



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

Repotenciación del Módulo para determinación de parámetros termodinámicos de un sistema de refrigeración por compresión de vapor con refrigerante R134a

Propuesta Tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros Electromecánicos

AUTORES:

Jumbo Narváez Juan Carlos

Tubon Villa Elvis Bryan

TUTOR:

Ing. MSc. Navarrete López Luis Miguel

Latacunga - Ecuador

Marzo 2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Juan Carlos Jumbo Narvárez y Elvis Bryan Tubon Villa, declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica: **“REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR CON REFRIGERANTE R134A”**, siendo el Ing. MSc. Luis Miguel Navarrete López Tutor del presente Trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente Trabajo Investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Juan Carlos Jumbo Narvárez
C.C. 190078385-1

Elvis Bryan Tubon Villa
C.C. 180516126-0



AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el Título:

“REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR CON REFRIGERANTE R134A”, de Jumbo Narvárez Juan Carlos y Tubon Villa Elvis Bryan, Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes Científico-Técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo 2021

El Tutor
Ing. MSc. Luis Miguel Navarrete López
C.C. 180374728-4



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el o los postulantes: Jumbo Narváz Juan Carlos y Tubon Villa Elvis Bryan, con el Título de Proyecto de Titulación: “**REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR CON REFRIGERANTE R134A**” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Marzo del 2021

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. MSc. Raúl Reinoso Peñaherrera MBA

C.C. 050215089-9

Lector 2

Ing. MSc. Segundo Ángel Cevallos Betún

C.C. 050178243-7

Lector 3

PhD. Enrique Torres Tamayo

C.C. 175712194-0



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, confirmo la realización del proyecto **“REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR CON REFRIGERANTE R134A”** implementado por los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la Carrera de Ingeniería Electromecánica; Jumbo Narváez Juan Carlos con C.C: 190078385-1 y Tubon Villa Elvis Bryan con C.C: 180516126-0, bajo la supervisión y coordinación de la carrera.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para el interesado pueda hacer uso para los fines que crea conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente:



Ingeniería
Electromecánica

Ing. Mauro Darío Albarracín Álvarez
Director de la Carrera de Ingeniería Electromecánica
C.C. 050311373-0

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios por la salud y las bondades recibidas, luego a mis Padres, ya que ellos son un pilar fundamental en mi vida, gracias a sus consejos y enseñanzas que me guían para ser mejor persona.

A mis hermanos quienes estaban pendientes para que pueda culminar con mis estudios y contribuyeron de muchas formas en este proceso académico, especialmente por sus ayudas económicas y los consejos recibidos.

A mi novia quien siempre estuvo apoyándome incondicionalmente durante mis estudios, ¡Muchísimas gracias Tatiana Rodríguez!

Finalmente agradezco a mis amigos y a los docentes que formaron parte de mi formación, se convirtieron en una segunda familia y estuvieron brindando su apoyo.

Juan Carlos Jumbo Narváez

DEDICATORIA

Este logro va dedicado para mi familia ya que son un pilar importante en mi vida, son la razón del esfuerzo y constancia para superarme día a día.

A mis padres José y María quienes siempre nos han inculcado los buenos valores y a ser perseverantes y no darnos por vencidos.

¡Muchas gracias familia por todo su apoyo!

Juan Carlos Jumbo Narváez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por las cosas buenas y malas pasadas en el transcurso de la vida, por su infinita bondad y amor. A mis Padres, que fueron los que me apoyaron desde el principio dándome sus consejos y enseñanzas.

A mis Abuelos que fueron los que me enseñaron el respeto, la humildad, la puntualidad y así formarme como un hombre de bien.

A mi hermano y mi novia que fueron los que me han apoyado y acompañado en cada proyecto.

Finalmente agradezco a los docentes y amigos que se convirtieron en una segunda familia y estuvieron brindando sus conocimientos y apoyo.

Elvis Bryan Tubon Villa

DEDICATORIA

Esta meta se la dedico a mis padres Rubén y Ruth por haberme forjado con los mejores valores y decirme que el camino no será sencillo, pero con perseverancia y esfuerzo todo se puede lograr.

¡Este logro es para ustedes, gracias amados padres!

Elvis Bryan Tubon Villa

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA.....	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xxi
1. INFORMACIÓN BÁSICA.....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
2.2. TIPO DE ALCANCE	2
2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO	3
2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	4
2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	4
2.5.1. Objeto de estudio	4
2.5.2. Campo de acción	5
2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA	5
2.6.1. Situación problemática	5
2.6.2. Problema.....	5
2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA	6
2.8. OBJETIVO(S)	6

2.8.1.	Objetivo general	6
2.8.2.	Objetivos específicos	6
2.9.	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS	6
3.	MARCO TEÓRICO	8
3.1.	Antecedentes	8
3.2.	Introducción	9
3.3.	Principios básicos de la termodinámica	9
3.3.1.	Primera Ley de la termodinámica	9
3.3.2.	Segunda ley de la termodinámica	10
3.4.	Conceptos básicos del Aire Acondicionado	10
3.4.1.	Aire	10
3.4.2.	Humedad absoluta	10
3.4.3.	Humedad específica o relación de humedad (Wv)	11
3.4.4.	Humedad relativa (ϕ)	11
3.4.5.	Temperatura de Rocío (tw)	11
3.4.6.	Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo	11
3.4.7.	Zona de confort	11
3.4.8.	Balance térmico	11
3.4.9.	Calor sensible	12
3.4.10.	Calor latente	12
3.5.	Proceso de refrigeración	12
3.6.	Ciclos de Refrigeración	14
3.6.1.	Ciclo Ideal de Carnot	15
3.6.2.	Ciclo Ideal de Refrigeración por Compresión de Vapor	15
3.7.	Refrigeradores y bombas de calor	16
3.8.	Coeficiente de desempeño (COP)	16
3.9.	Funcionamiento de un Sistema de Aire Acondicionado	16
3.10.	Componentes de un Sistema de Aire Acondicionado	17
3.10.1.	Compresor	17
3.10.1.1.	Tipos de compresor	18
3.10.2.	Evaporador	19
3.10.2.1.	Tipos de evaporador	19

3.10.3.	Intercambiadores de calor.....	21
3.10.4.	Condensador	21
3.10.4.1.	Tipos de condensador.....	22
3.10.5.	Ventilador	23
3.10.6.	Válvulas de expansión	24
3.10.6.1.	Tipos válvulas de expansión	24
3.10.7.	Refrigerantes.....	24
3.10.8.	Termostatos digitales.....	26
3.10.9.	Sensores de temperatura	26
3.10.9.1.	Tipos de sensores de temperatura.....	27
3.10.10.	Presostato	27
3.10.11.	Manómetros	27
3.10.12.	Tubería Capilar	28
3.11.	Sistemas de control.....	28
3.11.1.	Componentes de un sistema de control	29
3.12.	PLC (Controlador Lógico Programable).....	29
3.12.1.	Tipos de PLC	29
3.13.	HMI (Interfaz Hombre-Máquina)	30
4.	METODOLOGÍA	31
4.1.	Diseño de la Investigación.....	31
4.1.1.	Investigación Descriptiva	31
4.1.1.1.	Módulo de Refrigeración y Aire Acondicionado a Repotenciar.....	32
4.1.1.2.	Descripción del módulo a repotenciar.....	32
4.1.2.	Investigación de Campo	33
4.1.3.	Investigación experimental.....	33
4.1.3.1.	Variables en el Sistema	34
4.1.3.2.	Funcionabilidad de las Variables	35
4.2.	Diseño e implementación del sistema de Refrigeración	35
4.2.1.	Diseño y construcción de la estructura principal del Sistema de Refrigeración	35
4.2.2.	Aplicación del software AutoCAD 2018.....	35
4.3.	Pesos de los quipos que conforman el módulo (kg)	36
4.4.	Tipo de material de la estructura soporte.....	36

4.5.	Plano de la estructura	37
4.6.	Construcción del Módulo para determinar los parámetros de Refrigeración	38
4.6.1.	Detalle del proceso y sus ventajas	38
4.6.2.	Reubicación de equipos y reducción de espacio físico del módulo.	39
4.6.2.1.	Descripción de la nueva estructura del módulo de aire acondicionado	40
4.6.2.2.	Ventajas.....	40
4.7.	Criterios para la selección de los sensores de temperatura	40
4.8.	Criterios para la selección de un PLC.....	40
4.9.	Materiales e Instrumentos	42
4.9.1.	Materiales para el sistema Hidráulico de aire acondicionado	42
4.9.2.	Materiales para el sistema Eléctrico	42
4.9.3.	Instrumentos para medición.....	43
4.9.4.	Instrumentos o softwares para diseño.....	43
4.9.5.	Herramientas utilizadas en la construcción del módulo	43
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
5.1.	Análisis del módulo repotenciado.....	44
5.1.1.	Estructura del módulo.....	44
5.2.	Discusión de los Resultados	45
5.2.1.	Selección de los sensores utilizados en el modulo	45
5.2.2.	Selección del Controlador para el Módulo de Control (PLC).....	46
5.2.2.1.	Acondicionamiento de la Señal Analógica para el PLC	46
5.2.2.2.	Esquema eléctrico de conexión para el control del Sistema	48
5.2.2.3.	Descripción de los parámetros necesarios para el PLC S7-1200.....	49
5.2.3.	Pantalla HMI KTP – 400 (Siemens).....	49
5.2.4.	Diseño del Software de Soporte del Sistema.....	50
5.2.4.1.	Software TIA-PORTAL V13	50
5.2.4.2.	Procesamiento de datos del Control de Temperatura.....	51
5.2.4.3.	Tipo de control implementado	51
5.2.5.	Despliegue en pantalla del programa de control	52
5.2.5.1.	Curva de temperatura en la pantalla HMI	52
5.2.5.2.	Programación en la pantalla HMI	52
5.2.5.3.	Desarrollo del programa.....	53

5.2.6.	Selección del Agente Refrigerante	57
5.2.6.1.	Características del Agente Refrigerante	57
5.2.7.	Comparación del módulo anterior con el repotenciado.....	58
5.3.	Análisis del desempeño del modulo	59
5.3.1.	Cálculo del Coeficiente de desempeño (COP)	59
5.3.2.	Cálculo del flujo másico	61
5.3.3.	Cálculo del calor extraído del espacio refrigerado (QL), Calor Rechazado (QH) y el Trabajo Neto de Entrada (W)	62
5.3.4.	Cálculo del Sub-enfriamiento del sistema del modulo.....	63
5.3.5.	Cálculo del Recalentamiento del sistema del modulo	63
5.3.6.	Análisis de los cálculos realizados en el sistema.....	63
5.3.5.1.	Coeficiente de desempeño (COP) del sistema	64
5.3.5.2.	Sub-enfriamiento en el sistema	64
5.3.5.3.	Recalentamiento en el sistema	65
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	65
6.1.	Costos del proyecto.....	65
6.1.1.	Costos de los gastos personales	65
6.1.2.	Costo de materiales y suministros	66
6.1.4.	Costo de los equipos	68
6.1.5	Costo total del proyecto.....	70
6.2.	Análisis de Impactos	70
6.2.1.	Impacto Práctico	70
6.2.2.	Impacto Tecnológico	71
6.2.3.	Impacto ambiental	71
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
7.1.	Conclusiones	73
7.2.	Recomendaciones	74
8.	REFERENCIAS	75
	ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Descripción de Objetivos.....	7
Tabla 3.2. Refrigerantes utilizados en equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor.	25
Tabla 4.3. Variables del sistema de refrigeración y Aire Acondicionado.	35
Tabla 4.4. Peso de los equipos del sistema.....	36
Tabla 4.5. Especificaciones de los materiales de la mesa soporte.....	37
Tabla 5.6. Requerimientos del sistema de refrigeración mediante el PLC S7-1200.	49
Tabla 5.7. Características del Refrigerante R134a.	57
Tabla 5.8. Comparación entre los Módulos de Aire Acondicionado.	58
Tabla 5.9. Datos del sistema de Refrigeración y Aire Acondicionado.....	59
Tabla 5.10. Cuadro comparativo COP.....	64
Tabla 5.11. Cuadro comparativo del Sub-enfriamiento.	64
Tabla 5.12. Cuadro comparativo del Recalentamiento.....	65
Tabla 6.13. Tabla de la descripción de los gastos de personal.	66
Tabla 6.14. Tabla de Materiales y Suministros.	66
Tabla 6.15. Tabla de descripción de los precios de los equipos.....	68
Tabla 6.16. Desglose y descripción del presupuesto del proyecto por tipo de recurso empleado.....	69
Tabla 6.17. Tabla del gasto total del proyecto.....	70
Tabla 6.18. Comparación de agentes Refrigerantes.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Ciclo de refrigeración de compresión mecánica.	12
Figura 3.2. Diagrama P-V del Ciclo de Carnot.	15
Figura 3.3. Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.	15
Figura 3.4. Refrigerador y bomba de calor.	16
Figura 3.5. Circuito frigorífico.	17
Figura 3.6. Compresor Alternativo.	18
Figura 3.7. Compresor giratorio con movimiento una dirección y sin retroceso.	19
Figura 3.8. Funcionamiento del mecanismo de un compresor espiral.	19
Figura 3.9. Evaporador de tubo simple.	20
Figura 3.10. Evaporador de aletas.	20
Figura 3.11. Intercambiador de calor.	21
Figura 3.12. Unidad de condensación enfriado por agua.	22
Figura 3.13. Condensador de tubo dentro de tubo.	22
Figura 3.14. Condensador de coraza y serpentín.	23
Figura 3.15. Ventilador.	23
Figura 3.16. Manómetros para Refrigeración.	27
Figura 3.17. Tubería capilar.	28
Figura 3.18. Proceso a controlar.	28
Figura 3.19. PLC Festo FEC FC660 PLC (a la izquierda), Siemens Logo RC230 (en el medio) y S7- 200 PLC (a la derecha).	30
Figura 3.20. PLC Siemens S7-300 (en la parte izquierda) y Allen-Bradley Compact Logix (en la parte derecha).	30
Figura 3.21. Pantalla HMI KTP-400 Mono Basic.	31
Figura 4.22. Modulo a repotenciar,	32
Figura 4.23. Variables del sistema.	34
Figura 4.24. Diseño del plano estructural en AutoCAD.	36
Figura 4.25. Plano de la estructura.	37
Figura 4.26. Vista superior de la estructura.	38
Figura 4.27. Vista posterior y lateral de la estructura.	38

Figura 4.28. Vista detalle de la estructura.	39
Figura 4.29. Reubicación de equipos.	39
Figura 5.30. Nueva estructura del Módulo de Aire Acondicionado.....	45
Figura 5.31. Termostato digital Rex-C100.....	46
Figura 5.32. PLC S7-1200 marca Siemens.	46
Figura 5.33. Diseño del esquema electrónico en Proteus V8.0.	47
Figura 5.34. Diseño de la placa en Proteus V8.0.....	47
Figura 4.35. Diseño de la placa en baquelita.....	48
Figura 5.36. Diseño del esquema de la conexión eléctrica del módulo.	48
Figura 5.37. Pantalla HMI KTP-400 Mono Basic.....	50
Figura 5.38. Registro de datos de escalamiento y normalización para el acondicionamiento de temperatura.	51
Figura 5.39. Curva de temperatura en el TIA PORTAL V13.	52
Figura 5.40. Pantalla HMI del control de los equipos individualmente.....	53
Figura 5.41. Variables del PLC para el control de los equipos.	54
Figura 5.42. Escalamiento para el acondicionamiento de la temperatura.	55
Figura 5.43. Variables de escalamiento para el acondicionamiento de la temperatura.....	55
Figura 5.44. Variables de escalamiento para el acondicionamiento de la temperatura.....	56
Figura 5.45. Programación de las variables para la activación de los elementos del sistema de Aire Acondicionado.....	56

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 5.1. Coeficiente de desempeño (COP).....	59
Ecuación 5.2. Coeficiente de desempeño Refrigeración	60
Ecuación 5.3. Coeficiente de desempeño Refrigeración	60
Ecuación 5.4. Flujo masico	61
Ecuación 5.5. Flujo Volumetrico.....	61
Ecuación 5.6. Calor extraído del espacio refrigerado (Q_L).....	62
Ecuación 5.7. Calor Rechazado (Q_H).....	62
Ecuación 5.8. Trabajo Neto de Entrada (W)	62
Ecuación 5.9. Sub-enfriamiento del sistema	63
Ecuación 5.10. Recalentamiento del sistema.....	63



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TITULO: “REPOTENCIACIÓN DEL MODULO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR POR REFRIGERANTE R134A”

Autor/es: Juan Carlos Jumbo Narváez

Elvis Bryan Tubon Villa

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica está enfocada en la repotenciación de los equipos y elementos utilizados en el módulo de aire acondicionado perteneciente al laboratorio de la carrera de Ingeniería Electromecánica en la asignatura de refrigeración y aire acondicionado, teniendo como objetivo la calidad, eficiencia y control de cada uno de los elementos, permitiendo a los estudiantes realizar prácticas que complementan la teoría y ejercicios revisados en el aula.

El modulo incorpora los elementos mecánicos como Compresor, Condensador, Evaporador, Manómetros de presión y Válvula de expansión, estos elementos conformando el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, donde el refrigerante se condensa y evapora alternadamente para luego comprimirse en la fase de vapor, se incorpora elementos eléctricos y electrónicos tales como PLC S7-1200, Pantalla HMI, Termostatos, Relés, Contactor y Motor, estos utilizados como control y medición de temperatura, para la verificación de funcionamiento del sistema, todos estos equipos y elementos en conjunto forman el sistema de refrigeración por compresión de vapor del refrigerante R-134^a, permitiendo determinar los parámetros termodinámicos del sistema.

Se desarrolla una guía práctica para la determinar el coeficiente de desempeño (COP) del sistema como también calor rechazado (QL) y trabajo neto de entrada (Wneto,entra), así los estudiantes pueden interactuar con el modulo obteniendo experiencia y practica referente a la asignatura de Refrigeración y Aire Acondicionado.

Palabras clave: Compresor, PLC, HMI, Refrigerante, Temperatura, Presión, COP.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

TOPIC: "REPOTENTIATION OF THE MODULE FOR DETERMINING THE THERMODYNAMIC PARAMETERS OF A REFRIGERATION SYSTEM BY VAPOR COMPRESSION BY REFRIGERANT R134A"

Authors: Juan Carlos Jumbo Narváez

Elvis Bryan Tubon Villa

ABSTRACT

This technical proposal is focused on the repowering of the equipment and elements used in the air conditioning module belonging to the laboratory of the Electromechanical Engineering Degree in the subject of refrigeration and air conditioning, aiming at the quality, efficiency, and control of each of the elements, allowing students to perform practices that complement the theory and exercises reviewed in the classroom. The module incorporates mechanical elements such as Compressor, Condenser, Evaporator, Pressure gauges, and Expansion Valve. These elements form the refrigeration cycle by vapor compression, where the refrigerant is condensed and evaporated alternately and then compressed in the vapor phase. It incorporates electrical and electronic elements such as PLC S7-1200, HMI screen, Thermostats, Relays, Contactor and Motor, these used as control and temperature measurement, for the verification of system operation, all these equipment and elements together form the refrigeration system by vapor compression of refrigerant R-134^a, allowing to determine the thermodynamic parameters of the system. A practical guide is developed to determine the coefficient of performance (COP) of the system as well as rejected heat (QL) and network input (W_{neto}, input), so students can interact with the module obtaining experience and practice related to the subject of Refrigeration and Air Conditioning.

Keywords: Compressor, PLC, HMI, Refrigerant, Temperature, Pressure, COP.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; JUMBO NARVÁEZ JUAN CARLOS** y **TUBON VILLA ELVIS BRYAN**, cuyo título versa **“REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR CON REFRIGERANTE R134A,”** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,

Lic. Mayra Clemencia Noroña Heredia Mg.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501955470

1803027935 Firmado
VICTOR digitalmente por
HUGO 1803027935
ROMERO VICTOR HUGO
GARCIA ROMERO GARCIA
Fecha: 2021.03.05
09:50:56 -05'00'

1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR:

Juan Carlos Jumbo Narváez

Elvis Bryan Tubon Villa

TEMA APROBADO:

“Repotenciación del módulo didáctico de aire acondicionado del taller de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi”

CARRERA:

Ingeniería Electromecánica

DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA:

Ing. MSc. Navarrete López Luis Miguel

EQUIPO DE TRABAJO:

Proponentes

Juan Carlos Jumbo Narváez

Elvis Bryan Tubon Villa

Tutor de la propuesta tecnológica, Asesor Técnico

Ing. Navarrete López Luis Miguel

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Región: Zona 3

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

Parroquia: Juan Montalvo

Lugar: Universidad Técnica de Cotopaxi

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA:

5 meses

FECHA DE INICIO: Noviembre del 2020

FECHA DE ENTREGA: Marzo del 2021

Línea(s) y Sub líneas de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi y de la carrera de Ingeniería en Electromecánica

Línea de investigación

Línea 5. Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación

Sub Línea 3. Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

Tipo de propuesta tecnológica

La propuesta a desarrollar es de carácter tecnológica ya que el módulo que pertenece a la materia de refrigeración y aire acondicionado es un equipo de laboratorio, el cual combina sus diseños con la implementación de sistemas de automatización y control, con el cual se puede determinar parámetros termodinámicos de un sistema de refrigeración por compresión de vapor , mediante la obtención y comparación de datos de las distintas variables de tipo cuantitativas, como son la temperatura y la presión.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

“Repotenciación del módulo para determinación de parámetros termodinámicos de un sistema de refrigeración por compresión de vapor con refrigerante R134a”

2.2. TIPO DE ALCANCE

a) Multipropósito

Está enfocado en ampliar el conocimiento para el diseño de nuevos mecanismos, además de contribuir para el desarrollo de habilidades en los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica sobre el funcionamiento de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

b) Interdisciplinar

Combina algunas áreas como es la automatización, el diseño y control dentro de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

c) Productivo

Está enfocado en los diseños de sistemas que benefician al desarrollo del sector productivo ya que estos sistemas de refrigeración contribuyen para la conservación de los productos.

d) Desarrollo

Sirve para incrementar habilidades enfocadas en la refrigeración y acondicionamiento de espacios, implicando la realización de distintos cambios en el sistema, con lo cual contribuye a ampliar los conocimientos en esta área.

e) Integrador

Combina la parte teórica del aprendizaje con la práctica, para poder ejecutar y analizar los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, además de involucrar el talento de los estudiantes y docentes para el trabajo en conjunto.

2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO

Según el código UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología, tenemos los campos amplios, específicos y detallados [1].

330000 CIENCIAS TECNOLOGICAS

3310 Tecnología Industrial

- 3310.05 Ingeniería de Procesos

3311 Tecnología de la Instrumentación

- 3311.01 Tecnología de la Automatización
- 3311.02 Ingeniería de Control
- 3311.08 Equipo de laboratorio
- 3311.16 Instrumentos de Medida de la Temperatura (Ver 2213.08)

3313 Tecnología E Ingeniería Mecánicas

- 3313.01 Ventiladores
- 3313.02 Compresores de Aire (Ver 3328.04)
- 3313.26 Equipo de Refrigeración (Ver 3309.22 y 3328.26)

3328 Procesos Tecnológicos

- 3328.04 Compresión (Ver 3313.02)
- 3328.20 Tubos, Válvulas y Accesorios de Montaje (Ver 3316.09)
- 3328.26 Refrigeración (Ver 2213.06, 3309.22 y 3313.26)

2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

El propósito fundamental es contribuir en el proceso de formación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, sobre el funcionamiento de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

En la actualidad el laboratorio de energías alternativas de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cuenta con un módulo, pero sus condiciones no son las adecuadas para la realización de prácticas por cuanto, existen fugas de refrigerante en las tuberías además que no existe una correcta distribución y protección de sus elementos, razón por la cual no se puede realizar una medición normal y precisa de sus variables.

En virtud de esto se pretende realizar la repotenciación del módulo para el laboratorio de Ingeniería Electromecánica, realizando las correcciones respectivas y con lo cual se contribuye en la adecuación y equipamiento del laboratorio.

2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.5.1. Objeto de estudio

Módulo de Refrigeración y Aire Acondicionado para la realización de prácticas en los laboratorios de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.5.2. Campo de acción

El campo de acción se encuentra dentro del área de refrigeración y aire acondicionado como también la automatización y control industrial, todo esto en contexto con el desarrollo de procesos industriales y realización de prácticas.

2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA

2.6.1. Situación problemática

Los procesos de experimentación son muy importantes en la formación académica de los estudiantes ya que con ello se logra relacionar lo teórico con la práctica y de esta manera se evidencia lo conocimientos adquiridos durante la formación académica.

Existe la gran necesidad del estudio y practica de los procesos de refrigeración y aire acondicionado para obtener un ambiente de confort para las personas y la conservación de productos, es por ello que se requiere que los estudiantes tengan los conocimientos necesarios para operar y mejorar los sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire.

