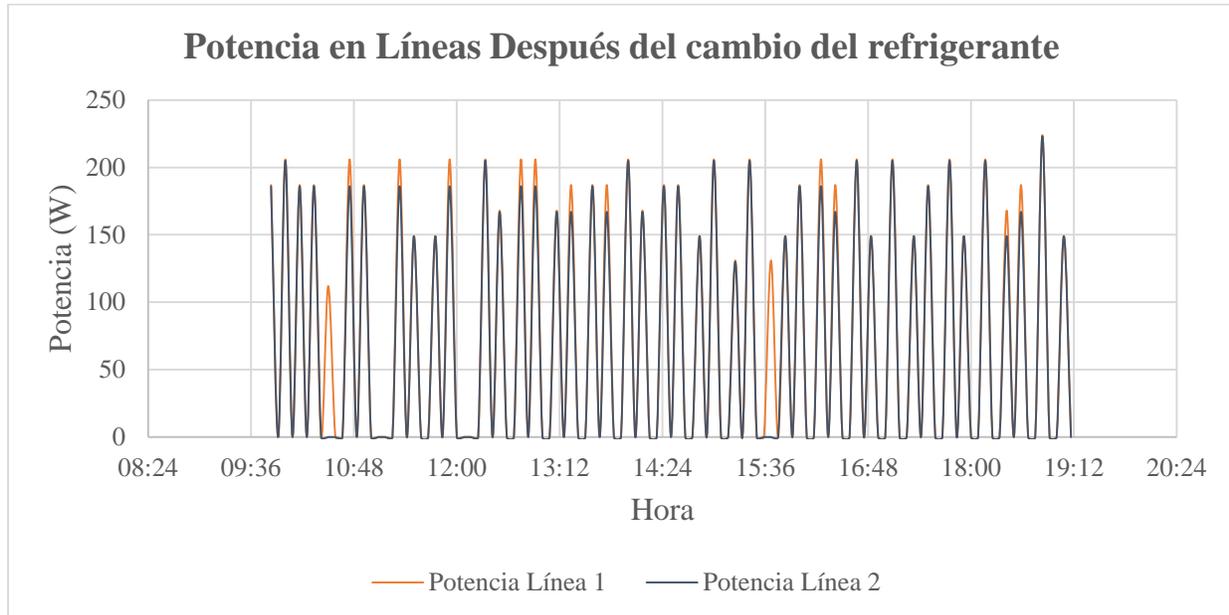


Figura 24. Comportamiento de la potencia en ambas líneas, después del cambio de refrigerante.

De acuerdo a los datos obtenidos, el valor de la potencia máxima alcanzado durante los arranques del equipo fue de 224 W, y valores medios para la línea 1 de 181.43 Watts y para línea 2 de 178.52 Watts.

4.2.5 ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA

Al analizar la data obtenida, se pudo observar que al final del período de prueba se tuvo un consumo de 1.29 kWh, teniendo el siguiente comportamiento que se ilustra en la siguiente figura:

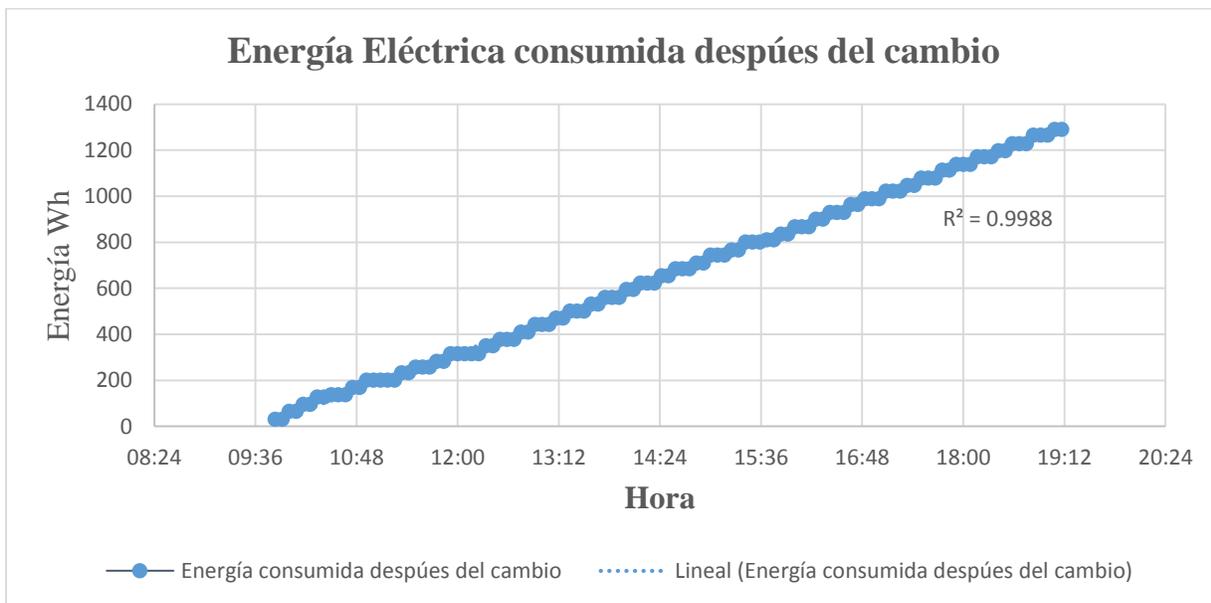


Figura 25. Comportamiento de la energía eléctrica consumida después de la conversión a hidrocarburo.

La energía consumida con el sistema funcionando con el Hidrocarburo R-290, tuvo un comportamiento lineal, cuyo coeficiente de determinación o R^2 resultante fue de 0.9988 lo que indica que el modelo con calidad alta para replicar resultados. La energía consumida en el espacio de 9.2 horas fue de 1.29 kWh.

4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentan las comparaciones de las variables eléctricas significativas y que son incidentes en el consumo de energía eléctrica. Las variables que influyen en el consumo son: El amperaje y La potencia. Además de dichas variables se analizaron las condiciones de temperatura externa para los días de prueba, así como el comportamiento de la temperatura de enfriamiento y humedad relativa al interior del área de prueba.

A pesar de lo anterior la frecuencia de arranques en el compresor también juega un papel fundamental para el recuento de energía consumida para el enfriamiento de un área; razón por la cual también se ha estudiado el cambio de patrón al realizarse el cambio del refrigerante.

4.3.1 COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS

Con el objetivo de proporcionar una idea de las condiciones externas presentes en el área de prueba, el comportamiento de la temperatura de enfriamiento experimentada e inducida por el sistema de aire acondicionado y de la humedad relativa presentes en dicha área, se presenta a continuación una comparación de dichas variables antes y después de la conversión del sistema.

