



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE REFRIGERACIÓN
ASISTIDO POR COMPUTADOR, PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE
REFRIGERACIÓN MEDIANTE EL DIAGRAMA DE MOLLIER.**

AUTOR:

QUINGA CAIZA, GIOVANNI PATRICIO

DIRECTOR: ING. ACUÑA COELLO, FAUSTO VINICIO

LATACUNGA

2020



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE REFRIGERACIÓN ASISTIDO POR COMPUTADOR, PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN MEDIANTE EL DIAGRAMA DE MOLLIER”** fue realizado por el señor **QUINGA CAIZA GIOVANNI PATRICIO**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 24 de Enero del 2020.

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del ingeniero Fausto Vinicio Acuña Coello, sobre una línea horizontal.

ING. ACUÑA COELLO FAUSTO VINICIO

C.C.: 0501510267



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Quinga Caiza, Giovanni Patricio, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE REFRIGERACIÓN ASISTIDO POR COMPUTADOR, PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN MEDIANTE EL DIAGRAMA DE MOLLIER”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 24 de enero del 2020.

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "Giovanni Patricio Quinga Caiza".

QUINGA CAIZA GIOVANNI PATRICIO
C.C.: 1720537511



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, Quinga Caiza, Giovanni Patricio, autorizo a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE REFRIGERACIÓN ASISTIDO POR COMPUTADOR, PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN MEDIANTE EL DIAGRAMA DE MOLLIER”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 24 de enero del 2020.

A blue ink signature of Giovanni Patricio Quinga Caiza, written over a horizontal line.

QUINGA CAIZA GIOVANNI PATRICIO
C.C.: 1720537511

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi madre por ser pilar fundamental en cada decisión tomada, ya que fue una de las pocas personas que siempre estuvo junto a mi dándome el apoyo y amor incondicional cuando más lo necesite, la que con su sabiduría y consejos supo encender la fuerza y ganas de seguir adelante cuando ya desistía del objetivo planteado, dice un dicho “que el amor de madre es el impulso que permite a un ser humano a llegar hacer lo imposible” y en aquellas palabras sabias estoy de acuerdo.

Patricio Giovanni Quinga Caiza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a dios por darme la fuerza, sabiduría y la oportunidad de haber podido realizar mis estudios universitarios, a mi madre que, con su gran ejemplo de esfuerzo y constancia ante las cosas, siempre estuvo apoyándome en cada momento de mis estudios a pesar de las diferencias y problemas que teníamos siempre estuvo presente.

Agradezco a mi padre, hermanos, cuñados y sobrinos que de una u otra forma estuvieron presentes en esta etapa de mi vida impartiendo buenas vibras y consejos para cada día ser mejor y alcanzar el objetivo planteado.

Agradezco a mis amigos y conocidos quienes me conocieron y me vieron crecer académicamente y en especial durante esta etapa de culminación final, que da inicio a una nueva era de crecimiento y visión a futuro para mi ser en el aspecto personal y profesional.

Patricio Giovanni Quinga Caiza

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi

CAPITULO I

PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Antecedentes.....	1
1.3	Justificación e importancia.....	2
1.4	Objetivos.....	2
1.4.1	Objetivo general	2
1.4.2.	Objetivos específicos.....	2

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Diagramas de ciclos	4
2.1.1	Diagrama presión-entalpía (Diagrama de Mollier)	4
2.2	Ciclo termodinámico de refrigeración	6
2.3	Sistema de refrigeración.....	8
2.4	Compresor.....	9
2.4.1	Compresor Hermético	10
2.5	Condensador de aire	10
2.6	Evaporador	11
2.7	Dispositivo de control del fluido	12
2.7.1	Válvula de expansión electrónica.....	12
2.8	Refrigerante.....	13
2.9	Sensores	14
2.9.1	Sensor de temperatura.....	14
2.9.2	Sensores de presión.....	15
2.10	Tubería	16

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1	Antecedentes investigativos	17
3.2	Fundamentación legal	32
3.3	Hipótesis.....	34
3.4	Variables de investigación	35
3.4.1	Variable independiente.....	35

3.4.2	Variable dependiente.....	35
3.5	Operación de las variables	35
3.6	Modalidad de la investigación.....	35
3.6.1	Investigación bibliográfica.....	35
3.6.2	Investigación sistemática.....	36
3.6.3	Investigación exploratoria	36
3.6.4	Investigación experimental	36

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Análisis de resultados.....	37
4.1.1	Fluido de trabajo.....	38
4.1.2	Compresor.....	39
4.1.3	Evaporador	40
4.1.4	Condensador	41
4.1.5	Válvula de expansión.....	41
4.1.6	Sensores de presión.....	42
4.1.7	Sensor de temperatura	42
4.1.8	Tarjeta de adquisición de datos “DAQ”	43

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1	Tema de la propuesta.....	44
5.2	Datos informativos	44

5.3	Objetivos.....	44
5.3.1	Objetivo general	44
5.3.2	Objetivos específicos.....	44
5.4	Justificación de la propuesta	45
5.5	Fundamentación propuesta	45
5.6	Diseño de la propuesta.....	47
5.7	Parámetro de diseño	48
5.7.1	Carga térmica generada por las paredes Q_1	49
5.7.2	Carga térmica generada por el producto Q_2	51
5.7.3.	Carga total térmica (QT_1).....	52
5.8	Cálculos.....	52
5.8.1	Cálculo para capacidad del evaporador	52
5.8.2	Cálculo del compresor	55
5.9	Selección de elementos.....	59
5.9.1	Selección de refrigerante.....	60
5.9.2	Evaporador	62
5.9.3	Compresor.....	62
5.9.4	Válvula de expansión electrónica (VEE).....	63
5.9.5	Control de la válvula	64
5.9.6	Sensor de presión.....	64
5.9.7	Sensor de temperatura	65
5.9.8	Convertidor de adquisición de datos.....	66
5.10	Software EES	66
5.11	Diseño del módulo didáctico.....	67

5.11.1	Diseño del modulo	67
5.12	Implementación	70
5.12.1	Estructura soporte	70
5.12.2	Montaje de la unidad condensadora.....	71
5.12.3	Montaje del evaporador	72
5.12.4	Montaje de la válvula de expansión electrónica (VEE)	72
5.12.5	Montaje del tablero de control	73
5.12.6	Montaje de sensores de presión.....	74
5.12.7	Montaje de los termistores.....	74
5.12.8	Conexión del módulo con el pc.....	75
5.13	Pasos para el encendido y apagado del modulo	75
5.14	Pasos para toma de datos.....	76
5.15	Programación para la gráfica del ciclo de refrigeración	79
5.16	Pasos para graficar en EES	80
5.17	Pruebas	81
5.18	Validación de la hipótesis	84
5.18.1	Hipótesis.....	84
5.18.2	El método deductivo	84
5.18.3	Evaluación	85

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	CONCLUSIONES	86
6.2	RECOMENDACIONES.....	87

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Condiciones de ensayos para la norma IEC 62552	34
Tabla 2	Requerimientos de instrumentación para la norma IEC 62552	34
Tabla 3	Operacionalización de la variable independiente	35
Tabla 4	Operacionalización de la variable dependiente	35
Tabla 5	Partes de un sistema de refrigeración asistido por computador.....	38
Tabla 6	Temperaturas de refrigerantes.....	39
Tabla 7	"U" valores de diversos aislamientos.....	49
Tabla 8	Factor de ganancia de transmisión de calor.....	50
Tabla 9	Requisitos y propiedades de los productos perecederos	51
Tabla 10	Factor del refrigerante	54
Tabla 11	<i>Datos de presión y entalpías en los puntos fijados</i>	56
Tabla 12	Características termo físicas de seguridad e impacto ambiental de los refrigerantes.....	60
Tabla 13	Matriz de evaluación para selección de diferentes alternativas de refrigerante	61
Tabla 14	Catálogo de evaporadores Intercal	62
Tabla 15	Catálogo de unidades condensadoras Tecumseh	63
Tabla 16	Datos técnicos para la selección de la VEE	63
Tabla 17	Datos técnicos del transductor de presión – SB69.....	65
Tabla 18	Tabulación de datos	81
Tabla 19	Tabulación de datos	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama presión-entalpía para el refrigerante	5
Figura 2.	Esquema p-h mostrando las tres regiones	5
Figura 3.	Ciclo de compresión de vapor	6
Figura 4.	Secuencia del ciclo de refrigeración	7
Figura 5.	Refrigeración por compresión mecánica	9
Figura 6.	Compresor hermético	10
Figura 7.	Condensador de aire	11
Figura 8.	Evaporador	12
Figura 9.	Válvula de expansión electrónica	13
Figura 10.	Refrigerantes	14
Figura 11.	Sensores de Temperatura	15
Figura 12.	Sensores de Presión	16
Figura 13.	Tubería de cobre	16
Figura 14.	Grafica para el salto térmico	53
Figura 15.	Grafico para la obtención del factor de corrección.....	54
Figura 16.	Selección de la VEE	64
Figura 17.	Controlador VX-950	64
Figura 18.	Sensor de presión SB-69.....	65
Figura 19.	Sensor de Temperatura SB-59.....	66
Figura 20.	Convertidor de datos USB/RS-485	66
Figura 21.	Software EES	67
Figura 22.	Representación del módulo de refrigeración	70

Figura 23. Estructura metálica	71
Figura 24. Unidad condensadora.....	72
Figura 25. Unidad evaporadora	72
Figura 26. Montaje de la VEE	73
Figura 27. Tablero de control.....	74
Figura 28. Sensor de presión.....	74
Figura 29. Sensor de temperatura	75
Figura 30. Captura Sitrad.....	77
Figura 31. Captura Sitrad.....	78
Figura 32. Curva de refrigeración de prueba	82
Figura 33. Análisis del ciclo de refrigeración.....	82

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se basa en el diseño y construcción de un módulo de refrigeración asistido por computador, para el análisis del ciclo de refrigeración mediante el diagrama de Mollier para el laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga, el cual me permite observar el comportamiento de las variables de presión y temperatura en la entrada del evaporador y en la salida del compresor las mismas que serán monitoreadas a través de un computador con el fin de realizar la curva de refrigeración mediante la ayuda de un software, va a permitir el análisis del comportamiento del refrigerante en el sistema de refrigeración por medio de la adquisición de datos con la ayuda del software Sitrad, con este proyecto se pretende que los estudiantes fortalezcan el conocimiento tanto teórico como práctico en los sistemas de refrigeración acorde con los avances tecnológicos existentes en la actualidad y que tengan un conocimiento de equipos utilizados a nivel industrial. Para finalizar se realizan pruebas de funcionamiento haciendo énfasis en las variaciones de presiones y temperatura, tiempo de recepción de datos del módulo y la comprobación de la curva de refrigeración en el diagrama de Mollier.

PALABRAS CLAVE:

- **REFRIGERACIÓN**
- **MEDICIÓN DE PRESIÓN**
- **DIAGRAMA DE MOLLIER**

ABSTRACT

The present work is based on the design and construction of a refrigeration module assisted by computer, for the analysis of the refrigeration cycle by means of the Mollier diagram for the Refrigeration and Air Conditioning Laboratory of the University of the Armed Forces ESPE-Latacunga, which allows me to observe the behavior of the variables of pressure and temperature in the entrance of the evaporator and in the exit of the compressor the same ones that will be monitored through a computer with the purpose of making the curve of refrigeration by means of a software, will allow the analysis of the behaviour of the refrigerant in the refrigeration system by means of data acquisition with the help of Sitrad software. With this project it is intended that students strengthen both theoretical and practical knowledge in refrigeration systems in accordance with the technological advances that currently exist and that they have a knowledge of equipment used on an industrial level. To finish, operational tests are carried out with emphasis on pressure and temperature variations, time of data reception from the module and the verification of the refrigeration curve in the Mollier diagram.

KEY WORDS

- **REFRIGERATION**
- **PRESSURE MEASUREMENT**
- **MOLLIER DIAGRAM**

CAPITULO I

PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga en el laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado se ve la necesidad de que los estudiantes puedan tener medios didácticos acorde a los avances tecnológicos actuales para su aprendizaje, por lo que se vio la necesidad de crearlos para que los estudiantes tengan una mejor comprensión y puedan fortalecer sus conocimientos en esta línea de estudio tanto teórico como práctico.

En la actualidad en el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado cuenta con equipos antiguos, en estos módulos la recolección de datos se lo realiza de una forma manual y con equipos análogos los cuales no son confiables al momento de realizar las practicas, el problema de estos equipos es el o poder recolectar los datos suficientes para la representación gráfica del ciclo de refrigeración para luego ser analizado mediante el diagrama de Mollier, por esta razón surge la necesidad de realizar el presente proyecto.

1.2. Antecedentes

En los últimos años la mayoría de los sistemas mecánicos modernos construidos hoy en día son controlados por computadoras. Un sistema de refrigeración de alta gama con sus requisitos de selección de componentes variables naturalmente se presenta a la flexibilidad y la configuración infinita disponibles a través de un sofisticado sistema de control de computadora. Con los sistemas informáticos modernos se pueden obtener un tremendo control de temperatura, eficiencia energética y confiabilidad. El sistema

informático puede escurrir hasta el último bit de eficiencia energética de un sistema de refrigeración. En comparación con el mismo sistema de refrigeración sin un sistema de control por computadora, experimentamos ahorros de energía superiores al 20%. (Instalación, 2015)

1.3. Justificación e importancia

La implementación de este proyecto en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga, permitirá actualizar con tecnología moderna el laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado de acuerdo a los requerimientos actuales en la industria y evitar el uso de instrumentos manuales en el manejo de datos. La importancia del módulo de refrigeración asistido por computador es de recolectar datos en una forma más rápida y exacta, la mayor cantidad de datos posibles los cuales serán procesados por un HMI y podrán ser visualizado el ciclo de refrigeración en una forma gráfica en un ordenador, estos datos también pueden ser almacenados para futuros proyectos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir un módulo de refrigeración asistido por computador para el análisis del ciclo de refrigeración mediante el diagrama de Mollier.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información acerca de sistemas de refrigeración asistidos por computador.
- Diseñar y construir el módulo didáctico de refrigeración asistido por computador.
- Implementar el sistema de refrigeración asistido por computador.