La situación se establece por la dificultad de poder realizar el análisis de las mediciones obtenidas al momento prácticas en el Módulo de Refrigeración y Aire Acondicionado, por parte los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, debido a sus condiciones inestables.

2.6.2. Problema

En la actualidad el laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi cuenta con un módulo para prácticas en la asignatura de Refrigeración y Aire Acondicionado, pero sus condiciones no son adecuadas debido a las constantes fallas, dado que existe irregularidades en algunas partes del sistema, por lo cual existe deficiencia para realizar prácticas, es ahí donde radica la necesidad de ejecutar una repotenciación del módulo.

2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

Con la repotenciación del módulo didáctico de Refrigeración y Aire Acondicionado se podrá evaluar el desempeño y determinar los distintos parámetros termodinámicos en el ciclo de Refrigeración por compresión de vapor con el refrigerante R134a, mediante el desarrollo de prácticas.

2.8. OBJETIVO(S)

2.8.1. Objetivo general

Repotenciar el Módulo que se utiliza para la determinación de parámetros termodinámicos de un sistema de refrigeración por compresión de vapor por refrigerante R134a del laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.8.2. Objetivos específicos

- Recopilar información sobre la temática propuesta para obtener conocimientos claros y concretos sobre los principios y funcionamiento de los procesos de refrigeración por compresión de vapor.
- Determinar los elementos o equipos en mal estado.
- Diseñar una nueva estructura para la distribución de todos los elementos del sistema de Refrigeración y Aire Acondicionado.
- Realizar el cambio de los elementos en mal estado y las respectivas correcciones en los sistemas.
- Comprobar el funcionamiento del sistema con el refrigerante R134a.

2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 2.1. Descripción de Objetivos.

Objetivos	Tareas/Actividades	Descripción de la metodología por actividad
Recopilar información sobre la temática propuesta para obtener conocimientos claros y concretos sobre los principios y funcionamiento de los procesos de refrigeración por compresión de vapor.	<ul style="list-style-type: none"> - Buscar información bibliográfica, documental y de campo en el módulo de aire acondicionado 	Investigación teórica
Determinar los elementos o equipos en mal estado.	<ul style="list-style-type: none"> - Poner en funcionamiento el módulo para la revisión de sus elementos y equipos 	Investigación de campo
Diseñar una nueva estructura para la distribución y protección de todos los elementos del sistema de Refrigeración y Aire Acondicionado.	<ul style="list-style-type: none"> - Mediante el software AutoCAD diseñar la nueva estructura del módulo. - Construir la estructura del módulo 	Investigación de campo Investigación experimental
Realizar el cambio de los elementos en mal estado y las respectivas correcciones en los sistemas	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar los nuevos elementos en la estructura. - Instalar las protecciones en los elementos que los requieran. - Recargar refrigerante R134a 	Investigación de campo Investigación experimental
Comprobar su funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Poner en funcionamiento el módulo. - Comprobar si todo el sistema funciona correctamente. 	Investigación experimental

Fuente: Los Autores.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

Desde el principio la humanidad ha buscado la forma de conservar y almacenar los alimentos para su consumo posterior, es por esta razón que se vio la necesidad de desarrollar un sistema que le permita disminuir la temperatura y con lo cual se pueda conservar los productos en un determinado ambiente y espacio.

Como información importante se describe trabajos previos con características similares al propuesto, los cuales se realizaron a nivel nacional y local, permitiendo obtener referencias específicas, con lo cual se puede realizar el estudio y desarrollo del proyecto.

Según [2], autores del proyecto: “Diseño y construcción de un sistema de aire acondicionado para practicas estudiantiles en la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja” donde se concluye que: El Banco de aire acondicionado es propiamente explicativo e ilustrativo, el cual fue diseñado y construido de tal forma que se visualicen todos y cada uno de los componentes que conforman un sistema real de acondicionamiento de aire, además incluye una válvula reversible de 4 vías, que es la que marca la diferencia de un sistema convencional; en el caso de este sistema se puede simular condiciones de frio, calor y humedad.

Según [3], con el tema “Repotenciación del Equipo para Prácticas de Aire Acondicionado en el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi”, donde se determina que: Con la implementación del PLC y la pantalla (HMI) se puede tener el control de cada uno de los elementos del módulo y así se logra la automatización y de este modo alcanzar un nivel de visualización óptima del sistema para los estudiantes que realicen las prácticas.

En base y análisis a los estudios previos se puede desarrollar el proyecto, tomando en cuenta los parámetros y recomendaciones especificadas dentro del estudio y la investigación, con lo cual se pueda diseñar e implementar un sistema confiable y estable que permita desarrollar las prácticas, funcionamiento del sistema de aire acondicionado.

3.2. Introducción

El diseño de sistemas de refrigeración y aire acondicionado se encuentran ligados en muchas aplicaciones del sector industrial y alimenticio, por lo que es esencial el desempeño profesional del futuro Ingeniero Electromecánico, donde pueda aplicar todos los conocimientos teóricos y prácticos de Refrigeración adquiridos durante su formación académica.

El campo de la refrigeración suele dividirse en dos segmentos, industrial y de confort. Un aire acondicionado es una agrupación de técnicas adecuadas para mantener una temperatura constante en un espacio o área determinada, esta acción normalmente se la lleva a cabo en la estación del verano, ya que es aquí donde se aplica lo que se refiere a los sistemas de refrigeración [4].

La refrigeración se aplica en el sector industrial y comercial, para la conservación de productos, razón por la cual radica la necesidad de estudiar estos sistemas, con lo cual se pueda determinar los parámetros termodinámicos que influyen en el sistema de refrigeración por compresión de vapor con la aplicación de gas refrigerante R134a.

La refrigeración se basa en la extracción de calor de un elemento o espacio que se desea mantener a una temperatura menor a la del medio ambiente, por ello es necesario poner en contacto al elemento sea directa o indirectamente con otro elemento que presente una temperatura menor o inferior [5].

3.3. Principios básicos de la termodinámica

La Termodinámica es una rama de la ciencia que estudia sobre la acción mecánica del calor sobre distintos elementos. Existen Leyes Termodinámicas las cuales son básicos para el estudio de los sistemas de refrigeración.

3.3.1. Primera Ley de la termodinámica

En esta ley se aplica el principio de conservación de la energía ya que a suma total de la energía del universo es una cantidad constante y no puede incrementarse, disminuirse, crearse o destruirse. Resumido de otra manera se dice que la energía no puede crearse ni destruirse.

Las diferentes formas de energía son mutuamente convertibles, y la cantidad de una forma de energía que se requiere para producir otra cantidad de energía es fija e invariable [6].

3.3.2. Segunda ley de la termodinámica

Es imposible que una máquina, actuando por si sola y sin ayuda de un agente exterior, transporte calor de un cuerpo a otro que tenga distinta temperatura [6].

La segunda ley de la termodinámica determina que el calor siempre viaja del cuerpo mayor temperatura al cuerpo de menor temperatura. El nivel de transmisión es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos cuerpos. La misma establece el sentido en el que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos.

3.4. Conceptos básicos del Aire Acondicionado

3.4.1. Aire

El aire es una sustancia gaseosa, transparente, inodora e insípida compuesta por un 20% de oxígeno, 78% de nitrógeno y un 2% de otras sustancias, contiene muchas impurezas tales, como gases, sólidos, polvos, etc., en proporciones que dependen de distintos factores [6].

a) Calor específico (C_p)

El calor específico del aire no es regular, depende de la temperatura.

b) Peso específico (W)

Para determinar el peso específico del aire a cualquier presión y temperatura, se debe consultar en las diferentes tablas de las propiedades del aire.

c) Volumen específico (W)

El volumen específico dentro de los procesos termodinámicos es definido como el recíproco de la densidad.

3.4.2. Humedad absoluta

Es el peso de vapor de agua expresado en libras o gramos, está contenida en el aire seco a una temperatura y presión determinadas, cuando el aire no está saturado [6].

3.4.3. Humedad específica o relación de humedad (Wv)

El peso de vapor de agua expresado en metro cubico, se puede decir que es la relación entre el vapor de agua contenido en el aire y la máxima cantidad de vapor que podría contener [6]

3.4.4. Humedad relativa (ϕ)

La humedad relativa se define como la relación de la presión parcial del vapor en el aire con la presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura existente [6].

3.4.5. Temperatura de Rocío (tw)

Representa la cantidad de humedad que se encuentra en el aire, quiere decir que es la temperatura a la cual el aire se carga cuando se enfría, suponiendo que no hay aumento ni disminución de humedad [6].

3.4.6. Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo

a) Bulbo Seco

La temperatura del bulbo seco se mide con un termómetro ordinario, y es la medida del calor sensible del aire expresado en grados Fahrenheit o centígrados [6].

b) Bulbo Húmedo

La temperatura del bulbo húmedo expresa la cantidad de calor total contenido en el aire [6].

3.4.7. Zona de confort

Es la zona que permite estar bajo una variedad de combinaciones de temperatura y humedad. La mayor parte de las personas está confortable en una atmósfera con una humedad relativa de entre 30% y 70%, y una temperatura entre 21° C y 29° C [7].

3.4.8. Balance térmico

El balance térmico está en función de la humedad relativa, la velocidad y la temperatura del aire y la temperatura radiante.

3.4.9. Calor sensible

Es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura y por lo tanto su estado [8].

3.4.10. Calor latente

El calor latente es aquella energía necesitada por una cantidad de sustancia para los cambios de fase, de sólido a líquido o de líquido a gaseoso. Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura [8].

3.5. Proceso de refrigeración

El proceso de la refrigeración se usa para extraer el calor de un medio menor temperatura y expulsarlo a un medio mayor temperatura, usando las propiedades de calor latente del refrigerante a utilizar. El sistema debe proporcionar una temperatura de refrigerante inferior a la temperatura del medio que se va a enfriar y elevar la temperatura del refrigerante a nivel superior a la temperatura del medio que se utiliza para el rechazo [9].

El esquema del ciclo de refrigeración se muestra en la siguiente gráfica.

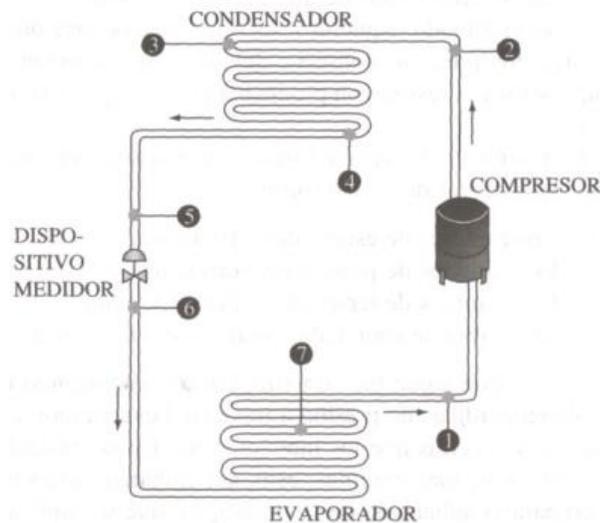


Figura 3.1. Ciclo de refrigeración de compresión mecánica.

Fuente: [9].

(Posición 1.) El refrigerante se ha sobrecalentado en el circuito final del evaporador en el sistema. El sobrecalentamiento es un proceso de continuar el calentamiento de agente refrigerante después de haber agregado suficiente calor latente para vaporizar todo el líquido en el sistema. El sobrecalentamiento asegura que ningún embolo líquido llegue al compresor causando daño a las válvulas. El refrigerante entra en el compresor como un vapor sobrecalentado a baja temperatura y baja presión [9].

(Posición 2.) El refrigerante sale del compresor del sistema como un vapor sobrecalentado a alta presión y a una alta temperatura. El calor de la compresión también ha sido absorbido por el refrigerante [9].

(Posición 3.) El refrigerante ingresa al condensador, la primera porción del calor existente en el condensador es eliminada y la temperatura del refrigerante llega a la temperatura de saturación. Acorde se elimina calor latente adicional, el vapor se condensa. Llegado a este punto, el refrigerante es una mezcla de líquido y vapor saturado a alta presión [9].

(Posición 4.) En la porción inferior del condensador, el refrigerante se ha condensado totalmente y es ahora un líquido a alta presión [9].

(Posición 5.) El refrigerante se encuentra en el mismo estado que el de la posición 4. El refrigerante se encuentra en estado líquido; sin embargo, algo de subenfriamiento ha ocurrido en el transcurso final a través del condensador. Conforme se elimina calor del refrigerante, se subenfriará. El subenfriamiento es un proceso de eliminación de calor del refrigerante cuando es extraído todo el calor latente y cambiado todo el vapor a un estado líquido en el sistema. Además, disminuye la temperatura del líquido por debajo de su punto de ebullición, a una presión en particular. Un subenfriamiento adecuado evita que el refrigerante empiece a calentarse conforme experimente pequeñas caídas de presión al pasar por la tubería o por ciertos componentes. El proceso de ebullición induce a una gasificación fortuita (la rápida vaporización del refrigerante a gas debido a una caída repentina de presión y un aumento de volumen a la entrada del evaporador). Se requiere subenfriar el refrigerante líquido ya sea en el condensador o en la tubería de líquidos antes de llegar al dispositivo medidor. El subenfriamiento del refrigerante líquido disminuye la gasificación inesperada e incrementa el flujo de masas [9].

(Posición 6.) Al transitar a través del dispositivo medidor hacia la zona de baja presión, parte del refrigerante se evapora, enfriando el líquido restante. En este punto el refrigerante es una mezcla [9].

(Posición 7.) El calor del aire ambiente o existente en el producto que se está enfriando dentro del evaporador es absorbido por el refrigerante líquido, haciendo que el refrigerante hierva o se evapore. Conforme el compresor extrae gas evaporado del evaporador, el dispositivo medidor admite más refrigerante, continuando así el proceso. El refrigerante en este punto es una mezcla, igual que en la posición 6 [9].

Para los fines prácticos existen dos presiones en el sistema: la presión del lado de baja y la presión del lado de alta. Desde el dispositivo medidor, el evaporador y la tubería de succión hasta la entrada al compresor representan el lado de baja del sistema. El compresor, las tuberías de descarga al condensador, la tubería de líquidos y los dispositivos de medición se consideran el lado de alta en el sistema. El compresor se considera del lado de alta y el dispositivo medidor del lado de baja del sistema [9].

Existen otros elementos adicionales que se puede instalar en el sistema y se instalan en sistemas de aire acondicionado y refrigeración sólo con el fin de tener mayor control como lo es un filtro secador que se encarga de retener la humedad que pueda contener el sistema. Las mirilla o visores de líquido que muestran la presencia de humedad en el sistema y se puede visualizar si la cantidad de refrigerante en el sistema es el adecuado. Otro elemento adicional es el tanque acumulador de líquidos, se instala en los sistemas de refrigeración con el objetivo de garantizar y tener una cantidad de refrigerante de reserva en el sistema.

3.6. Ciclos de Refrigeración

Los ciclos de refrigeración buscan transferir calor de una fuente de menor temperatura a una de mayor temperatura.

A continuación, se describen dos de los principales sistemas que intervienen en los procesos de refrigeración.

3.6.1. Ciclo Ideal de Carnot

Es uno de los ciclos más eficientes que operan entre dos límites de temperatura, en un sistema térmico no puede operar intercambiando calor con un solo dispositivo, y un refrigerador no puede funcionar sin una entrada neta de energía de una fuente externa [9].

En la siguiente figura 3.2, se muestra el diagrama P-V.

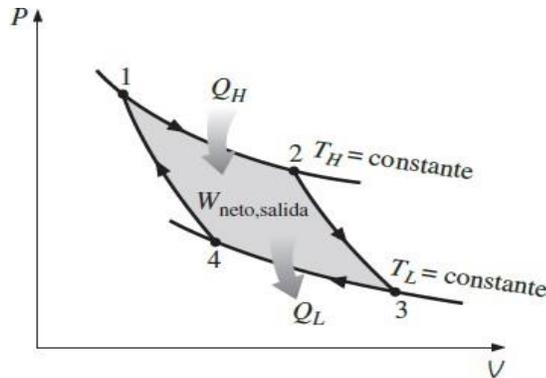


Figura 3.2. Diagrama P-V del Ciclo de Carnot.

Fuente: [9].

3.6.2. Ciclo Ideal de Refrigeración por Compresión de Vapor

Es el más utilizado en refrigeradores, sistemas acondicionamientos de aire y bombas de calor.

Su funcionamiento se basa en la mayor parte de los sistemas que operan con el ciclo de compresión de vapor tales como son aire acondicionado y refrigeración, su refrigerante entra al compresor en el estado I como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador [9].

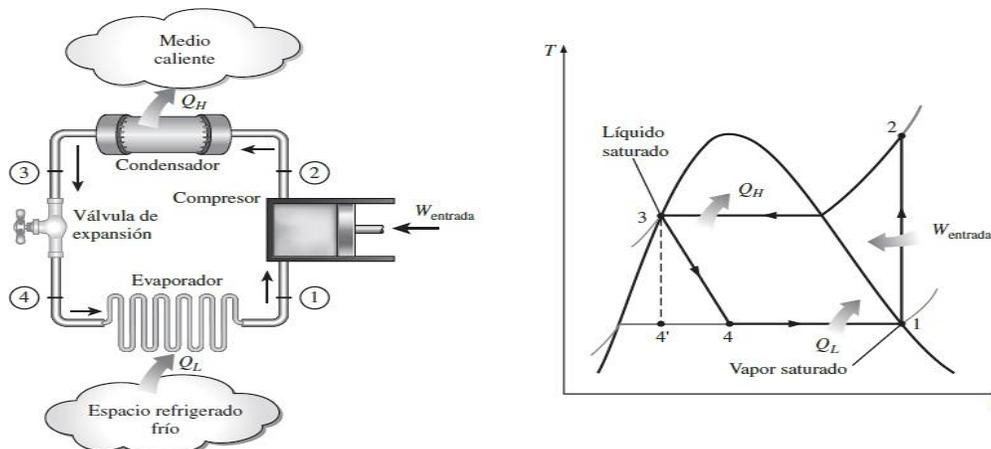


Figura 3.3. Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Fuente: [9].

3.7. Refrigeradores y bombas de calor

Los refrigeradores son dispositivos cíclicos y los fluidos de trabajo utilizados en los ciclos de refrigeración se llaman refrigerantes [9].

La bomba de calor transfiere calor de un medio de baja temperatura a uno de alta temperatura. Los refrigeradores y las bombas tienen la misma función con la diferencia que el objetivo del refrigerador es mantener un espacio refrigerado a una temperatura baja al extraer el calor de él.

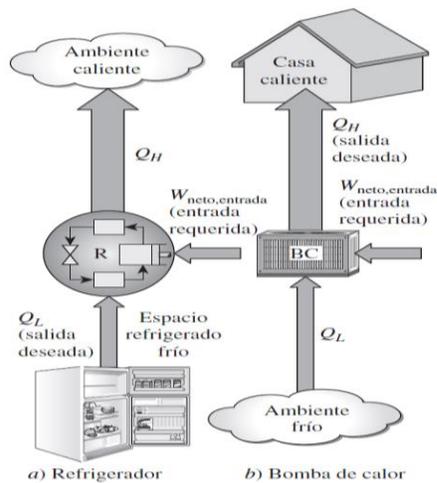


Figura 3.4. Refrigerador y bomba de calor.

Fuente: [9].

3.8. Coeficiente de desempeño (COP)

La eficiencia y desempeño de refrigeradores y de bombas de calor se expresa en términos del coeficiente de desempeño (COP), por sus siglas en inglés (coefficient of performance) [9].

3.9. Funcionamiento de un Sistema de Aire Acondicionado

Los sistemas de aire acondicionado tienen como función principal transmitir aire caliente sobre el frío, mediante las bobinas del evaporador reduciendo la presión, mientras tanto el refrigerante se encuentra absorbiendo el calor a medida que cambian los estados de líquido a gaseoso, para mantener el sistema frío, el aire acondicionado tiene que convertir el gas refrigerante a líquido, una y otra vez constantemente.

3.10. Componentes de un Sistema de Aire Acondicionado

Para continuar desarrollando el estudio se detalla los principales componentes de un sistema de Refrigeración y Aire Acondicionado.

Los componentes de un sistema de refrigeración generalmente son los mismos del aire acondicionado. Su función es similar al de los frigoríficos y congeladores domésticos. Cabe destacar que son 4 los componentes principales a los cuales se les añade un elemento externo como lo es el agente refrigerante con lo se complementa un sistema de aire acondicionado:

- Compresor
- Evaporador
- Condensador
- Dispositivo de expansión
- Refrigerante

Todos estos componentes se muestran en el siguiente esquema:

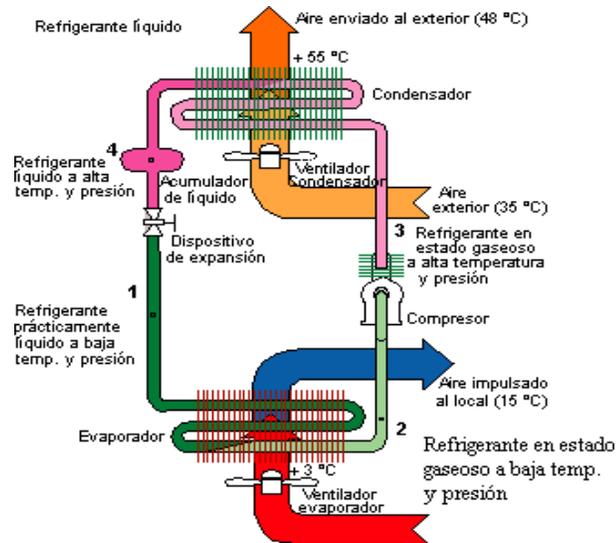


Figura 3.5. Circuito frigorífico.

Fuente: [10].

3.10.1. Compresor

El compresor tiene la función de transmitir y comprimir gas de la parte de baja presión (entrada), a la parte de alta presión (descarga). El compresor limpia el refrigerante del evaporador. En seguida

se comprime el refrigerante gaseoso, bajo una gran presión y los dirige al condensador. De inmediato como llega el gas cálido comprimido al condensador empieza a enfriarse y emite calor, mientras va al fondo del condensador, donde se vuelve a convertir en estado líquido frío. El gas líquido enfriado regresa de nuevo al evaporador.

3.10.1.1. Tipos de compresor

Existe gran variedad de compresores, detallando los tipos de compresores más utilizados en el ámbito de la refrigeración y aire acondicionado.

a) Compresores Alternativos

También conocido como compresor de desplazamiento positivo de tal manera que utiliza un pistón en un cilindro para comprimir el refrigerante, ver figura 6, asegurando que el refrigerante fluya en la dirección adecuada [11]

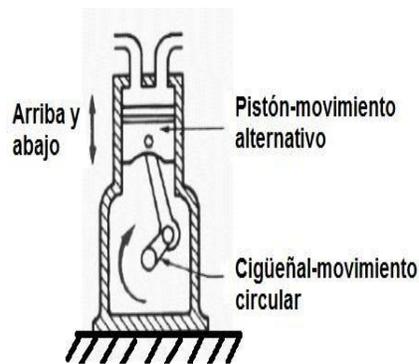


Figura 3.6. Compresor Alternativo.

Fuente: [11].

b) Compresor Giratorio

Su función es utilizar un pistón giratorio de tipo tambor, ver figura 3.7, que comprime el vapor refrigerante hacia el orificio de descarga estos compresores son comúnmente pequeños comparados con los compresores alternativos de la misma capacidad [11].

c) Compresor Espiral

Tiene un mecanismo de funcionamiento muy distinto ya que permite que la parte móvil orbita dentro de la parte fija y comprima el vapor desde el lado de baja presión al lado de alta presión del sistema [11], ver figura 3.8.

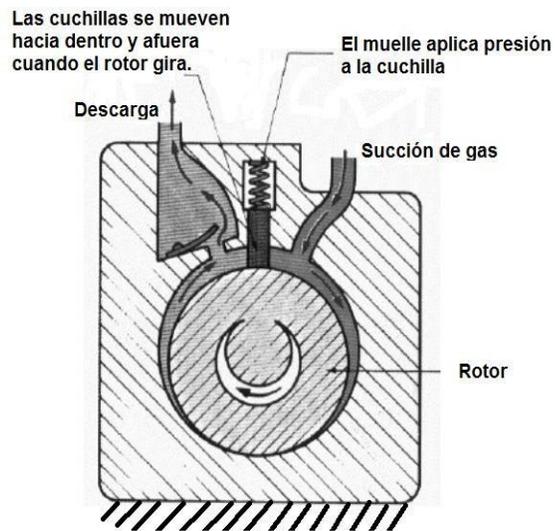


Figura 3.7. Compresor giratorio con movimiento una dirección y sin retroceso.

Fuente: [11].