4.3.2 TEMPERATURA EXTERIOR

En la siguiente figura se muestran las condiciones de la temperatura ambiente en las afueras del cuarto de prueba:

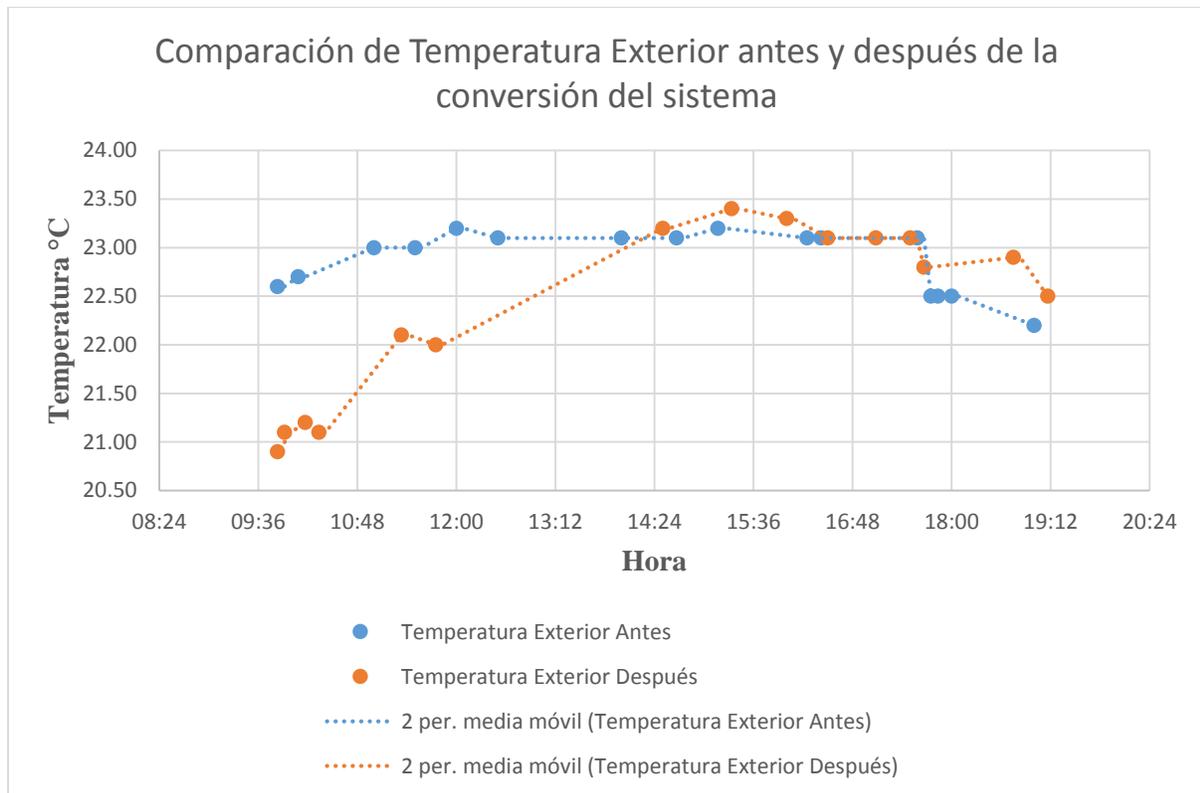


Figura 26. Comparación de temperatura exterior o ambiente antes y después del cambio del refrigerante.

Los valores promedios obtenidos de la temperatura externa registrada antes y después del cambio fueron de 22.80 °C y 22.39 °C respectivamente. Esto indica que las condiciones externas permanecieron casi iguales con una diferencia de 1.89%, que se puede considerar despreciable

para la posible influencia que pudo haber ejercido dicha temperatura al interior del área de prueba.

Lo anterior nos indica que la temperatura externa en promedio se mantuvo prácticamente en el mismo valor en el desarrollo del experimento.

4.3.3 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL INTERIOR DEL ÁREA DE PRUEBA.

La comparación de los valores de las temperaturas y humedad relativa dentro del cuarto de prueba muestra el comportamiento que se ilustra a continuación:

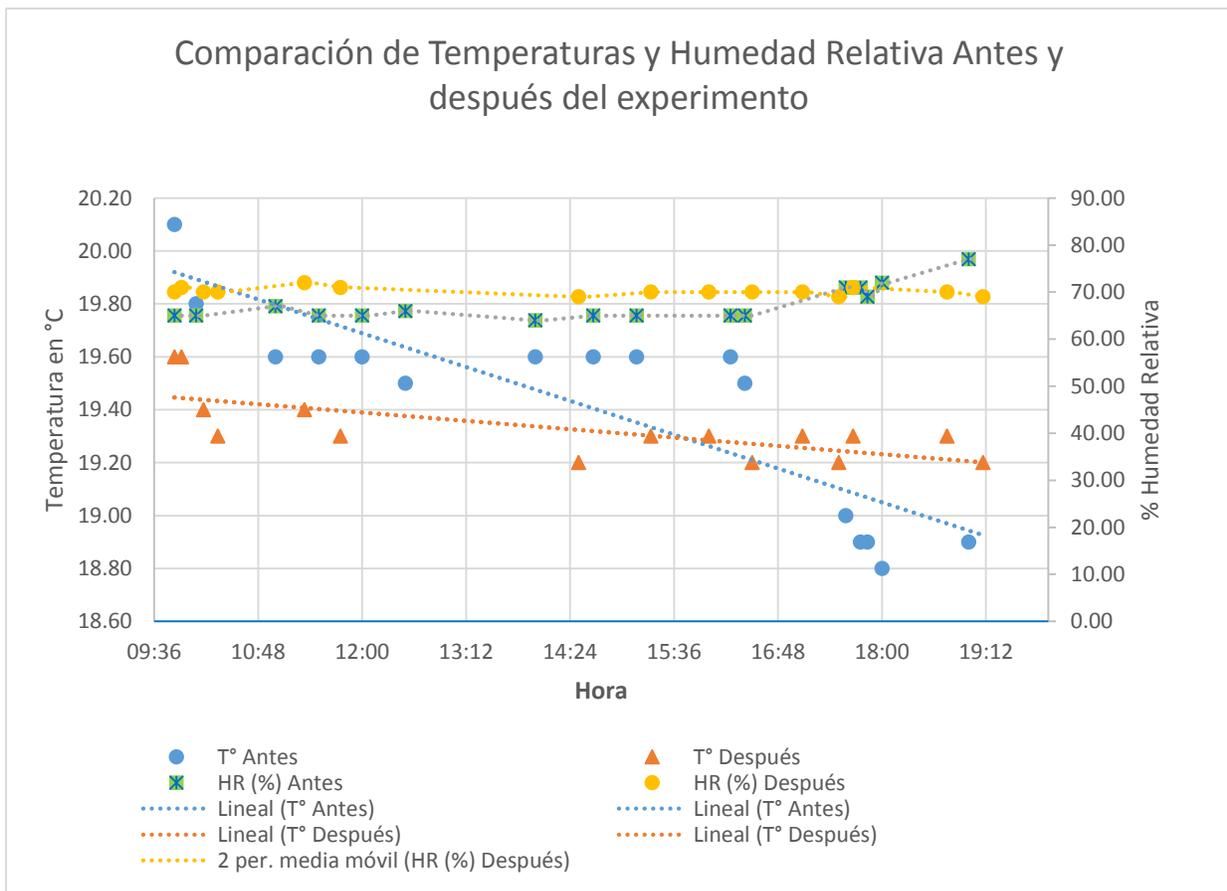


Figura 27. Comparación de temperatura y humedad relativa en el interior del área de prueba.