- Realizar el análisis del ciclo termodinámico de refrigeración mediante el diagrama de Mollier con los datos obtenidos del sistema de refrigeración.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Diagramas de ciclos

Para el buen entendimiento del ciclo de compresión de vapor se requiere del estudio no solo de los procesos particulares que constituyen el ciclo, sino que también de las relaciones que existen entre los diferentes procesos del ciclo tendría en los demás procesos del mismo. Se ha simplificado lo suficiente mediante el uso de gráficas y diagramas en los cuales se puede demostrar en una forma gráfica todo el ciclo completo. La representación gráfica del ciclo de refrigeración nos permite observar simultáneamente las condiciones deseadas de los diferentes cambios que ocurren en la condición del refrigerante durante el ciclo y el efecto de cambio que produce en el ciclo, los diagramas usualmente usados con frecuencia para el análisis del ciclo de refrigeración son los de presión-entalpía (ph) y temperatura-entropía (Ts), el cual el más usado es el de presión-entalpía. (Dossat, 1995, pág. 129)

2.1.1. Diagrama presión-entalpía (Diagrama de Mollier)

En la figura 1, se puede observar el diagrama presión-entalpía del refrigerante 134a. la condición del refrigerante en cualquier estado termodinámico se puede representar por un punto en el diagrama (ph), este punto se representa a la condición del refrigerante para cualquier estado termodinámico el cual puede ser trazado si se conoce dos propiedades cualesquiera del estado del refrigerante. (Dossat, 1995, pág. 129)

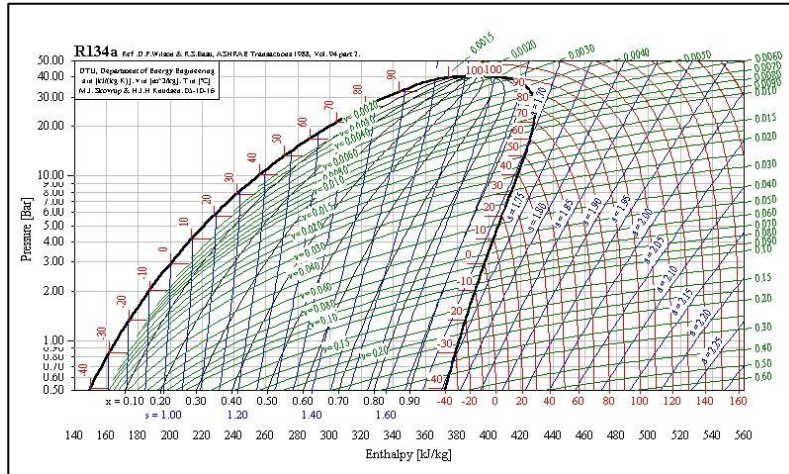


Figura 1. Diagrama presión-entalpía para el refrigerante
 Fuente: (Company, 2019)

Como se puede observar en la figura 2, el diagrama ph se divide en tres áreas separadas una de la otra por medio de dos líneas que representan el líquido saturado y vapor saturado.

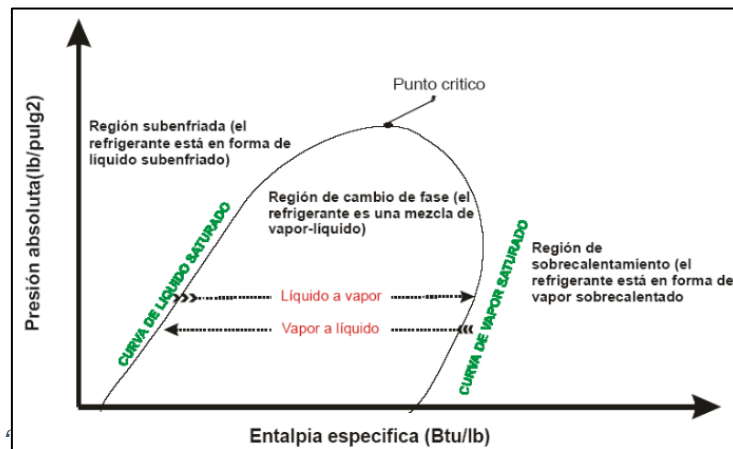


Figura 2. Esquema p-h mostrando las tres regiones
 Fuente: (Gilberto Durán, 2009)

El área uno se llama zona subenfriada, para cualquier punto en esta región el refrigerante se encuentra en la fase líquido y la temperatura es menor a la temperatura

de saturación correspondiente a su presión. En el punto dos es la zona de sobrecalentamiento y el refrigerante está en forma de vapor sobrecalentado. En el punto tres es la sección de mezclas y representa el cambio de fase del refrigerante entre las fases líquida y de vapor, el cambio de fase de líquido a vapor ocurre de una forma progresiva de izquierda a derecha, mientras que el cambio de fase de vapor a fase líquida ocurre de derecha a izquierda. (Dossat, 1995, pág. 131)

2.2. Ciclo termodinámico de refrigeración

El sistema de refrigeración continuo solo logra por diferentes procesos, en su mayoría las aplicaciones pequeñas. El sistema comúnmente más usado es el sistema por compresión de vapor o también llamado como ciclo básico de compresión, como se puede observar en la figura 3, en este caso el sistema es ideal quiere decir que todo el flujo es sin fricción, excepto el flujo que pasa por la válvula de expansión, el proceso adiabático sucede en el condensador y el evaporador. (Galo Almendariz, 2014)

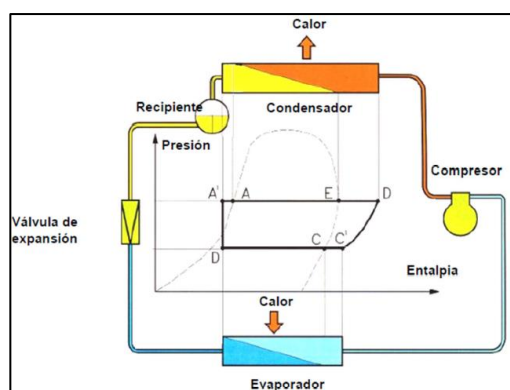


Figura 3. Ciclo de compresión de vapor
Fuente: (Leverone, 2013)

En los sistemas de compresión existen dos presiones. Que son la de baja presión o de evaporación y la de alta presión o de condensación, en este caso el refrigerante interviene como un medio de transporte de retiro de calor desde el evaporador hacia el condensador en el cual es despedido hacia el medio ambiente atreves del uso de un ventilador o sistemas de enfriado por agua. Los sistemas de cambio de estado de líquido a vapor o viceversa permiten que el refrigerante absorba y descargue una gran cantidad de calor en una forma más eficiente. (Yañez, 2019)

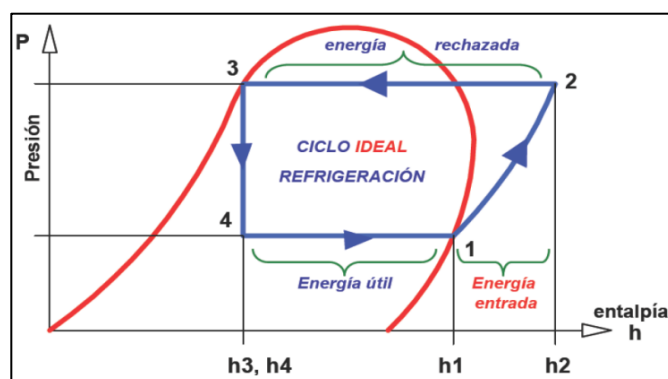


Figura 4. Secuencia del ciclo de refrigeración
Fuente: (Armijos, 2015)

a) Proceso de compresión (compresor)

En los puntos 1-2 del proceso lo realiza el compresor el cual tiene dos funciones principales: primero tiene que realizar la succión del refrigerante vaporizado (línea de succión), por medio de la reducción de presión en el evaporador hasta el punto en el cual se mantenga la temperatura de evaporización deseada. Segundo el compresor comprime el refrigerante vaporizado, descargando a una presión lo suficientemente alta (línea de descarga), de esta la temperatura de saturación sea mayor que la

temperatura del medio ambiente a ser refrigerado, para que se pueda producir una condensación lo más factible posible.

b) Proceso de condensación (condensador)

En los puntos 2-3 lo realiza el condensador en una forma más sencilla es un intercambiador de calor, en este punto el calor absorbido por el refrigerante en el proceso de compresión es cedido al medio (al aire en este caso). Al paso que el calor es cedido por el vapor de alta temperatura y presión desciende su temperatura hasta el punto de saturación, el vapor se condensa cambiando su fase a líquido.

c) Proceso de expansión (válvula termostática)

El proceso 3-4 lo realiza la válvula de expansión, la función del equipo es el de disminuir la presión de una forma inmediata para dosificar la cantidad de flujo de refrigerante que ingresara al evaporador a una entalpia constante hacia el punto 4.

d) Proceso de evaporación (evaporador)

El proceso entre el punto 4-1 lo realiza el evaporador, extrae el calor del medio refrigerado por medio de la evaporación del refrigerante. Hacia el evaporador ingresa refrigerante a baja presión y baja temperatura y lo entrega hacia el compresor a baja presión y alta temperatura. (Armijos, 2015, pág. 10)

2.3. Sistema de refrigeración

Al momento de decir la palabra refrigeración muchas personas lo confunden el frío con enfriamiento. Sin embargo, a lo que se refiere en la realidad es a la transmisión de calor. El sistema de refrigeración más comúnmente usado actualmente es el de compresión de vapor para sistemas de bajo caballaje, pero también existen sistemas

centrífugos para aplicaciones de mayor potencia. (Galo Almendariz, 2014, pág. 5) En este tipo de sistemas la variación principal ocurre en el compresor. Tanto las variaciones de temperaturas y posibles recalentamientos y subenfriamiento del refrigerante y caídas de presión en los diferentes componentes de la instalación como se indica en la figura 5. (Armijos, 2015, pág. 10)

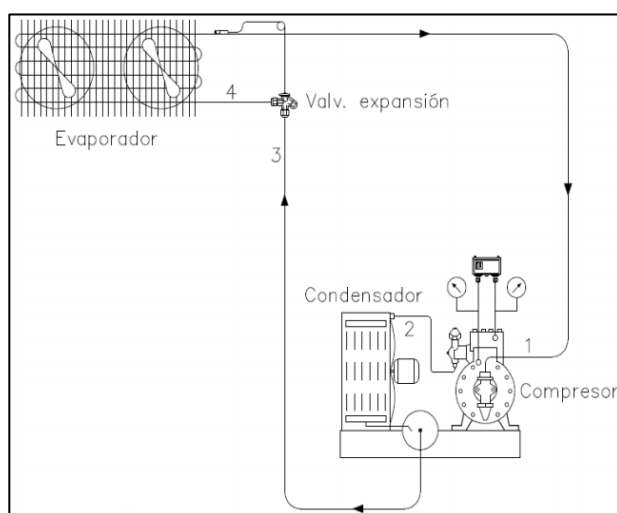


Figura 5. Refrigeración por compresión mecánica
Fuente: (Armijos, 2015)

2.4. Compresor

En los sistemas de refrigeración el compresor viene hacer el núcleo del sistema, el compresor succiona el vapor que proviene del evaporador a baja presión el cual se comprime para luego elevar su temperatura y dirigirse a alta presión hacia el condensador del sistema, en si lo que hace el compresor es crear una diferencia de presiones entre el lado de alta y de baja y de esta manera lograr que el refrigerante fluya a través del sistema de refrigerio, siendo el más usado el compresor hermético. (Langley, 2008, pág. 74).

2.4.1. Compresor Hermético

El compresor hermético, se caracteriza por ser una sola estructura soldada a diferencia del compresor semi-abierto y abierto, este tipo de compresor se construyen solo con motores eléctricos que se acoplan al interior de la carcasa, estos son alimentados con corriente alterna 110 voltios monofásico o también de 208, 230, 460,480 voltios trifásico para frecuencias de 50 ó 60 Hz y potencia desde 1/8Hp para residenciales hasta 10Hp para cámaras frías o centros comerciales. (Narváez, 2014, pág. 8)



Figura 6. Compresor hermético
Fuente: (REACSA, 2019)

2.5. Condensador de aire

El condensador en un sistema frigorífico es esencial, este dispositivo se asemeja a un evaporador ya que en si es como un intercambiador de calor por lo que en general se lo podría denominar un intercambiador térmico, ya que como finalidad tiene en esencial en el traspaso del fluido calorífico del fluido frigorígeno al medio ambiente exterior (condensador), o bien desde el medio ambiente exterior que se ha de enfriar, hacia el flujo frigorígeno (evaporador). Es primordial que este aparato posea un buen coeficiente

global de transmisión térmica, con la finalidad para que el paso del flujo de calor del fluido frigorígeno al medio exterior se obtenga, con la diferencia de temperatura lo más reducida posible. (P. J. Rapin, 1999, pág. 161)



Figura 7. Condensador de aire

Fuente: (Huang, 2019)

2.6. Evaporador

El evaporador es si es un intercambiador de calor entre fluidos. En el evaporador se encuentra el fluido a baja presión en el sistema de refrigeración, en esta cavidad de refrigeración el refrigerante hierve de esta manera evaporándose, por la absorción de calor del medio de calor que se conoce como transferencia de calor. En las instalaciones frigoríficas la parte del calor absorbido por el evaporador es utilizado para bajar la temperatura del fluido (calor sensible) y por otra parte para la condensación de vapor de agua del aire (calor latente.) (Galo Almendariz, 2014, pág. 17)

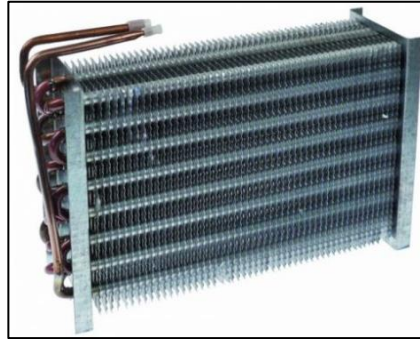


Figura 8. Evaporador
Fuente: (Efinox, 2019)

2.7. Dispositivo de control del fluido

Tanto los controladores como las válvulas se emplean para controlar la temperatura, así como otros parámetros y condiciones del sistema. Sin embargo, los controles y las válvulas son dispositivos completamente diferentes una válvula sirve para modular (detener, iniciar o ajustar) el flujo de un fluido a través de un conducto. Un control ya sea este mecánico, eléctrico, electromecánico este dispositivo se lo utiliza principalmente para el aporte o quitar la energía de un circuito. (Langley, 2008, pág. 128)

2.7.1. Válvula de expansión electrónica

La válvula de expansión es la más comúnmente utilizada para el control del flujo de refrigerante líquido en el evaporador. El control de flujo se realiza a través de un orificio en la válvula, este flujo se gobierna mediante un vástago y un asiento tipo aguja el cual varía la abertura del orificio. Esta aguja es controlada por un diafragma sujeto a tres fuerzas que son. La presión del evaporador (P_1) la cual es ejercida por debajo del diafragma y tiende a cerrar la válvula. La fuerza de un resorte de sobrecalentamiento (P_2) que también es ejercida debajo del diafragma cerrando la válvula y por último la presión

ejercida por la carga en el bulbo térmico (P3) que está unido al tubo de succión a la salida del evaporador. (Galo Almendariz, 2014, pág. 22)



Figura 9. Válvula de expansión electrónica
Fuente: (Danfoss, 2019)

2.8. Refrigerante

Una sustancia puede absorber grandes cantidades de calor con un aumento de su calor sensible si la diferencia de temperaturas es elevada o si el peso de la sustancia es grande. En refrigeración mecánica se requiere un proceso que pueda transmitir grandes cantidades de calor económica y eficientemente, y que pueda repetirse continuamente en procesos de evaporación y condensación. Prácticamente cualquier líquido puede ser usado para absorber calor por evaporación. Los refrigerantes deben cumplir varios requisitos como son:

Deben ser de preferencia no tóxicos, de manera que en caso de fugas no exista peligro de lesiones.