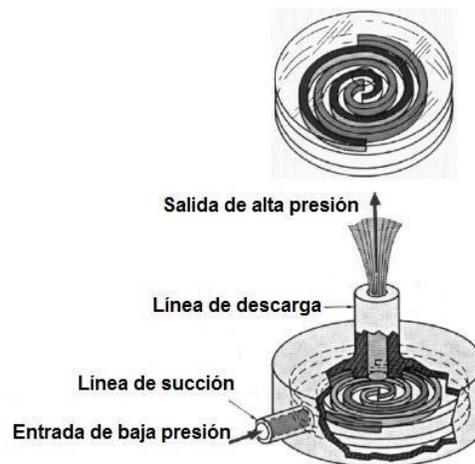


Figura 3.8. Funcionamiento del mecanismo de un compresor espiral.

Fuente: [11].

3.10.2. Evaporador

El evaporador se encarga de absorber el calor hacia el sistema desde cualquier entorno que se vaya a enfriar, este proceso de absorción de calor se consigue manteniendo el serpentín del evaporador a una temperatura inferior a la del entorno que se va a enfriar [11].

3.10.2.1. Tipos de evaporador

Existe una gran variedad y tipos de evaporadores los cuales se describen a continuación.

a) Evaporadores de tubo simple

Estos evaporadores se utilizaban en las primeras cámaras frigoríficas, su función es forzar o inducir aire sobre el serpentín para el mejor rendimiento del proceso de intercambio de calor [11].

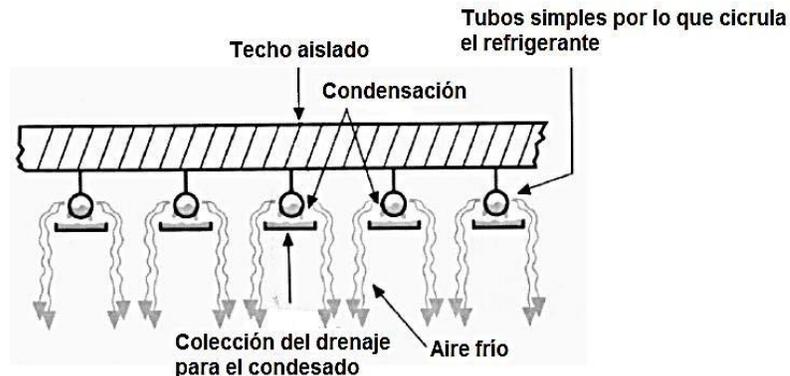


Figura 3.9. Evaporador de tubo simple.

Fuente: [11].

b) Evaporador con relieve

Es el resultado de los primeros intentos de crear una superficie de tubo más grande. Éste está compuesto por dos piezas de metal conformado, con la forma de una serie de tuberías [11].

c) Evaporador de tubos con aletas

Este evaporador es comúnmente utilizado en los sistemas de aire acondicionado, ver figura 3.10, (debido a la eficiencia de las aletas que tiene un buen contacto con el tubo que transporta el refrigerante, para aun buen intercambio de calor) [11].

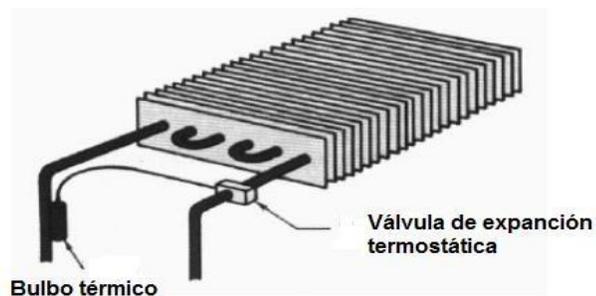


Figura 3.10. Evaporador de aletas.

Fuente: [11].

3.10.3. Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor son los dispositivos que permiten transferir calor de un lugar a otro, o bien, de un fluido a otro. Los intercambiadores de calor son dispositivos que permiten remover calor de un punto a otro de manera específica en una determinada aplicación [12].

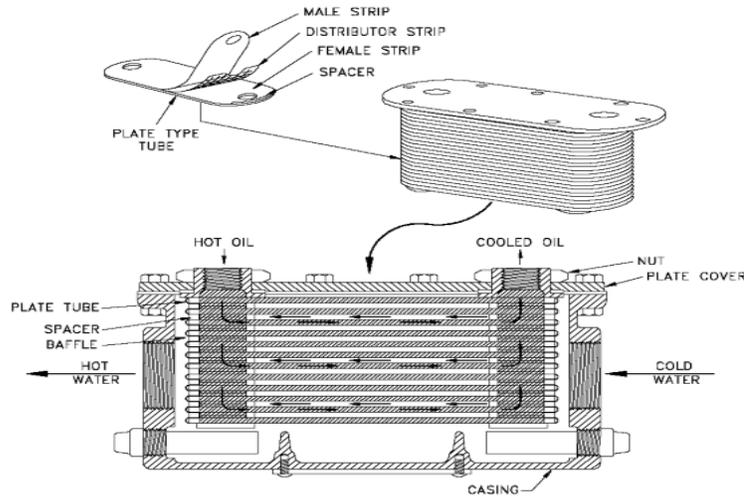


Figura 3.11. Intercambiador de calor.

Fuente: [12].

Los intercambiadores de calor son equipos que permiten el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a distintas temperaturas y al mismo tiempo evitan que se mezclen entre ellos. Los intercambiadores se usan en varias aplicaciones, desde los sistemas domésticos de calefacción y acondicionamiento del aire hasta la refrigeración. Estos intercambiadores de calor no permiten que se combinen los dos fluidos que intervienen en el sistema [12].

3.10.4. Condensador

Es un dispositivo de intercambio de calor muy parecido al evaporador, que se encarga de expulsar el calor del sistema que ha sido absorbido por el evaporador, este calor se encuentra en forma de gas caliente lo cual hay que enfriar hasta que se condense [11].

El condensador trabaja a temperaturas y presiones más altas que el evaporador

3.10.4.1. Tipos de condensador

A continuación, se describe los tipos de condensadores más relevantes en un sistema de refrigeración y aire acondicionado.

a) Condensadores enfriados por agua:

Los condensadores enfriados por agua fueron los primeros en surgir en el ámbito de la refrigeración comercial, como se muestra en la figura 3.12. Estos condensadores funcionan a temperaturas de condensación mucho más bajas, lo cual permite tener muy buen rendimiento comparado con los condensadores enfriados por aire [11].

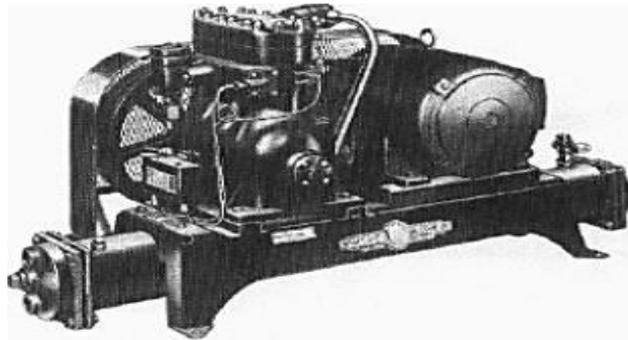


Figura 3.12. Unidad de condensación enfriado por agua.

Fuente: [11].

b) Condensadores de tubo dentro de tubo:

Su principal función es el intercambio de calor, ver figura 3.13, y tiene lugar entre el flujo que hay en el interior del tubo externo y el flujo que se encuentra en el interior del tubo interno [11].

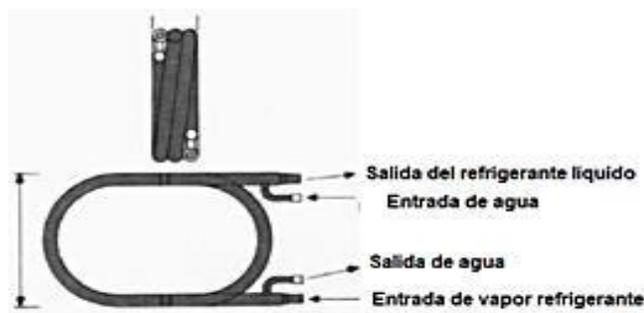


Figura 3.13. Condensador de tubo dentro de tubo.

Fuente: [11].

c) Condensadores de coraza y serpentín:

Este condensador es muy parecido al tipo de tubo dentro del tubo, como se muestra en la figura 3.14, normalmente el gas refrigerante de este condensador se descarga en la coraza de la misma y el agua circula por el tubo que hay en ella [11].

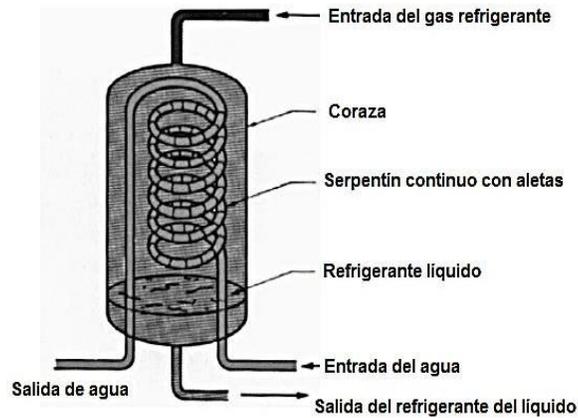


Figura 3.14. Condensador de coraza y serpentín.

Fuente: [11].

3.10.5. Ventilador

El ventilador del condensador ayuda a enfriar los gases cálidos comprimidos que vienen del compresor durante su trayectoria en el condensador. El ventilador que se encuentra ubicado detrás del condensador ayuda a un enfriamiento adicional del disipador que se encuentra detrás del condensador [11].



Figura 3.15. Ventilador.

Fuente: [11].

3.10.6. Válvulas de expansión

También conocido como dosificadores, encargado de graduar la cantidad correcta de refrigerante para el evaporador. Estos dispositivos son componentes necesarios para que funcione el ciclo de aire acondicionado, generalmente estos dispositivos están ocultos en el interior del equipo, por lo tanto, el dispositivo de expansión es una de las líneas divisorias entre el lado de alta presión y el lado de baja presión del sistema, suele estar ubicado en el conducto del líquido que hay en el condensador y evaporador [11].

3.10.6.1. Tipos válvulas de expansión

a) Válvula de expansión termostática:

Se encarga de dosificar el refrigerante que va al evaporador utilizando para ese fin un sensor térmico que controla el sobre calor [11].

b) Válvula de expansión automática:

Es un dispositivo de expansión que dosifica el refrigerante del evaporador utilizando un dispositivo de sensor de presión [11].

3.10.7. Refrigerantes

Los refrigerantes son una sustancia que actúa como agente de enfriamiento en los diferentes sistemas, absorbiendo calor a otro cuerpo o sustancias. Los refrigerantes son fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica.

Existe un gran número de agentes refrigerantes, sin embargo, solo unos cuantos son utilizados en la actualidad como son el (R-123, el R-134a) [13].

Cabe recalcar que en el año 2000 se descontinuaron algunos refrigerantes tales como (R-11, R-12, R-113, R-115, etc.,) debido al deterioro que causan a la capa de ozono en la atmosfera [10].

- **Agentes refrigerantes fluorados**

Agentes o gases fluorados son empleados como refrigerantes, extintores de incendios y disolventes.

Los agentes fluorados tales como el R-134a y el R-404, se utilizan mucho en equipos de refrigeración y aire acondicionado. Por otra parte, existen otro tipo de refrigerantes alternativos no

fluorados, entre los que se encuentran R-744, R-600a (isobutano), R-290 (propano), R-1270 (propileno) y R-717 (Amoniaco), también conocido como refrigerantes naturales tienen la ventaja de no tener fecha límite de aplicación [14].

A continuación, se representa la tabla 3.3, en la cual se detalla los tipos de refrigerantes comunes y menos comunes.

Tabla 3.2. Refrigerantes utilizados en equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor.

TIPOS	REFRIGERANTES COMUNES	REFRIGERANTES NO COMUNES
Objeto del reglamento sobre gases fluorados		
HFC Puros	R-134a	R-23, R-32, R-125, R-143a
HFC Mezcla	R-403, (A,B), R-404A, R-407C, R-408A R-410A, R-417A, R-419A, R507A	R-401 (A, B, C), R-402 (A, B), R-405A, R-407 (A, B, D), R-411B, R-416A, R-422 (A,D), R-423A,
Otros refrigerantes-fuera del objeto del Reglamento sobre gases fluorados, pero si por el reglamento sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.		
HFC puros	R22	R-124, R-123
HCFC en mezcla		R-406A, R-409 (A,B)
CFC- puros y en mezcla	R-11, R-12, R-502	R-13
Otros refrigerantes fuera del objeto del Reglamento sobre gases o del reglamento sobre las sustancias que agotan la capa de ozono		
Alternativos	R-717 (amoniaco), R-290 (propano) R-600a (isobutano), R-1270 (propileno) mezcla de hidrocarburos (HC)	R-744(CO2) R-744(CO2)

Fuente: [14].

A continuación, se describen los agentes refrigerantes más utilizados en los sistemas Refrigeración y aire acondicionado.

a) R-410A:

Es un refrigerante fluorado sin presencia de cloro y por lo tanto no produce ningún daño a la capa de ozono ni al medio ambiente, tiene un elevado rendimiento energético [14].

b) R-407A

El R-407A es una mezcla de gases refrigerantes no azeotrópica esto quiere decir que es una mezcla líquida de dos o más compuestos, por lo tanto, no produce ningún daño a la capa de ozono. Este gas es usado comúnmente en equipos nuevos que trabajen a temperaturas medias y bajas [14].

c) R-407F

PCA (Potencial de Calentamiento Atmosférico) 1825, ofrece un mayor coeficiente de rendimiento para el equipo [14].

d) R-134A:

Es un refrigerante sin presencia de cloro, es ampliamente usado en industrias tales como Refrigeración, aire acondicionado, automóviles, frigoríficos. En los sistemas de refrigeración y aire acondicionado se utilizan desde unidades transportables o deshumidificadores, hasta unidades enfriadoras de agua con compresores de tornillo o centrífugos de gran capacidad [14].

Algunos de los elementos secundarios que deben estar presentes en los sistemas de aire acondicionado son los siguientes.

3.10.8. Termostatos digitales

El termostato digital es uno de los componentes más importantes en los sistemas de control y monitoreo de temperatura en los diferentes procesos industriales. Activando o desactivando un contacto en función de la temperatura que los sensores marcan.

Los termostatos digitales permiten programar y controlar la temperatura de manera automática. Los empleados en las industrias pueden enlazarse con una gran variedad de sensores industriales, como los termopares o los RTD. Realiza una comparación de la temperatura enviada por los sensores, con la programada en el termostato digital. Cuando llega a la temperatura indicada, o se supera ligeramente, se envía una señal a un elemento de control encargado de encender o apagar las maquinas o el proceso encargado de regular la temperatura [15].

Los termostatos son una parte de los sistemas de control de temperatura, se deben elegir de acuerdo a los distintos componentes para obtener un funcionamiento seguro y eficiente.

3.10.9. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos electrónicos y eléctricos que permiten medir la variación de temperatura mediante una señal eléctrica determinada. La señal puede enviarse directamente o mediante el cambio de la resistencia. También se denominan sensores de calor o

termosensores. Un sensor de temperatura se utiliza, para el control de circuitos, también se llaman sensores de calor, detectores de calor o sondas térmicas [16].

3.10.9.1. Tipos de sensores de temperatura

Los termistores PTC indican el aumento de la temperatura con una mayor resistencia.

Los termistores NTC indican el aumento de la temperatura con una reducción de la resistencia. [16].

3.10.10. Presostato

El presostato es un instrumento que puede abrir o cerrar un circuito eléctrico, en función del cambio de un valor de presión, en un circuito neumático. También se le conoce como interruptor de presión [17].

Los presostatos son instrumentos mecánicos. Los cuales se pueden ajustar mediante un tornillo, que aumenta la presión que ejerce sobre un muelle central y éste a su vez, sobre los contactos. Una aplicación de los presostatos es el arranque y paro de los compresores [17].

3.10.11. Manómetros

Los manómetros son instrumentos para medir la presión de los fluidos que se encuentra en un recipiente, ver figura 3.16, por lo general determinan la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local [18]

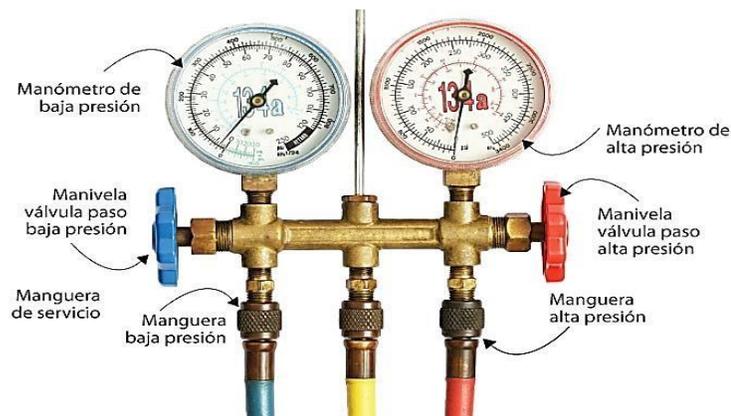


Figura 3.16. Manómetros para Refrigeración.

Fuente: [18].

3.10.12. Tubería Capilar

El tubo capilar es uno el caso más sencillo de un dispositivo de expansión, por lo que consiste simplemente en un tubo de cobre de pequeño diámetro, como se muestra en la figura 3.17, lo cual actúa restringiendo a su salida el flujo de líquido refrigerante hacia el evaporador [19] .



Figura 3.17. Tubería capilar.

Fuente: [19].

3.11. Sistemas de control

Los sistemas de control son una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema que proporciona una respuesta deseada y tienen como finalidad de controlar las salidas de los procesos y subsistemas, además la base para el análisis de un sistema es el fundamento proporcionado por la teoría de los sistemas lineales [20].

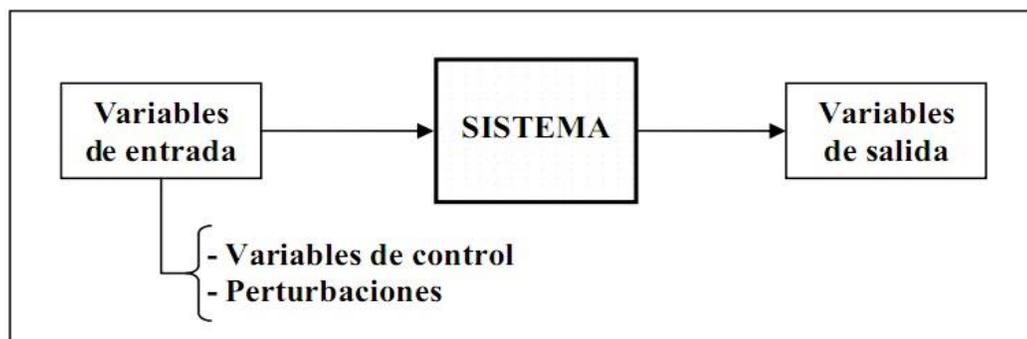


Figura 3.18. Proceso a controlar.

Fuente: [20].

3.11.1. Componentes de un sistema de control

Los componentes de un sistema de control más utilizados son los siguientes:

- a) **Regulador:** Determina el comportamiento del bucle y condiciona la acción del elemento actuador en función del error obtenido [21].
- b) **Transductores:** Se encarga de traducir o adaptar un tipo de energía a otro más adecuado para el controlador [21].
- c) **Captador:** Se encarga de recibir una determinada información en el sistema, para la realimentación [21].
- d) **Comparadores:** Este elemento aparece en los sistemas de control en bucle cerrado, donde existe un bloque de realimentación de la señal de salida, está integrado normalmente dentro del bloque del regulador [21].
- e) **Actuadores:** Es el elemento final de control, se encuentra en interruptores y relés capaces de obedecer a una señal eléctrica o neumática procedente del regulador [21].

3.12. PLC (Controlador Lógico Programable)

Un PLC es un ordenador diseñado para automatización industrial, permite controlar o proteger los procesos industriales, facilitando las operaciones de monitoreo y diagnóstico de condiciones para ser presentadas en una pantalla HMI (Interfaz-hombre-máquina) [22].

3.12.1. Tipos de PLC

Debido a la gran variedad de PLC's se menciona los más importantes.

a) PLC compactos

Son aquellos que incorporan CPU (unidad central de proceso), SM (módulo de señal) módulos de entrada y salida en un único paquete, como se muestra en la figura 19, existen un número fijo de entradas y salidas digitales no mayor a 30, uno o dos canales de comunicación para programar el PLC y la conexión de los buses y HMI [22].



Figura 3.19. PLC Festo FEC FC660 PLC (a la izquierda), Siemens Logo RC230 (en el medio) y S7- 200 PLC (a la derecha).

Fuente: [22].

b) PLC modular

Este tipo de PLC es más potente y tiene más funciones que los PLC compactos, como se muestra la figura 3.20, también pueden utilizar un elevado número de entradas/salidas, pueden soportar programas más grandes, guardar más datos y operar bajo el modo de multitarea [22].



Figura 3.20. PLC Siemens S7-300 (en la parte izquierda) y Allen-Bradley Compact Logix (en la parte derecha).

Fuente: [22].

3.13. HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

Dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina, como se muestra la figura 3.21, tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso actualmente las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que

dejan disponibles puertas de comunicación por lo que es posible contar con sistemas de HMI mucho más eficaces, además permite una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas [23].



Figura 3.21. Pantalla HMI KTP-400 Mono Basic.

Fuente: [24].

4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño de la Investigación

Para el desarrollo de Propuesta Tecnológica se considera la investigación de carácter descriptiva, una investigación de campo y la investigación experimental tomado en cuenta que el tema a desarrollar es repotenciar un sistema de refrigeración y aire acondicionado, lo cual conlleva a realizar un análisis previo del sistema existente, para posterior a ello realizar las correcciones respectivas y las pruebas necesarias para verificar su correcto funcionamiento.

4.1.1. Investigación Descriptiva

Mediante la investigación descriptiva se realiza un análisis previo para conocer de forma minuciosa las características del módulo, los materiales, equipos utilizados y los procesos de instalación, adicional se puede determinar los datos de funcionabilidad y operación del sistema, con los cuales se puede realizar la evaluación y establecer las fallas del sistema además nos permite conocer las características técnicas del agente refrigerante utilizado, este proceso es importante para el desarrollo del proyecto.

4.1.1.1. Módulo de Refrigeración y Aire Acondicionado a Repotenciar

El módulo de Aire Acondicionado del Laboratorio de Energías Renovables de Ingeniería Electromecánica, se encontraba en malas condiciones por lo cual no era posible realizar de forma eficiente las prácticas en la asignatura de Refrigeración y Aire Acondicionado.

En la figura 4.22, se muestra el módulo a repotenciar que se utilizaba para realizar prácticas en la Asignatura de Refrigeración y Aire Acondicionado de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Figura 4.22. Módulo a repotenciar,

Fuente: Los Autores.

4.1.1.2. Descripción del módulo a repotenciar

En el módulo a repotenciar existen varios elementos referentes a un aire acondicionado de un vehículo, estos elementos son los concernientes al sistema de refrigeración entre los cuales podemos distinguir los siguientes:

- 1 Motor monofásico de 1 HP
- 1 Compresor TM16 a 12V – Sanden
- 1 Evaporador

- 1 Condensador con ventilador a 12V
- 1 Presostato
- Válvula de expansión
- Válvulas de paso
- Tubería de cobre en diferentes dimensiones
- 2 manómetros de alta y 2 manómetros de baja presión del sistema

En cuanto al sistema eléctrico para la automatización y control constan los siguientes elementos:

- 1 PLC S7-1200 marca Siemens
- 1 Pantalla HMI KTP-400 marca Siemens
- 6 Termostato Digital MT-512E 2HP
- 3 Relay's a 12V
- 1 Contactor 220 a 12V
- 1 Fuente de 110 a 12V

En cuanto a la estructura está formada de tubo cuadrado 250 mm x 2 mm, ángulo de 250 mm x 250 mm x 2 mm en acero dulce y un tablero de madera de 1400 mm x 820 mm x 20 mm, con dimensiones poco afines a un módulo para realizar prácticas con esas condiciones.

4.1.2. Investigación de Campo

Aquí se puede determinar los antecedentes previos ya sean a nivel nacional y local en cuantos a los sistemas y maquinas relacionadas con la Refrigeración y Aire Acondicionado, las características y procesos de esta investigación son necesarios para la repotenciación del módulo existente en el laboratorio.

Este proceso se lo realiza con la ayuda y supervisión del tutor de tesis el cual se encuentra especializado dentro del Área de la Refrigeración y Aire Acondicionado, el cual impartió sus conocimientos para la elaboración y reubicación de las tuberías y equipos en todo el sistema,

4.1.3. Investigación experimental

El trabajo de investigación que se ejecuta, utiliza estudios relacionados al ámbito experimental practico y económico por cuanto se ha establecido varias relaciones de variables cualitativas y cuantitativas, tales como:

- La relación que existe entre el diseño de guías prácticas y los instrumentos que van a ser acondicionados y reubicados en el módulo.
- La relación que existe entre las dimensiones, ubicación y la evaluación económica.