En la figura anterior se aprecia que la humedad relativa que hubo un diferencial de casi 3% prácticamente sin alteraciones significativas, los valores promedios antes y después del cambio fueron:

Tabla 5. Comparación de valores promedios de humedad relativa

Descripción	Antes del Cambio	Después del Cambio
Humedad Relativa interior	67.31%	70.13%

La variable de humedad relativa interior en ambos casos sostuvo un comportamiento dentro del rango de 65 – 73% sin evidenciar cambios significativos a pesar de la conversión del sistema.

En cuanto a la temperatura de enfriamiento registrada, en la primera parte del experimento se registró un descenso paulatino de esta variable con una pendiente más pronunciada comparada con la línea de tendencia obtenida de los datos registrados después del cambio, es decir, que usando Hidrocarburo R-290 como medio refrigerante, se alcanzó una temperatura baja cercana a la requerida, y se mantuvo con una pendiente más suave. La temperatura al interior del área de prueba, después del cambio, mostró una tendencia más constante que la registrada con el sistema funcionando con R-22.

4.3.4 COMPARACIÓN DE CORRIENTES ELÉCTRICAS

Para observar claramente los cambios en esta variable, se tomó la medición base en el amperaje (equipo con R-22) y se contrastó con la medición una vez que el equipo recibió el cambio de refrigerante.

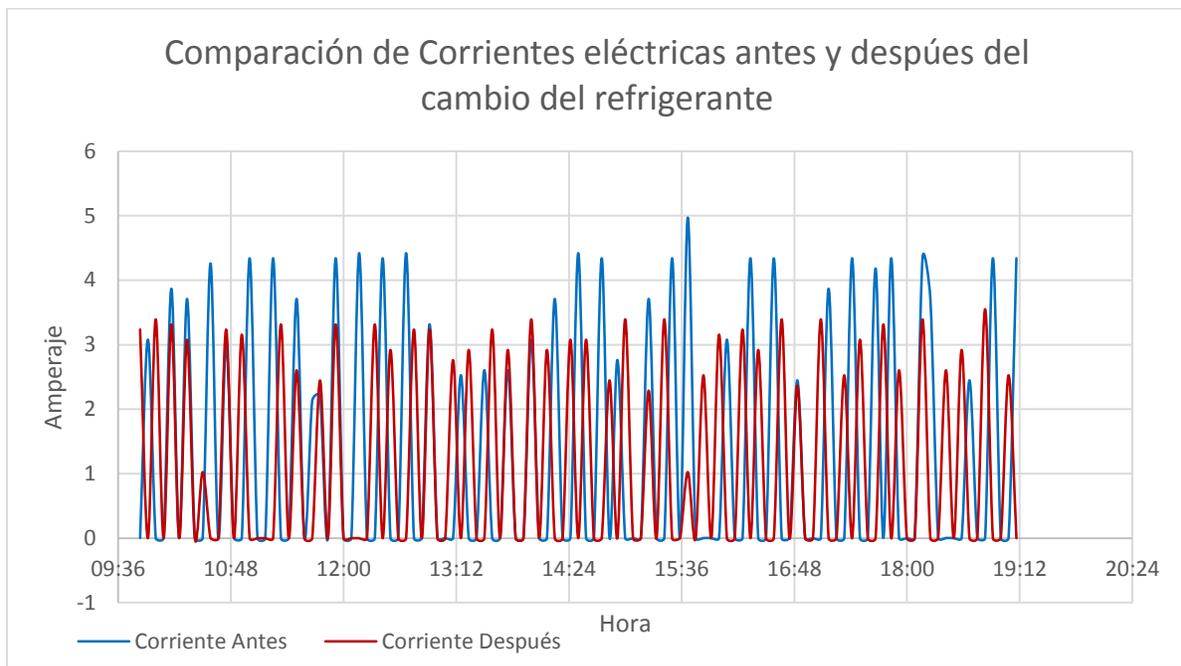


Figura 28. Comparación de Corrientes eléctricas antes y después del cambio.

Se puede notar que los valores promedios de amperaje después del cambio del refrigerante disminuyeron en los porcentajes mostrados en la Tabla 5, sin embargo el número de arranques del compresor, se vio aumentado en 7 ciclos. A continuación se presenta una tabla resumen que muestra la comparación de esta variable antes y después de la sustitución del refrigerante:

Tabla 6. Resumen de resultados en el análisis de corriente.

Descripción	Antes del Cambio (R-22)	Después del Cambio (R-290)	Porcentaje de diferencia
Valor promedio Línea 1 (A)	1.89	1.52	19.58%
Valor promedio Línea 2 (A)	1.82	1.42	21.98%
Valor promedio Total (A)	3.71	2.94	20.75%
Número de ciclos de compresor	37	44	+15.91%
Valor Máximo (A)	4.97	3.55	28.57%

En General se experimentó una disminución promedio en los valores de amperaje de 20.77%. Es importante notar que en cuanto a los ciclos de arranque del compresor hubo un incremento del 15.91% después del cambio.

4.3.5 COMPARACIÓN DE POTENCIAS

Los valores de potencia están relacionados con el amperaje demandado, para ilustrar el comportamiento de los datos registrados por el analizador de la carga se elaboró la siguiente figura:

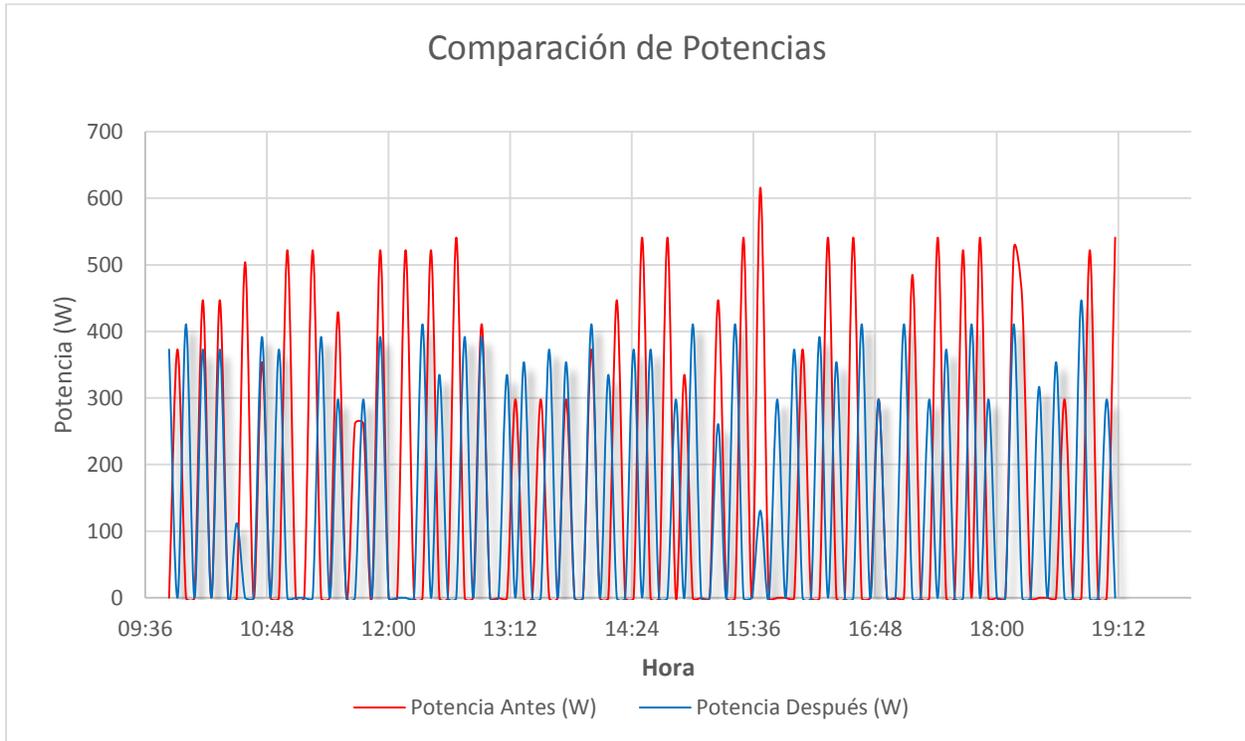


Figura 29. Comparación de las potencias antes y después del cambio del refrigerante.