Deben ser económicos, tanto en su costo inicial como en su mantenimiento.

Los refrigerantes no deben ser inflamables. Algunos tipos de hidrocarburos se utilizan como refrigerantes (por ejemplo, el propano y el butano). Deben tener bajas presiones

de saturación a las temperaturas normales de funcionamiento, las altas presiones significarían partes más pesadas y tubos con cédulas mayores. (Armijos, 2015, pág. 25)



Figura 10. Refrigerantes
Fuente: (Navarro, 2019)

2.9. Sensores

El sensor es un elemento que se usa para la detectar una señal o condición de cambio de estado. Esta puede ser de (detección discreta) la cual trata de la presencia o ausencia de un objeto y (detección análoga) esta se refiere a cantidades de que pueden ser medida, cambio de distancia, tamaño. Estos dispositivos permiten la comunicación entre el elemento físico de medición y de control los cuales pueden ser eléctricos como electrónicos, los cuales se usan en el equipamiento de procesos industriales y no industriales ya sea con el propósito de control, monitoreo, medición y procesamientos. (Marllelis Gutiérrez, 2017)

2.9.1. Sensor de temperatura

Magnitud comúnmente referida a caliente, tibio y frío la cual puede ser medida por un termómetro. Está relacionada directamente con la energía interna conocida como la

energía cinética, que está asociada con el movimiento de partículas del sistema, ya sea este en sentido rotacional, traslación o en forma de vibración, a medida que este tenga un mayor movimiento de la energía cinética este se encontrara más caliente, pero como todo elemento tiene sus limitaciones para las diferentes tipos de aplicaciones ya sea por la presión, velocidad de captación de temperatura, distancia del elemento de medida al receptor y el tipo de instrumento. (Marllelis Gutiérrez, 2017, pág. 28)



Figura 11. Sensores de Temperatura
Fuente: (Figuroa, 2018)

2.9.2. Sensores de presión

Los sensores de presión o transductores de presión que transforma la magnitud física de presión o fuerza a una magnitud eléctrica la cual se usara en los equipos de automatización o adquisición estándar. Para cubrir los diferentes rangos de medida tanto de presión y protección se dispone de amplios rangos de medida que van desde las milésimas de bar hasta los miles de bar. (Marllelis Gutiérrez, 2017, pág. 20)



Figura 12. Sensores de Presión

Fuente: (Industry, 2019)

2.10. Tubería

En los equipos de refrigeración una parte esencial es también la tubería, ya que por medio de esta se procederá a conectar los aparatos como condensador, compresor, válvula de expansión, evaporador y de más elementos de medida o de protección que compone el sistema de refrigeración. La tubería para equipos de refrigeración y sus elementos, debe estar diseñada y construida de una manera que soporte los cambios de estado del refrigerante en cada etapa del ciclo. (Paredes, 2008, pág. 137)



Figura 13. Tubería de cobre

Fuente: (Arnabat, 2016)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Antecedentes investigativos

La refrigeración artificial inicio en el año de 1755 con el profesor Willian Cullen, con el diseño de una pequeña máquina de refrigeración, en el cual se utilizó una bomba para crear el vacío parcial y un recipiente de dietil éter. El modelo creo una pequeña cantidad de hielo, pero para el momento no tenía una aplicación práctica. Para el año de 1805 se describió un circuito cerrado de refrigeración por compresión de vapor para la producción de hielo por éter al vacío por el estadounidense Oliver Evans. Mientras que en el año de 1834 el investigador estadounidense Jacob Perkins, construyo el primer sistema de refrigeración por compresión de vapor que podría funcionar de una forma continua. En el año de 1856 el periodista británico James Harrison patento el primer sistema de refrigeración por compresión de vapor práctico, para el año 1861 introdujo la refrigeración comercial por compresión de vapor a las fábricas cerveceras y empaquetadoras de carne. En 1913 se creó el primer refrigerador para uso doméstico por Alfred Mellowens él cual estaba constituido por un compresor en la parte inferior del gabinete. En 1918 la compañía Kelvinator Company introdujo el primer refrigerador con cualquier tipo de control automático. En las últimas dos décadas se han desarrollado muchas y variadas aplicaciones de estudio para los sistemas de refrigeración para aprovechar los avances tecnológicos actuales.

La tesis “DESARROLLO DE UN MODELO DINÁMICO REDUCIDO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL BASADO EN EL CICLO DE COMPRESIÓN DE

VAPOR” realizado por el ingeniero Víctor Milián Sánchez, consiste en un modelo matemático para la descripción de la configuración de un sistema de refrigeración, con lo cual se dispuso de un módulo de pruebas, la instalación está construida por un circuito simple de compresión de vapor. La que se dirige al comportamiento y condiciones de operación del sistema de refrigeración. En la instalación se implementó sensores para la medición de las variables principales como: la presión, temperatura, régimen de giro, y caudales. El sistema constituye de ciertos componentes básicos de un módulo de refrigeración tales como:

- a) El compresor alternativo de tipo abierto marca Bitzer, modelo V130, el mismo que se caracteriza por obtener la disminución de volumen asociado el aumento de presión por medio del movimiento longitudinal de un pistón en un cilindro, este es accionado por un motor eléctrico de 5kW a través de un sistema mecánico de poleas.
- b) Separador de aceite este se encuentra a la salida del compresor, se encarga de la separación de las partículas de aceite que puedan ser transportadas por el gas refrigerante, es de la marca ESK modelo OS-22 con un volumen de 3,5 litros y de presión máxima 2.8MPa.
- c) Condensador es de tipo multitubular de carcasa, marca COFRICA modelo RS-25, su diseño posibilita la inspección y la limpieza por ambos extremos con capacidad de 25.8kW y un caudal del lado de carcasa 3.7 m³/h.
- d) Válvula de expansión modelo 068Z3346 de una presión máxima de trabajo 3.4MPa.
- e) Evaporador de la serie TE17 marca ONDA de capacidad de 17Kw con un caudal de 2.9 m³/h.

- f) Sensor piezoresistivo (presión) con un margen de error de $\pm 0.1\%$ con un rango de medida de 0 a 0.7MPa.
- g) Sonda de temperatura tipo K con un margen de error de ± 0.3 K.
- h) El banco de pruebas fue adaptado para trabajar con diferentes refrigerantes, por el cual se usó el refrigerante R134a.
- i) Sistema de adquisición de datos, cuenta con una aplicación grafica de visualización en tiempo real de los datos de las magnitudes de presión, temperatura, régimen de giro y caudal a través de la adquisición de datos de National Instruments SCXI 1000, el sistema se conecta a un ordenador que permite la monitorización en tiempo real de las variables del módulo por medio del software programado en el entorno de LABVIEW. La condición para que la instalación esté funcionando en un estado estable radica en que las presiones perduren alrededor de un valor dado en un tiempo, estimando que las fluctuaciones estén dentro de un margen de ± 0.02 MPa.

La tesis “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN CHILLER PARA EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO” realizada por los ingenieros Diego Lara y Galo Almendariz, consiste en la construcción de un banco de pruebas de un Chiller en el laboratorio de transferencia de calor, en el que se realizó una elección de elementos como es la unidad condensadora compacta, un intercambiador de calor de placas de alto tonelaje, refrigerante R-404a, una bomba de recirculación con rodete de poliuretano, válvula de expansión marca danfoss, tanque reservorio de acero inoxidable con aislamiento térmico, el diseño térmico se lo realizo bajo la norma ASHARE para la determinación de la carga térmica del fluido a ser refrigerado, en el análisis realizado el

consumo de energía es de 5000 vatios, la pérdida térmica es menor al 1%, por lo que se reajustó el uso de los intercambiadores de calor de placas a uno de 3 toneladas de refrigeración, con una bomba de recirculación del anticongelante de tipo JET auto cebante de 0.5Hp. Con el nuevo diseño se alcanzó una temperatura desde el ambiente hasta los -15°C según el requerimiento, para el óptimo rendimiento del equipo su rango de funcionamiento es de -8°C a -10°C .

En la tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CONSERVACIÓN PARA EL LABORATORIO DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO” realizada por los ingenieros Luis Buenaño y Marcel Esparza, Permite graficar el ciclo real de refrigeración por compresión mecánica con una conservación de temperatura de 2°C en la cámara frigorífica, para el módulo de refrigeración se utilizó los siguientes componentes:

- a)** Dos válvulas solenoides marca DANFOSS modelo EVR-3, bobina marca DANFOSS modelo IP-67.
- b)** Válvula reguladora de presión de evaporación marca SPORLAN modelo ORIT6.
- c)** Válvula de expansión termostática de ecualizador interno marca DANFOSS modelo TS 2-0.11 Gama N.
- d)** Manómetros de alta y baja marca REFCO.
- e)** Válvulas de paso marca DANFOSS modelo BML-6 y BML-10.
- f)** Unidad condensadora marca TECUMSEH modelo UAKL26ZS capacidad frigorífica de 0.30KW con temperatura de evaporación de -4°C y temperatura ambiente de 22°C .
- g)** Acumulador de succión de $\frac{1}{2}$ in modelo S-7048.

- h)** Evaporador marca Thermo-Coil modelo EM-SRD-1 capacidad del sistema de 0.30KW con temperatura de evaporación de -4°C .
- i)** Cuatro sensores de temperatura modelo 10-LM35DZ cada uno ubicado estratégicamente para la toma de datos.
- j)** Refrigerante R404a como fluido de trabajo y para el control del sistema.
- k)** Controlador lógico programable (PLC) ARRAY100....240v AC con capacidad de 12 entradas y 8 salidas con la facilidad de programación de bloques y con el programa QUICK II.

El primer objetivo planteado fue determinar el tiempo en que la cámara de refrigeración alcanza la temperatura de 2°C , en la prueba realizada el tiempo es de 6min con 29seg con una temperatura ambiente de 20°C con un consumo de energía de 4.3 amperios. El segundo objetivo planteado fue el trazo del ciclo real de funcionamiento y determinación del parámetro de la cámara de conservación con el refrigerante R404a, en este punto se tomó los siguientes datos: temperaturas entrada del compresor -15°C , salida del compresor 62°C , entrada de la válvula de expansión 23°C , salida del evaporador -30°C , presiones salida del compresor 180psig, salida del evaporador 20psig.

La tesis "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR DE 1HP DE CAPACIDAD QUE USA REFRIGERANTE R404A CON VARIACIÓN DEL MEDIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL EVAPORADOR Y DEL CONTROL DE FLUJO DE REFRIGERANTE PARA EL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DEL D.E.C.E.M. PARA LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE." realizada por los ingenieros Juan Martínez, César Zambrano, consiste en la construcción de un

banco de pruebas de un sistema de refrigeración por compresión de vapor, el módulo está constituido por dos evaporadores los mismos que representan dos unidades de refrigeración, el primer nivel es una unidad de enfriamiento cuya fuente de transferencia de calor es el agua, la segunda unidad de congelamiento cuya transferencia de calor es el aire, el módulo de refrigeración está estructurado por los siguientes componentes:

- a)** Unidad condensadora marca L'UNITEHERMETIQUE modelo CAJ2446ZBR 1HP.
- b)** Válvula de expansión termostática marca ALCO modelo TIE SW.
- c)** Tubo capilar, la existente disposición me permite determinar las condiciones de funcionamiento de los dos dispositivos de control del fluido de trabajo en cada nivel.
- d)** Refrigerante R-404A como fluido de trabajo.
- e)** Evaporador marca THERMO-COIL modelo CT-00092.
- f)** Termostato unidad de congelación marca Full Gauge modelo TC-900 Ri.
- g)** Termostato unidad de congelación marca Full Gauge modelo MT-512-900 Ri plus.
- h)** Presostato marca L'UNITEHERMETIQUE tipo combinado rango de operación en alta (100-465)psi en baja (0-108)psi.
- i)** Válvula solenoide marca QUALITY modelo QSV-38.

Con la construcción de este módulo se obtuvo los siguientes datos de temperatura y presión. Unidad de congelamiento, temperatura inicial 21.2°C temperatura final -10°C, compresor lado descarga 225psig lado de succión 31psig, válvula de expansión entrada 225psig y salida 30psig. Unidad de enfriamiento, temperatura inicial 19.2°C temperatura final 0°C, compresor lado de descarga 225psig lado de succión 31psig, válvula de expansión entrada 225psig y salida 85psig.

La tesis “INSTRUMENTACIÓN DE UN REFRIGERADOR DOMESTICO PARA LA TOMA DE DATOS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA PARA LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA” realizada por los ingenieros Iván Morocho y Byron Ruiz, El documento consiste en la modificación y construcción de un banco de refrigeración, para la obtención de las variables de presión y temperatura en el sistema de refrigeración doméstica y será sometido a diferentes modificaciones de sus componentes, el módulo está conformado por un sistema de compresión de vapor. Se planteó un modelo de refrigerador domestico ECASA modelo Boreal 212 a continuación se detallará las especificaciones de cada componente:

- a)** Evaporador de tipo serpentín de cobre con aletas de aluminio.
- b)** Compresor hermético marca EMBRACO modelo EGAS80HLR.
- c)** Filtro secador de tipo grano con malla.
- d)** Temporizador modelo DBZC730-1D75.
- e)** Condensador de tipo enfriado por aire con aletas marca ECASA.
- f)** Tubo capilar Boreal 212 de cobre.

Las modificaciones que se realizó a este sistema son: la puerta del congelador para tener una mejor visualización de cada uno de los elementos que se encuentra en su interior que conforma la cámara de refrigeración la tapa fue realizada de acrílico de 3mm de espesor, tapa de la cabina contenedora del evaporador por una de acrílico con similares características constructivas con la finalidad de una mejor visualización de los componentes que conforma el evaporador, se ubicó una caja de sensores en la parte izquierda del sistema refrigerado.

- a)** Transductor de presión JUMO modelo Midas C08.

- b)** Sensor de temperatura JUMO 9902550 y JUMO 902830.
- c)** Tarjeta de adquisición de datos "DAQ" la mejor alternativa es el sistema arduino ya que brinda la interfaz amigable con el pc.
- d)** Refrigerante R-22a como fluido de trabajo.

Con la implementación de elementos anteriormente nombrados se obtuvieron los siguientes datos: temperatura en el evaporador temperatura ambiente 21°C y temperatura de congelación -18,5°C, presiones en el compresor mínima 0.9 BAR y máxima de 14.67 BAR. Labview es un lenguaje de programación de National Instruments este nos facilita a la hora de la programación de sistemas de instrumentación y control ya que la mayoría de fabricantes de DAQ'S diseñan sus tarjetas para que sean compatibles con este software.