De la misma forma la investigación utiliza estudios explicativos y prácticos, que sirven para conocer los detalles y características, además de analizar los parámetros que se generan en el nuevo módulo de refrigeración y aire acondicionado

4.1.3.1. Variables en el Sistema

La temperatura y presión son las variables que intervienen en el módulo de Aire Acondicionado, con lo cual se puede acondicionar un espacio y con ello determinar la estabilidad del sistema y si es óptimo el funcionamiento del módulo, en la figura 4.23, se muestra las variables.

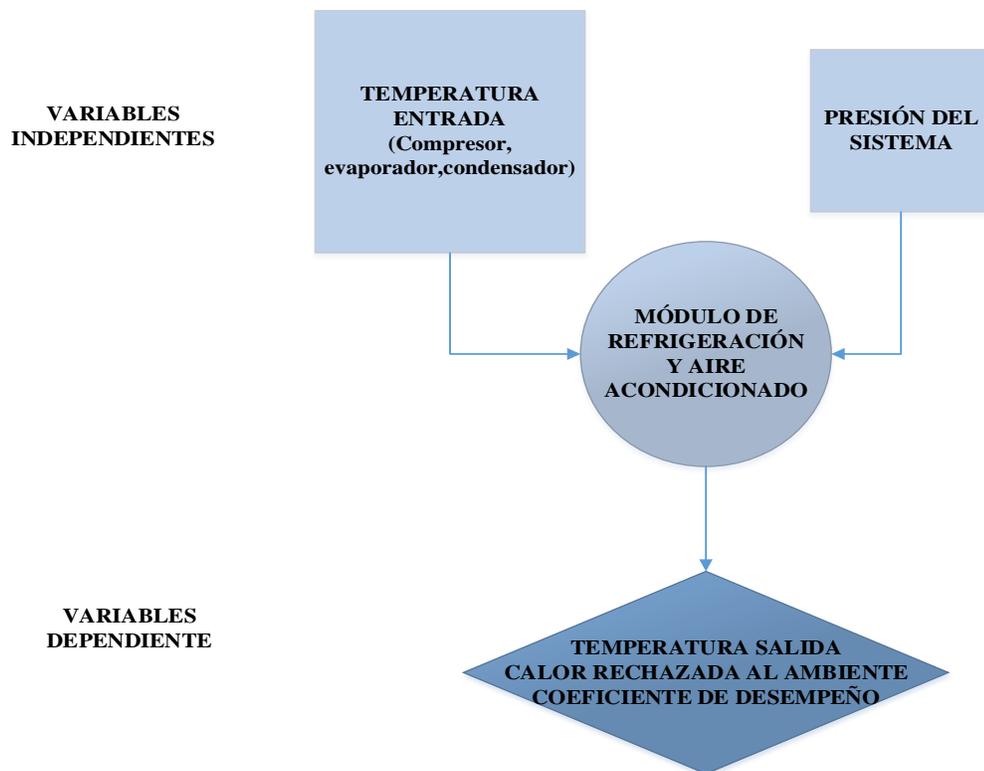


Figura 4.23. Variables del sistema.

Fuente: Los Autores.

4.1.3.2. Funcionabilidad de las Variables

En este apartado se hace referencia a las variables que intervienen en el módulo de Aire Acondicionado, donde se muestra la unidad de medida, instrumento o indicadores de medición y las técnicas a utilizar en la implementación de la propuesta, véase la tabla 4.4, donde se describe los detalles.

Tabla 4.3. Variables del sistema de Refrigeración y Aire Acondicionado.

Variables	Dimensión	Instrumentos o Indicadores	Técnica de medición
Temperatura	Grados Celsius Grados Kelvin	Termómetros Sensores	Experimental
Presión del sistema	Pascal Psi	Manómetros	Experimental

Fuente: Los Autores.

4.2. Diseño e implementación del sistema de Refrigeración

En este apartado se muestra el diseño de la estructura y la distribución de los elementos del módulo de Refrigeración y Aire Acondicionado.

4.2.1. Diseño y construcción de la estructura principal del Sistema de Refrigeración

El fin de elaborar el diseño es para presentar las especificaciones técnicas y la distribución de los elementos que se va realizar en la repotenciación del módulo de Aire Acondicionado, motivo por el cual se utiliza un software de diseño mecánico el cual permita plasmar las ideas y proceder a la construcción.

4.2.2. Aplicación del software AutoCAD 2018

El programa AutoCAD nos facilita realizar el diseño de la estructura y la reubicación de los elementos. Es una alternativa productiva para el análisis y diseño estructural ya que se puede realizar desde un análisis de estática de elementos pequeños en 2D, así como el análisis dinámico no lineal de elementos complejos en 3D.

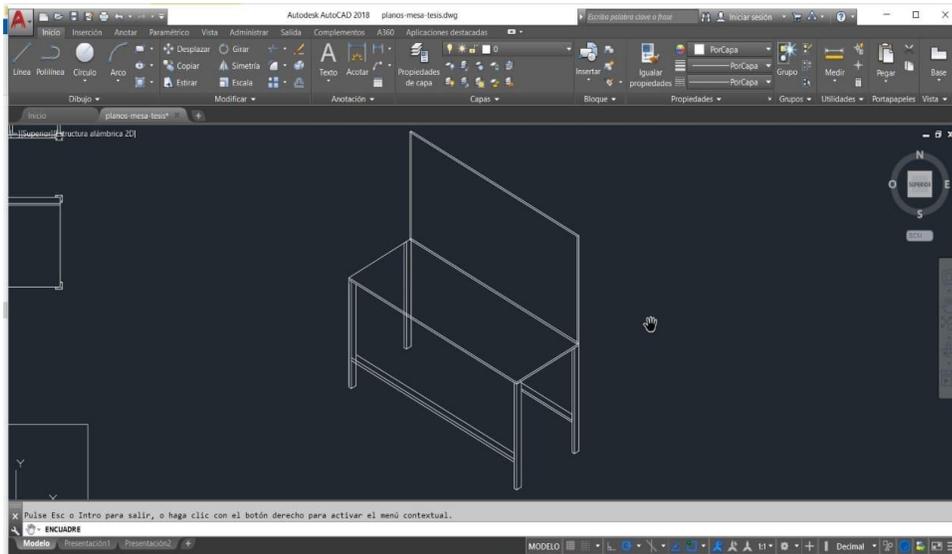


Figura 4.24. Diseño del plano estructural en AutoCAD.

Fuente: Los Autores.

4.3. Pesos de los quipos que conforman el módulo (kg)

Para realizar el análisis de cargas, el diseño estructural y la construcción de la mesa de soporte se considera el peso de los equipos más representativos que se va ubicar en el módulo.

Tabla 4.4. Peso de los equipos del sistema.

Equipos	Peso (Kg)
Evaporador	5 Kg
Condensador	8 Kg
Motor	25 Kg
Compresor	10 Kg

Fuente: Los Autores.

4.4. Tipo de material de la estructura soporte

A continuación, se presenta la tabla 4.5, donde se realiza una especificación de los materiales utilizados en la construcción de la estructura soporte del módulo.

Tabla 4.5. Especificaciones de los materiales de la mesa soporte.

Material	Especificaciones
Tubo rectangular	ASTM A36 , 25.4 mm x 50.8 mm x 2 mm
Tubo cuadrado	ASTM A36 , 25.4 mm x 25.4 mm x 2 mm
Angulo	ASTM A36, 25.4 mm x 25.4 mm x 2 mm
Plancha de aglomerado melaminico color blanco	2.15 m x 2.44 m x 15 mm

Fuente: Los Autores.

4.5. Plano de la estructura

Aquí se muestra de forma detallada las vistas diseñadas para la construcción de la estructura de la mesa soporte del módulo.

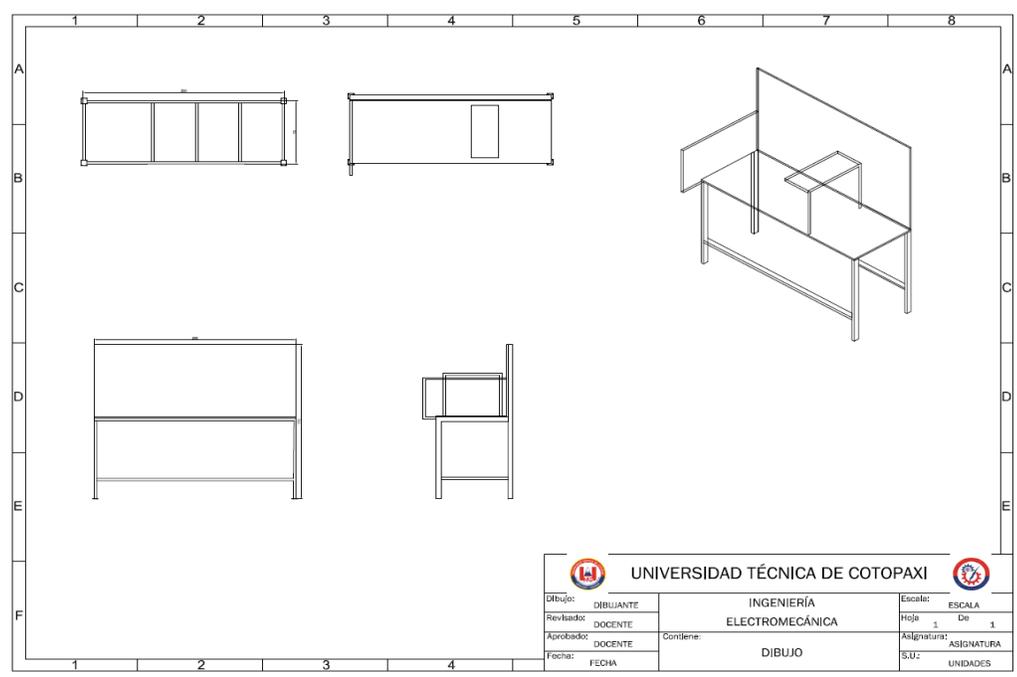


Figura 4.25. Plano de la estructura.

Fuente: Los Autores.

4.6. Construcción del Módulo para determinar los parámetros de Refrigeración

4.6.1. Detalle del proceso y sus ventajas

Para la construcción del módulo de aire acondicionado se utilizó el programa AutoCAD 2018, para el diseño de la estructura y donde se ubicarán todos los equipos y elementos del sistema de aire acondicionado.

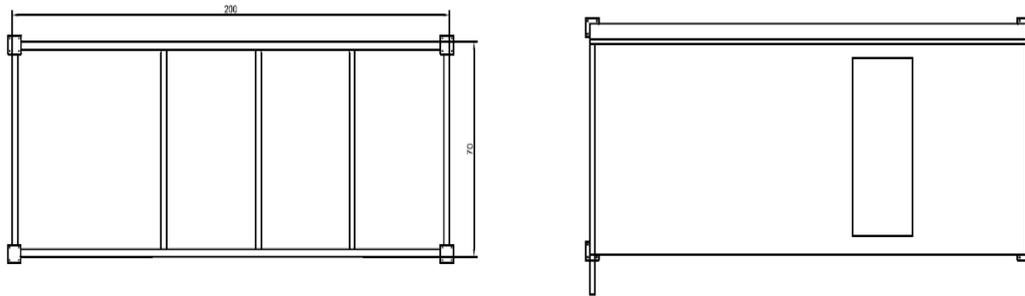


Figura 4.26. Vista superior de la estructura.

Fuente: Los Autores.

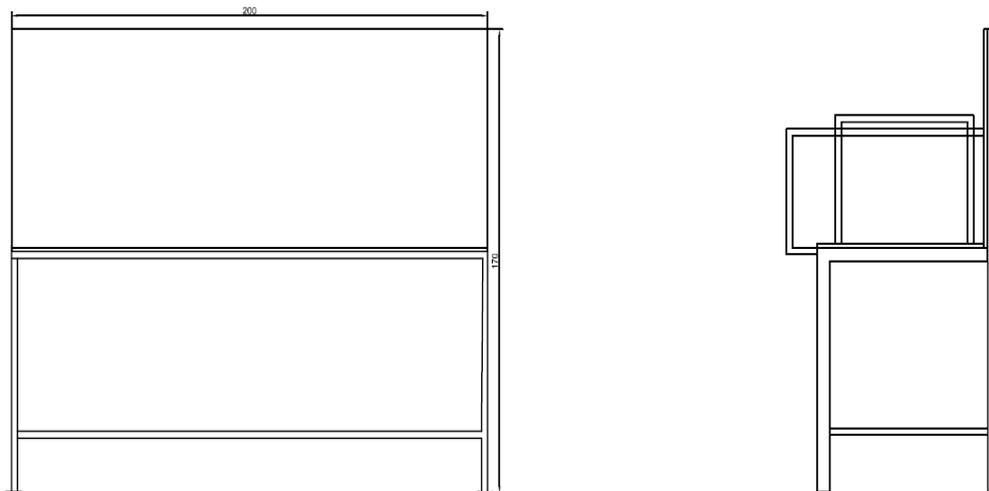


Figura 4.27. Vista posterior y lateral de la estructura.

Fuente: Los Autores.

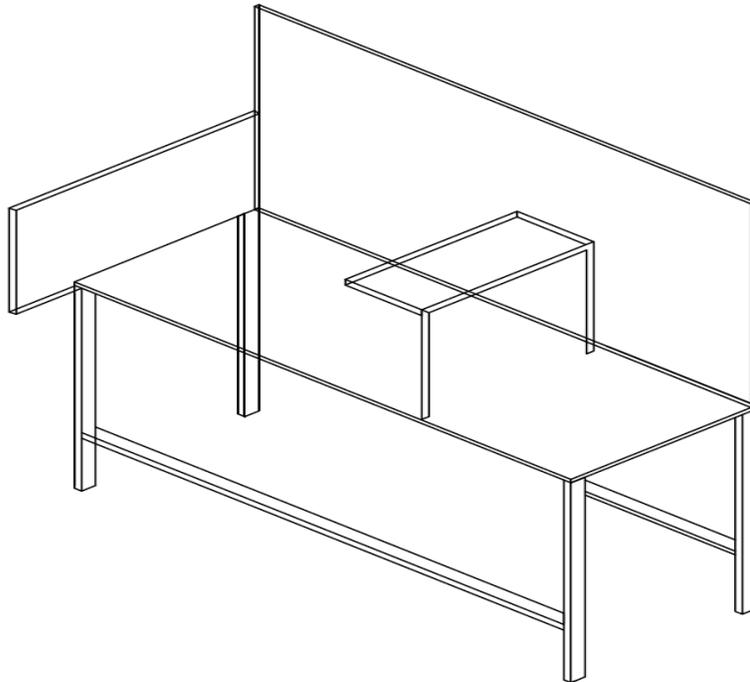


Figura 4.28. Vista detalle de la estructura.

Fuente: Los Autores.

4.6.2. Reubicación de equipos y reducción de espacio físico del módulo.



Figura 4.29. Reubicación de equipos.

Fuente: Los Autores.

4.6.2.1. Descripción de la nueva estructura del módulo de aire acondicionado

Luego de la reubicación de los equipos se procede a la reducción del espacio físico y protección de los elementos inseguros, donde los elementos se instalarán en un lugar diferente y acorde a las especificaciones para mejorar el funcionamiento del mismo.

4.6.2.2. Ventajas

- Fácil accesibilidad a los equipos
- Reducción de riesgos de operación
- Equipos y elementos con protecciones
- Facilidad de mantenimiento
- Diseño ergonómico adecuado para facilidad de manipulación

4.7. Criterios para la selección de los sensores de temperatura

Para la selección de un sensor de temperatura se debe tomar en cuenta ciertos criterios tales como:

1) Alcance de medición

Se establece por los valores medidos para los cuales el error debe estar comprendido dentro de ciertos rangos. En los sensores de temperatura debe comprender estos límites dentro del sistema.

2) Exactitud

La exactitud en la selección del sensor de temperatura, depende directamente de las características físicas y metrológicas del instrumento.

3) Condiciones de medición

cuando se mide temperatura en un fluido debemos garantizar que el acoplamiento térmico sea adecuado, así como también el equilibrio térmico entre la temperatura del sensor y el fluido.

4.8. Criterios para la selección de un PLC

Para la selección de un PLC se debe tomar en cuenta ciertos criterios tales como:

1) Tipo de energía (Alimentación de un PLC)

El PLC funciona con un tipo de energía y estas son: AC: Corriente Alterna, DC: Corriente Directa, dependiendo el modelo y características de funcionabilidad.

2) Señales Digitales

Es un ciclo continuo de señales binarias, consideradas como una sola. Cada posición de la señal digital se denomina con un bit. A continuación, se describen las entradas y salidas digitales:

a) Entradas Digitales

Tipo: Fuente

Tensión nominal: 24 VDC a 4 m A

Los elementos que se usan en las entradas digitales de un PLC son:

- Pulsadores
- Interruptores
- Paletas rotativas, etc.

b) Salidas Digitales

Tipo: Relé

Rango de voltaje: 5 a 30 VDC o 5 a 250 VAC Corriente (máx.): 2.0 A

Tipo: Fuente

Rango de voltaje: 20.4 a 28.8 VDC Corriente (máx.): 0.5 A

3) Señales analógicas:

Son aquellas que tienen valores continuos, es decir, consisten en un número infinito de valores. Los PLC's no pueden procesar señales analógicas reales de este modo, estas señales deben ser convertidas en señales digitales y viceversa constantemente [3].

Características de las entradas analógicas

Tipo: Tensión (unipolares)

Rango: 0 a 10 Vdc

Resolución: 10 bits

Corriente Max: 4-20mA

4.9. Materiales e Instrumentos

Para el desarrollo del proyecto se utilizará algunos materiales e instrumentos que fueron descritos anteriormente durante el proceso de investigación y la formación de académica de los estudiantes:

A continuación, se describen los materiales utilizados en los diferentes sistemas del módulo:

4.9.1. Materiales para el sistema Hidráulico de aire acondicionado

- ❖ Tubo de Cobre para Refrigerante de 1/8 de pulgada
- ❖ Tubo de Cobre para Refrigerante de 1/4 de pulgada
- ❖ Tubo de Cobre para Refrigerante de 1/2 de pulgada
- ❖ Tubo de cobre capilar
- ❖ Tubo de Aluminio para Refrigerante de 1/4 de pulgada
- ❖ Reductores de 1/2" a 1/4"
- ❖ Reductores de 3/4" a 1/2"
- ❖ Neplos
- ❖ Uniones
- ❖ Válvulas de Paso
- ❖ Válvulas Check

4.9.2. Materiales para el sistema Eléctrico

- ❖ Cinta aislante
- ❖ Cable Gemelo 2x20 AWG
- ❖ Cable Gemelo 2x18 AWG
- ❖ Contactor de 220V - 30A
- ❖ Canaletas Schneider
- ❖ Riel DIN

- ❖ Luces Piloto 220V
- ❖ Interruptores de Inicio
- ❖ Pulsador Zeta de Paro 220V
- ❖ Relay's de 110Vac, etc.

4.9.3. Instrumentos para medición

Los instrumentos utilizados para la medición de las diferentes magnitudes del Sistema de Refrigeración son los siguientes:

- ❖ Sensores de Temperatura PID REX-C100 (Termostatos Digitales).
- ❖ Sensor de Temperatura LM35 (Acondicionamiento de Señal Analógica).
- ❖ Voltímetro
- ❖ Amperímetro
- ❖ Manómetros

4.9.4. Instrumentos o softwares para diseño

- ❖ AutoCAD 2018
- ❖ TIA PORTAL V13 – SIEMENS
- ❖ CADe_SIMU V3.0
- ❖ Proteus V8.0
- ❖ Microsoft Office - Word
- ❖ Microsoft Office - Excel

4.9.5. Herramientas utilizadas en la construcción del módulo

- ❖ Soladora
- ❖ Amoladora
- ❖ Taladro

- ❖ Expansor para tubo de cobre
- ❖ Escuadra
- ❖ Sierra
- ❖ Destornilladores
- ❖ Llave de Tubo
- ❖ Llave de Presión
- ❖ Flexómetro
- ❖ Alicata universal, etc.

Estos son los principales materiales y herramientas utilizadas para la construcción y repotenciación del módulo de Refrigeración y aire acondicionado.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis del módulo repotenciado

El proyecto del módulo se lo ha construido con el objetivo que sea un aporte para reforzar el aprendizaje en la materia de Refrigeración y Aire Acondicionado, realizando las correcciones y reubicación de los elementos y equipos del módulo, de tal manera que sea un diseño ergonómico con el cual los profesores y estudiantes puedan visualizar todo el proceso del sistema y sea fácil su manipulación. Añadiendo que se conserva el mismo sistema automatizado con lo cual se puede controlar los elementos tales como: Evaporador, Compresor, Ventilador y Motor; mediante un Autómata Programable. Ver Anexo II.

Con las correcciones y puesta en funcionamiento no solo se pretende que se practique sobre el acondicionamiento de aire, sino también la combinación de elementos de elementos tecnológicos (PLC y HMI) con los cuales se puede controlar y automatizar estos sistemas.

5.1.1. Estructura del módulo

La nueva estructura está diseñada y construida en Acero A-36 para soportar todos los equipos que constituyen el sistema de aire acondicionado, el sistema eléctrico y el sistema de control

automatizado, la estructura fue construida con las siguientes medidas: Alto 1,70 m; Largo 2 m y de ancho 0,70 m.



Figura 5.30. Nueva estructura del Módulo de Aire Acondicionado.

Fuente: Los autores.

5.2. Discusión de los Resultados

La ejecución del proyecto resulto efectiva como se lo esperaba cumpliendo con todos los objetivos propuestos y con las medidas de seguridad respectivas con el fin de presentar un proyecto eficiente y de calidad, acorde a las necesidades de los estudiantes.

5.2.1. Selección de los sensores utilizados en el modulo

Para el módulo de Refrigeración se utiliza el termostato Digital PID REX-C100 con termopar K salida de relé, el cual viene incorporado un sensor de temperatura.

Es un Regulador Controlador de Temperatura, que permite la conexión a los distintos sensores de Temperatura como Termocuplas, Termopares entre otros.

Permite una configuración según las Tipos de Termocuplas. Además, que admite controlar un actuador mediante salidas NC y NA, la cual funciona al sobrepasar o estar bajo el nivel del seteo, las que se especifican en el manual de uso. Se puede Configurar el valor de la Temperatura en Grados Centígrados o Grados Fahrenheit. Voltaje: 110Vac - 24Vdc [25].



Figura 5.31. Termostato digital Rex-C100.

Fuente: [25].

En total se incorporan 6 termostatos digitales con sus respectivos sensores, debido a que cumplen con las características y requerimientos, además que generan un rango de error de ± 2 , por lo cual son apropiados para el sistema de refrigeración.

5.2.2. Selección del Controlador para el Módulo de Control (PLC)

En la figura 5.32, se puede observar el PLC implementado en el módulo, el cual no se encontraba en funcionamiento en el módulo anterior y con la repotenciación se logra el acondicionamiento y la funcionalidad del PLC S7-1200 marca Siemens con el nuevo sistema.



Figura 5.32. PLC S7-1200 marca Siemens.

Fuente: [3].

5.2.2.1. Acondicionamiento de la Señal Analógica para el PLC

Para el diseño del acondicionamiento de la señal analógica se la realiza en el programa Proteus V8.0, mediante una placa de cobre y elementos electrónicos para determinar el rango de voltaje de 0-10Vdc.

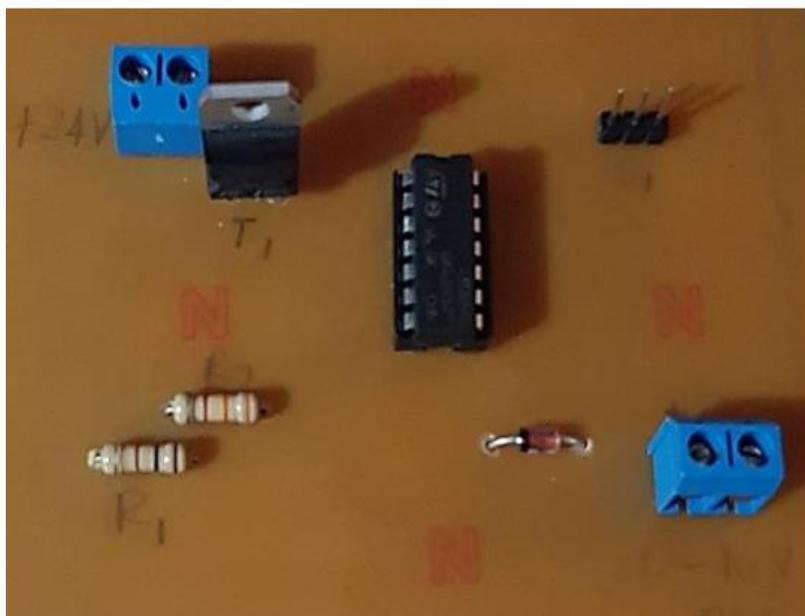


Figura 4.35. Diseño de la placa en baquelita.

Fuente: [3].

5.2.2.2. Esquema eléctrico de conexión para el control del Sistema

El sistema eléctrico del módulo está diseñado en el programa CADe_SIMU V3.0, el cual proporciona los comandos necesarios y la simbología eléctrica para la realización del esquema, el cual fue implementado en el módulo.