La potencia tuvo una disminución evidente después de implementar el Hidrocarburo, de esta forma incrementando la vida útil del compresor y por ende del sistema. Los porcentajes de diferencia en los valores se muestran en la Tabla 7 que se muestra a continuación:

Tabla 7. Comparación de valores de potencia después del cambio del refrigerante

Descripción	Antes del Cambio (R-22)	Después del Cambio (R-290)	Porcentaje de diferencia
Potencia promedio Línea 1 (W)	228.74	181.43	20.68%
Potencia promedio Línea 2 (W)	221.13	178.52	19.27%
Potencia promedio Total (W)	449.87	351.84	21.79%
Valor Máximo (W)	616	447	27.44%

Como se puede observar en la tabla anterior, el porcentaje promedio de diferencia entre los valores antes y después del cambio es de 22.83%, en el cual es de destacar el valor máximo de potencia el cual disminuyó en un 27.44%, significando que el equipo con Hidrocarburo funcionará menos forzado, y con una menor potencia y por lo tanto el consumo de energía eléctrica a lo largo del tiempo será menor por la disminución en la exigencia del compresor.

En el análisis de datos se hizo un estudio sobre la correlación existente entre la Potencia y la temperatura al interior del cuarto de prueba, obteniendo la siguiente gráfica:

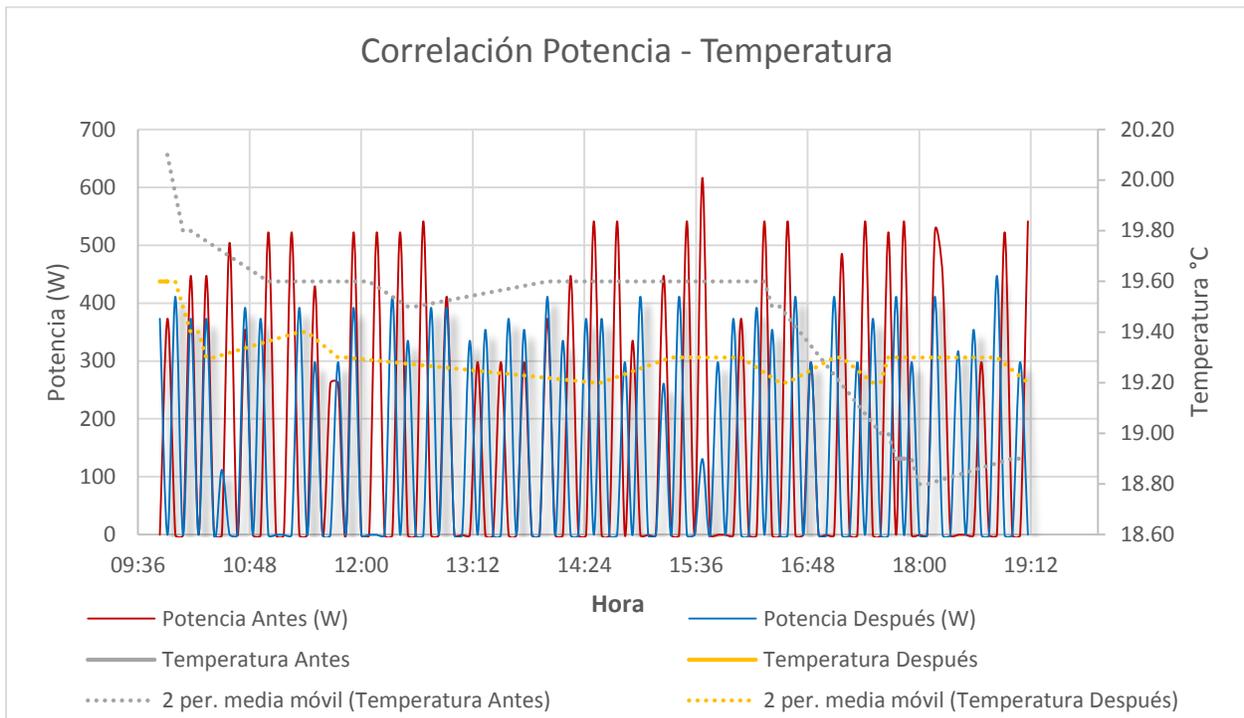


Figura 30. Correlación entre temperatura de enfriamiento y potencia.

En la Figura 30 se observa una relación constante entre la temperatura interior después de la implementación del hidrocarburo y la potencia del equipo, no así, antes de la conversión, cuya temperatura, presentó un comportamiento errático durante el período de prueba. Por lo anterior, se indica que existe una relación congruente y directa entre la temperatura de enfriamiento y la potencia registrada después del cambio.

4.3.6 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Tomando en cuenta la disminución en los valores de las variables indicadas en los apartados anteriores, es posible establecer que el consumo de energía eléctrica fue menor. Gráficamente el consumo de energía está representado y comparado de esta forma:

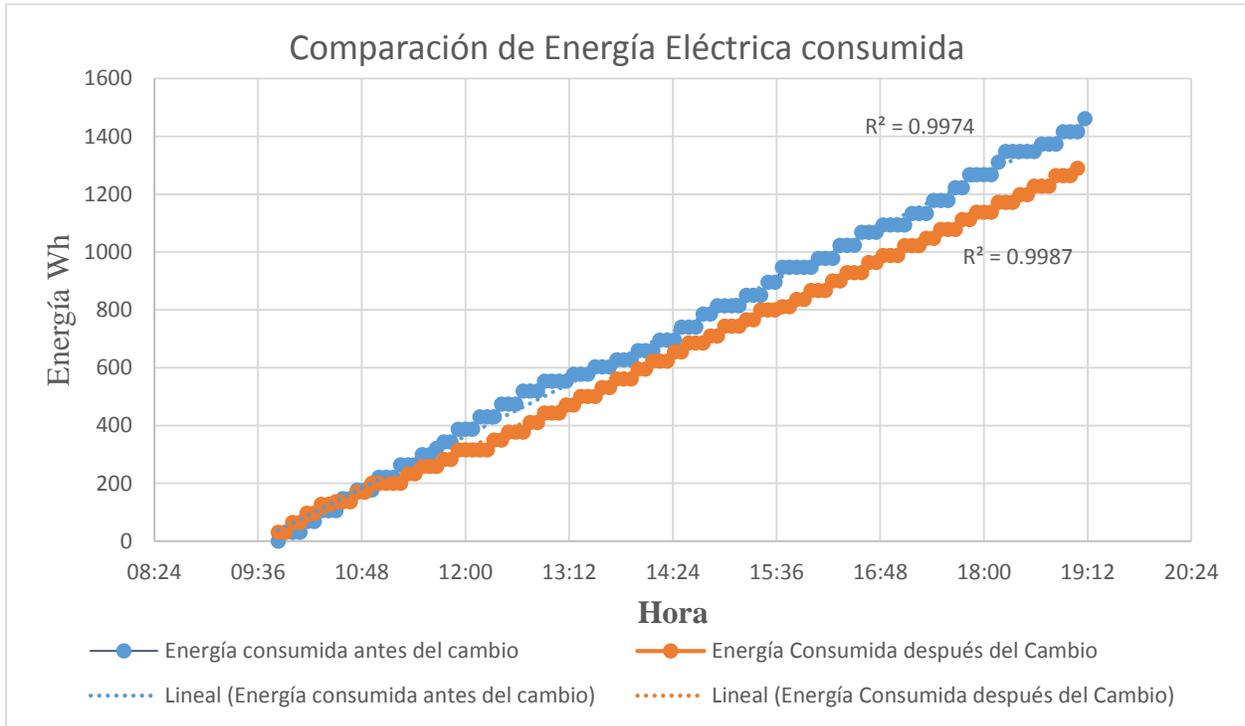


Figura 31. Comparación de energía eléctrica consumida

El comportamiento de la energía eléctrica consumida antes y después del cambio, indica una disminución de 0.17 kWh, además de tener un R^2 mayor, lo que revela que el modelo lineal es recomendable para proyectar el experimento a una escala mayor de tiempo. En la Tabla 8 se muestra un resumen de los datos obtenidos del análisis correspondiente:

Tabla 8. Comparación de energía eléctrica consumida.

Descripción	Antes del Cambio (R-22)	Después del Cambio (R-290)	Porcentaje de diferencia
Energía Consumida (kWh)	1.46	1.29	12%
Coefficiente de Correlación (R^2)	0.9974	0.9987	0.13%

El porcentaje de reducción al implementar Hidrocarburos en un sistema de aire acondicionado de 12,000 BTUh es de **12%**. Siendo ésta la eficiencia energética obtenida por realizar una reconversión del sistema, sustituyendo un refrigerante nocivo al medio ambiente por uno denominado natural como es el Propano (R-290).

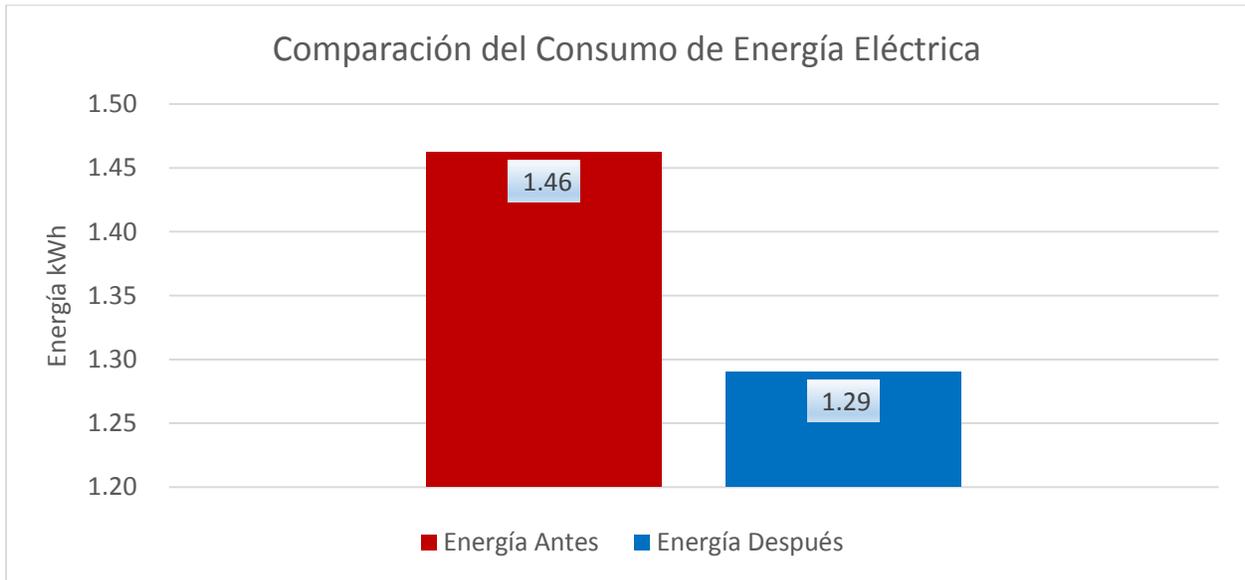


Figura 32. Comparación de consumo de energía eléctrica.

4.3.7 CÁLCULO DE LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

El “TEWI” (impacto total equivalente de calentamiento) es una forma de evaluar el calentamiento global combinando la contribución directa de las emisiones de refrigerante a la atmósfera con la contribución indirecta del dióxido de carbono y otras emisiones de gas resultantes de la energía necesaria para hacer funcionar el sistema de refrigeración a lo largo de su vida útil.

El “TEWI” se ha diseñado para calcular la contribución total al calentamiento global del proceso de refrigeración en uso. Mide ambos, el efecto directo del calentamiento global del refrigerante, si se emite, y la contribución indirecta de la energía requerida para alimentar la unidad durante su periodo de vida útil. Sólo es válido para comparar sistemas alternativos u opciones de refrigerantes para una aplicación en un emplazamiento.

El factor “TEWI” puede calcularse por la siguiente ecuación donde las diferentes áreas de impacto se separan según corresponde.

$$\text{TEWI} = \text{GWP} \times L \times n + [\text{GWP} \times m \times (1 - \alpha_{\text{recovery}})] + n \times E_{\text{annual}} \times \beta$$

Donde:

GWP × L × n: es el impacto de las pérdidas por fuga; $\text{GWP} \times m \times (1 - \alpha_{\text{recovery}})$ es el impacto de las pérdidas recuperadas; $n \times E_{\text{annual}} \times \beta$ es el impacto del consumo energético;

Donde:

TEWI: es el impacto total equivalente de calentamiento, en kilogramos de CO₂; GWP es el potencial de calentamiento global, relacionado con el CO₂;

L: es la fuga, en kilogramos por año;

n: es el tiempo de funcionamiento del sistema, en años;

m: es la carga refrigerante, en kilogramos;

α_{recovery}: es el factor de reciclado/recuperación, de 0 a 1;

Annual: es el consumo de energía, en kilovatios/hora al año;

β: es la emisión de CO₂, en kilogramos por kilovatio/hora

Observación: Por lo tanto, la eficiencia energética es normalmente un objetivo más importante para reducir el calentamiento global que la reducción de la carga del sistema. En muchos casos un sistema de refrigeración más eficiente con una carga refrigerante que tenga un potencial GWP más alto puede ser mejor para el medioambiente que un sistema de refrigeración menos eficiente con una carga refrigerante de potencial GPW inferior. Además sus emisiones se minimizan: si no hay fugas no hay calentamiento global directo.