El equipo de refrigeración con cámara de refrigeración y de congelación controlado desde computador (PC) con SCADA, realizado por la empresa Ingeniería y Equipamiento Didáctico Técnico EDIBON. Se creó con el objetivo de que los estudiantes se introduzcan y tengan un mejor conocimiento dentro de las instalaciones de refrigeración y de la misma forma la determinación de los parámetros de operación característicos como temperatura, presión, entalpías etc. del equipo. El equipo está diseñado con dos cámaras de refrigeración diferentes a distintas temperaturas. Su diseño es básicamente un circuito de refrigeración, pero a diferencia de los circuitos convencionales este tiene dos evaporadores uno para cada cámara con diferente presión de evaporación que permite disimular distintas condiciones de temperatura en cada cámara. El equipo controlado desde un computador está construido por los siguientes elementos.

- El equipo de refrigeración

- Caja- Interface de control
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Paquete de software de control. Adquisición de datos y manejo de datos.

Zona de alta presión:

- Compresor hermético de 490 W, 5/40°C.
- Refrigerante R-134a con capacidad de refrigerante: 1100W, 4/50°C
- Sensores de presión ubicados en la zona de alta presión con rango de -1 a 24 bar.
- Sensor de temperatura ubicado a la salida del compresor con un rango de -50 a 120°C.
- Presostato doble de 32/7,5 bar.

Zona de condensación:

- Condensador de aire de 290 m³/h y 1,5 m² de área, con ventilador.
- Sensor de temperatura situado a la salida del condensado con rango de -50 a 120°C.
- Acumulador de refrigerante, filtro de refrigerante.
- Sensor de caudal de rango 1,5 a 23,5 l/h.

Zona de baja presión:

- Dos válvulas solenoides, controladas desde el computador.
- Dos válvulas de expansión.
- Tres sensores de presión situados a continuación de las válvulas de expansión con rango de -1 a 9 bar.

- Sensores de temperatura situados a continuación de las válvulas de expansión con rango de -50 a 120°C.
- Separador de líquidos, para retener partículas líquidas antes de pasar al compresor.
- Sensor de temperatura situado a la entrada del compresor con rango de -50 a 120°C.
- Sensor de presión situado a la entrada del compresor con rango de -1 a 15bar.

Zona de evaporación:

Refrigeración:

- Cámara de refrigeración aislada con capacidad de 20 litros, 1 m² de área de evaporación.
- Evaporador de la cámara de refrigeración.
- Válvula de control de la presión de evaporación con rango de 0 - 5,5 bar.
- Sensor de temperatura situado a la salida del evaporador de la cámara de refrigeración con rango de -50 a 100°C.
- Sensor de temperatura situado en la cámara de refrigeración con rango de -50 a 100°C.

Congelación:

- Cámara de congelación aislada con capacidad de 20 litros, 2,42 m² de área de evaporación.
- Evaporador de la cámara de congelación con ventilador, con caudal de aire de 135 m³/h.

- Resistencia eléctrica de 150W para descongelación, controlada desde el computador.
- Sensor de temperatura ubicado a la salida del evaporador de la cámara de congelación.
- Sensor de temperatura situado en el evaporador de la cámara de congelación.
- Sensor de temperatura situado en la cámara de congelación

Algunos Items principales que se pueden realizar con el uso del equipo son.

- Representación del ciclo termodinámico en el diagrama p-h.
- Diseño y componentes de un sistema de refrigeración con dos evaporadores.
- Calibración de sensores.
- Estudio del compresor y su función.
- Estudio de la válvula de expansión y su función.
- Estudio de los interruptores de presión y su función.
- Control de temperatura.
- Análisis de la relación de presión en el comportamiento del sistema.
- Localización de fallas en componentes del sistema.
- Visualización de todos los valores de los sensores usados.

EL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-LATACUNGA, dispone de varios equipos para prácticas de refrigeración y aire acondicionado construidos por la empresa Lab-Volt.

ENTRENADOR EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN MODELO 3401-22, es un sistema pedagógico diseñado para iniciar a los estudiantes en la parte de fundamentos y componentes de un sistema de refrigeración mediante el uso de dispositivos domésticos, comerciales, industriales. El módulo muestra el funcionamiento de sistemas de refrigeración más comunes incluido el de doble evaporación, adicional a este sistema consta de una caja de interruptores que se pueden simular posibles fallas en diferentes puntos del sistema de refrigeración ya sea en el sistema eléctrico o de refrigeración, el equipo consta de los siguientes elementos.

- Compresor semihermético 1/2hp
- Refrigerante R-409a
- Evaporador: dos serpentines con ventilación forzada, ventiladores de velocidad variada, alojamiento separado.
- Condensador: un serpentín con ventilación forzada de velocidad variable.
- Dispositivos de control: interruptor de alta presión y baja presión, válvula de expansión automática, válvula seleniodes y controles termostáticos, regulador de presión de retorno, válvula de expansión termostática, tubo capilar.
- Instrumentación: vatímetro, voltímetro, amperímetro, manómetros luces indicadoras y medidor de temperatura.
- Equipamiento auxiliar: acumulador de succión, receptor de líquido, filtro de secado, separador de aceite, válvulas manuales e intercambiadores de calor.
- Protección: disyuntor del compresor y de alimentación principal, interruptor de sobrepresión.

- Inserción de fallas: 18 interruptores de inserción de fallas.

DEMOSTRADOR DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN MODELO 3400, es un sistema de capacitación integrado para practicas pedagógicas dirigida hacia los estudiantes y de esta manera fortalecer el conocimiento de los principios y componentes principales de un sistema de refrigeración y bombas de calor típicos. El módulo está diseñado para la demostración de las diferentes etapas de refrigeración dentro del ciclo del sistema de refrigeración más común. El equipo consta de secciones de tubos transparentes del lado del condensador y evaporador lo que permite al estudiante observar el flujo del refrigerante y cambio de estado del mismo, el equipo está estructurado de los siguientes elementos.

- Compresor hermético de 1/4hp
- Refrigerante R-409a
- Evaporador: tubería de cobre y transparente encerrada en una cámara plástica, con ventilador de velocidad regulable
- Condensador: tubo de cobre y transparente encerrado en una cámara plástica, con ventilador de velocidad regulable.
- Dispositivos de control: interruptor de alta y baja presión, tubo capilar, válvula de expansión termostática, tubo capilar, tipo de bomba de calor y cuatro válvulas de inversión de la bomba de calor manual.
- Instrumentación: medidor de temperatura, medidores compuestos, manómetros y lámparas indicadoras.
- Protección: interruptores principales, presostato de seguridad.

- Inserción de fallas: 6 interruptores de sección de fallas.

EQUIPO DE ENTRENAMIENTO CONGELADOR DOMESTICO MODELO 3410-2, el equipo de entrenamiento está diseñado para la enseñanza pedagógica, el módulo consta de los elementos más básico de un congelador doméstico, este equipo fue construido para fortalecer el conocimiento en cableado, tuberías de evacuación, carga, pruebas y soluciones de problemas, adicional a esto el equipo puede ser desmontado por los estudiantes, el equipo consta de los siguientes elementos.

- Compresor hermético de 1/2hp
- Refrigerante R-409a
- Condensador de aire forzado
- Evaporador de convección natural
- Controlador de presión dual
- Secador de filtro, indicador de líquido,
- Tubo capilar
- Interruptor del compresor e indicador de potencia

EQUIPO DE ENTRENAMIENTO EN CÁMARAS FRÍAS MODELO 3414-2, el equipo fue desarrollado para la capacitación pedagógica, el módulo consta de los elementos más básicos de un sistema de refrigeración comercial el mismo que puede ser ensamblado, probado y desmontado por los estudiantes, el equipo consta de los siguientes elementos.

- Compresor hermético de 1/4hp
- Refrigerante R-409a
- Condensador de aire forzado

- Evaporador de aire forzado tipo soplador
- Receptor de líquido
- Decondensador de aire forzado
- Secador filtro, y un indicador
- Controlador de baja y alta presión,
- Válvula de expansión termostática
- Interruptores del compresor y de potencia y luces indicadoras.

La empresa "FULL GAUGE", se dedicada a la construcción de instrumentos digitales para la automatización industrial, comercial y residencial, frente a las necesidades del mercado para sistemas de refrigeración calefacción, climatización y calefacción solar, cumpliendo con las normas de certificación internacional como UL, CE, NSF y las ISO 9001 y 14001 y además la norma europea RoSH que elimina el uso de sustancias peligrosas en dispositivos electrónico, a continuación citaremos algunos de los equipos.

- Controladores para congeladores: VX950 plus para las válvulas de expansión electrónica, la ventaja de este equipo es que en el paquete ya viene incluido los sensores junto con el programa Sitrad, TC-900E power, TC-900E log
- Controladores para enfriadores MT-512E 2hp, MT-512E log, MT-512E Faston
- Controladores de temperatura MT-543E 2hp, MT-543E log, MT-516E, MT-516EVT plus,
- Controladores de humedad y temperatura: MT-530E super, AHC-80 plus
- Controladores de voltaje: Phaselog E plus, Energylog plus, Mnivolt II

- Controladores de presión: RCK-602 plus, PCT100E, PCT-120E plus, PCT-410E plus
- Sensores: SB70, SB19, SB41, SB59, transductor de presión SB69, SB12 termopar tipo J
- Válvula de expansión electrónica Sb88, Sb89, Sb90, Sb91, Sb92

Con lo que respecta a los controladores la empresa tiene su propio software que es el SITRAD, una desventaja de esto es que todos los elementos tienen que ser comprados de la misma empresa para su correcta funcionalidad al momento de la instalación.

3.2. Fundamentación legal

La normativa para aparatos de refrigeración se encuentra regulada por dos entidades internacionales de estandarización ISO e ICE.

Organización Internacional de Estandarización (ISO) se dedica al desarrollo y modificaciones de varias normativas referente a ensayos en artefactos de refrigeración de uso doméstico e industrial de acuerdo a la normativa ISO 15502:2005 “Aparatos de refrigeración doméstica. Características y métodos de ensayo”. (ISO, 2005)

Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Organización mundial encargada de la normalización de los comités electrónicos nacionales. Entidad creada para la cooperación internacional en situaciones relacionadas con la normalización en el campo eléctrico y electrónico. Esta organización realiza la norma internacional ICE 62552 “Aparatos de refrigeración para uso doméstico. Características y métodos de ensayo”, bajo la responsabilidad del comité técnico IEC 59.” Desempeño de electrodomésticos y aparatos eléctricos similares”. (ICE-IECEE, 2015)

El documento de la normativa IEC 62552 reemplaza a la normativa internacional ISO 15502. El ensayo y clasificación de aparatos de refrigeración para uso doméstico del comité técnico 86 de ISO: “Refrigeración y aire acondicionado, en la actualidad se encuentra transferida a ICE por la decisión 127/11”. En contexto nacional actualmente rigen dos normativas generadas por INEN que se limitan a las pruebas y ensayos de los aparatos de refrigeración que son.

- NTE-INEN 2206-3:2011 titulada “Artefactos de refrigeración domestica con o sin escarcha, refrigeradores con o sin comportamiento de baja temperatura”.
- NTE-INEN-IEC 62552:2014 titulada “Aparatos domésticos de refrigeración características y métodos de ensayo”.

En la actualidad estas dos normas están vigentes en el territorio por lo que se requerirán para el diseño del módulo de refrigeración. Se tomará en cuenta las consideraciones de tendencia en la región y a nivel internacional de la normativa IEC 62552 ya que de esta se detalló el fundamento de NTE-INEN-IEC 62552, esta norma tiene algunos parámetros que tienen que ser tomados en cuenta en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, cuyas cláusulas concuerda con NTE-INEN 2206-3. (INEN, 2004)

Normas de diseño y construcción: los sistemas de refrigeración y sus componentes se deberán diseñar y construir evitando los posibles riesgos para las personas, los bienes y el medio ambiente. Se utilizarán las Normas, UNE-EN 13136, UNE-EN 287-1, UNE-EN 60204-1, UNE-EN 60335-1/A14, UNE-EN 60335-2-34, UNE 74105-1, UNE-EN 10253-2, EN 10253-4, UNE-EN 14276-1, UNE-EN 14276-2, UNE-EN ISO 12100-1 y UNE-EN ISO

12100-2, completadas por códigos o recomendaciones aceptados en la U.E. (España, 2011)

Tabla 1

Condiciones de ensayos para la norma IEC 62552

Condiciones para el ensayo	IEC 62552
Temperatura ambiental	Puede variar entre 10°C, 16°C, 25°C, 32°C, 38°C y 43°C Tolerancia de $\pm 0,5K$
Humedad	No debe exceder el 75%
Velocidad de corriente de aire en las paredes del refrigerador	Menor a 0,25m/s
Gradiente de temperatura	No superar 1K/m, medido a 2 m desde el asentamiento del artefacto.
Voltaje y frecuencia	Voltaje nominal, tolerancia $\pm 1\%$. Frecuencia nominal, tolerancia $\pm 1\%$.
Periodo de ensayo	Mínimo 24 horas, máximo 36 o 72 horas.

Tabla 2

Requerimientos de instrumentación para la norma IEC 62552

Condiciones para el ensayo	IEC 62552
Equipos para mediciones	Tolerancia $\pm 5\%$
Equipos para mediciones de temperatura	Incertidumbre no mayor que $\pm 0,5K$
Equipos para mediciones de humedad relativa	Incertidumbre no mayor que $\pm 0,3K$. Expresado como el punto de condensación.
Equipo para medición de energía	Legible en 0,001kWh y una exactitud de 1% de la lectura

3.3. Hipótesis

Mediante el diseño y construcción de un módulo de refrigeración asistido por computador se podrá analizar el ciclo de refrigeración, con la ayuda del diagrama de Mollier.

3.4. Variables de investigación

3.4.1. Variable independiente

Diseño y construcción de un módulo de refrigeración asistido por computador.

3.4.2. Variable dependiente

Análisis del ciclo de refrigeración mediante el diagrama de Mollier con la obtención de los datos del sistema.

3.5. Operación de las variables

Tabla 3

Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición conceptual	Indicador
Diseño y construcción de un módulo de refrigeración asistido por computador	Módulo de refrigeración para la adquisición de datos mediante una tarjeta DAQ.	Presión y temperatura

Tabla 4

Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Indicador
Análisis del ciclo de refrigeración mediante el diagrama de Mollier con la obtención de los datos del sistema	Representación gráfica de datos por medio de un software en un ordenador	Ciclo de refrigeración Diagrama de Mollier

3.6. Modalidad de la investigación

3.6.1. Investigación bibliográfica

Para realizar la investigación bibliográfica para el trabajo de titulación se recolectará información en revistas, artículos científicos, sitios web, libros, tesis y base de datos de

la universidad que puedan aportar con información efectiva para la determinación del fundamento teórico en la sustentación de información relevante en el diseño del módulo de refrigeración.

3.6.2. Investigación sistemática

Mediante este método se establecerá los principales parámetros y alternativas de posible solución del diseño, una vez evaluadas las alternativas.