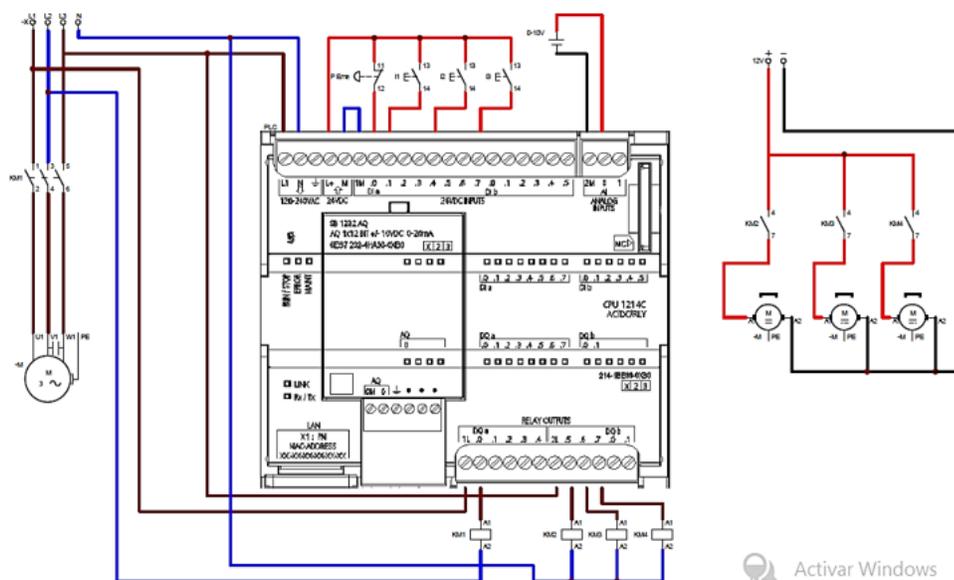


Figura 5.36. Diseño del esquema de la conexión eléctrica del módulo.

Fuente: [3].

5.2.2.3. Descripción de los parámetros necesarios para el PLC S7-1200

A continuación, se muestra la descripción de los elementos y los parámetros requeridos para realizar la programación del PLC S7-1200 y Pantalla HMI KTP-400 marca Siemens.

Tabla 5.6. Requerimientos del sistema de refrigeración mediante el PLC S7-1200.

ELEMENTO	NOMBRE	ENTRADA/SALIDA	FUNCIÓN
1 Pulsador NC	P0	Entrada Digital	Paro del Sistema
1 Sensor de Temperatura	A0	Entrada Analógica	Medición de la temperatura general del sistema
1 Luz Piloto (Verde)	H1	Salida Digital	Indicador de encendido del sistema
1 Bobina del Contactor 220V	KM1	Salida Digital	Arranque del motor
1 Bobina del Contactor 110V	KM2	Salida Digital	Arranque del Evaporador
1 Bobina del Contactor 110V	KM3	Salida Digital	Arranque del Ventilador
1 Bobina del Contactor 110V	KM4	Salida Digital	Arranque del Compresor

Fuente: [3].

El PLC S7-1200 es el dispositivo principal utilizado para el control y la automatización del módulo, se encarga de controlar el sistema y los elementos principales que lo conforman.

5.2.3. Pantalla HMI KTP – 400 (Siemens)

Este elemento funciona como interfaz hombre – máquina, como se muestra en la figura 5.36, la pantalla es Touch no necesita de botones externos, esta pantalla sirve en el módulo para poder activar o desactivar las salidas de nuestro PLC S7-1200 y así controlar el motor, el evaporador, el ventilador y el compresor [3].



Figura 5.37. Pantalla HMI KTP-400 Mono Basic.

Fuente: [24].

5.2.4. Diseño del Software de Soporte del Sistema

Se presenta el desarrollo del software utilizado para el control del sistema en el módulo.

5.2.4.1. Software TIA-PORTAL V13

La parte principal en la repotenciación del módulo es el uso del Software TIA-PORTAL V13 para la programación y control del PLC S7-1200, dicho Software optimiza todos sus procedimientos de procesamiento de datos, operación de máquinas y planificación, con una intuitiva interfaz de usuario, la sencillez de sus funciones y la completa transparencia de datos es increíblemente fácil de utilizar [3].

TIA Portal es un software utilizado en el área de ingeniería el cual permite configurar de forma automática y eficiente todos los procesos de producción. Incorpora las últimas versiones de Software de Ingeniería SIMATIC STEP 7, WinCC y Start drive para la planificación, programación y diagnóstico de todos los controladores SIMATIC, pantallas de visualización y accionamientos SINAMICS de última generación [3].

5.2.4.2. Procesamiento de datos del Control de Temperatura

El rango de medición va desde los 0°C hasta los 30°C como medida máxima, en la figura 5.38 se puede observar la normalización de la temperatura en el TIA PORTAL V13.

Para el escalamiento se necesita de rangos de valores que vienen predeterminados en el PLC, estos valores van desde 0 hasta los 27648 bits, rango que el PLC interpreta mediante la entrada de un voltaje variable de 0-10Vdc [3].

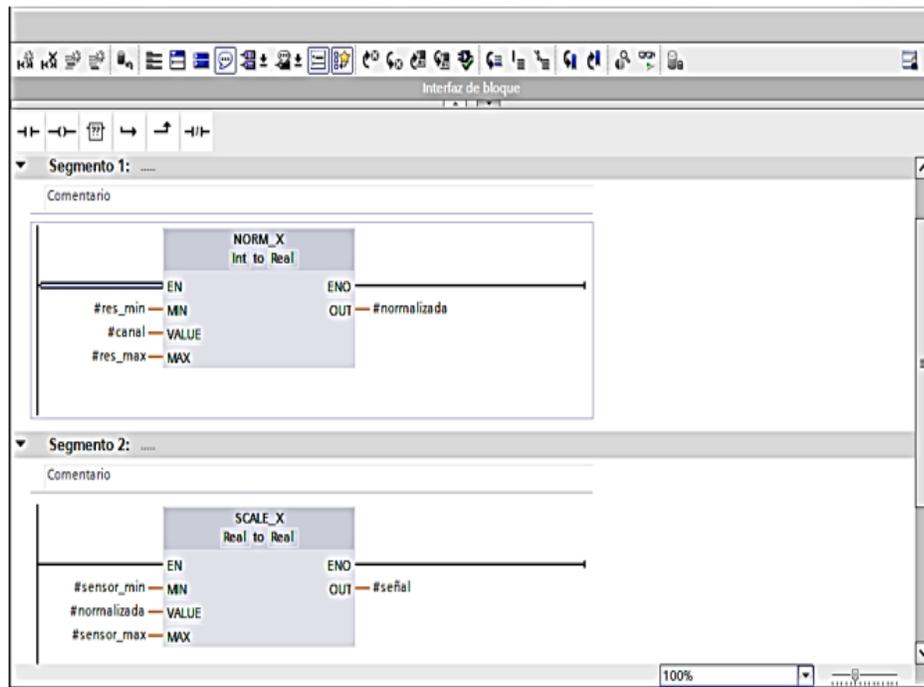


Figura 5.38. Registro de datos de escalamiento y normalización para el acondicionamiento de temperatura.

Fuente: [3].

5.2.4.3. Tipo de control implementado

En el módulo se utiliza un control ON/OFF y un control PID, el que consiste en mantener constantes ciertas variables como son presión, temperatura los cuales facilitan la operación del controlador lógico programable.

El control ON/OFF es el más importante en el sistema que se va a repotenciar ya que se basa en activar el mando de calentamiento cuando la temperatura está bajo los estándares de la temperatura deseada y luego desactivar con la temperatura este por arriba.

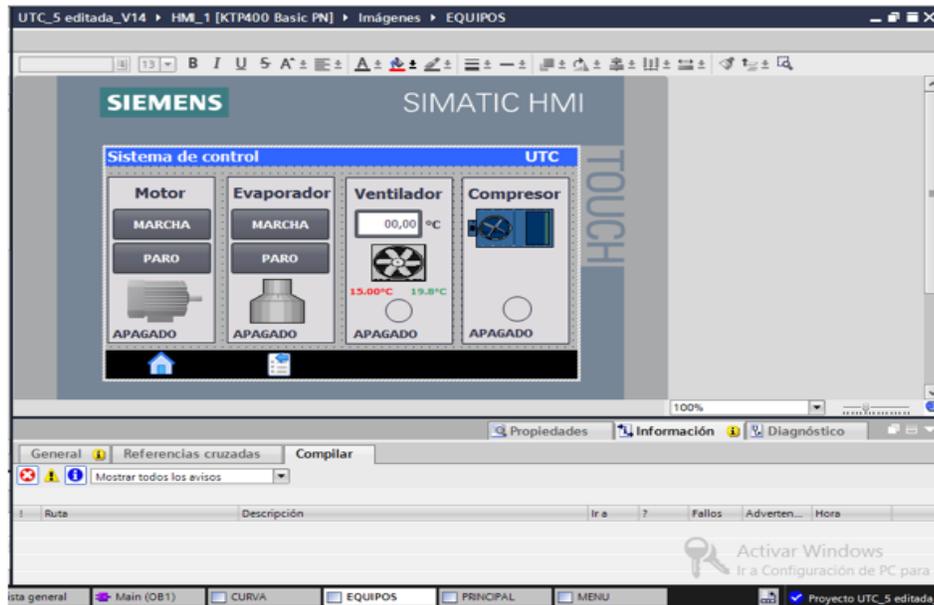


Figura 5.40. Pantalla HMI del control de los equipos individualmente.

Fuente: [3].

5.2.5.3. Desarrollo del programa

Mediante la generación del programa, se puede determinar una curva de Temperatura, la cual se registrará a las condiciones y especificaciones del controlador lógico programable PLC S7-1200 y a los sensores para con ello poder controlar el sistema de Aire Acondicionado [3].

La programación del PLC se basó en los requerimientos que tiene el módulo de Acondicionamiento de Aire, donde realizan una selección de los elementos para la propuesta planteada, para ello utilizan, esquemas de conexión y equipos acordes al sistema antes mencionado [3]. Para el desarrollo del programa declararon todas las variables que intervienen en el sistema, a continuación, en la figura 5.41, se muestran las variables en el TIA PORTAL:

	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
1	MARCHA_MOTOR	Tabla de variabl...	Bool	%M40.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	PARO_MOTOR	Tabla de variables e.	Bool	%M40.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	MARCHA_EVAPORADOR	Tabla de variables e.	Bool	%M40.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	PARO_EVAPORADOR	Tabla de variables e.	Bool	%M40.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	MOTOR	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	EVAPORADOR	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	PARO_GENERAL	Tabla de variables e.	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	ENTRADA_VOLTAJE_FISICA	Tabla de variables e.	Word	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	SEÑAL_TEMP	Tabla de variables e.	Real	%MD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	VENTILADOR	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	COMPRESOR	Tabla de variables e.	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	MARCA_SUP	Tabla de variables e.	Bool	%M40.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	MARCA_INF	Tabla de variables e.	Bool	%M40.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	<Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 5.41. Variables del PLC para el control de los equipos.

Fuente: [3].

Con la declaración de las variables, como se muestra en las siguientes figuras 5.41, se procede al acondicionamiento de la señal analógica, mediante un escalamiento y normalización en función de la temperatura que tenga el módulo en funcionamiento [3].

El rango de medición va desde los 0°C hasta los 30°C como medida máxima, en la figura 5.42, se puede observar la normalización de la temperatura en el TIA PORTAL [3].

Para el escalamiento se necesita de rangos de valores que vienen predeterminados en el PLC, estos valores van desde 0 hasta los 27648 bits, rango que el PLC interpreta mediante la entrada de un voltaje variable de 0-10Vdc [3].

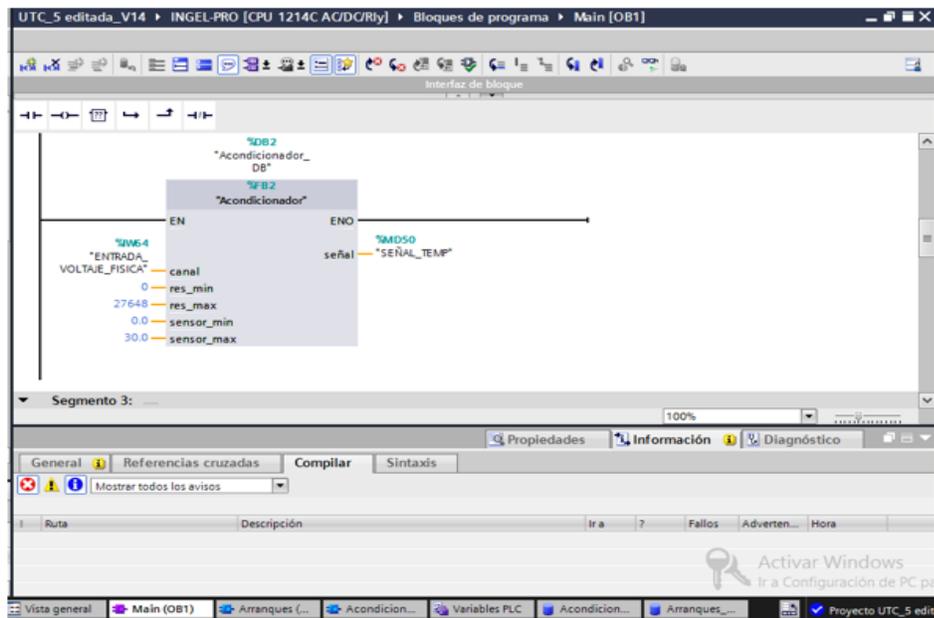


Figura 5.42. Escalamiento para el acondicionamiento de la temperatura.

Fuente: [3].

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...	Valor de a.	Comentario
Input								
canal	Word	16#0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
res_min	Word	16#0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
res_max	Word	16#0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
sensor_min	Real	0.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
sensor_max	Real	0.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Output								
señal	Real	0.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
InOut								
Static								
normalizada	Real	0.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Figura 5.43. Variables de escalamiento para el acondicionamiento de la temperatura.

Fuente: [3].

Se realiza la activación de todos los elementos mediante la programación en Ladder, la cual utiliza contactos abiertos, cerrados, bobinas, temporizadores, etc.; como se muestran en las figuras 5.44, 5.45, se visualiza la programación en el software TIA PORTAL [3].

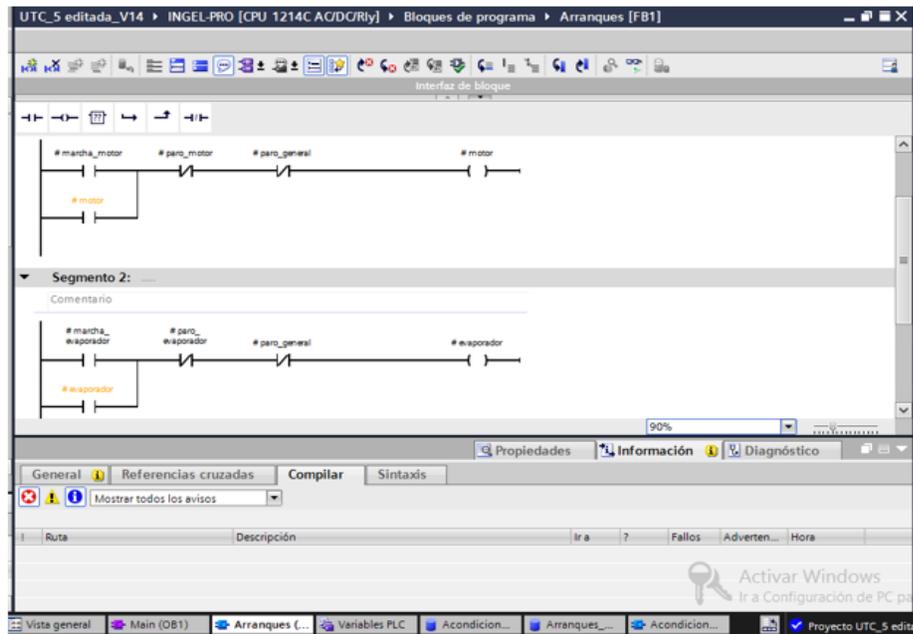


Figura 5.44. Variables de escalamiento para el acondicionamiento de la temperatura.

Fuente: [3].

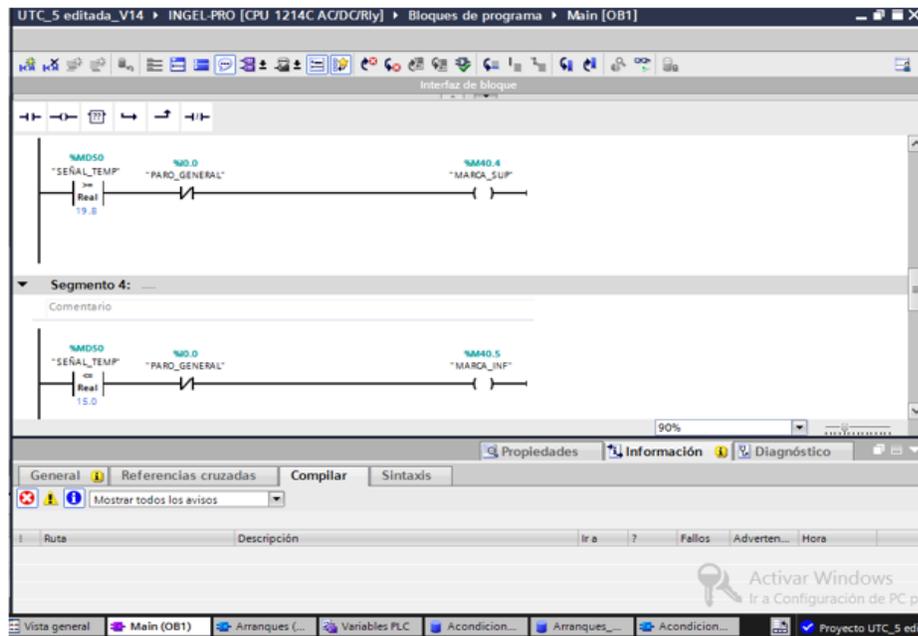


Figura 5.45. Programación de las variables para la activación de los elementos del sistema de Aire Acondicionado.

Fuente: [3].

5.2.6. Selección del Agente Refrigerante

En el módulo repotenciado se utiliza el agente refrigerante R134a, ya que no es toxico y es capaz de reducir la contaminación ambiental y mejorar la conductividad térmica de cualquier sistema de refrigeración y aire acondicionado.

5.2.6.1. Características del Agente Refrigerante

A continuación, en la tabla se hace una descripción de las características principales del agente refrigerante R134a.

Tabla 5.7. Características del Refrigerante R134a.

REFRIGERANTE R134a
El agente R134a es un refrigerante que no es perjudicial para el medio ambiente y no contaminante.
No es toxico
Menores costos de mantenimiento
Mayor conductividad térmica
Fácil de manipular

Fuente: Los autores.

5.2.7. Comparación del módulo anterior con el repotenciado

Se realiza una breve comparación entre los módulos con el fin de sintetizar los cambios realizados

Tabla 5.8. Comparación entre los Módulos de Aire Acondicionado.

Módulo anterior	Módulo Repotenciado
<p>Modulo demasiado grande (Véase anexo I. a)</p>	<p>Se realizó un diseño ergonómico y se construyó con medidas acordes a las especificaciones, con el objetivo de tener fácil acceso para la manipulación de los elementos. (Véase anexo I. A)</p>
<p>Fugas en las tuberías (Véase anexo I. b)</p>	<p>Sistema de tuberías corregido las fugas y cambiado a posición vertical, además de un recorrido más corto del refrigerante para evitar pérdidas. (Véase anexo I.B)</p>
<p>No existía las protecciones para manipulas los elementos de forma segura (Véase anexo I. c)</p>	<p>Se reubico los elementos en este caso el motor se lo ubico debajo de la mesa y se colocó un cubre bandas en el compresor con el objetivo de evitar los accidentes cuando se requiera manipular los elementos del sistema. (Véase anexo I. C)</p>
<p>Existía sensores y termostatos digitales que no funcionaban de forma estable (Véase anexo I. d)</p>	<p>Se realizó el cambio de sensores y termostatos digitales por Termostatos digitales Rex-C100 ya que son más precisos y con el objetivo de poder visualizar las temperaturas correctas además de acondicionarlos al PLC y una interfaz HMI para el control y visualización de los equipos. (Véase anexo I. D)</p>
<p>Fallas en Sistema eléctrico (véase anexo I. e)</p>	<p>Luego de realizar la reubicación de los elementos se realizó las correcciones en el sistema eléctrico, además el cableado se colocó en canaletas para que se visualice forma estética. (Véase anexo I. E)</p>

Fuente: Los autores.

5.3. Análisis del desempeño del modulo

Para determinar el desempeño y la eficiencia del sistema se realiza los cálculos, utilizando los datos que se obtiene en la realización de las pruebas del sistema.

Tabla 5.9. Datos del sistema de Refrigeración y Aire Acondicionado.

Datos tomados del sistemas	
Temperatura entrada compresor A	-1°C
Temperatura salida compresor B	44°C
Temperatura salida condensador C	17°C
Presión Alta	110 Psi = 8,58 Bar
Presión Baja	10 Psi = 1,7 Bar

Fuente: Los autores.

5.3.1. Cálculo del Coeficiente de desempeño (COP)

La eficiencia del sistema de Refrigeración y Aire acondicionado se expresa en términos del coeficiente de desempeño, los COP de los sistemas de refrigeración que operan en el ciclo por compresión de vapor se puede determinar por las siguientes formulas:

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{neto,entrada}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (5.1)$$

Donde:

COP_R = Coeficiente de desempeño Refrigeración

Q_L = Cantidad de calor rechazada (kW)

$W_{neto,entrada}$ = Cantidad neta de trabajo requerida (kW)

h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

$$\text{COP}_R = \frac{Q_L}{W_{\text{neto,entrada}}} \quad (5.2)$$

Donde:

COP_R = Coeficiente de desempeño Refrigeración

Q_L = Calor extraído del espacio refrigerado (kW)

$W_{\text{neto,entrada}}$ = Cantidad neta de trabajo requerida (kW)

$$\text{COP}_R = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (5.3)$$

Donde:

COP_R = Coeficiente de desempeño Refrigeración

h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

Aplicación de formulas

Entalpías del refrigerante R134a según datos del sistema (kJ/kg)

$h_1 = 405 \text{ kJ/kg}$ – tomado del diagrama de Mollier P-h, véase anexo III. a

$h_2 = 445 \text{ kJ/kg}$ – tomado del diagrama de Mollier P-h, véase anexo III. a

$h_3 = 225 \text{ kJ/kg}$ – tomado del diagrama de Mollier P-h, véase anexo III. a

$h_3 = h_4 = 225 \text{ kJ/kg}$ – tomado del diagrama de Mollier P-h, véase anexo III. a

$$\text{COP}_R = \frac{(405 - 225)\text{kJ/kg}}{(445 - 405)\text{kJ/kg}}$$

$$\text{COP}_R = 4,5$$

5.3.2. Cálculo del flujo másico

$$\dot{m} = e * \dot{v} \quad (5.4)$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico (kg/s)

e = Densidad del refrigerante (kg/m^3)

\dot{v} = Flujo Volumétrico (m^3/s)

$$\dot{v} = V * A \quad (5.5)$$

Donde:

\dot{v} = Flujo Volumétrico (m^3/s)

V = Velocidad del refrigerante (m/s)

A = Área del tubo del sistema (m^2)

$$V = \frac{8\text{m}}{2\text{s}} = 4\text{m/s velocidad del refrigerante}$$

$$\dot{v} = V * A$$

$$\dot{v} = 4\text{m/s}(\pi * r^2)$$

$$\dot{v} = 4\text{m/s}(\pi * (6,35 \times 10^{-3}\text{m})^2)$$

$$\dot{v} = 5,067 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = e * \dot{v} \quad e = 4,25 \text{Kg}/\text{m}^3$$

$$\dot{m} = (4,25\text{kg}/\text{m}^3)(5,067 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s})$$

$$\dot{m} = 2,1535 \times 10^{-3}\text{kg/s}$$

5.3.3. Cálculo del calor extraído del espacio refrigerado (Q_L), Calor Rechazado (Q_H) y el Trabajo Neto de Entrada (W)

$$Q_L = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (5.6)$$

Donde:

Q_L = Calor extraído del espacio refrigerado

\dot{m} = Flujo másico del refrigerante (kg/s)

h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

$$Q_L = \left(2,1535 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}\right) (405 - 225) kJ/kg$$

$$Q_L = 0,38763 \text{ kW} \quad \longrightarrow \quad Q_L = 387,63 \text{ W}$$

$$Q_H = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (5.7)$$

Donde:

Q_H = Cantidad de calor rechazada (kW)

\dot{m} = Flujo másico del refrigerante (kg/s)

h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

$$Q_H = \left(2,1535 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}\right) (445 - 225) kJ/kg$$

$$Q_H = 0,47377 \text{ kW} \quad \longrightarrow \quad Q_H = 473,77 \text{ W}$$

$$W_{entrada} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (5.8)$$

Donde:

$W_{neto,entrada}$ = Cantidad neta de trabajo requerida (kW)

\dot{m} = Flujo másico del refrigerante (kg/s)

h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

$$W_{entrada} = \left(2,1535 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}\right) (445 - 405) kJ/kg$$

$$W_{entrada} = 0,08614 kW \quad \longrightarrow \quad W_{entrada} = 86,14 W$$

$$COP_R = \frac{q_l}{W_{neto,entrada}} = \frac{387,63 W}{86,14 kW} = 4,5$$

5.3.4. Cálculo del Sub-enfriamiento del sistema del modulo

El sub-enfriamiento consiste en enfriar el gas refrigerante en el condensador del sistema por debajo de la temperatura de saturación, se utiliza la siguiente formula:

$$T. \text{ sub-enfriamiento} = T. \text{ cambio de fase} - T. \text{ salida condensador} \quad (5.9)$$

Temperatura sub-enfriamiento = 11°C

5.3.5. Cálculo del Recalentamiento del sistema del modulo

El recalentamiento es un proceso análogo al sub-enfriamiento, consiste en calentar el gas por encima de su temperatura de ebullición, de esta forma se comprueba que la circulación de gas refrigerante al evaporador es la adecuada

$$T. \text{ recalentamiento} = T. \text{ salida del evaporador} - T. \text{ cambio de fase} \quad (5.10)$$

Temperatura recalentamiento = 10°C

5.3.6. Análisis de los cálculos realizados en el sistema

Con los resultados obtenidos en los cálculos se realiza el siguiente análisis:

5.3.5.1. Coeficiente de desempeño (COP) del sistema

Tabla 5.10. Cuadro comparativo COP.