A continuación se describe el equipo en el cual se implementará el estudio experimental mediante la sustitución de gases refrigerantes a hidrocarburos cuyas características y especificaciones son las siguientes:

Marca	Comfort Star
Capacidad de enfriamiento	12000 BTU/h
Tipo	Mini Split
Modelo	AS-12CR2FUL
Consumo de corriente eléctrica (A)	5.3 / 5.4 A
Voltaje (V)	208 – 230 V/ 60 Hz
Potencia	1100/1200 W
Refrigerante	R22/ 0.55 kg

$TEWI_{R22} = (1700 * 0.55) + (342.128 \text{ kg de CO}_2) = \mathbf{1277.128 \text{ Kgs Equivalente de CO}_2/\text{Año}}$

$TEWI_{R290} = (3 * 0.180) + (301.88 \text{ kg de CO}_2) = \mathbf{302.42 \text{ Kgs Equivalente de CO}_2/\text{Año}}$

Tabla 9. Cálculo de Kilogramos de CO2 equivalentes al año.

DIOXIDO DE CARBONO INDIRECTO ANUAL			
Refrigerante	Potencia (Watts/Año)	Energía Consumida (KWh/Año)	Kgs de CO2 Equivalente al año
R-22	6,316,200.00	526.35	342.128
R-290	5,573,160.00	464.43	301.88

Por lo anterior se puede constatar que los Kgs equivalentes de CO2/Año dejados de liberar a la atmósfera son **974.708** Kgs Equivalente de CO2/Año, funcionando con una eficiencia energética en el equipo mencionado anteriormente.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

- a.** Honduras ha suscrito en conjunto con otros países, el protocolo de Montreal, en el cual se ha establecido una calendarización para la eliminación de las sustancias agotadoras de Ozono (O3).
- b.** Entre las sustancias agotadoras de Ozono se encuentra el R-22.
- c.** El propano es un Hidrocarburo que es considerado como el idóneo para sustituir el refrigerante R-22, puesto que su impacto a la capa de ozono es nulo, así como su potencial de calentamiento global.
- d.** En la zona norte de Honduras, específicamente en San Pedro Sula, la energía es usada principalmente en Ventilación y Aire Acondicionado; del total de la energía un 37% es usado para dicho sector.
- e.** El cambio de refrigerante requiere del conocimiento necesario para el manejo adecuado de los refrigerantes que para este caso son tóxicos y volátiles.
- f.** Antes y después del cambio del refrigerante se realizaron las mediciones de la temperatura y humedad relativa interna (dentro del recinto de prueba) observando que la humedad relativa tuvo poca variabilidad, sin embargo, la temperatura de enfriamiento utilizando hidrocarburo se comportó de manera más estable, comparado con las lecturas de temperaturas antes del cambio (sistema con R-22). Estas mediciones se realizaron con el objetivo de conocer y evaluar las propiedades termodinámicas cumpliendo con el tercer objetivo específico.
- g.** Se evaluó el equipo, tomando nota de las condiciones previas, en las cuales se conoció que el equipo no presentaba fugas en sus conductos y además que las instalaciones eléctricas se encontraban en perfecto estado. Con esta evaluación descrita en el capítulo de metodología, se cumple lo indicado en el segundo objetivo específico.
- h.** El comportamiento del amperaje después de la conversión, disminuyó aproximadamente 20.75% en promedio en los arranques de acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 6 de la sección 4.1.3.2 Comparación de corrientes.

- i.** Los valores máximos de potencia, una vez implementado el hidrocarburo, disminuyeron un 27.44%, lo que implica un funcionamiento más suave del equipo y por ende una mejora y extensión de la vida útil del compresor de acuerdo a lo indicado en los resultados de la Tabla 7 de la sección 4.1.3.3 Comparación de Potencias.
- j.** El consumo de energía antes del cambio (Con R-22) fue de 1.46 kWh y después del cambio (con R-290) fue de 1.29 kWh lo que significa que el sistema de aire acondicionado tuvo una eficiencia del 12% al implementar el hidrocarburo como refrigerante. Lo anterior se encuentra evidenciado en la Tabla 8 de la sección 4.1.3.4 Comparación del consumo de energía eléctrica. Con esta conclusión se cumple el primer objetivo específico planteado en el presente trabajo.
- k.** Cumpliendo con el cuarto objetivo específico se indica lo siguiente: con el cambio del refrigerante se realizó el cálculo y análisis de la reducción del impacto ambiental, obteniendo una reducción de 974.708 kgs equivalentes de CO₂ al año. Es importante mencionar que el Hidrocarburo tiene una emisión equivalente de CO₂ por fuente indirecta. La reducción de impacto ambiental obtenida, en términos porcentuales, fue del 76.32%, tomando en cuenta el elevado potencial de calentamiento global y de agotamiento de ozono que tiene el R-22, comparado con el R-290.

2. RECOMENDACIONES

- a.** Con el fin de obtener resultados de eficiencia y reducción del impacto ambiental para equipos del sector comercial e industrial, se recomienda realizar un experimento para equipos de mayor capacidad de enfriamiento (utilizados en comercio e industrias). Siempre siguiendo los lineamientos establecidos en el presente trabajo, en lo que respecta a buenas prácticas y medidas de seguridad.
- b.** Se recomienda realizar la sustitución del refrigerante en la proporción indicada en el Capítulo de Metodología para evitar resultados contrarios a los propuestos.

CAPÍTULO VI APLICABILIDAD

Este tipo de estudio experimental es aplicable, en diferentes sectores de la región como son los sectores residenciales, comerciales e industriales donde se encuentran la mayor parte instalada de equipos de aires acondicionados, de igual manera tiene aplicabilidad en el sector gubernamental, esta aplicabilidad trae integrada una serie de beneficios en las buenas prácticas de servicio, mantenimiento, seguridad y la sustitución de sustancias menos contaminantes y el mejoramiento de la eficiencia energética en donde esta técnica debe de aplicarse bajo ciertos lineamientos y parámetros de seguridad con los equipos de refrigeración y aire acondicionados, la cual trae como resultado beneficios económicos, ambientales, culturales y sociales, tanto al propietario del equipo como al gobierno.

En la siguiente tabla se detalla el campo de aplicabilidad de acuerdo a lo anteriormente expuesto:

Tabla 10. Aplicabilidad de la implementación de Hidrocarburos en sistemas de aire acondicionado.

Actividad	Beneficio Potencial	Beneficiario		
		Propietario del Equipo	Estado	Medio Ambiente
Buenas prácticas en el servicio y mantenimiento de equipos de refrigeración	Reducción de compras de refrigerante y ahorro de costos	●	●	●
	Emisiones directas de GEI reducidas o evitadas		●	●
Sustitución de refrigerantes con alto PCA por refrigerantes con un PCA bajo o Nulo.	Reducción del PCA de los refrigerantes.		●	●
Mejora de la eficiencia energética de la tecnología de sustitución	Reducción del consumo de energía (Ahorro de costos)	●	●	●

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE R-290 EN LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN HONDURAS.