3.6.3. Investigación exploratoria

Se procederá a realizar el diseño para el ciclo de refrigeración, se seleccionará los componentes tales como el compresor, evaporador, condensador, válvula de expansión electrónica, sensor de presión y sensor de temperatura.

3.6.4. Investigación experimental

Por este método se procederá a ensamblar sus componentes, se realizará un interfaz humano-maquina (HMI) que enlazara el software con el hardware, el software a utilizar es un software libre.

3.6.5. Investigación hipotética-deductiva

Mediante este método se validará la hipótesis, realizando varias pruebas que comparen el ciclo de refrigeración con el diagrama de Mollier para obtener datos teórico-prácticos que validen la hipótesis.

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Realizada la recopilación de información de diferente documentación de módulos de refrigeración se procederá al análisis de selección de los elementos para la construcción del sistema de refrigeración, dichos componentes serán comparados y seleccionados, que cumplan las mejores características que nos ayuden a la construcción del módulo.

Una vez determinada las parte principales que conforma el sistema de refrigeración se realizara una comparación de un grupo de cada elemento de refrigeración y eléctrico para la elección del componente que mejor convenga para el diseño y construcción del módulo de refrigeración asistido por un computador.

4.1. Análisis de resultados

Planteada la idea del diseño y construcción del módulo de refrigeración asistido por computador, interviene el dimensionamiento y selección de los elementos que formaran parte del proyecto a requerimientos mecánicos térmicos para la transferencia de energía y el dispositivo de expansión en función al refrigerante a ser utilizado.

El sistema de refrigeración por compresión de vapor, en cual el refrigerante cumple cíclicamente su expansión y compresión de acuerdo al ciclo termodinámico en el diagrama de Mullier, por lo que se planteara las pautas a partir de este tipo de sistema por compresión de vapor para el desarrollo y en conjunto la selección de los componentes que se requiere. Cabe recalcar que, al utilizar el elemento de expansión para el módulo, permitirá establecer los parámetros de funcionalidad del sistema, por lo que se considera para el módulo de refrigeración el fluido de trabajo.

Para tener una mejor perspectiva del diseño del módulo de refrigeración se analizó las partes principales que conforma un sistema de refrigeración por lo que se agrupo por tipo de elemento como se indica en la tabla 5.

Tabla 5

Partes de un sistema de refrigeración asistido por computador.

SISTEMA TÉRMICO	SISTEMA ELÉCTRICO
Compresor	Sensor de presión
Condensador	Sensor de temperatura
Evaporador	Tarjeta de adquisición de datos "DAQ"
Válvula de expansión	Ordenador
Fluido de trabajo "Refrigerante"	

4.1.1. Fluido de trabajo

De la recopilación de información realizada en el capítulo tres, en la construcción de sistemas de refrigeración tanto en proyectos de universidades y empresas dedicadas en la construcción de módulos didácticos, se pudo observar que en cada proyecto se usan diferentes tipos de refrigerantes tales como el R-22a, R134a, R-404a cada refrigerante tiene diferentes especificaciones tanto químicas como físicas y son usados para diferentes capacidades de refrigeración o calefacción.

El refrigerante R-22a de la investigación realizada se pudo observar que este se usa solo para sistemas de calefacción por lo que es muy poco usado.

El refrigerante R-134a. De la investigación realizada este refrigerante es el más usado para la construcción de sistemas de refrigeración por las empresas dedicadas a la construcción de módulos didácticos de refrigeración como es la Lab-Volt y EDIBON.

El refrigerante R-404a. De la documentación recopilada de tesis, este refrigerante es usado más en el área de la industria por su mayor capacidad de refrigeración.

El refrigerante R-409a. Es un remplazo para el R-12, se usa en sistemas de refrigeración y aire acondicionado en el área doméstica, comercial e industrial.

Cada refrigerante tiene diferentes temperaturas las cuales tienen que ser tomadas en cuenta al momento de la construcción de un módulo de refrigeración como se puede observar en la tabla 6.

Tabla 6
Temperaturas de refrigerantes.

Refrigerante	Temperatura °C		
	Ebullición	Critica	Congelación
R-22a	-40.8	96.2	-160
R-134a	-26.1	101.1	-96.6
R-404a	-46.6	72.1	-----
R-409a	-34,5	107	-----

Fuente: (INDURA, 2019)

4.1.2. Compresor

De la investigación realizada en el capítulo tres de temas referentes a la construcción de sistemas de refrigeración el tipo de compresor más usado es el hermético y semihermético para la construcción de módulos de refrigeración ya sea en los proyectos de tesis y por las empresas dedicadas a la fabricación de módulos de refrigeración didácticos, cada compresor es seleccionado de acuerdo a la capacidad que requiera el sistema por lo que en estas investigaciones se tiene compresores herméticos a diferentes potencias, a continuación citaremos algunos de ellos.

- Compresor hermético de (1/2 y 1/4) hp usado por la empresa Lab-Volt, EBIDON.

- Compresor hermético marca EMBRACO modelo EGAS80HLR

En la investigación realizada se comprobó que también se pueden usar unidades condensadoras, estas unidades facilitan el trabajo ya que son un poco más completas ya que en su estructura viene lo que es el condensador, el compresor, regulador de presión y la caja de conexión, citaremos dos ellas que se usaron para estos proyectos.

- Unidad condensadora marca TECUMSEH MODELO UAKL26ZS
- Unidad condensadora marca L'UNITEHERMETIQUE modelo CAJ2446ZBR 1hp

4.1.3. Evaporador

De la investigación realizada se recopiló información de distintos tipos de evaporadores, cada evaporador tiene diferentes capacidades de refrigeración y flujo del refrigerante, por lo que no se puede realizar una selección o agrúpaes, lo que tiene en común es que son de aire forzado, por lo que serán nombrados a continuación.

- Evaporador de la serie TE17 marca ONDA de capacidad de 17Kw
- Evaporador marca Thermo-Coil modelo EM-SRD-1 con capacidad de 0.30kw
- Evaporador marca Thermo-coil modelo CT-00092
- Las empresas Lab-Volt y EBIDON utilizar el evaporador de aire forzado con un ventilador de velocidad regulable.

Cada evaporador citado anterior fue seleccionado de acuerdo al tipo de refrigerante que se va a trabajar en el sistema, adicional a esto se toma en cuenta la capacidad del compresor o de la unidad condensadora.

4.1.4. Condensador

De la información recolectada en la investigación acerca de condensadores se hallaron distintos tipos, cada uno de estos fue seleccionado de acuerdo a la capacidad de refrigeración del evaporador que requirió el autor para la construcción de su equipo de refrigeración, por lo que citaremos algunos de estos a continuación.

- Condensador es de tipo multitubular de carcasa, marca COFRICA modelo RS-25
- Condensador de tipo enfriado por aire con aletas marca ECASA
- La empresa EBIDON usa el condensador de aire de 290 m³/h y 1,5 m² de área, con ventilador.
- La empresa Lab-Volt usa el condensador de aire forzado

4.1.5. Válvula de expansión

Sobre las válvulas de expansión que fueron usadas en los proyectos del capítulo anterior, cada una de estas válvulas tiene una capacidad de acuerdo al sistema que se vaya a implementar, a continuación, se citara algunas de ellas.

- Válvula de expansión modelo 068Z3346 de una presión de trabajo 3,4MPa
- Válvula de expansión termostática de ecualizador inter marca Danfoss modelo TS 2-0.11 Gama N.
- Válvulas de expansión termos ticas marca ALCO modelo TIE SW
- Tubo capilar Boreal 212 de cobre
- Válvula de expansión electrónica Sb88, Sb89, Sb90, Sb91, Sb92

4.1.6. Sensores de presión

De la investigación realizada se obtuvo algunas alternativas de sensores de presión que fueron usados para la instrumentación de medida en equipos refrigeración, cada sensor está diseñado según el requerimiento del sistema, por lo que citaremos algunos de ellos.

- Sensor piezoresistivo, con un rango de error de $\pm 0.1\%$ con rango de medidas de 0 a 0,7 MPa
- Transductor de presión JUMO modelo MIDAS C08
- La empresa EBIDON en la construcción de sus proyectos usa sensores de presión con un rango de operación en el lado de alta de (-1 a 24) bar y en lado de baja con un rango de (-1 a 9) bar
- Transductor de presión SB69

4.1.7. Sensor de temperatura

De la recolección de datos del capítulo de investigación acerca de sistemas de refrigeración, se vio diferentes alternativas de sensores de temperatura tanto en alta y baja según el requerimiento del sistema, estos sensores están ubicados estratégicamente sobre el circuito de refrigeración, a continuación, citaremos algunos de ellos que fueron usados.

- Sonda de temperatura tipo K con margen de error de $\pm 0.3K$
- Sensor de temperatura modelo 10-LM35DZ
- Sensor de temperatura JUMO 9902550 y JUMO 902830

- La empresa UBIDON ubica sensores de temperatura de un rango de (-50 a 120)°C en la entrada y salida del compresor y del evaporador y uno a la entrada de la válvula de expansión.

4.1.8. Tarjeta de adquisición de datos “DAQ”

En la investigación realizada con respecto a tarjetas de adquisición de datos son más usadas en sistemas industriales para verificación del estado del sistema, en la actualidad ya existen DAQ para sistemas más pequeños para la demostración e implementación a un nivel didáctico, a continuación, citaremos algunos de ellos.

- Adquisición de datos National Instruments SCXI 1000, con el entorno de programación en Labview
- Adquisición de datos ARRAY100 con el programa QUICK II
- Tarjeta de adquisidor de datos Arduino que brinda una interfaz amigable con el pc
- Tarjeta de adquisición de datos VX-950 con el software sitrad

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1. Tema de la propuesta

Diseño y construcción de un módulo de refrigeración asistido por computador, para el análisis del ciclo de refrigeración mediante el diagrama de Mollier.

5.2. Datos informativos

Nombre de la institución: Universidad de las Fuerzas Armadas Espe-Latacunga

Dirección: Calle Quijano y Ordóñez y Hermanas Páez

Tipo de empresa: Educativa

5.3. Objetivos

5.3.1. Objetivo general

Diseñar y construir un módulo de refrigeración asistido por computador para el análisis del ciclo de refrigeración mediante el diagrama de Mollier.

5.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información acerca de sistemas de refrigeración asistidos por computador.
- Diseñar y construir el módulo didáctico de refrigeración asistido por computador.
- Implementar el sistema de refrigeración asistido por computador.
- Realizar el análisis del ciclo termodinámico de Mollier con los datos obtenidos del sistema de refrigeración.

5.4. Justificación de la propuesta

La implementación de este proyecto en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga, permitirá actualizar con tecnología moderna el laboratorio de Refrigeración de acuerdo a los requerimientos actuales en la industria y evitar el uso de instrumentos manuales en el manejo de datos. La importancia del módulo de refrigeración asistido por computador es de recolectar datos en una forma más rápida y exacta, la mayor cantidad de datos posibles los cuales serán procesados por un HMI y podrán ser visualizado el ciclo de refrigeración en una forma gráfica en un ordenador, estos datos también pueden ser almacenados para futuros proyectos.

5.5. Fundamentación propuesta

El presente proyecto parte de la necesidad de implementar el Laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado de la Universidad de las Fuerzas Armada ESPE-Latacunga con sistemas de refrigeración modernos y controlados por computador, en una visita realizada al laboratorio de la institución, en la actualidad esta provista por cinco módulos para diferentes aplicaciones a continuación los citaremos.

- Dos entrenadores en sistemas de refrigeración modelo 3401-22
- Demostrador del sistema de refrigeración modelo 3400
- Equipo de capacitación en cámaras frías modelo 3414-22
- Equipo de entrenamiento congelador domestico modelo 3410-2

Estos equipos fueron creados por la empresa Lab-Volt, con el objetivo de fortalecer el conocimiento en la parte práctica de diferentes sistemas de refrigeración hacia los estudiantes, en la actualidad los equipos siguen en funcionamiento, impartiendo el

conocimiento para lo que fueron creados pero con la desventaja de que su equipamiento de tecnología es casi obsoleta, ya que los módulos fueron creados 25 años atrás, por lo que en su parte de control e instrumentación son elementos mecánicos, adicional a este inconveniente se suma al momento de la recolección de datos de información ya que estos se los realiza de una forma manual con instrumentos análogos por lo que en muchas ocasiones son datos erróneos en las practicas realizadas y no se cumple con el objetivo planteado de fortalecer el conocimiento de la parte teórica ya puesta en la práctica.

Para el desarrollo del proyecto nos basaremos en el siguiente equipo, Demostrador del sistema de refrigeración modelo 3400, ya que este módulo consta de las partes más básicas de un sistema de refrigeración instrumentado, y en el cual se puede observar el ciclo y el estado del refrigerante en diferentes puntos, ya que en la parte de con su cañería es transparente.

El módulo de refrigeración va hacer un sistema por compresión de vapor, en el cual se utilizara el refrigerante como fluido de trabajo, para el sistema de refrigeración estará compuesta por los componentes básicos como es el compreso, evaporador, condensador, válvula de expansión, el módulo de pruebas será equipado con sensores electrónicos de medición de presión y temperatura estos dispositivos serán ubicados en puntos estratégicos del sistema para la toma de datos mediante una tarjeta DAQ y guardados en un ordenador, estos datos se trabajaran mediante la implementación de un software para la representación gráfica del ciclo de refrigeración en una pc, cada uno de estos elementos serán detallados en el apartado 5.7 con sus respectivas características.

5.6. Diseño de la propuesta

En este apartado se explicará de una forma breve el formato con el que se desarrollará la propuesta para el diseño.

- **Parámetros de diseño:** En acuerdo a la investigación realizada en el capítulo tres se plantearán ciertos parámetros para los cálculos del sistema de refrigeración.
- **Diseño:** Se procederá mediante medios bibliográficos para el diseño y cálculos de los elementos que conformará el módulo, de acuerdo a la capacidad frigorífica que este nos proporciones y para la correcta selección de la válvula de expansión electrónica.
- **Selección de equipos y sensores:** se considerará el tipo de sistema de refrigeración, fluido de trabajo, para la adquisición de los equipos para el módulo de refrigeración, se tomará en cuenta las características técnicas de cada uno de los equipos para el correcto funcionamiento mediante catálogos.
- **Adquisición de datos:** mediante el uso de un sistema de adquisición de datos y un pc, se recolectarán los datos necesarios para la realización de la gráfica.
- **Representación de la gráfica:** la representación gráfica del ciclo de refrigeración se lo realizara mediante el uso de un Software que me permita representar el diagrama del ciclo de refrigeración en el diagrama de Mollier.
- **Implementación:** el módulo será construido bajo los parámetros de diseño, e implementado en el laboratorio de Refrigeración y Aire Acondicionado de la Universidad de las Fuerza Armadas.

- **Pruebas:** determinación de operación del módulo mediante la recolección de datos

5.7. Parámetro de diseño

Para el diseño de un sistema de refrigeración asistido por computador, es necesario plantear las condiciones a las cuales va a trabajar el módulo, por lo que se debe considerar parámetros de diseño, tales como temperatura, carga, volumen, elemento a ser refrigerado.