CUADRO COMPARATIVO DEL COP	
COP CALCULADO	CLASE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
4.5	A $3.20 < EER$

Fuente: Los autores.

Se determina que el coeficiente de desempeño del módulo evaluado en el ciclo de compresión de vapor con el refrigerante R134a, se encuentra dentro de la clase A, por lo cual el sistema de refrigeración es eficiente.

5.3.5.2. Sub-enfriamiento en el sistema

Tabla 5.11. Cuadro comparativo del Sub-enfriamiento.

COMPARACIÓN	
RANGO DE TEMPERATURA	OBSERVACIÓN
0 o por debajo 3°C	Le puede estar llegando burbuja de gas a la válvula de expansión, y en principio es indicativo de que falta gas
Elevado por encima de 10-11°C	En principio indica que hay exceso de gas
RESULTADO DE LOS CÁLCULOS CON LOS DATOS DEL SISTEMA	
11°C	No existe sub-enfriamiento en el sistema del módulo, se encuentra dentro del rango permitido

Fuente: Los autores.

5.3.5.3. Recalentamiento en el sistema

Tabla 5.12. Cuadro comparativo del Recalentamiento.

COMPARACIÓN	
RANGO DE TEMPERATURA	OBSERVACIÓN
Entre 0 y 3°C	Es indicativo de un exceso de gas refrigerante
Elevado por encima de 10°C	Es indicativo de falta de refrigerante
RESULTADO DE LOS CÁLCULOS CON LOS DATOS DEL SISTEMA	
10°C	No existe recalentamiento en el sistema del módulo de Refrigeración.

Fuente: Los autores.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

Luego de realizar la construcción y cambios en el proyecto se procede a realizar un análisis económico para determinar el costo de la repotenciación del equipo.

6.1. Costos del proyecto

Descripción de los gastos que intervienen en la repotenciación del módulo de aire acondicionado, los cuales están actualizados de acuerdo a las proformas y a la moneda que circula en el país en este caso en dólares americanos.

6.1.1. Costos de los gastos personales

En la tabla 6.13, se describe los gastos personales para realizar la repotenciación del módulo de aire acondicionado.

Tabla 6.13. Tabla de la descripción de los gastos de personal.

INVESTIGADOR / EXPERTO/ AUXILIAR	Formación Académica	Función dentro del Proyecto	DEDICACIÓN Horas/semana	Tipo de recurso	
				En efectivo	En especie
Jumbo Juan Carlos	Cursando Tercer Nivel	Proponente 1	5	100,00	
Tubon Elvis	Cursando Tercer Nivel	Proponente 2	5	100,00	
Navarrete Luis	Cuarto Nivel	Asesor	2	100,00	
TOTAL:				300,00	

Fuente: Los autores.

6.1.2. Costo de materiales y suministros

Descripción de los precios de materiales y suministros necesarios para la repotenciación del módulo, véase la tabla 6.14.

Tabla 6.14. Tabla de Materiales y Suministros.

MATERIALES	CANTIDAD	JUSTIFICACIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR
Tubo rectangular de 1x2”de	3	Estructura	20,00	60,00
Libra de electrodos E6011 marca AGA	2	Estructura	2,50	5,00
Plancha aglomerado melaminico color blanco 2.15m x 2.44m	1	Estructura	41,00	41,00
Litro de Pintura Negra	1	Estructura	4,50	4,50
Canaletas 2m	3	Estructura eléctrica	2,00	6,00
Disco de corte 4 1/2	3	Estructura	3,00	9,00
Tornillos y tuercas	20	Estructura	0,05	1,00
Auto perforantes	10	Estructura	0,05	0,50
Tornillos avellanados	20	Estructura	0,05	1,00
Ruedas móviles	4	Estructura	4,50	18,00

Alambre Gemelo de Cobre # 18 AWG		Conexiones	0,50	10,00
Tubo de cobre ½"	5m	Sistema de Tuberías y Conductos	1,00	5,00
Acoples tubería de cobre	-	Sistema de Tuberías y Conductos	-	20,00
Refrigerante R134a	1	Sistema de Refrigeración	20,00	20,00
Varios	-	-	-	20,00
TOTAL:				221,00
Observaciones: Estos rubros representan el Gasto propio de los Autores en cuanto a materiales y suministros.				
MATERIALES QUE NO SE ADQUIRIERON	CANTIDAD	JUSTIFICACIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR
Riel DIN	1	Estructura	8,00	8,00
Relay's de 110Vac	3	Sistema de Control y Arranque	4,17	12,51
Luces Piloto 220V – (ROJA- AZUL AMARILLA)	3	Sistema de Control y Arranque	0,99	2,97
Manómetros de Presión de Alta para gases de Refrigeración	2	Sistema de Refrigeración	-	69,99
Manómetros de Presión de Baja gases de Refrigeración	2	Sistema de Refrigeración	-	69,99
Condensador (radiador) usado	1	Sistema de Refrigeración	86,00	86,00
Evaporador	1	Sistema de Refrigeración	95,00	95,00
Contactador Trifásico Marca ABB	1	Sistema de Control y Arranque	30,00	30,00
Pulsador de Paro 220V	1	Sistema de Control y Arranque	8,00	8,00

Llaves de Paso de ½ pulgada	4	Sistema de Tuberías y Conductos	9,99	39,96
Visores de Fluido de ½ pulgada	3	Sistema De Tuberías y Conductos	20,00	60,00
Válvula Check de paso de 3/8 pulgada	1	Sistema de Tuberías y Conductos	8,00	8,00
Varios	-	-	-	10,00
TOTAL:				500,42
Observaciones: Todos los elementos descritos en esta tabla ya se encontraban en la tesis por lo que solo es una descripción.				

Fuente: Los autores.

6.1.4. Costo de los equipos

En la tabla 6.15, se describe los precios de los equipos para la repotenciación del módulo.

Tabla 6.15. Tabla de descripción de los precios de los equipos.

EQUIPOS	JUSTIFICACIÓN	Tipo de recurso		TOTAL
		En efectivo	En especie	
6 Termostatos digitales Rex-C100 (Incluye Sensores de Temperatura)	Sistema de Refrigeración	30,00	-	180,00
TOTAL				180,00
Observaciones: Este rubro representa un Gasto propio de los Autores en cuanto se refiere a equipos				
EQUIPOS QUE NO SE ADQUIRIERON	JUSTIFICACIÓN	Tipo de recurso		TOTAL
		En efectivo	En especie	
PLC S7-1200 - MARCA SIEMENS	Sistema de Control y Arranque	-	754,00	754,00
Pantalla Touch HMI KTP 400 - Marca Siemens	Sistema de Control y Arranque	-	735,00	735,00
Fuente de alimentación 110V a 12/24 V – 10A SERIE TM-50	Sistema de Control y Arranque	-	150,00	150,00

Motor Monofásico de 2HP - Marca Weg	Sistema de Control y Arranque	-	199,50	199,50
Compresor para Aire Acondicionado	Sistema de Refrigeración	-	400,00	400,00
6 Termostatos Digitales MT-512E-2hp (Incluye Sensores de Temperatura)	Sistema de Refrigeración	-	67,99	407,94
TOTAL:				2646,44
Observaciones: Todos los elementos descritos en esta tabla ya se encontraban en el módulo.				

Fuente: Los autores.

Tabla 6.16. Desglose y descripción del presupuesto del proyecto por tipo de recurso empleado.

RUBROS	Tipo de recurso		TOTAL
	Efectivo	En especie	
GASTOS DE PERSONAL Asesores Auxiliares de Investigación	300,00	-	
MATERIALES Y SUMINISTROS.	221,00	500,42	
COMPRA DE EQUIPOS PARA USO DIRECTO DEL PROYECTO	180,00	2646,44	
TOTAL:	701,00	3146,00	3847,86
Observaciones: El tipo de recurso en especie hace referencia a los materiales que se encontraban en el módulo anterior y por ende no significaron un gasto adicional en la actualidad, mientras que el tipo de recurso en efectivo hace referencia al gasto de inversión para la realización del proyecto			

Fuente: Los autores.

En la tabla 6.17, se muestra el total del presupuesto invertidos para realizar la repotenciación del módulo de aire acondicionado.

6.1.5 Costo total del proyecto

Tabla 6.17. Tabla del gasto total del proyecto.

Gastos Totales	
Gastos Directos	401,00
Gastos Indirectos	300,00
Imprevistos	20,00
TOTAL:	721,00

Fuente: Los autores.

Con este análisis se determina el valor de la inversión realizada para la ejecución del proyecto que se refiere a la repotenciación del módulo de aire acondicionado, en este caso dando un total de \$ 721,00 (setecientos veintiún dólares/00).

6.2. Análisis de Impactos

A continuación, se detalla cada uno de los impactos relacionados en las diferentes áreas o ámbitos que genera el proyecto.

6.2.1. Impacto Práctico

El módulo didáctico de aire acondicionado sirve para estudiar el cambio de las condiciones del aire, en los diferentes puntos del sistema, además que permitir visualizar el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado de manera sencilla ya que se trata de un módulo didáctico, lo cual no posible visualizar en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado que existe en el mercado ya que se tratan de módulos o sistemas comerciales

El módulo facilita que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica puedan desarrollar prácticas de laboratorio en la materia de refrigeración y aire acondicionado, y de esta manera puedan ampliar los conocimientos teóricos obtenidos en las aulas mediante la práctica.

6.2.2. Impacto Tecnológico

El desarrollo tecnológico se ha convertido en uno de los principios fundamentales en la actualidad. Todo esto trae consigo cambios que repercuten en los procesos industriales y fenómenos sociales.

Mediante la utilización de las normas y softwares hace posible que se pueda diseñar y modelar el módulo didáctico de aire acondicionado, con el cual se puede analizar su funcionalidad antes de su implementación, dejando de manera obsoleta la utilización de métodos empíricos los cuales se desarrollan mediante el sistema de prueba y error para el desarrollo proyectos.

El presente proyecto pretende demostrar el desarrollo de la tecnología mediante la aplicación de equipos fundamentales para el funcionamiento de un sistema de Refrigeración y Aire acondicionado como son:

- PLC S7-1200 - SIEMENS
- Pantalla Touch HMI KTP 400 - SIEMENS.

Estos equipos permiten la automatización del módulo con lo cual se puede controlar todos los equipos y elementos del sistema de Refrigeración y Aire acondicionado, utilizando una programación mediante el software TIA Portal.

El software TIA Portal permite integrar distintas aplicaciones y configuraciones para el funcionamiento de los equipos utilizando en el sistema de refrigeración, mediante una interfaz para la operación y control, para lo cual se genera una programación de un PLC S7-1200 y una pantalla Touch HMI KTP 400 la cual nos permitirá controlar el encendido de los equipos.

6.2.3. Impacto ambiental

Uno de los factores de importancia en el desarrollo de los sistemas de aire acondicionado ha sido la disponibilidad de refrigerantes seguros, es decir, no tóxicos, no explosivos, no corrosivos, no inflamables y estables, en la tabla se realiza una comparación sobre los agentes refrigerantes y su composición y características.

Tabla 6.18. Comparación de agentes Refrigerantes.

AGENTE REFRIGERANTE	COMPOSICIÓN	CARACTERÍSTICAS
Refrigerantes CFC	Contienen átomos de Cloro, Flúor y Carbono	Son los que más dañan la capa de ozono
Refrigerantes HCFC	Contienen Hidrogeno, Cloro, Flúor y Carbono	Estos refrigerantes atacan la capa de ozono, su efecto es aproximadamente la mitad de dañino que un refrigerante CFC.
Refrigerantes HFC	Contienen hidrógeno, flúor, y carbono	Al no contener cloro, no son consideradas sustancias agotadoras de ozono

Fuente: Los autores.

En este proyecto se seleccionó el R-134a, ya que es una alternativa confiable porque se trata de un refrigerante HFC que no destruye el ozono. Sus características presión- temperatura son similares al R-12. HFC R-134a: Se descompone de forma rápida en la atmósfera inferior.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Con la repotenciación realizada al módulo para determinación de parámetros termodinámicos por el ciclo de refrigeración por compresión de vapor con refrigerante R134a, se obtuvo un coeficiente de desempeño tipo A con las adecuaciones e implementación de todas las partes que conforman el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, que a comparación del módulo anterior resulta más eficiente, ya que el módulo anterior presentaba un coeficiente de desempeño de tipo D debido a las constantes fallas del sistema como lo eran la fuga de refrigerante por todo el sistema y su deficiencia en toma de datos de presión y temperatura por lo cual no se lo consideraba un módulo preciso ni exacto para la realización de prácticas.

Mediante nuevos termostatos digitales modelo Rex-C100FJ05 se logra la medición correcta de cada uno de los puntos del ciclo de refrigeración por compresión de vapor teniendo en consideración la precisión y exactitud de los mismos, esto con la finalidad de obtener datos reales y específicos que el módulo anterior no presentaba teniendo que calcular el coeficiente de desempeño COP de manera poco precisa por los errores constantes de los elementos de medida utilizados anteriormente.

En conclusión la nueva guía práctica diseñada para la utilización del módulo repotenciado cambia totalmente a la anterior utilizada al no tener valores fijos daban como resultado valores de coeficiente de desempeño variables y poco eficientes de tipo D por lo tanto la nueva guía práctica ayuda al estudiante en la comprensión del sistema y como tomar las medidas correctas consiguiendo en la guía práctica un coeficiente de desempeño tipo A, calculando de una manera mejor el coeficiente de desempeño del módulo repotenciado.

Con respecto al diseño anterior del módulo no contaba con medidas de seguridad por lo cual la banda que une mecánicamente al compresor con el motor se encontraba expuesta y cercana al botón de encendido de toda la instalación eléctrica considerándola un riesgo mecánico por lo tanto con la repotenciación, tal riesgo desapareció con la nueva disposición del sistema mecánico e instalación eléctrica.

Finalmente, con la repotenciación del módulo para determinación de parámetros termodinámicos del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, está enfocado al mejoramiento en la toma de

datos de presión y temperatura obteniendo cálculos de manera precisa como también la nueva disposición de equipos y adición de elementos como tubería, válvulas, visores de líquido y nueva programación controlando los equipos eléctricos del sistema, mejorando el control del módulo.

7.2. Recomendaciones

Es importante que la asignatura de refrigeración y aire acondicionado cuente con mayor número de módulos para aprendizaje de los estudiantes teniendo en cuenta la creación de estos módulos con otro tipo de refrigerante como el HFO 1234yf, que constituye el reemplazo del R-134a para uso en sistemas de refrigeración y aire acondicionados el mismo que su potencial de daño a la capa de ozono es cero ofreciendo una alternativa más ecológica y responsable que los refrigerantes utilizados con base de cloro.

De ser posible instalar un flujómetro esto para poder obtener el flujo másico real del refrigerante que circula a través del sistema de esta manera calculando de forma más sencilla el calor extraído QL y calor rechazado QH.

Se debe tomar hasta un máximo de 4 veces las temperaturas en el sistema mientras se encuentra en funcionamiento, para efectuar la comparación de los leves cambios de temperaturas en el sistema, y con lo cual se pueda realizar los cálculos con los datos recopilados.

Adquirir por parte de las autoridades de la institución un equipo de reciclaje de refrigerante, bomba de vacío y manómetros para carga de refrigerante con lo cual se puede ahorrar costos.

8. REFERENCIAS

- [1] UNESCO, «Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología,» 2017.
- [2] J. A. J. R. H. Macas, Diseño y construcción de un sistema de Aire Acondicionado para prácticas estudiantiles en la carrera de Ing. Electromecánica de la U.N.L., Loja, 2009.
- [3] D. P. L. Sulca y K. A. Y. Untuña, Repotenciación del Equipo para Prácticas de Aire Acondicionado en el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2018.
- [4] HELLA, «Aire acondicionado del vehículo: Funcionamiento y reparación,» [En línea]. Available: <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Climatizacion-de-vehiculos/Aire-acondicionado-del-vehiculo-2203/#>. [Último acceso: 14 Diciembre 2020].
- [5] K. C. ROLLE, Termodinámica. Sexta edición., Mexico: Prentice Hall, 2006.
- [6] E. H. Goríbar, Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración, Mexico: Limusa, 2009.
- [7] A. S. o. Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, New York: ASHRAE handbook and product directory, 1977.
- [8] I. Arnabat, «Caloryfrio.com,» 20 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/glosario-terminos-industriales-climatizacion-refrigeracion.html#balance-termico>. [Último acceso: 20 Diciembre 2020].
- [9] Y. B. M. CENGEL, Termodinámica, Séptima ed., University of Nevada y North Carolina State University, USA: Mc Graw Hill, 2009.
- [10] A.-C. A. R. I. ARI, Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado, 1999.
- [11] W. Whitman y W. Johnson, Teoría de la refrigeración y aire acondicionado, Fundamentos, Primera ed., S.A. MARCOMBO, 2000.
- [12] O. Jaramillo, Intercambiadores de Calor, Mexico, 2007, pp. 7-11.
- [13] J. K. Vaghela, «Comparative Evaluation of an Automobile Air - Conditioning System Using R134a and Its Alternative Refrigerants,» *In Energy Procedia*, vol. 109, p. 153–160, 2017.
- [14] I. Arnabat, «Caloryfrio.com,» 7 Abril 2009. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/los-gases-refrigerantes.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2020].

- [15] J. Industrial, «JMIndustrial,» [En línea]. Available: <https://www.jmi.com.mx/termostato-digital>.
- [16] R. Sensors, «Rechner Sensors,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/el-sensor-de-temperatura#:~:text=Los%20sensores%20de%20temperatura%20son,sensores%20de%20calor%20o%20termosensores..>
- [17] Mundocompresor, «Mundocompresor,» [En línea]. Available: <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/presostato>. [Último acceso: 20 Diciembre 2020].
- [18] J. M. Franco, Manual de refrigeración, Barcelona: Reverté S.A., 2006, pp. 172-173.
- [19] Kielmann, Catálogo Técnico Tubería capilar,, 2015.
- [20] N. S. Nise, Sistema de Control para Ingeniería, California: Continental, 2006.
- [21] R. Dorf y J. Frydesk, Sistemas de Control Moderno, Madrid: Prentice Hall, 2005.
- [22] Universidad Nacional de Educación a Distancia, Controladores Industriales Inteligentes, 2015.
- [23] R. Cobo, El ABC de la Automatización, 2015.
- [24] Automation24. [En línea]. Available: <https://www.automation24.es/panel-hmi-siemens-ktp400-basic-pn-6av2123-2db03-0ax0>. [Último acceso: 28 Diciembre 2020].
- [25] M. d. Hierro y M. Siza, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA SIMULACIÓN DE CONTROL DE NIVEL, DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO DE LÍQUIDOS DE BAJA DENSIDAD CON PLC SIEMENS S7-1200, Riobamba, 2012.
- [26] N. Grimm, Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado, McGraw-Hill Interamericana, 1996.

ANEXOS

Figura I. a. Diseño no apropiado**Figura I. b.** Fugas de refrigerante**Figura I. c.** Banda del motor y compresor sin protección

Figura I. d. Termostatos y sensores en mal estado



Figura I. e. Instalaciones eléctricas en mal estado

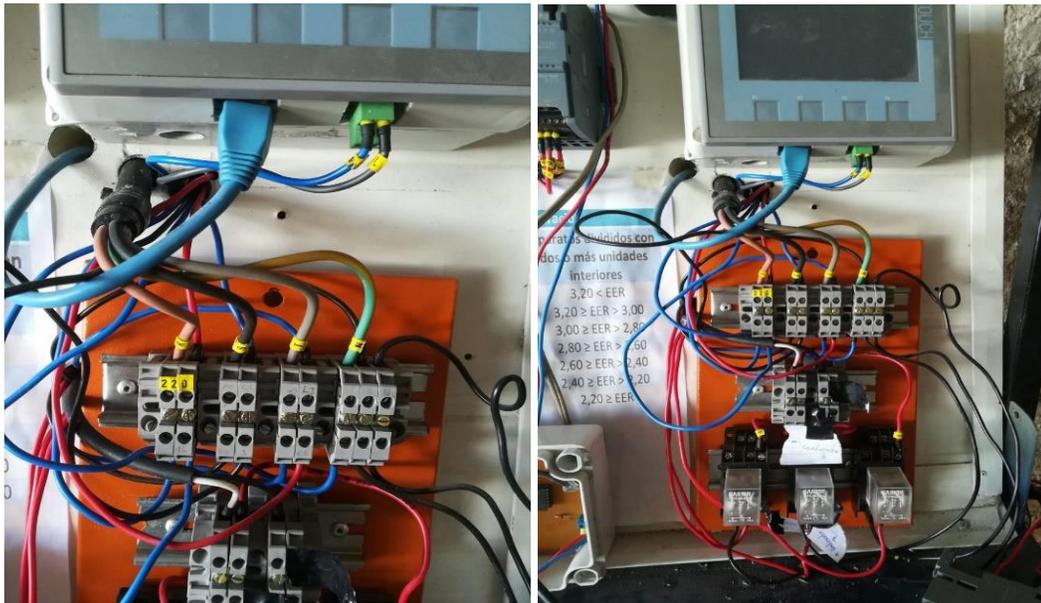


Figura I.A. Diseño ergonómico**Figura I.B.** Corrección de fugas de la tubería**Figura I.C.** Cubre bandas para el motor y compresor

Figura I.D. Nuevos termostatos y sensores



Figura I.E. Sistema eléctrico corregido



Figura II. a. Construcción del modulo**Figura II. b.** Construcción del modulo

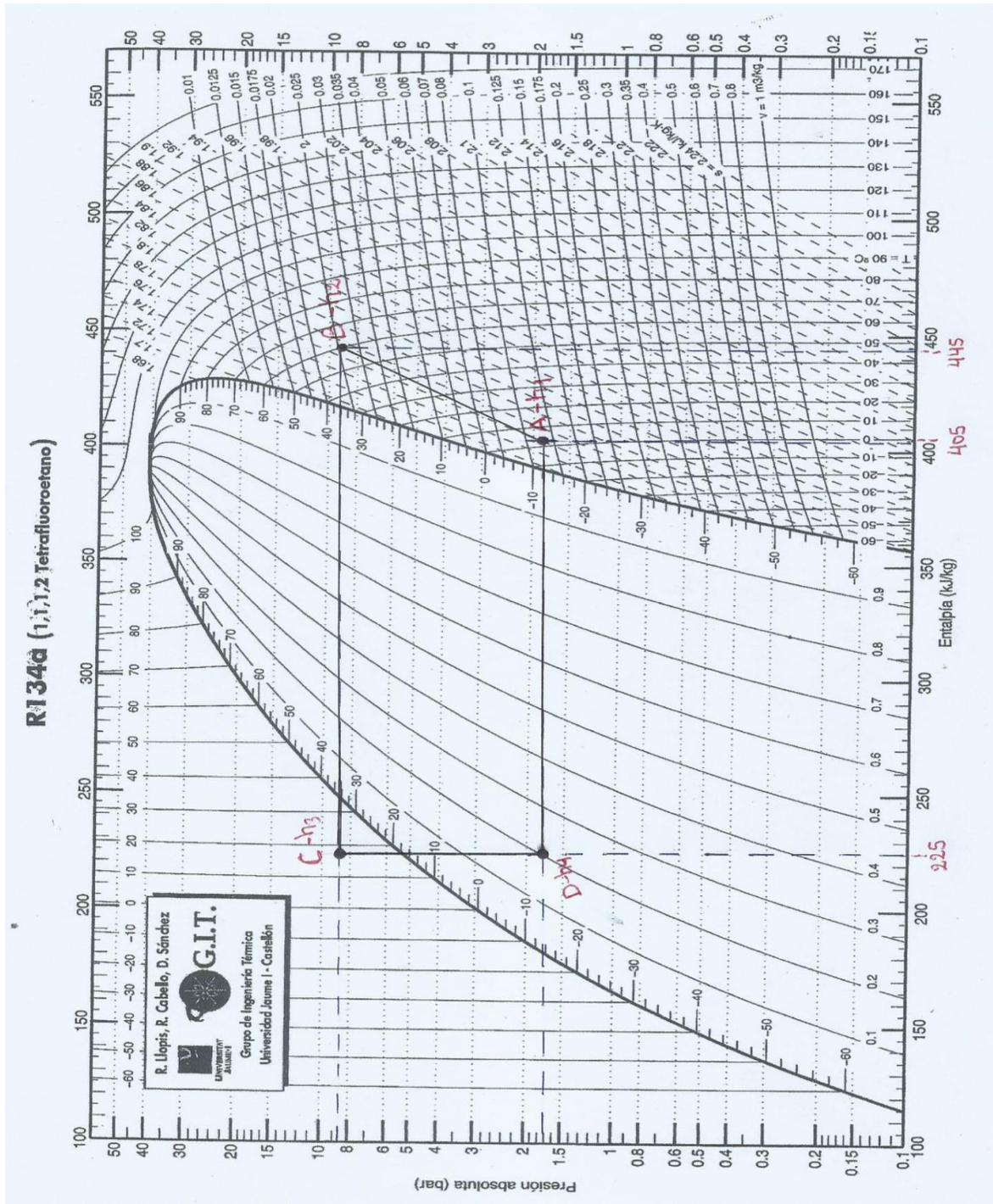
Figura II. c. Construcción del modulo



Figura II. d. Diseño final



Figura III. a. Diagrama P-h (Diagrama de MOLLIER),



ANEXO IV	
<h1>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</h1>	
<h2>PRÁCTICA DE LABORATORIO</h2>	