Tomando en cuenta que la demanda de energía en la zona norte del país, es en mayor parte sistemas de ventilación y aires acondicionados, se realizó un análisis de la aplicación de la alternativa planteada en el presente trabajo, como una medida para contribuir a la disminución de potencia requerida en el tema de Aire Acondicionado.

La siguiente figura muestra la curva de carga para el año 2015, cuya potencia máxima registrada fue de 1,445.47 MW.

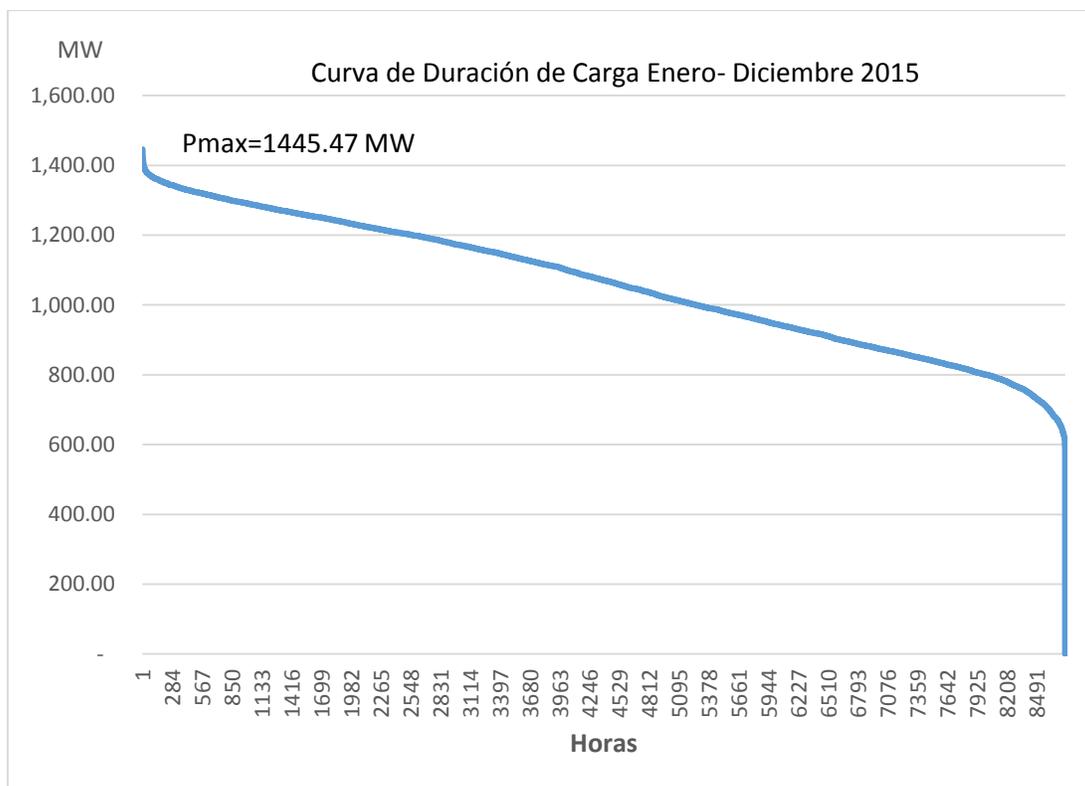


Figura 33. Curva de duración de Carga año 2015

Fuente: (Banco Mundial, 2016)

La figura anterior muestra cual es el comportamiento de la potencia a lo largo del tiempo y además de la cantidad de horas en las cuales determinada potencia es requerida. En cuanto a la aplicabilidad del presente trabajo en lo que a potencia se refiere, se obtuvo un valor interesante

en cuanto a la reducción de la potencia máxima; de acuerdo al resultado obtenido, al implementar Hidrocarburo como refrigerante la potencia disminuye en un 27.44%, lo que significa que dependiendo del grado de penetración de la iniciativa propuesta en la presente Tesis, es posible alcanzar una reducción significativa en la potencia.

Para obtener los datos exactos del alcance e impacto de la reducción de la potencia, se deberá desarrollar a detalle y bajo varios supuestos, un estudio que tome en cuenta la potencia requerida a nivel nacional para el área de ventilación y aire acondicionado a nivel nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Arun Vohra, & Van D. Baxter. (2004). Importance of Energy Efficiency in Transition to HCFC-22 Alternatives, 29.
- Banco Mundial. (2016). Proyección Preliminar sobre el modelo del manejo de la demanda para Honduras.
- Calm. (1994). Refrigerant Safety. *ASHRAE*.
- Congreso Nacional. Reglamento General de Sustancias Agotadoras de Ozono, Acuerdo Ejecutivo 006-2012 (2012).
- Daniel Colbourne. (2010). Barriers to the use of Low-GWP refrigerants in Developing Countries & Opportunities to overcome these.
- EIA. (2015). Annual Energy Outlook, 2015.
- Saikawa, et al. (2012). Global and Regional Emission estimates for HCFC-22.
- Gildardo Yañez. (2015). *Refrigerantes de bajo PGC*.
- INE. (2013). *CENSO POBLACIONAL 2013*. Instituto Nacional de Estadística.
- L. Maclaine-Cross, & E. Leonardi. (1997). Why Hydrocarbon Save Energy. *AIRAH*, 11.
- Mayta, V. (2007). *Estudio Técnico económico en equipos de aire acondicionado al sustituir refrigerantes con contenido de cloro por refrigerantes hidrocarburos*.
- Michael McNeil, & Virginie Letschert. (2007). Future air conditioning energy consumption in developing countries and what can be done about it: the potential of efficiency in the residential sector.
- Montzka, Reimann, S, Engel, A, Krüger, K., O'Doherty, S, Sturges, W., & Blake, D. (2011). Global Ozone Research and Monitoring Project – Report.
- PNUMA. (2006, junio). Tratados internacionales para la protección de la capa de ozono.

PNUMA. (2015). Normas Internacionales de Refrigeración y Aire Acondicionado.

Romani, & Arroyo. (2012). Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables.

UTOH. (2015). Importación de refrigerantes en Honduras.

William C. Whitman, & William M. Johnson. (s. f.). *Tecnología de refrigeración y aire acondicionado* (Vol. 2).

Yunus A. Cengel, & Michael A. Boles. (s. f.). *Termodinámica* (Sexta).