El módulo será diseñado para simular el transporte de refrigeración de hortalizas con una capacidad de 9kg y con una temperatura de almacenamiento de 1°C (33.8°F).

La humedad relativa para las hortalizas debe ser del 90 al 98%. (Seminis, 2016)

En la ciudad de Latacunga que se encuentra a una altura de 2850 m.s.n.m que tiene una temperatura promedio de 16,5°C (61.7°F).

- **Dimensiones**

Ancho: 1.35m (4.429ft)

Largo: 0.70m (2.297ft)

Altura: 1.00m (3.281ft)

- **Tipo de aislamiento**

Aislamiento: Corcho Espesor: 5mm (0.1968 in).

Espesor de pared: 1in (0.0833ft)

- **Temperaturas del sistema de refrigeración.**

Temperatura exterior de la cámara: 61.7°F

Temperatura de almacenamiento: 33.8°F

Diferencial de temperatura (ΔT)

$$\Delta T = (61.7 - 33.8)^{\circ}F$$

$$\Delta T = 27.72^{\circ}F$$

Peso total del producto: 9kg (19.8lbs)

5.7.1. Carga térmica generada por las paredes (Q_1)

- Cálculo del área (A)

$$A = 2 * [(a * b) + (b * c) + (a * c)]$$

$$A = 2 * [(2.297 * 4.429) + (2.297 * 3.297) + (4.429 * 3.281)]$$

$$A = 64.483ft^2$$

- Coeficiente global de transferencia de calor (U)

De la tabla 7 el valor del coeficiente global de transferencia de calor que le corresponde a 1in de espesor de corcho es de U=0.3

Tabla 7
"U" valores de diversos aislamientos

Material	Espesor (pulgadas)	"R"	"U"	Material	Espesor (pulgadas)	"R"	"U"
Espuma de TPoliestireno	1	5.0	0.2	Bastones de fibra de vidrio	1	3.0	0.33
Styrotoam "SM" (Azul)	2		0.1		2.5		0.15
	3		0.07		3.5		0.1
	4		0.05		6		0.07
Raíz de Styrotoam (Azul)	5		0.07	Corcho	1	3.3	0.3
	6		0.035		2		0.18
	8		0.025		3		0.1
Espuma de poliuretano	1	6.25	0.16		4		0.075
	2		0.08		5		0.07
	3		0.055		6		0.06
	4		0.04		8		0.04
	5		0.032		9		0.02
	6		0.027		10		0.01
	8		0.02	Aserin	1	1.68	0.60
Fibra de vidrio rígida	1	4.0	0.25		6		0.1
Styrotoam	1	3.57	0.28	Madera	1	1.2	0.85
Beadboard (White)	2		0.14				
	3		0.09	Blackjoe	0.5	1.0	0.8

CONTINÚA



4	0.07	Hormigòn	1	0.1	10
5	0.055				
6	0.045				
8	0.035				

Fuente: (Amer, 2013)

- **Factor de ganancia de transmisión de calor (U_{Fg})**

Con los valores obtenidos del coeficiente global de transferencia de calor de 0.3 y el diferencial de temperatura de 27.9°F se puede determinar el factor de ganancia de transmisión de calor con la ayuda de la tabla 8.

Tabla 8

Factor de ganancia de transmisión de calor

Aislamiento de la pared factor "U"	Designación de diferencial de temperatura (°F)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0.01	2.4	4.8	7.2	9.6	12	14.4	16.8	19.2	21.6	24
0.02	4.8	9.6	14.4	19.2	24	28.8	33.6	38.4	43.2	48
0.025	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
0.030	7.2	14.4	21.6	28.8	36	43.2	50.4	57.6	64.8	72
0.035	8.4	16.8	25.2	33.6	42	50.4	58.8	67.2	75.6	84
0.040	9.6	19.2	28.8	38.4	48	57.6	67.2	76.4	86.4	96
0.045	10.6	21.6	32.4	43.2	54	64.8	75.6	86.4	97.2	108
0.050	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
0.055	13.2	26.4	39.6	52.8	66	79.2	92.4	105.6	118.8	132
0.060	14.4	28.8	43.2	57.6	72	86.4	100.8	115.2	129.6	144
0.065	15.6	31.2	46.8	62.4	78	93.6	109.2	124.8	139.4	156

Fuente: (Amer, 2013)

Con los valores de la tabla 8 que se encuentran encerrados en el recuadro realizamos la interpolación para encontrar el valor del factor de ganancia de transmisión de calor, cuando la temperatura es de 27.9°F.

$$U_{Fg} = 14.4 + \frac{(21.6 - 14.4) * (27.9 - 20)}{(30 - 20)}$$

$$U_{Fg} = 20.08 \frac{BTU}{24h * ft^2}$$

$$Q_1 = A * U_{Fg} * \Delta T$$

$$Q_1 = 64.483ft^2 * 20.08 \frac{BTU}{24h * ft^2}$$

$$Q_1 = 1294.818 \frac{BTU}{24h}$$

5.7.2. Carga térmica generada por el producto (Q_2)

Para determinar la carga térmica generada por el producto, se tomó como referencia la lechuga, ya que se necesita el valor de calor específico de un producto, como se indica en la tabla 9.

Tabla 9

Requisitos y propiedades de los productos perecederos

Producto	Temperatura de almacenamiento (°F)	Humedad relativa %	Duración aproximada de almacenamiento	Contenido de humedad %	Mayor congelación	Calor específico por encima de 32°F $\frac{BTU}{lb^{\circ}F}$	Calor específico por debajo de 32°F $\frac{BTU}{lb^{\circ}F}$	Calor latente
Brócoli	32	95-100	10 a 14 días	90	30.9	0.92	0.47	130
Caños de brucelas	32	95-100	3-5 semanas	85	30.6	0.88	0.46	122
col	32	95-100	5-6 meses	92	30.4	0.94	0.47	132
lechuga	32-34	95-100	2-3 semanas	95	31.7	0.96	0.48	136
Cebolla verde	32	95-100	3-4 semanas	89	30.4	0.91	0.47	127

Fuente: (TOTALINE, 2019)

c_p Calor específico

$$Q_2 = m * c_p * \Delta T$$

$$Q_2 = 19.8lbs * 0,96 \frac{BTU}{lbs^{\circ}F} * 27.72^{\circ}F$$

$$Q_2 = 526.90 \frac{BTU}{24h}$$

5.7.3. Carga total térmica (Q_{T1})

La carga térmica es la suma de todas las cargas generadas en el sistema.

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$Q_T = 1294,818 + 526.9$$

$$Q_T = 1821.718 \frac{BTU}{24h}$$

La carga térmica total usando un factor de seguridad de 10%.

$$Q_{T1} = (1821.718 + 0.1 * 1821.718) \frac{BTU}{24h}$$

$$Q_{T1} = 2003.889 \frac{BTU}{24h}$$

5.8. Cálculos

5.8.1. Cálculo para capacidad del evaporador

- **Salto térmico (Δt_1)**

Para el cálculo de la capacidad del evaporador se parte de la humedad relativa del 90%, para este valor de humedad el salto térmico es de 5°C, cuyo valor fue sacado de la figura 14.

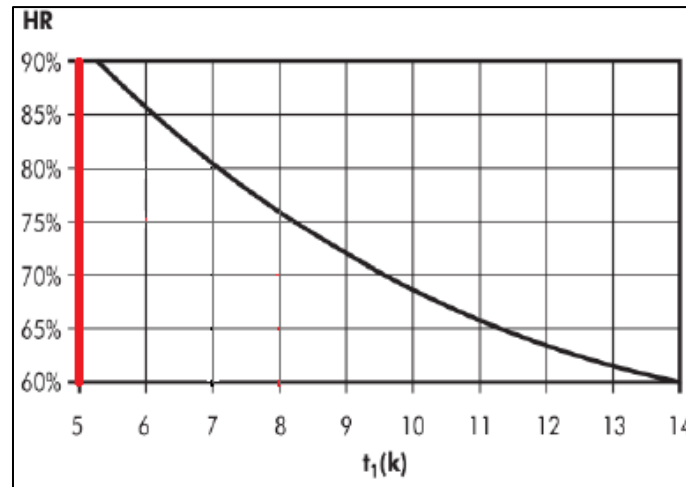


Figura 14. Grafica para el salto térmico
Fuente: (Amer, 2013)

- **Factor de corrección (F_c)**

Con los valores de la temperatura del evaporador y salto térmico, sacamos el factor de corrección de la figura 15, este valor es de 0.68.

T_{evap} Temperatura del evaporador

T_{camara} Temperatura de almacenamiento

$$T_{evap} = T_{camara} - \Delta t_1$$

$$T_{evap} = 1 - 5$$

$$T_{evap} = -4^\circ C$$

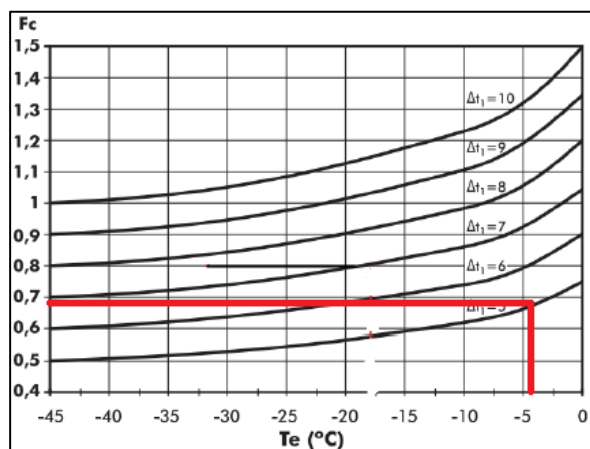


Figura 15. Gráfico para la obtención del factor de corrección
Fuente: (Amer, 2013)

- **Factor de refrigerante (F_r)**

Seleccionado el refrigerante hacer usado, se tiene el factor de refrigerante para el refrigerante R-22, en la tabla 10.

Tabla 10
Factor del refrigerante

Factor refrigerante (Fr)		
R-404a=1	R-22=0,95	R-134=0,90

- **Cálculo de la capacidad nominal (Q_n)**

Para el cálculo de la capacidad nominal del evaporador se partirá de la carga total térmica.

$$Q_{T1} = 2003.889 \frac{BTU}{24h} * \frac{0.0002931kw}{1 \frac{BTU}{24h}}$$

$$Q_{T1} = 0.5873kw$$

$$Q_n = \frac{Q_T}{F_c * F_r}$$

$$Q_n = \frac{0.5873kw}{0.68 * 0.95}$$

$$Q_n = 0.909kw$$

5.8.2. Cálculo del compresor

Para el cálculo del compresor se partirá de la temperatura exterior de la cámara de 61.7°F y de la temperatura de almacenamiento de 33.8°F y la humedad relativa del 90%.

- **Temperatura de condensación (T_{cond})**

En condensadores de aire, para la transferencia de calor sea rápida y las dimensiones sean las adecuadas la temperatura recomendada de salto térmico es de 15°F. (Carmona, 2009).

$$T_{cond} = T_{exterior} - \Delta t$$

$$T_{cond} = (61,7 + 15)^\circ F$$

$$T_{cond} = 76.7^\circ F$$

$$T_{cond} = 24,83^\circ C$$

- **Temperatura de evaporación (T_{evap})**

Para la temperatura de evaporación, se necesita sacar el salto térmico de la figura 14 al 90% de humedad relativa, por lo tanto, el valor de $\Delta t_1 = 5$

$$T_{evap} = T_{camara} - \Delta t_1$$

$$T_{evap} = (33.8 - 5)^\circ F$$

$$T_{evap} = 28.8^\circ F$$

$$T_{evap} = -1.777^\circ C$$

Con los valores de temperatura de condensación y la temperatura de evaporación y la ayuda del diagrama de Mollier del refrigerante R-22 (anexo A) se puede graficar la curva de refrigeración, del grafico se obtiene los siguientes valores que se muestra en la tabla 11.

Tabla 11
Datos de presión y entalpias en los puntos fijados

	Datos		
	Presión (Bar)	Entalpia (h_n) (Kj/Kg)	v_{esp} ($\frac{m^3}{Kg}$)
1	4.8	231	
2	4.8	401	0.052
3	10.2	434	
4	10.2	231	

- **Producción frigorífica específica neta (q_{om})**

La producción frigorífica neta es la diferencia de entalpias de entrada y salida del evaporador.

$$q_{om} = h_2 - h_1$$

$$q_{om} = 401 - 231$$

$$q_{om} = 170 \frac{kJ}{kg}$$

- **Flujo másico (\dot{m})**

Para el flujo másico se despejará de la fórmula de carga total térmica, para realizar este paso primero se tiene que pasar la carga térmica total de $\frac{BTU}{h}$ a $\frac{kJ}{h}$.

$$Q_{T1} = 2003.889 \frac{BTU}{h} * 1.055 \frac{\frac{kJ}{h}}{\frac{BTU}{h}}$$

$$Q_{T1} = 2114.103 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{T1} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{m} = \frac{Q_{T1}}{(h_2 - h_1)}$$

$$\dot{m} = \frac{2114.103}{170 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m} = 12.44 \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3600s}$$

$$\dot{m} = 0.00345 \frac{kg}{h}$$

- **Flujo de volumen teórico aspirado por el compresor (\dot{V})**

El valor del volumen específico se encuentra en la tabla 11

v_{esp} Volumen específico

$$\dot{V} = \dot{m} * v_{esp}$$

$$\dot{V} = 0.00344 \frac{kg}{h} * 0,052 \frac{m^3}{kg}$$

$$\dot{V} = 1.78 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

- **Flujo volumétrico real (V_R)**

Para el cálculo del flujo volumétrico, se tiene que calcular primero la relación de compresión para poder determinar el rendimiento volumétrico y con estas condiciones poder hallar el flujo volumétrico.

r_c Relación de compresión

P_f Potencia de alta

P_o Potencia de baja

$$r_c = \frac{P_f}{P_o}$$

$$r_c = \frac{10.2 \text{ bar}}{4.8 \text{ bar}}$$

$$r_c = 2.125$$

(η_v) Rendimiento volumétrico del compresor

$$\eta_v = 1 - 0,04 * r_c$$

$$\eta_v = 1 - 0,04 * 2,125$$

$$\eta_v = 0,915$$

$$V_R = \frac{\dot{V}}{\eta_v}$$

$$V_R = \frac{1.78 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.915}$$

$$V_R = 1.94 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- **Potencia teórica del compresor (W'_c)**

Los valores de entalpías de h_2 y h_3 se encuentran en la tabla 11, con estos valores se encontrará el valor equivalente del trabajo calórico de la compresión y multiplicado con el flujo de la masa se halla la potencia del compresor.

$$W'_c = \dot{m} * (h_3 - h_2)$$

$$W'_c = 0,0034 * (434 - 401)$$

$$W_c' = 0,120 \frac{kJ}{s}$$

- **Potencia real del compresor (W_c)**

Para que el ciclo planteado se lleve a cabo con éxito se debe elegir un compresor con una potencia mayor que la potencia teórica del compresor por lo que este valor se lo dividirá para el rendimiento volumétrico que es casi igual que el rendimiento indicado.

$$W_c = \frac{W_c'}{0.88}$$

$$W_c = \frac{0.120}{0.88}$$

$$W_c = 0.136 \frac{kJ}{s}$$

Como se sabe que todas las maquinas no tienen un trabajo del 100%, los fabricantes recomiendan multiplicar un 20%, de la potencia real del compresor. (Carmona, 2009)

$$W_c = 0.136 \frac{kJ}{s} + (0.2 * 0.136)$$

$$W_c = 0,1632 * \frac{1,359Hp}{1kw}$$

$$W_c = \mathbf{0.221 Hp}$$

5.9. Selección de elementos.

Para la selección de los elementos se realizaron cambios en el dimensionamiento, este cambio se realizó pensando para futuros proyectos, ya que en implementación de instrumentos de medida en sistemas de refrigeración, el uso de la válvula de expansión electrónica conllevan un amplio estudio en sistemas de refrigeración controlados y

monitoreados por un computador, el área educativa también tiene que ir conjuntamente con el avance de la tecnología y de esta forma fortalecer el conocimiento mediante la implementación de estos módulos en el laboratorio de refrigeración, e instruir a los estudiantes a un nivel de conocimiento como exige la industria en la actualidad.