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM805	Refrigeración y Aire Acondicionado

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Energías Alternativas	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Ciclo de refrigeración	1

1	OBJETIVO
Obtener el Cop del ciclo de Refrigeración por compresión de vapor con el refrigerante R134a	

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
<p>2.1. INTRODUCCIÓN</p> <p>Principios básicos de la termodinámica: La Termodinámica es una rama de la ciencia que estudia la acción mecánica del calor sobre distintos elementos.</p> <p>Primera Ley de la termodinámica: En esta ley se aplica el principio de conservación de la energía ya que a suma total de la energía del universo es una cantidad constante y no puede incrementarse, disminuirse, crearse o destruirse. Resumido de otra manera se dice que la energía no puede crearse ni destruirse. Las diferentes formas de energía son mutuamente convertibles, y la cantidad de una forma de energía que se requiere para producir otra cantidad de energía es fija e invariable [6].</p> <p>Segunda ley de la termodinámica: Es imposible que una máquina, actuando por si sola y sin ayuda de un agente exterior, transporte calor de un cuerpo a otro que tenga distinta temperatura [6]. La segunda ley de la termodinámica determina que el calor siempre viaja del cuerpo mayor temperatura al cuerpo de menor temperatura. El nivel de transmisión es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos cuerpos. La misma establece el sentido en el que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos.</p> <p>Ciclo ideal de refrigeración Como varios aspectos imprácticos asociados con el ciclo invertido de Carnot pueden ser eliminados al evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima, con un dispositivo de estrangulamiento como los son la válvula de expansión y el tubo capilar. El ciclo resultante es denominado como ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, y se muestra de forma</p>	

esquemática y en diagrama T-s en la figura 1. El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el más utilizado en refrigeradores, aire acondicionado y bombas de calor. Componiéndose de cuatro procesos:

- 1-2 Compresión isentrópica en un compresor
- 2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- 3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- 4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador

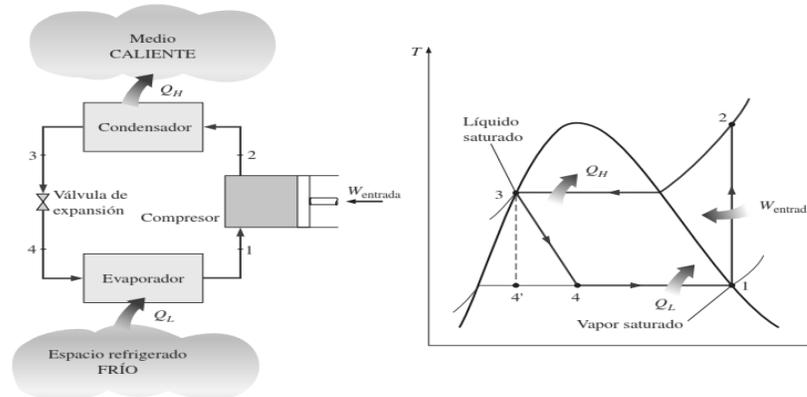


Figura1

En el ciclo de refrigeración ideal por compresión de vapor, el refrigerante entra al compresor en estado 1 como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador. La temperatura del refrigerante se eleva durante el proceso de compresión isentrópica, hasta un valor superior al de la temperatura del medio circundante. El refrigerante pasa al condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y enviado como líquido saturado en el estado 3, como resultado del rechazo de calor hacia el ambiente. La temperatura del refrigerante en este estado se mantendrá por encima de la temperatura del ambiente u alrededores. El refrigerante líquido saturado en el estado 3 es estrangulado hasta la presión del evaporador al pasarlo por una válvula de expansión o por tubo capilar.

La temperatura del refrigerante se encontrará por debajo de la temperatura del espacio refrigerado durante el proceso. El refrigerante entra al evaporador en estado 4 como mezcla saturada de baja calidad, y se evapora por completo absorbiendo calor del espacio a refrigerar. Siguiendo así el refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve al compresor, completando el ciclo.

El área bajo la curva del proceso 4-1 representa el calor que absorbió el refrigerante en el evaporador, y el área bajo la curva del proceso 2-3 representa el calor que fue rechazado en el condensador. Por una regla empírica el COP mejora entre 2 y 4% por cada °C que es elevada la temperatura de evaporación o que se disminuye la temperatura de condensación.

El diagrama utilizado con frecuencia en el análisis de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor es el diagrama P-h (Diagrama de MOLLIER), como se muestra en la figura 2. En el diagrama, tres de los cuatro procesos aparecen como líneas rectas, y la transferencia de calor en el condensador y el evaporador es proporcional a las longitudes de las curvas del proceso correspondiente.

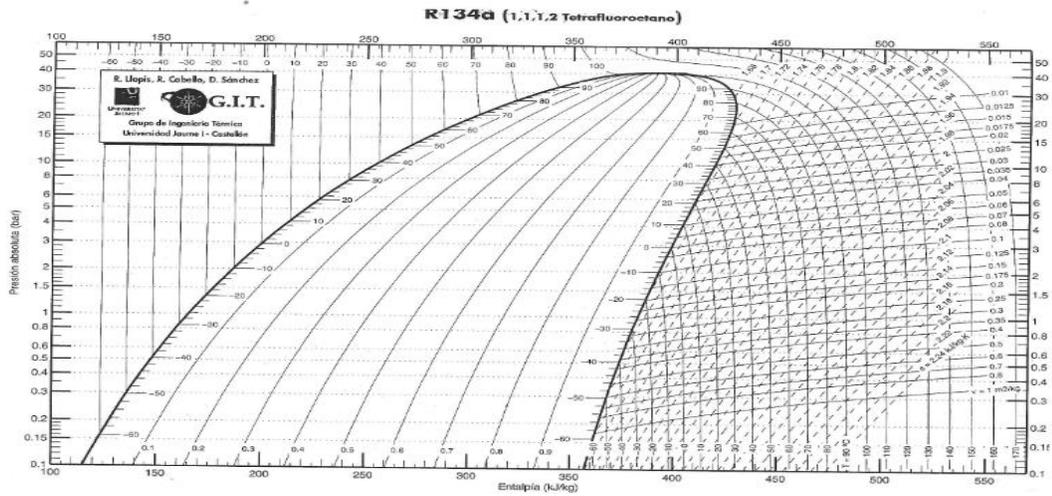


Figura 2

El evaporador y el condensador no implican ningún trabajo y el compresor puede calcularse como adiabático. Entonces el COP de refrigeradores que operan en el ciclo de refrigeración por compresión de vapor se expresara como:

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{\text{neto,entrada}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Donde:

- COP_R = Coeficiente de Rendimiento Refrigeración
- Q_L = Cantidad de calor rechazada (kW)
- W_{neto,entrada} = Cantidad neta de trabajo requerida (kW)
- h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

Ciclo real de refrigeración

Un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor es diferente de un ciclo ideal en varios aspectos, principalmente, debido a las irreversibilidades que ocurren en varios componentes. Las dos fuentes más comunes de irreversibilidad son la fricción del fluido (causa caídas de presión) y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores. El diagrama T-s de un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor se muestra en la figura 3.

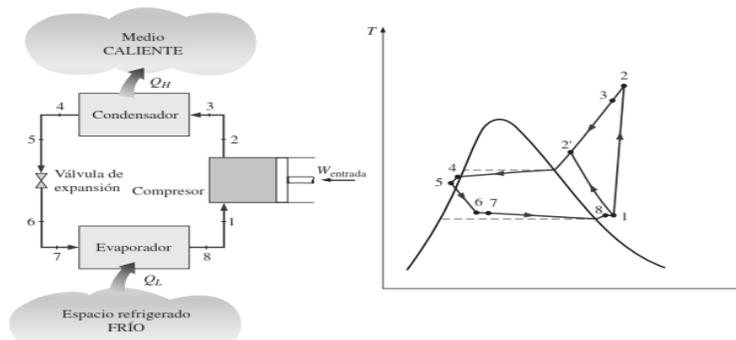


Figura 3

En el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, el refrigerante sale del evaporador y ingresa al compresor como vapor saturado. Sin embargo, en la realidad, no es posible controlar el estado del refrigerante con tal precisión. En su lugar, es fácil diseñar el sistema de modo que el refrigerante se sobrecaliente ligeramente en la entrada del compresor. Un ligero sobrecalentamiento asegura que el refrigerante se evapore por completo cuando entra al compresor. Procediendo así, la línea que conecta al evaporador con el compresor suele ser muy larga; por lo tanto, la caída de presión ocasionada por la fricción del fluido y la transferencia de calor de los alrededores al refrigerante pueden llegar a ser muy significativas.

En el ciclo real, la entropía del refrigerante puede incrementarse (proceso 1-2) o disminuir (proceso 1-2') durante un proceso de compresión real, dependiendo del predominio de los efectos. El proceso de compresión 1-2' es de compresión isentrópica debido a que el volumen específico del refrigerante y la entrada de trabajo requerida es más pequeño en este caso. De este modo, el refrigerante debe enfriarse durante el proceso de compresión. En el proceso ideal, se supone que el refrigerante sale del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor. Es inevitable en la realidad tener cierta caída de presión en el condensador y en las líneas que lo conectan con el compresor y la válvula de estrangulamiento. Sin ser fácil ejecutar el proceso de condensación con tal precisión para que el refrigerante sea un líquido saturado al final, siendo indeseable enviar refrigerante a la válvula de estrangulamiento antes de que se condense por completo. Por consiguiente, el refrigerante se sub-enfría un poco antes de entrar a la válvula de estrangulamiento.

En este caso, Q_L es la magnitud del calor extraído del espacio refrigerado a temperatura T_L ; Q_H es la magnitud del calor rechazado hacia el ambiente a temperatura T_H , y $W_{\text{neto,entrada}}$, es la entrada neta de trabajo al refrigerador. Q_L y Q_H representan magnitudes, por ello son cantidades positivas.

$$Q_L = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

Donde:

Q_L = Calor extraído del espacio refrigerado

\dot{m} = Flujo másico del refrigerante (kW)

h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

$$Q_H = \dot{m}(h_2 - h_3)$$

Donde:

Q_H = Cantidad de calor rechazada (kW)

\dot{m} = Flujo másico del refrigerante (kg/s)

h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

$$W_{\text{entrada}} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (5.6)$$

Donde:

$W_{\text{neto,entrada}}$ = Cantidad neta de trabajo requerida (kW)

\dot{m} = Flujo másico del refrigerante (kg/s)

h = Entalpías del refrigerante (kJ/kg)

El desempeño de refrigeradores se expresa en términos del coeficiente de desempeño (COP coefficient of performance), por sus siglas en inglés, definido como:

- La capacidad de enfriamiento de un sistema de refrigeración, es decir, la tasa de calor extraído del espacio refrigerado.

$$\text{COP}_R = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{\text{Efecto de enfriamiento}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_L}{W_{\text{neto,entrada}}}$$

2.2. DESARROLLO DE EJERCICIO

Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

Al compresor de un refrigerador entra refrigerante 134a como vapor sobrecalentado a 0.14 MPa y 10 °C a una tasa de 0.05 kg/s, y sale a 0.8 MPa y 50 °C. El refrigerante se enfría en el condensador a 26 °C y 0.72 MPa, y se estrangula a 0.15 MPa. Descarte toda posibilidad de transferencia de calor y caída de presión en las líneas de conexión entre los componentes, y determine a) la tasa de remoción de calor del espacio refrigerado y la entrada de potencia al compresor, b) la eficiencia isentrópica del compresor y c) el coeficiente de desempeño del refrigerador.

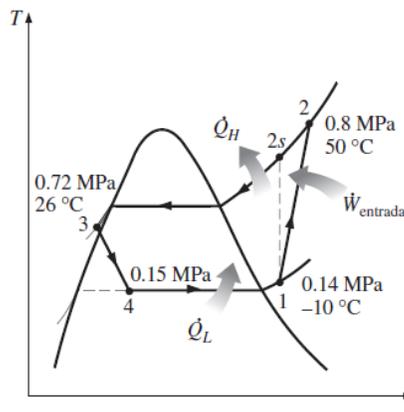


FIGURA 11-8

Diagrama T-s para el ejemplo 11-2.

Figura4

2.3.EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Módulo de Refrigeración y Aire Acondicionado
Toma de 220V

2.4.MEDIDAS DE SEGURIDAD

Guantes
Gafas para ojos
Tapones para oídos
Mandil de trabajo
Zapatos Punta de Acero, etc.

2.5. TRABAJO PREPARATORIO

CONSULTAR:

- ¿Qué datos se requiere para utilizar el diagrama de Mollier en la evaluación de ciclo de refrigeración?
- ¿Cuáles son las propiedades del refrigerante 134a?
- ¿Qué otros tipos de refrigerantes existen?

2.5.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- **Reconocer los elementos que componen el sistema de refrigeración**

Tomar los siguientes datos para poder evaluar el ciclo de refrigeración en el diagrama de Mollier

T_a (oC) = temperatura ambiente, se tomará utilizando un termómetro de mercurio.

P_{alta} (Bares) = presión entrada al condensador, considerar que la presión medida es relativa, por lo tanto, se requiere sumar la presión atmosférica para colocar en el diagrama de Mollier.

$$P_{\text{absoluta}} = p_{\text{manométrica}} + p_{\text{atmosférica}}$$

P_{baja} (Bares) = presión entrada al evaporador (después de la válvula de expansión), considerar que la presión medida es relativa, por lo tanto, se requiere sumar la presión atmosférica para colocar en el diagrama de Mollier.

T_{salida condensador} (oC) = Temperatura del refrigerante a la salida del condensador

T_{sub enfriamiento} = **T_{cambio de fase}** – **T_{salida condensador}**

T_{sub-enfriamiento} (oC) = El sub-enfriamiento consiste en enfriar el gas refrigerante en el condensador del equipo por debajo de la temperatura de saturación. De esta forma se garantiza que todo el gas se ha convertido en líquido y que al elemento de expansión no le va a llegar burbujas de gas refrigerante con el líquido. El valor exacto de sub-enfriamiento lo tiene que proporcionar el fabricante del equipo. Un valor aproximado es 5°C, y se interpreta de la siguiente forma:

Sub-enfriamiento es cero o por debajo de 3°C, puede estar llegando burbuja de gas a la válvula de expansión, y en principio es indicativo de que falta gas.

Sub-enfriamiento elevado por encima de 10-11°C. En principio indica que hay exceso de gas.

T_{salida evaporador} (oC) = Temperatura del refrigerante a la salida del evaporador

T_{recalentamiento} = **T_{salida evaporador}** – **T_{cambio de fase}**

T_{recalentamiento} (oC) = El recalentamiento es un proceso análogo al sub-enfriamiento y consiste en calentar el gas por encima de su temperatura de ebullición y de esta forma comprobamos que la circulación de gas refrigerante al evaporador es correcta. El recalentamiento se mide tomando la presión en la parte de baja presión (salida del evaporador) y reatándola de la temperatura de cambio de fase de tabla del refrigerante (Diagrama de Mollier). La resta entre ambas temperaturas es el recalentamiento. El valor exacto de recalentamiento también nos lo debería proporcionar el

fabricante del equipo. Si no se dispone del valor exacto un intervalo entre los 3 y los 10°C en principio sería correcto. El valor del recalentamiento es interpretado de la siguiente forma: Recalentamiento esta entre 0 y 3°C. Es indicativo de un exceso de gas refrigerante. Recalentamiento por encima de 10°C. Es síntoma de falta de refrigerante.

T_a=	(oC)
P_{alta}=	(Bares)
P_{baja}=	(Bares)
T salida condensador =	(oC)
T cambio de fase(líquido)=	(oC) (Se obtiene del diagrama de Mollier)
T salida evaporador =	(oC)
T cambio de fase(vapor)=	(oC) (Se obtiene del diagrama de Mollier)

2.5.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Con los datos obtenidos y colocados en el diagrama de Moller determine:

- La cantidad de calor (Q_L) que se elimina del espacio refrigerado y la cantidad de calor ($W_{neto\ entrada}$) que entra al compresor.
- La cantidad de calor rechazado (Q_H) al ambiente.
- El COP del sistema de refrigeración.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.ANALISIS DE RESULTADOS

Analice el valor del COP obtenido, comparándolo con la siguiente tabla que indica valores de EER equivalente al COPR.

Modo Refrigeración	
Clase de Eficiencia Energética	Aparatos divididos con dos o más unidades interiores
A	3,20 < EER
B	3,20 ≥ EER > 3,00
C	3,00 ≥ EER > 2,80
D	2,80 ≥ EER > 2,60
E	2,60 ≥ EER > 2,40
F	2,40 ≥ EER > 2,20
G	2,20 ≥ EER

Tomado de la directiva europea: [Directiva 2002/31/CE](#)

3.2.CUESTIONARIO

- ¿Qué es un compresor para Aire Acondicionado?
- ¿Qué es un evaporador y para qué sirve?
- ¿Qué es un condensador y que función tiene en el sistema de Refrigeración?
- ¿Qué es un termostato digital y que función cumple?
- ¿Qué es un PLC y que función cumple en el módulo de refrigeración y aire acondicionado?
- ¿Qué es una interfaz HMI y que función cumple con los elementos del sistema de refrigeración y aire acondicionado?

4 CONCLUSIONES

Llenar por estudiantes

5 RECOMENDACIONES

Llenar por estudiantes

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Y. B. M. CENGEL, Termodinámica, Séptima ed., University of Nevada y North Carolina State University, USA: Mc Graw Hill, 2009.

ANEXO V	Tablas de temperatura y presión del refrigerante R134a	a-e
----------------	---	-----

Figura V. a. Tabla A-11

TABLA A-11

Refrigerante 134a saturado. Tabla de temperatura

Temp., T °C	Pres., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Líquido, sat., v_f	Vapor, sat., v_g	Líquido, sat., u_f	Evaporación, u_{fg}	Vapor, sat., u_g	Líquido, sat., h_f	Evaporación, h_{fg}	Vapor, sat., h_g	Líquido, sat., s_f	Evaporación, s_{fg}	Vapor, sat., s_g
-40	51.25	0.0007054	0.36081	-0.036	207.40	207.37	0.000	225.86	225.86	0.00000	0.96866	0.96866
-38	56.86	0.0007083	0.32732	2.475	206.04	208.51	2.515	224.61	227.12	0.01072	0.95511	0.96584
-36	62.95	0.0007112	0.29751	4.992	204.67	209.66	5.037	223.35	228.39	0.02138	0.94176	0.96315
-34	69.56	0.0007142	0.27090	7.517	203.29	210.81	7.566	222.09	229.65	0.03199	0.92859	0.96058
-32	76.71	0.0007172	0.24711	10.05	201.91	211.96	10.10	220.81	230.91	0.04253	0.91560	0.95813
-30	84.43	0.0007203	0.22580	12.59	200.52	213.11	12.65	219.52	232.17	0.05301	0.90278	0.95579
-28	92.76	0.0007234	0.20666	15.13	199.12	214.25	15.20	218.22	233.43	0.06344	0.89012	0.95356
-26	101.73	0.0007265	0.18946	17.69	197.72	215.40	17.76	216.92	234.68	0.07382	0.87762	0.95144
-24	111.37	0.0007297	0.17395	20.25	196.30	216.55	20.33	215.59	235.92	0.08414	0.86527	0.94941
-22	121.72	0.0007329	0.15995	22.82	194.88	217.70	22.91	214.26	237.17	0.09441	0.85307	0.94748
-20	132.82	0.0007362	0.14729	25.39	193.45	218.84	25.49	212.91	238.41	0.10463	0.84101	0.94564
-18	144.69	0.0007396	0.13583	27.98	192.01	219.98	28.09	211.55	239.64	0.11481	0.82908	0.94389
-16	157.38	0.0007430	0.12542	30.57	190.56	221.13	30.69	210.18	240.87	0.12493	0.81729	0.94222
-14	170.93	0.0007464	0.11597	33.17	189.09	222.27	33.30	208.79	242.09	0.13501	0.80561	0.94063
-12	185.37	0.0007499	0.10736	35.78	187.62	223.40	35.92	207.38	243.30	0.14504	0.79406	0.93911
-10	200.74	0.0007535	0.099516	38.40	186.14	224.54	38.55	205.96	244.51	0.15504	0.78263	0.93766
-8	217.08	0.0007571	0.092352	41.03	184.64	225.67	41.19	204.52	245.72	0.16498	0.77130	0.93629
-6	234.44	0.0007608	0.085802	43.66	183.13	226.80	43.84	203.07	246.91	0.17489	0.76008	0.93497
-4	252.85	0.0007646	0.079804	46.31	181.61	227.92	46.50	201.60	248.10	0.18476	0.74896	0.93372
-2	272.36	0.0007684	0.074304	48.96	180.08	229.04	49.17	200.11	249.28	0.19459	0.73794	0.93253
0	293.01	0.0007723	0.069255	51.63	178.53	230.16	51.86	198.60	250.45	0.20439	0.72701	0.93139
2	314.84	0.0007763	0.064612	54.30	176.97	231.27	54.55	197.07	251.61	0.21415	0.71616	0.93031
4	337.90	0.0007804	0.060338	56.99	175.39	232.38	57.25	195.51	252.77	0.22387	0.70540	0.92927
6	362.23	0.0007845	0.056398	59.68	173.80	233.48	59.97	193.94	253.91	0.23356	0.69471	0.92828
8	387.88	0.0007887	0.052762	62.39	172.19	234.58	62.69	192.35	255.04	0.24323	0.68410	0.92733
10	414.89	0.0007930	0.049403	65.10	170.56	235.67	65.43	190.73	256.16	0.25286	0.67356	0.92641
12	443.31	0.0007975	0.046295	67.83	168.92	236.75	68.18	189.09	257.27	0.26246	0.66308	0.92554
14	473.19	0.0008020	0.043417	70.57	167.26	237.83	70.95	187.42	258.37	0.27204	0.65266	0.92470
16	504.58	0.0008066	0.040748	73.32	165.58	238.90	73.73	185.73	259.46	0.28159	0.64230	0.92389
18	537.52	0.0008113	0.038271	76.08	163.88	239.96	76.52	184.01	260.53	0.29112	0.63198	0.92310

Figura V. b. Tabla A-11

TABLA A-11

Refrigerante 134a saturado. Tabla de temperatura (conclusión)

Temp., T °C	Pres., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
20	572.07	0.0008161	0.035969	78.86	162.16	241.02	79.32	182.27	261.59	0.30063	0.62172	0.92234
22	608.27	0.0008210	0.033828	81.64	160.42	242.06	82.14	180.49	262.64	0.31011	0.61149	0.92160
24	646.18	0.0008261	0.031834	84.44	158.65	243.10	84.98	178.69	263.67	0.31958	0.60130	0.92088
26	685.84	0.0008313	0.029976	87.26	156.87	244.12	87.83	176.85	264.68	0.32903	0.59115	0.92018
28	727.31	0.0008366	0.028242	90.09	155.05	245.14	90.69	174.99	265.68	0.33846	0.58102	0.91948
30	770.64	0.0008421	0.026622	92.93	153.22	246.14	93.58	173.08	266.66	0.34789	0.57091	0.91879
32	815.89	0.0008478	0.025108	95.79	151.35	247.14	96.48	171.14	267.62	0.35730	0.56082	0.91811
34	863.11	0.0008536	0.023691	98.66	149.46	248.12	99.40	169.17	268.57	0.36670	0.55074	0.91743
36	912.35	0.0008595	0.022364	101.55	147.54	249.08	102.33	167.16	269.49	0.37609	0.54066	0.91675
38	963.68	0.0008657	0.021119	104.45	145.58	250.04	105.29	165.10	270.39	0.38548	0.53058	0.91606
40	1017.1	0.0008720	0.019952	107.38	143.60	250.97	108.26	163.00	271.27	0.39486	0.52049	0.91536
42	1072.8	0.0008786	0.018855	110.32	141.58	251.89	111.26	160.86	272.12	0.40425	0.51039	0.91464
44	1130.7	0.0008854	0.017824	113.28	139.52	252.80	114.28	158.67	272.95	0.41363	0.50027	0.91391
46	1191.0	0.0008924	0.016853	116.26	137.42	253.68	117.32	156.43	273.75	0.42302	0.49012	0.91315
48	1253.6	0.0008996	0.015939	119.26	135.29	254.55	120.39	154.14	274.53	0.43242	0.47993	0.91236
52	1386.2	0.0009150	0.014265	125.33	130.88	256.21	126.59	149.39	275.98	0.45126	0.45941	0.91067
56	1529.1	0.0009317	0.012771	131.49	126.28	257.77	132.91	144.38	277.30	0.47018	0.43863	0.90880
60	1682.8	0.0009498	0.011434	137.76	121.46	259.22	139.36	139.10	278.46	0.48920	0.41749	0.90669
65	1891.0	0.0009750	0.009950	145.77	115.05	260.82	147.62	132.02	279.64	0.51320	0.39039	0.90359
70	2118.2	0.0010037	0.008642	154.01	108.14	262.15	156.13	124.32	280.46	0.53755	0.36227	0.89982
75	2365.8	0.0010372	0.007480	162.53	100.60	263.13	164.98	115.85	280.82	0.56241	0.33272	0.89512
80	2635.3	0.0010772	0.006436	171.40	92.23	263.63	174.24	106.35	280.59	0.58800	0.30111	0.88912
85	2928.2	0.0011270	0.005486	180.77	82.67	263.44	184.07	95.44	279.51	0.61473	0.26644	0.88117
90	3246.9	0.0011932	0.004599	190.89	71.29	262.18	194.76	82.35	277.11	0.64336	0.22674	0.87010
95	3594.1	0.0012933	0.003726	202.40	56.47	258.87	207.05	65.21	272.26	0.67578	0.17711	0.85289
100	3975.1	0.0015269	0.002630	218.72	29.19	247.91	224.79	33.58	258.37	0.72217	0.08999	0.81215

Fuente: Las tablas A-11 a A-13 se generaron utilizando el programa para resolver ecuaciones de ingeniería (EES) desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. La rutina utilizada en los cálculos es la R134a, la cual está basada en la ecuación fundamental de estado desarrollada por R. Tillner-Roth y H. D. Baehr, "An International Standard Formulation for the Thermodynamic Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroetano (HFC-134a) for temperatures from 170 K to 455 K and pressures up to 70 MPa", *J. Phys. Chem., Ref. Data*, vol. 23, núm. 5, 1994. Los valores de entalpía y entropía para el líquido saturado son cero a -40°C (y -40°F).