ANEXOS

ANEXO 1

ANEXO E(Normativo) NORMA EUROPEA EN-378						
CLASIFICACIONES DE SEGURIDAD E INFORMACIONES DE REFRIGERANTES						
DESIGNACION DE REFRIGERANTES						
Refrigerante	Nombre Químico	Grupo de Seguridad	Densidad de Vapor (25 °C,101.73 KPa) Kg/m ³	ODP	GWP	Temperatura de auto ignición °C
R-22	Clorodifluorometano	A1	3,587	0,055	1 700	635
R-290	Propano	A3	1,832	0	3	470

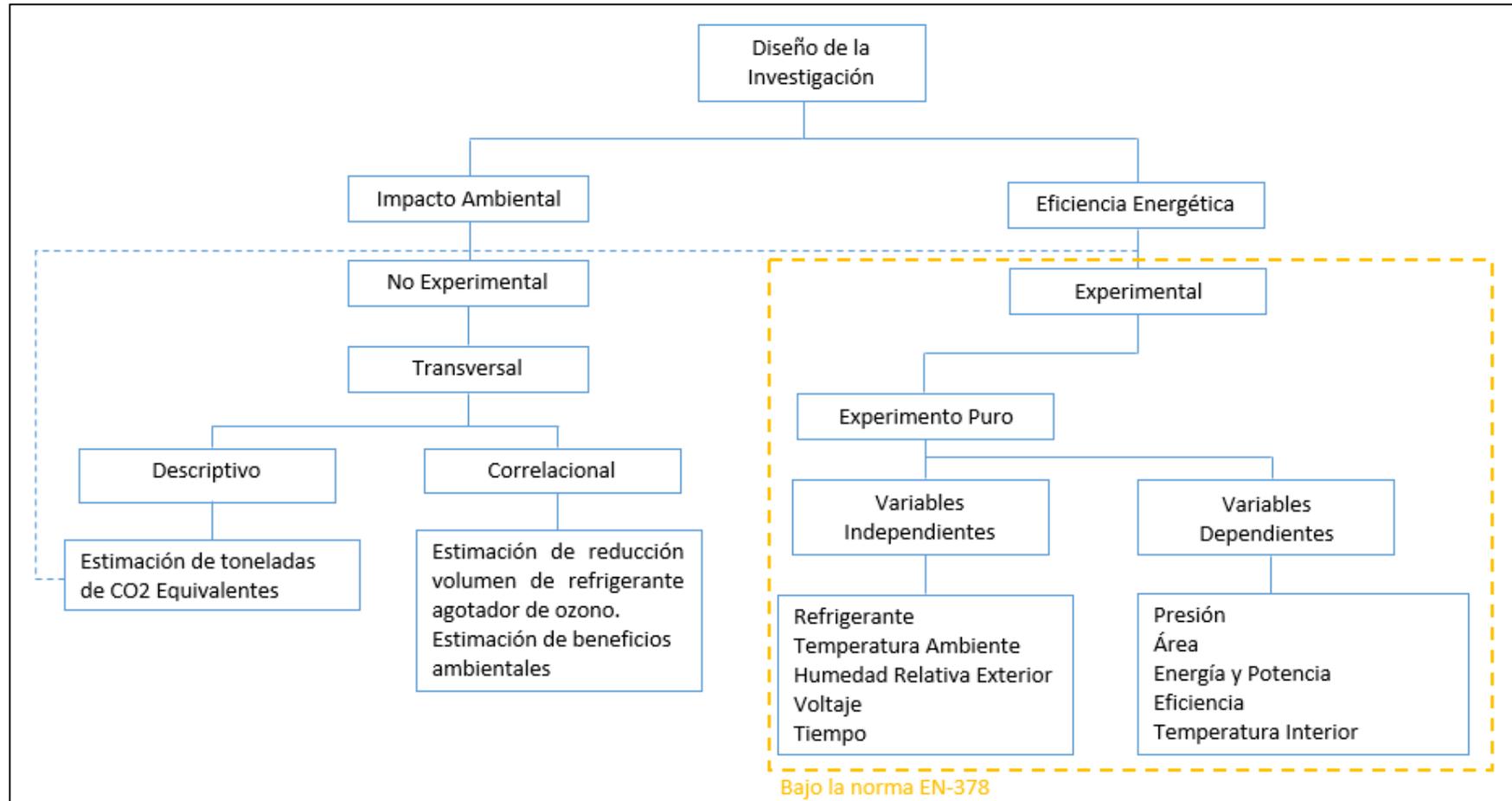
ODP: Potencial de Agotamiento de Ozono

GWP: Potencial de Calentamiento Global

A1: Baja Inflamabilidad, Toxicidad Media.

A3;Alta Inflamabilidad, Toxicidad Media

ANEXO 2



ANEXO 3

PROYECTO TESIS UNIVESIDAD TECNOLOGICA CENTROAMERICANA UNITEC

FICHA DE REGISTRO PREVIO

NO REALIZAR NINGUN TIPO DE CAMBIO EN EL SISTEMA MIENTRAS NO SE COMPLETE LA INFORMACION DE LA PRESENTE FICHA DE REGISTRO.

CODIGO DEL EQUIPO: _____

TIPO:

- AIRE ACONDICIONADO MINI SPLIT
- OTRO

REFRIGERANTE:

- R-22
- OTRO (Especifique: _____)

CANTIDAD DE REFRIGERANTE (según datos de placa, si aplica):

_____ (indicar libras/onzas o kilogramos)

Datos eléctricos y lectura de consumo eléctrico:

- 230 v / 60hz / monofásico; consumo L1: _____ amperios; L2 _____ amperios.
- OTRO (Especifique: _____)

ESTADO GENERAL / DIAGNOSTICO TÉCNICO:

Fecha: _____

Firma de los Ingenieros:

Ing. Walter Valladares _____

Ing. Jorge Chong _____

PROYECTO TESIS UNIVESIDAD TECNOLOGICA CENTROAMERICANA UNITEC

FICHA DE REGISTRO POSTERIOR

CANTIDAD DE REFRIGERANTE RECUPERADO:

_____ (indicar libras/onzas o kilogramos)

CANTIDAD DE REFRIGERANTE CARGADO:

_____ (indicar libras/onzas o kilogramos)

PRESIONES DE REFRIGERANTE PREVIA:

PRESIONES HC:

8.

LADO DE BAJA: _____ (PSIg)

LADO DE BAJA: _____ (PSIg)

LADO DE ALTA: _____ (PSIg)

LADO DE ALTA: _____ (PSIg)

Datos eléctricos y lectura de consumo eléctrico POSTERIOR:

LECTURA 1: L1: _____ amperios. L2 _____ amperios.

LECTURA 2: L1: _____ amperios. L2 _____ amperios.

LECTURA 2: L1: _____ amperios. L2 _____ amperios.

Nota: Las lecturas de consumo de corriente se hicieron antes y después del cambio de refrigerante.

ACTIVIDAD REALIZADA

Fecha: _____ Firma de los ingenieros:

Ing. Walter Valladares _____

Ing. Jorge Chong _____

ANEXO 4

 PRECAUCION: 					
ESTE EQUIPO A SIDO CRGADO CON GAS INFLAMABLE					
DATOS DE RECONVERSION DE EQUIPO A HIDROCARBUROS					
HCFC <input type="checkbox"/> CFC <input type="checkbox"/> HFC <input type="checkbox"/>			HIDROCARBURO		
FECHA DE RECONVERSIÓN		TIPO:			
TIPO DE REFRIGERANTE			PRESIONES	ALTA	BAJA
	ALTA	BAJA	AMPERAJE	L 1	L 2
CANTIDAD DE REFRIGERANTE		CANTIDAD DE REFRIGERANTE			
AMPERAJE MEDIDO	L 1	L 2	OBSERVACIONES		
- Si el refrigerante es descargado a la atmósfera o se realiza carga de un sistema este debe de realizarse en un área ventilada. - No deben existir flamas, cigarrros, equipo eléctrico no sellado o ningún calentador de 460grados centigrados, cerca de 2 metros del aparato.					