5.9.1. Selección de refrigerante

Para la selección del refrigerante se tomó en cuenta tres tipos de refrigerante tales como el R-22a, R-134a, R-404a estos son más usados en la construcción de los módulos, este dato nos proporcionó en la investigación realizada en el capítulo 3. Para realizar la selección del refrigerante se analizó las características más importantes representadas en la tabla 12.

Tabla 12

Características termo físicas de seguridad e impacto ambiental de los refrigerantes

Características	Refrigerante		
	R-22a	R-134a	R-404a
Calor latente de vaporización (BTU/lb)	88,45	84,307	73,95
Volumen específico de vapor $\left(\frac{ft^3}{lb}\right)$	0,71	1,041	0,51
Efecto refrigerante (BTU/h)	64,24	58,867	43,86
Hp por tonelada de refrigerante	1,13	1,06	1,19
Coefficiente de rendimiento (C.O.P.)	4,16	4,41	3,92
Temperatura de descarga del compresor (°C)	60	48,8	50
Presión evaporador(Psi)	76,314	44,915	101,52
Presión condensante(Psi)	243,4	161,04	290,07
Inflamabilidad y explosividad	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Costo de refrigerante 24lb(USD)	85,7	183,64	202
Ozone depletion potential (ODP)	0,05	0	0
Disponibilidad del mercado	Si	Si	Si

Fuente: (Amer, 2013)

Tabla 13

Matriz de evaluación para selección de diferentes alternativas de refrigerante

Características	Refrigerante		
	R-22a	R-134a	R-404a
Calor latente de vaporización (BTU/lb)	3	2	1
Volumen específico de vapor ($\frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}$)	2	1	3
Efecto refrigerante (BTU/h)	3	1	2
Hp por tonelada de refrigerante	2	1	3
Coeficiente de rendimiento (C.O.P.)	2	1	3
Temperatura de descarga del compresor (°C)	1	3	2
Presión evaporadora (Psi)	2	3	1
Presión condensante (Psi)	3	2	1
Inflamabilidad y explosividad	3	3	3
Costo de refrigerante 24lb (USD)	3	2	1
Ozone depletion potential (ODP)	2	3	3
Disponibilidad del mercado	Si	Si	Si
Suma	26	23	23

Fuente: (Amer, 2013)

Mediante criterios y de valoración definidos en la tabla 13, para el requerimiento del módulo se calificó de la siguiente manera.

- 3 = Excelente
- 2 = Regular
- 1 = Malo

Se puede concluir que el refrigerante que nos da más beneficios para la construcción del módulo, es el refrigerante R-22a, ya que el sistema solo va hacer un módulo educativo y va simular un sistema de transporte de refrigeración, otro beneficio es el costo es menor en comparación con los otros refrigerantes, una desventaja es que contiene elementos contaminantes para el medio ambiente, a pesar de estos parámetros de ventaja y desventaja el refrigerante R-22a, se seleccionó como el más adecuado para el módulo.

5.9.2. Evaporador

Es el responsable de acondicionar y enfriar la cámara, el elemento puede estar dentro o fuera de la misma, el objetivo de este es que ingrese el refrigerante a baja presión y temperatura, la cual lo efectúa el enfriamiento de la cámara. Para la selección se debe tener en cuenta la capacidad frigorífica es de 2,5 kW y el tipo de refrigerante R-22a. Con los parámetros antes mencionados, con la ayuda del catálogo de la empresa INTERCAL se pudo seleccionar un modelo del evaporador ECC-6A-252713V como se puede observar en la tabla 14, ya que nos proporciona una mayor potencia frigorífica que la teórica, de acuerdo a la norma española de intercambiadores de calor UNE-EN 328.

$$2,5 \text{ kW} * \frac{859,85 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{1 \text{ kW}} = 2149.625 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Tabla 14
Catálogo de evaporadores Intercal

Modelo	Capacidad			Superficie e intercam.	Caudal de aire	ventilador	Calefactor	Conexiones			Vol.		
	Tev 0°C DT °8	Tev - 8°C DT °8	Tev - 28°C DT °8					N°*Pot./Con s	Entr.	Sali.		Des	Int.
	Kcal/hr	Kcal/hr	Kcal/hr										
ECC 6A- 252/9	2.226	2.178	1.792	8.6	2.800	2*250	3*953W/4.3 A	5/8"	5/8"	HE 1"	2		
ECC 6A- 252/13	2.977	2.913	2.397	12.9	2.740	2*250	3*953W/4.3 A	5/8"	5/8"	HE 1	3		
ECC 6A- 253/13	3.339	3.267	2.689	12.9	4.200	2*250	3*953W/4.3 A	5/8"	5/8"	HE 1	2.9		

Fuente: (INTERCAL, 2014)

5.9.3. Compresor

Para la selección del compresor se tomó en cuenta la temperatura de evaporación de -1.77°C y una temperatura de condensación de 24,83 y para una capacidad frigorífica de $2321.595 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$, con estos datos se determinó que una unidad condensadora

“TECUMSEH” CAJ4517EHZ que tiene una capacidad frigorífica de evaporación $2520 \frac{kcal}{h}$ con una potencia del compresor de $1 \frac{1}{2} HP$, cómo se puede observar en la tabla 15, por lo tanto, la unidad condensadora cumple con los parámetros requeridos por el módulo, según las normas IEC 335-2-34:2000, ISO 917:2000 y7 la UNE-EN 12900.

Tabla 15
Catálogo de unidades condensadoras Tecumseh

Fluido refrigerante	Referencia comercial	Modelo	Temper. ambiente	Capacidad frigorífica temperatura del evaporador							
				20°C	15°C	10°C	-5°C	-0°C	5°C	10°C	15°C
R-22	1 1/3	CAJ9513T	32°C	1.078	1.376	1.692	2.027	2.379	2.750	3.139	--
			43°C	928	1.194	1.479	1.782	2.103	--	--	--
	1 1/5	CAJ4517E	32°C	1.362	1.703	2.090	2.520	2.995	3.515	4.078	4.686
			43°C	--	1.478	1.825	2.215	2.647	3.121	3.639	--
	2	FH/TFH4524F	32°C	1.774	2.328	2.929	3.578	4.274	5.017	5.808	6.646
			43°C	--	2.019	2.558	3.144	3.777	--	--	--

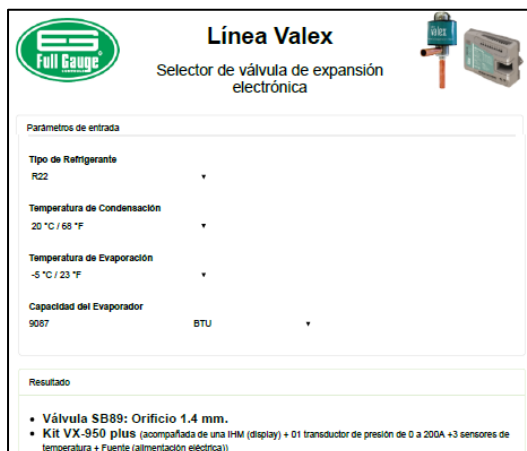
Fuente: (Tecumseh, 2019)

5.9.4. Válvula de expansión electrónica (VEE)

En la selección de la válvula de expansión electrónica se ingresó a la página web de la empresa FullGauge, en el apartado de selección de válvulas electrónicas, en esta parte pide ingresar los valores indicados en la tabla 16, la selección fue la válvula SB89 con un orificio de 1,4mm que se indica en la figura 16.

Tabla 16
Datos técnicos para la selección de la VEE

Refrigerante	R22
Temperatura del condensador	24.83°C
Temperatura del evaporador	-1.77°C
Potencia frigorífica del evaporador	$P_f = 2.5kw$



Línea Valex
Selector de válvula de expansión electrónica

Parámetros de entrada

Tipo de Refrigerante	R22	▼
Temperatura de Condensación	20 °C / 68 °F	▼
Temperatura de Evaporación	-5 °C / 23 °F	▼
Capacidad del Evaporador	9087	BTU ▼

Resultado

- Válvula SB89: Orificio 1.4 mm.
- Kit VX-950 plus (acompañada de una iHM (display) + 01 transductor de presión de 0 a 200kA +3 sensores de temperatura + Fuente (alimentación eléctrica)).

Figura 16. Selección de la VEE
Fuente: (FULLGAUGE, 2019)

5.9.5. Control de la válvula

Para la selección del control de la válvula, ya fue proporcionado por la empresa al momento de selección de la válvula de expansión electrónica, el control es el VX-950 plus, que viene incluido en el kit de la válvula.



Figura 17. Controlador VX-950
Fuente: (Fullgauge, 2019)

5.9.6. Sensor de presión

Tomando en consideración los parámetros de diseño calculados del controlador de la válvula de expansión electrónica se concluyó que se ocupará el sensor de presión SB-

69 que posee las siguientes características que se indica en la tabla 17, que viene incluido en el quit del control de la válvula.

Tabla 17

Datos técnicos del transductor de presión – SB69

Material	Acero inoxidable, gran estabilidad y precisión, es inmune a interferencias y vibraciones		
Rango de presión	(0 a 100)psi	(0 a 200)psi	(0 a 500)psi
Rango de temperatura	-25°C a 80°C		
Tipo de conexión	$\frac{1}{4}$ " SAE para tubo		
Tensión de salida	(0,5 a 4,5) Vdc		
Corriente de salida	(4 a 20) mA		
Fluidos a ser usados	Aire comprimido, aceite y refrigerante (incluido amoniaco)		

Fuente: (FullGauge, 2019)



Figura 18. Sensor de presión SB-69

Fuente: (FullGauge, 2019)

5.9.7. Sensor de temperatura

De acuerdo a las especificaciones técnicas en las cuales el sistema se rige, los sensores de medición de temperatura que el mercado nos ofrece, se eligió el SENSOR SB59 como se indica en la figura 19, para censar las variaciones de temperatura del refrigerante R-22a, que está fabricado con cable de silicona una capsula de acero inoxidable y opera a temperaturas de -50°C a 200°C, que viene incluido en el quit del control de la válvula.



Figura 19. Sensor de Temperatura SB-59
Fuente: (FullGauge, 2019)

5.9.8. Convertidor de adquisición de datos

Tomando en cuenta las alternativas que presenta el mercado en la actualidad sobre convertidores de datos, la mejor alternativa es el convertidor de datos USB/RS-485 FULLGAUGE CONV32EX como se indica en la figura 20, con el software Sitrad, ya que este nos brinda una interfaz de programación amigable con la pc y una velocidad alta en la transferencia de datos. La función de este es comunicar el controlador con la computadora a través de la conversión de señal estándar RS-485. El CONV32 se conecta al computador o Sitrad InBox a través de un cable USB.



Figura 20. Convertidor de datos USB/RS-485
Fuente: (FullGauge, 2019)

5.10. Software EES

En la selección de un software que permita realizar la curva de refrigeración, la mejor opción es el Engineering Equation Solver, es un software que permite la resolución de

operaciones matemáticas, la principal característica de EES, es que se pueden desarrollar ejercicios de ecuaciones termodinámicas en alta precisión gracias a que en su base de datos tiene propiedades de diferentes sustancias termodinámicas de refrigerantes como se puede observar en la figura 21.

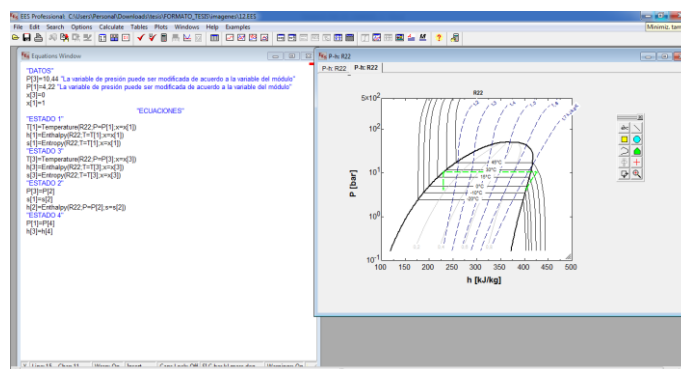


Figura 21. Software EES
Fuente: (universitarios, 2018)

5.11. Diseño del módulo didáctico

5.11.1. Diseño del modulo

Una vez realizado los cálculos y selección de elementos que intervendrán en la construcción del módulo, se procederá a diseñar los esquemas de cómo está estructurado, el circuito de refrigeración, circuito de fuerza, circuito de control.

- **Diseño de la estructura**

La estructura (anexo B), el material a ser usado es tubo rectangular metálico, la estructura va estar dividida en dos secciones en la sección inferior se colocará la unidad condensadora y en la parte superior el evaporador, esta sección será aísla del medio con tableros de madera, adicional a esto se colocará unas ruedas para transporte.

- **Diseño del circuito de refrigeración, equipado con sensores**

El circuito de refrigeración está diseñada de la siguiente forma, el compresor que se une a un separador de aceite mediante tubería de cobre, de este punto se dirige con tubería de cobre hacia el condensador en este punto se realiza una intervención a la tubería para la colocación del transductor de presión en alta, adicional se ubicara un sensor de temperatura de descarga, de la salida del condensador parte otra línea que une los siguientes elementos, tanque líquido, filtro secador, visor, válvula selenoide, válvula de expansión electrónica y finalmente con la entrada del evaporador todos estos puntos se une con tubería de cobre, en esta línea se ubicara un sensor de temperatura del líquido refrigerante, en el evaporador se ubicara el sensor de temperatura del evaporador y otro de la temperatura ambiente, a la salida del evaporador se realizara una intervención a la tubería para la ubicación de un transductor de presión de baja, adicional se colocara un sensor de temperatura de succión, esta línea se dirigirá hacia un filtro de succión y un acumulados de succión para finalmente dirigirse a la entrada del compresor y completar el ciclo de refrigeración, observar el esquema del anexo C.