Figura V. c. Tabla A-12

TABLA A-12

Refrigerante 134a saturado. Tabla de presión

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líqu. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
60	-36.95	0.0007098	0.31121	3.798	205.32	209.12	3.841	223.95	227.79	0.01634	0.94807	0.96441
70	-33.87	0.0007144	0.26929	7.680	203.20	210.88	7.730	222.00	229.73	0.03267	0.92775	0.96042
80	-31.13	0.0007185	0.23753	11.15	201.30	212.46	11.21	220.25	231.46	0.04711	0.90999	0.95710
90	-28.65	0.0007223	0.21263	14.31	199.57	213.88	14.37	218.65	233.02	0.06008	0.89419	0.95427
100	-26.37	0.0007259	0.19254	17.21	197.98	215.19	17.28	217.16	234.44	0.07188	0.87995	0.95183
120	-22.32	0.0007324	0.16212	22.40	195.11	217.51	22.49	214.48	236.97	0.09275	0.85503	0.94779
140	-18.77	0.0007383	0.14014	26.98	192.57	219.54	27.08	212.08	239.16	0.11087	0.83368	0.94456
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.09	190.27	221.35	31.21	209.90	241.11	0.12693	0.81496	0.94190
180	-12.73	0.0007487	0.11041	34.83	188.16	222.99	34.97	207.90	242.86	0.14139	0.79826	0.93965
200	-10.09	0.0007533	0.099867	38.28	186.21	224.48	38.43	206.03	244.46	0.15457	0.78316	0.93773
240	-5.38	0.0007620	0.083897	44.48	182.67	227.14	44.66	202.62	247.28	0.17794	0.75664	0.93458
280	-1.25	0.0007699	0.072352	49.97	179.50	229.46	50.18	199.54	249.72	0.19829	0.73381	0.93210
320	2.46	0.0007772	0.063604	54.92	176.61	231.52	55.16	196.71	251.88	0.21637	0.71369	0.93006
360	5.82	0.0007841	0.056738	59.44	173.94	233.38	59.72	194.08	253.81	0.23270	0.69566	0.92836
400	8.91	0.0007907	0.051201	63.62	171.45	235.07	63.94	191.62	255.55	0.24761	0.67929	0.92691
450	12.46	0.0007985	0.045619	68.45	168.54	237.00	68.81	188.71	257.53	0.26465	0.66069	0.92535
500	15.71	0.0008059	0.041118	72.93	165.82	238.75	73.33	185.98	259.30	0.28023	0.64377	0.92400
550	18.73	0.0008130	0.037408	77.10	163.25	240.35	77.54	183.38	260.92	0.29461	0.62821	0.92282
600	21.55	0.0008199	0.034295	81.02	160.81	241.83	81.51	180.90	262.40	0.30799	0.61378	0.92177
650	24.20	0.0008266	0.031646	84.72	158.48	243.20	85.26	178.51	263.77	0.32051	0.60030	0.92081
700	26.69	0.0008331	0.029361	88.24	156.24	244.48	88.82	176.21	265.03	0.33230	0.58763	0.91994
750	29.06	0.0008395	0.027371	91.59	154.08	245.67	92.22	173.98	266.20	0.34345	0.57567	0.91912
800	31.31	0.0008458	0.025621	94.79	152.00	246.79	95.47	171.82	267.29	0.35404	0.56431	0.91835
850	33.45	0.0008520	0.024069	97.87	149.98	247.85	98.60	169.71	268.31	0.36413	0.55349	0.91762
900	35.51	0.0008580	0.022683	100.83	148.01	248.85	101.61	167.66	269.26	0.37377	0.54315	0.91692
950	37.48	0.0008641	0.021438	103.69	146.10	249.79	104.51	165.64	270.15	0.38301	0.53323	0.91624
1000	39.37	0.0008700	0.020313	106.45	144.23	250.68	107.32	163.67	270.99	0.39189	0.52368	0.91558
1200	46.29	0.0008934	0.016715	116.70	137.11	253.81	117.77	156.10	273.87	0.42441	0.48863	0.91303
1400	52.40	0.0009166	0.014107	125.94	130.43	256.37	127.22	148.90	276.12	0.45315	0.45734	0.91050
1600	57.88	0.0009400	0.012123	134.43	124.04	258.47	135.93	141.93	277.86	0.47911	0.42873	0.90784
1800	62.87	0.0009639	0.010559	142.33	117.83	260.17	144.07	135.11	279.17	0.50294	0.40204	0.90498
2000	67.45	0.0009886	0.009288	149.78	111.73	261.51	151.76	128.33	280.09	0.52509	0.37675	0.90184
2500	77.54	0.0010566	0.006936	166.99	96.47	263.45	169.63	111.16	280.79	0.57531	0.31695	0.89226
3000	86.16	0.0011406	0.005275	183.04	80.22	263.26	186.46	92.63	279.09	0.62118	0.25776	0.87894

Figura IV.d. Tabla A-13

TABLA A-13

Refrigerante 134a sobrecalentado

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 0.06 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -36.95 \text{ }^\circ\text{C})$				$P = 0.10 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -26.37 \text{ }^\circ\text{C})$				$P = 0.14 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -18.77 \text{ }^\circ\text{C})$				
Sat.	0.31121	209.12	227.79	0.9644	0.19254	215.19	234.44	0.9518	0.14014	219.54	239.16	0.9446
-20	0.33608	220.60	240.76	1.0174	0.19841	219.66	239.50	0.9721				
-10	0.35048	227.55	248.58	1.0477	0.20743	226.75	247.49	1.0030	0.14605	225.91	246.36	0.9724
0	0.36476	234.66	256.54	1.0774	0.21630	233.95	255.58	1.0332	0.15263	233.23	254.60	1.0031
10	0.37893	241.92	264.66	1.1066	0.22506	241.30	263.81	1.0628	0.15908	240.66	262.93	1.0331
20	0.39302	249.35	272.94	1.1353	0.23373	248.79	272.17	1.0918	0.16544	248.22	271.38	1.0624
30	0.40705	256.95	281.37	1.1636	0.24233	256.44	280.68	1.1203	0.17172	255.93	279.97	1.0912
40	0.42102	264.71	289.97	1.1915	0.25088	264.25	289.34	1.1484	0.17794	263.79	288.70	1.1195
50	0.43495	272.64	298.74	1.2191	0.25937	272.22	298.16	1.1762	0.18412	271.79	297.57	1.1474
60	0.44883	280.73	307.66	1.2463	0.26783	280.35	307.13	1.2035	0.19025	279.96	306.59	1.1749
70	0.46269	288.99	316.75	1.2732	0.27626	288.64	316.26	1.2305	0.19635	288.28	315.77	1.2020
80	0.47651	297.41	326.00	1.2997	0.28465	297.08	325.55	1.2572	0.20242	296.75	325.09	1.2288
90	0.49032	306.00	335.42	1.3260	0.29303	305.69	334.99	1.2836	0.20847	305.38	334.57	1.2553
100	0.50410	314.74	344.99	1.3520	0.30138	314.46	344.60	1.3096	0.21449	314.17	344.20	1.2814
$P = 0.18 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -12.73 \text{ }^\circ\text{C})$				$P = 0.20 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -10.09 \text{ }^\circ\text{C})$				$P = 0.24 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -5.38 \text{ }^\circ\text{C})$				
Sat.	0.11041	222.99	242.86	0.9397	0.09987	224.48	244.46	0.9377	0.08390	227.14	247.28	0.9346
-10	0.11189	225.02	245.16	0.9484	0.09991	224.55	244.54	0.9380				
0	0.11722	232.48	253.58	0.9798	0.10481	232.09	253.05	0.9698	0.08617	231.29	251.97	0.9519
10	0.12240	240.00	262.04	1.0102	0.10955	239.67	261.58	1.0004	0.09026	238.98	260.65	0.9831
20	0.12748	247.64	270.59	1.0399	0.11418	247.35	270.18	1.0303	0.09423	246.74	269.36	1.0134
30	0.13248	255.41	279.25	1.0690	0.11874	255.14	278.89	1.0595	0.09812	254.61	278.16	1.0429
40	0.13741	263.31	288.05	1.0975	0.12322	263.08	287.72	1.0882	0.10193	262.59	287.06	1.0718
50	0.14230	271.36	296.98	1.1256	0.12766	271.15	296.68	1.1163	0.10570	270.71	296.08	1.1001
60	0.14715	279.56	306.05	1.1532	0.13206	279.37	305.78	1.1441	0.10942	278.97	305.23	1.1280
70	0.15196	287.91	315.27	1.1805	0.13641	287.73	315.01	1.1714	0.11310	287.36	314.51	1.1554
80	0.15673	296.42	324.63	1.2074	0.14074	296.25	324.40	1.1983	0.11675	295.91	323.93	1.1825
90	0.16149	305.07	334.14	1.2339	0.14504	304.92	333.93	1.2249	0.12038	304.60	333.49	1.2092
100	0.16622	313.88	343.80	1.2602	0.14933	313.74	343.60	1.2512	0.12398	313.44	343.20	1.2356
$P = 0.28 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -1.25 \text{ }^\circ\text{C})$				$P = 0.32 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 2.46 \text{ }^\circ\text{C})$				$P = 0.40 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 8.91 \text{ }^\circ\text{C})$				
Sat.	0.07235	229.46	249.72	0.9321	0.06360	231.52	251.88	0.9301	0.051201	235.07	255.55	0.9269
0	0.07282	230.44	250.83	0.9362								
10	0.07646	238.27	259.68	0.9680	0.06609	237.54	258.69	0.9544	0.051506	235.97	256.58	0.9305
20	0.07997	246.13	268.52	0.9987	0.06925	245.50	267.66	0.9856	0.054213	244.18	265.86	0.9628
30	0.08338	254.06	277.41	1.0285	0.07231	253.50	276.65	1.0157	0.056796	252.36	275.07	0.9937
40	0.08672	262.10	286.38	1.0576	0.07530	261.60	285.70	1.0451	0.059292	260.58	284.30	1.0236
50	0.09000	270.27	295.47	1.0862	0.07823	269.82	294.85	1.0739	0.061724	268.90	293.59	1.0528
60	0.09324	278.56	304.67	1.1142	0.08111	278.15	304.11	1.1021	0.064104	277.32	302.96	1.0814
70	0.09644	286.99	314.00	1.1418	0.08395	286.62	313.48	1.1298	0.066443	285.86	312.44	1.1094
80	0.09961	295.57	323.46	1.1690	0.08675	295.22	322.98	1.1571	0.068747	294.53	322.02	1.1369
90	0.10275	304.29	333.06	1.1958	0.08953	303.97	332.62	1.1840	0.071023	303.32	331.73	1.1640
100	0.10587	313.15	342.80	1.2222	0.09229	312.86	342.39	1.2105	0.073274	312.26	341.57	1.1907
110	0.10897	322.16	352.68	1.2483	0.09503	321.89	352.30	1.2367	0.075504	321.33	351.53	1.2171
120	0.11205	331.32	362.70	1.2742	0.09775	331.07	362.35	1.2626	0.077717	330.55	361.63	1.2431
130	0.11512	340.63	372.87	1.2997	0.10045	340.39	372.54	1.2882	0.079913	339.90	371.87	1.2688
140	0.11818	350.09	383.18	1.3250	0.10314	349.86	382.87	1.3135	0.082096	349.41	382.24	1.2942

Figura V. e. Tabla A-13

TABLA A-13													
Refrigerante 134a sobrecalentado (conclusión)													
T	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s	
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg · K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg · K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg · K	
$P = 0.50 \text{ MPa } (T_{sat} = 15.71 \text{ °C})$				$P = 0.60 \text{ MPa } (T_{sat} = 21.55 \text{ °C})$				$P = 0.70 \text{ MPa } (T_{sat} = 26.69 \text{ °C})$					
Sat.	0.041118	238.75	259.30	0.9240	0.034295	241.83	262.40	0.9218	0.029361	244.48	265.03	0.9199	
20	0.042115	242.40	263.46	0.9383									
30	0.044338	250.84	273.01	0.9703	0.035984	249.22	270.81	0.9499	0.029966	247.48	268.45	0.9313	
40	0.046456	259.26	282.48	1.0011	0.037865	257.86	280.58	0.9816	0.031696	256.39	278.57	0.9641	
50	0.048499	267.72	291.96	1.0309	0.039659	266.48	290.28	1.0121	0.033322	265.20	288.53	0.9954	
60	0.050485	276.25	301.50	1.0599	0.041389	275.15	299.98	1.0417	0.034875	274.01	298.42	1.0256	
70	0.052427	284.89	311.10	1.0883	0.043069	283.89	309.73	1.0705	0.036373	282.87	308.33	1.0549	
80	0.054331	293.64	320.80	1.1162	0.044710	292.73	319.55	1.0987	0.037829	291.80	318.28	1.0835	
90	0.056205	302.51	330.61	1.1436	0.046318	301.67	329.46	1.1264	0.039250	300.82	328.29	1.1114	
100	0.058053	311.50	340.53	1.1705	0.047900	310.73	339.47	1.1536	0.040642	309.95	338.40	1.1389	
110	0.059880	320.63	350.57	1.1971	0.049458	319.91	349.59	1.1803	0.042010	319.19	348.60	1.1658	
120	0.061687	329.89	360.73	1.2233	0.050997	329.23	359.82	1.2067	0.043358	328.55	358.90	1.1924	
130	0.063479	339.29	371.03	1.2491	0.052519	338.67	370.18	1.2327	0.044688	338.04	369.32	1.2186	
140	0.065256	348.83	381.46	1.2747	0.054027	348.25	380.66	1.2584	0.046004	347.66	379.86	1.2444	
150	0.067021	358.51	392.02	1.2999	0.055522	357.96	391.27	1.2838	0.047306	357.41	390.52	1.2699	
160	0.068775	368.33	402.72	1.3249	0.057006	367.81	402.01	1.3088	0.048597	367.29	401.31	1.2951	
$P = 0.80 \text{ MPa } (T_{sat} = 31.31 \text{ °C})$				$P = 0.90 \text{ MPa } (T_{sat} = 35.51 \text{ °C})$				$P = 1.00 \text{ MPa } (T_{sat} = 39.37 \text{ °C})$					
Sat.	0.025621	246.79	267.29	0.9183	0.022683	248.85	269.26	0.9169	0.020313	250.68	270.99	0.9156	
40	0.027035	254.82	276.45	0.9480	0.023375	253.13	274.17	0.9327	0.020406	251.30	271.71	0.9179	
50	0.028547	263.86	286.69	0.9802	0.024809	262.44	284.77	0.9660	0.021796	260.94	282.74	0.9525	
60	0.029973	272.83	296.81	1.0110	0.026146	271.60	295.13	0.9976	0.023068	270.32	293.38	0.9850	
70	0.031340	281.81	306.88	1.0408	0.027413	280.72	305.39	1.0280	0.024261	279.59	303.85	1.0160	
80	0.032659	290.84	316.97	1.0698	0.028630	289.86	315.63	1.0574	0.025398	288.86	314.25	1.0458	
90	0.033941	299.95	327.10	1.0981	0.029806	299.06	325.89	1.0860	0.026492	298.15	324.64	1.0748	
100	0.035193	309.15	337.30	1.1258	0.030951	308.34	336.19	1.1140	0.027552	307.51	335.06	1.1031	
110	0.036420	318.45	347.59	1.1530	0.032068	317.70	346.56	1.1414	0.028584	316.94	345.53	1.1308	
120	0.037625	327.87	357.97	1.1798	0.033164	327.18	357.02	1.1684	0.029592	326.47	356.06	1.1580	
130	0.038813	337.40	368.45	1.2061	0.034241	336.76	367.58	1.1949	0.030581	336.11	366.69	1.1846	
140	0.039985	347.06	379.05	1.2321	0.035302	346.46	378.23	1.2210	0.031554	345.85	377.40	1.2109	
150	0.041143	356.85	389.76	1.2577	0.036349	356.28	389.00	1.2467	0.032512	355.71	388.22	1.2368	
160	0.042290	366.76	400.59	1.2830	0.037384	366.23	399.88	1.2721	0.033457	365.70	399.15	1.2623	
170	0.043427	376.81	411.55	1.3080	0.038408	376.31	410.88	1.2972	0.034392	375.81	410.20	1.2875	
180	0.044554	386.99	422.64	1.3327	0.039423	386.52	422.00	1.3221	0.035317	386.04	421.36	1.3124	
$P = 1.20 \text{ MPa } (T_{sat} = 46.29 \text{ °C})$				$P = 1.40 \text{ MPa } (T_{sat} = 52.40 \text{ °C})$				$P = 1.60 \text{ MPa } (T_{sat} = 57.88 \text{ °C})$					
Sat.	0.016715	253.81	273.87	0.9130	0.014107	256.37	276.12	0.9105	0.012123	258.47	277.86	0.9078	
50	0.017201	257.63	278.27	0.9267									
60	0.018404	267.56	289.64	0.9614	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.89	280.69	0.9163	
70	0.019502	277.21	300.61	0.9938	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.76	293.25	0.9535	
80	0.020529	286.75	311.39	1.0248	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.09	305.07	0.9875	
90	0.021506	296.26	322.07	1.0546	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.17	316.52	1.0194	
100	0.022442	305.80	332.73	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.14	327.76	1.0500	
110	0.023348	315.38	343.40	1.1118	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.07	338.91	1.0795	
120	0.024228	325.03	354.11	1.1394	0.020388	323.55	352.09	1.1230	0.017500	322.02	350.02	1.1081	
130	0.025086	334.77	364.88	1.1664	0.021155	333.41	363.02	1.1504	0.018201	332.00	361.12	1.1360	
140	0.025927	344.61	375.72	1.1930	0.021904	343.34	374.01	1.1773	0.018882	342.05	372.26	1.1632	
150	0.026753	354.56	386.66	1.2192	0.022636	353.37	385.07	1.2038	0.019545	352.17	383.44	1.1900	
160	0.027566	364.61	397.69	1.2449	0.023355	363.51	396.20	1.2298	0.020194	362.38	394.69	1.2163	
170	0.028367	374.78	408.82	1.2703	0.024061	373.75	407.43	1.2554	0.020830	372.69	406.02	1.2421	
180	0.029158	385.08	420.07	1.2954	0.024757	384.10	418.76	1.2807	0.021456	383.11	417.44	1.2676	

Figura VI. a. Diagrama P-h

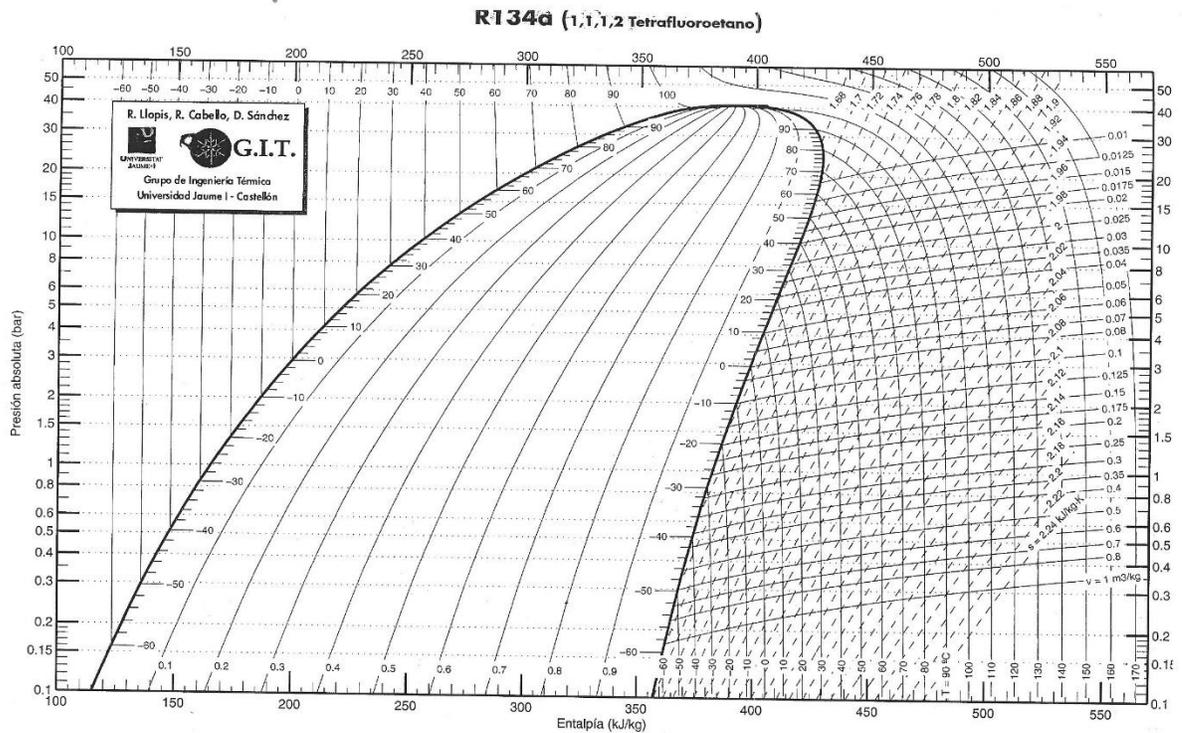


Figura VI. b. Valores de EER equivalente al COPR

Modo Refrigeración	
Clase de Eficiencia Energética	Aparatos divididos con dos o más unidades interiores
A	$3,20 < \text{EER}$
B	$3,20 \geq \text{EER} > 3,00$
C	$3,00 \geq \text{EER} > 2,80$
D	$2,80 \geq \text{EER} > 2,60$
E	$2,60 \geq \text{EER} > 2,40$
F	$2,40 \geq \text{EER} > 2,20$
G	$2,20 \geq \text{EER}$