- **Diseño del circuito de fuerza**

El circuito eléctrico va hacer de dos líneas a un voltaje de 220V, el circuito va a tener un breaker principal, y dos breakers secundarios, de estos se partirá hacia unos contactores para al final unirse con la unidad condensadora y con el evaporador, el equipo contará con una caja térmica para la distribución de energía a los diferentes equipos y elementos del módulo, observar el anexo D.

- **Diseño de los circuitos de los controladores**

Del breaker principal sale una línea hacia un transformador reductor de 220/12 V, de la línea de 12V se dirige se conecta a una caja de borneras, en este punto se conecta el control VX 950 de la válvula de expansión electrónica, el control PCT-410R, el control TC-900E se conecta directo a la línea de 220V, observar los esquemas del anexo D y anexo E.

- **Diseño de distribución en la caja térmica y panel de control.**

Los elementos tanto de fuerza, protección y control estarán distribuidos como se indica en el esquema del anexo F.

En el panel de control se ubicará los interruptores de encendido del evaporador, compresor, selenoide, con sus respectivas luminarias de accionamiento, se colocará un paro de emergencia, en esta sección también se visualizarán las pantallas de los controles, como se observa en el anexo G.

El módulo de refrigeración se va a componer de los siguientes elementos y distribuida como se observa en la figura 22.

- 1) Base de estructura metálica
- 2) Unidad condensadora
- 3) Evaporador
- 4) Caja de control

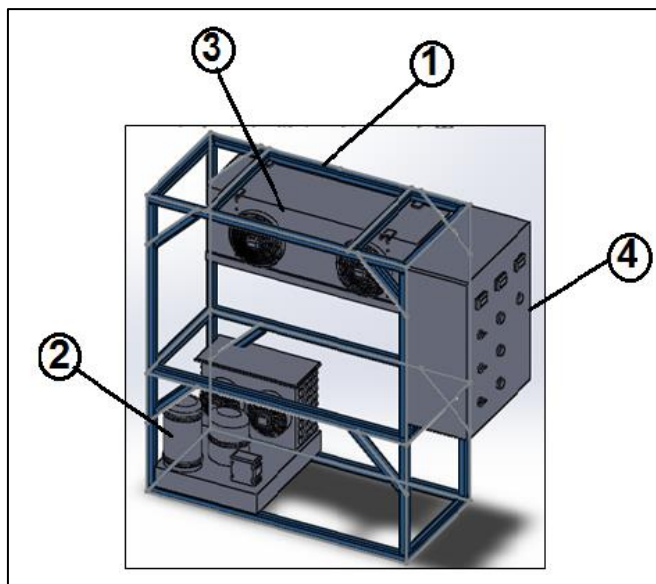


Figura 22. Representación del módulo de refrigeración

Enfocado a la propuesta de funcionalidad que va a presentar el módulo de refrigeración instrumentado, se procedió a realizar un bosquejo con la ayuda de un software de diseño, como se puede observar en la gráfica 22, el módulo contara con una estructura de soporte metálica, en su parte inferior izquierda se encuentra la unidad condensadora con la respectiva válvula de expansión electrónica, en la parte superior derecha de encuentra el panel de control tanto de la válvula y del módulo, y en la parte superior de la unidad condensadora se encuentra ubicado la unidad de evaporación, Es bosquejo se realizó con la finalidad de tener una idea para la construcción del módulo ya en físico y cómo va a ir distribuidos los componentes que lo constituirán

5.12. Implementación

5.12.1. Estructura soporte

Para la construcción de la estructura soporte se tomó en cuenta los componentes involucrados en el sistema de refrigeración tal como unidad condensadora, evaporador,

sistemas de control. Se consideró una altura razonable tomando en cuenta cada uno de los componentes, y el espacio razonable para una adecuada ventilación. Adicional a esto se colocaron cuatro ruedas giratorias con sus respectivos bloqueos de uso industrial para un mejor traslado e inmovilidad al momento de hacer las prácticas, como se indica en la figura 23.



Figura 23. Estructura metálica

5.12.2. Montaje de la unidad condensadora

Se instalara la unidad condensadora a una distancia prudente de la pared y de cualquier obstrucción, para la verificación que pueda circular libremente el aire del condensador, ya que si esto no sucede se verá afectado en el desempeño del equipo, la unidad tuvo algunas modificaciones por el motivo que se va a trabajar con la VEE, las modificaciones realizadas fue agregar a la unidad un separador de aceite y un acumulador de líquido, adicional a esto la tubería fue modificada para la ubicación de los sensores, como se puede observar en la figura 24.



Figura 24. Unidad condensadora

5.12.3. Montaje del evaporador

La instalación del evaporador está recomendada por el fabricante a una altura prudente, en el caso nuestro lo ubicamos sobre la unidad condensadora en una sola estructura esto se lo realizo por espacio del módulo que no sea demasiado grande, como se ve en la figura 25.



Figura 25. Unidad evaporadora

5.12.4. Montaje de la válvula de expansión electrónica (VEE)

Continuando con la construcción del módulo se procedió al montaje del elemento, para el acoplamiento se debe tener presente la orientación de la válvula de expansión electrónica, como una recomendación es favorable colocar una válvula selenoide antes

de la VEE a una distancia de (5 a 20) cm, esto se lo hace en el caso de que haga falta de energía, como se puede observar en la figura 26.

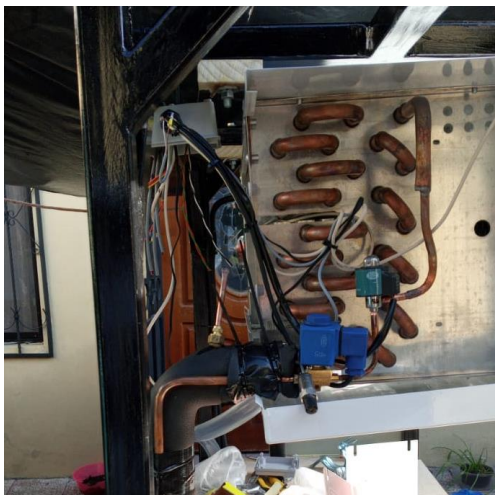


Figura 26. Montaje de la VEE

5.12.5. Montaje del tablero de control

Enfocado a la utilidad y funcionalidad que va a tener el módulo de refrigeración se proyectó que el tablero de control sea ubicado al lado derecho del sistema de refrigeración para una mayor comodidad y manipulación, en la parte interna se encuentra ubicados los breakers de la unidad condensadora, del evaporados y un apagado principal, adicional a esto se encuentra ubicado el control VX-950 plus. En su parte externa las pantallas de control de la válvula de expansión electrónica, control de presión de descarga, control de temperatura descarga y líquido, y los interruptores del compresor, evaporados y selenoide, como se ve en la figura 27.



Figura 27. Tablero de control

5.12.6. Montaje de sensores de presión

En la instalación de los sensores de presión se realizó una intervención en la línea de distribución del refrigerante, según lo requerido para la realización de la curva de refrigeración, las intervenciones tienen que realizarse en la entrada de la selenoide y a la salida del compresor, estos puntos son necesarios para la recolección de datos de presiones, como se puede observar en la figura 28.



Figura 28. Sensor de presión

5.12.7. Montaje de los termistores

Tomando en cuenta los puntos específicos para el montaje de los termistores en la línea de tubería de refrigeración, estos sensores fueron distribuidos en los siguientes

puntos, un sensor al interior del evaporador para medir la temperatura de evaporación, uno a la entrada y otro a la salida del condensador la ubicación de estos sensores son puntos claves en el ciclo de refrigeración, adicional tiene un sensor de medición de temperatura ambiente, para la ubicación de estos sensores se lo realizo mediante correas plásticas, como se observa en la figura 29.



Figura 29. Sensor de temperatura

5.12.8. Conexión del módulo con el pc

Una vez concluida la construcción del módulo, como paso final queda la conexión del módulo con una Pc, esto se lo realizada mediante un convertidor de datos USB/RS-485 que sale del control VX-950 plus y con la instalación del software Sitrad para poder observar los datos requeridos.

5.13. Pasos para el encendido y apagado del modulo

- **Encendido**

- 1) Subir el breiker principal, que se encuentra en la parte interna de la caja de control.
- 2) Ubicar el interruptor en la posición ON del evaporador y compresor
- 3) Esperar alrededor de cinco minutos y encender el interruptor de la selenoide

- **Apagado**

- 1) Ubicar el interruptor de la selenoide en OFF
- 2) Esperar un tiempo prudente hasta que el sistema se apague automáticamente
- 3) Apagar el interruptor del compresor y evaporador
- 4) y bajar el breiker principal

5.14. Pasos para toma de datos

Se va usar el software SITRAD LOCAL 4.13 para la adquisición de datos por lo que se detallara los pasos a seguir.

- 1) Encendido del equipo del módulo sea el caso el sistema de refrigeración.
- 2) Interactuar mediante el cable USB del convertidor de datos que se encuentra conectado al equipo, hacia un ordenador en el cual este instalado el software Sitrad.
- 3) Abrimos el software Sitrad
- 4) Dirigirse hacia la pestaña de comunicación, que se encuentra en la parte superior izquierda, dar un clic en la sección que dice buscar estación, se desplegara una ventana en el recuadro que dice dirección escribimos el numero 1 (tomar en cuenta estos parámetro para las demás direcciones, para los equipos que es la PCT-410i plus es 2 y para la estación TC-900E log es 3) damos clic en buscar y luego cerramos, en la parte inferior aparecerá una pestaña con la estación VX-950 plus, una vez ya reconocida la estación damos clic en la parte de iniciar.



Figura 30. Captura Sitrad

Realizar el paso cuatro para cada una de las estaciones esto realizara en el caso de que se instale el Sitrad por primera vez

- 5) Esperar un ciclo de encendido completo del banco de pruebas
- 6) Tomar en cuenta cuando el banco de pruebas arranca y se este se apaga para la recolección de datos.
- 7) Volver hacia el software Sitrad
- 8) Dar un clic en el botón interrumpir (clave 123) y ok
- 9) Dirigirse hacia la parte superior izquierda a la pestaña damos clic en archivo/ generador de informes
- 10) Se despliega una ventana se dirigirá a la parte donde dice instrumentos, seleccionamos la estación que deseamos damos doble clic
- 11) Se despliega una nueva ventana, en la parte de periodo podemos seleccionar nuestro rango de tiempos de selección de datos y seleccionamos las variables que deseamos extraer del sistema
- 12) Clic en adicionar/generar.

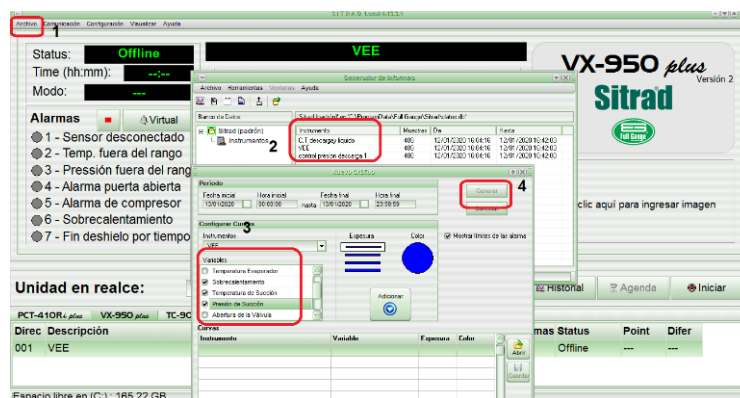


Figura 31. Captura Sitrad

13)de la ventana de la gráfica damos clic en herramientas/informe texto/control de presión de descarga

14)La acción se va a repetir para la obtención de datos de las diferentes estaciones que se tienen en el módulo de refrigeración.

15)En la ventana texto dar un clic en editar/seleccionar todo

16) De nuevo nos dirigimos a editar/copiar texto

17)Abrir un documento de Excel y pegamos los datos copiados con anterioridad

- **Generar un resumen de los datos en Sitrad**

1) De la ventana de informe texto

2) Dirigirse hacia la pestaña archivo, dar un clic en archivo/generar resumen, en esta se observará los valores tanto mínimos, medios y máximo en que el sistema a estado operando.

Para un mayor entendimiento puede visitar la siguiente página de FullGauge que presenta en videos como se puede realizar la toma de datos si le quedo alguna duda, la página es: <https://www.fullgauge.com/es/videos/sitrad>

5.15. Programación para la gráfica del ciclo de refrigeración

La programación fue realizada con el software EES para la realización de las ecuaciones necesarias para la obtención del ciclo ideal de refrigeración, en su base de datos tiene las propiedades físicas y químicas del refrigerante R-22, adicional a esto nos proporciona el diagrama de Mollier, la programación fue desarrollada para el ingreso de los valores de presiones que proporcionen el módulo.

Programación

"DATOS"

$P[3]=10,44$ "La variable de presión puede ser modificada de acuerdo a la variable del módulo"

$P[1]=4,22$ "La variable de presión puede ser modificada de acuerdo a la variable del módulo"

$x[3]=0$

$x[1]=1$

"ECUACIONES"

"ESTADO 1"

$T[1]=\text{Temperature}(\text{R22};P=P[1];x=x[1])$

$h[1]=\text{Enthalpy}(\text{R22};T=T[1];x=x[1])$

$s[1]=\text{Entropy}(\text{R22};T=T[1];x=x[1])$

"ESTADO 3"

$T[3]=\text{Temperature}(\text{R22};P=P[3];x=x[3])$

$h[3]=\text{Enthalpy}(\text{R22};T=T[3];x=x[3])$

$s[3]=\text{Entropy}(\text{R22};T=T[3];x=x[3])$

"ESTADO 2"

$P[3]=P[2]$

$s[1]=s[2]$

$h[2]=\text{Enthalpy}(\text{R22};P=P[2];s=s[2])$

"ESTADO 4"

$P[1]=P[4]$

$h[3]=h[4]$

5.16. Pasos para graficar en EES

- 1) Abrimos el software gratuito EES, presionamos la pestaña Preferences, se abre una ventana nos dirigimos hacia el recuadro de Pressure Units y seleccionamos en (bar).
- 2) Transcribimos la programación del apartado 5.15, nos ubicamos en el dibujo que dice Solve y damos clic, esta parte es para que el programa corra y tenga información para la gráfica.
- 3) Una vez realizado el paso 2 se ubica en la viñeta que dice Plots da un clic.
- 4) Se dirige al literal Property Plot da clic, se abre una ventana, en ella se escoge el tipo de refrigerante y el tipo de grafica que se requiera, pinchamos en OK, a continuación, se observara una ventana con el diagrama de Mollier.
- 5) Se direccionará nuevamente a la viñeta Plots damos un clic, ahora seleccionamos el literal Overlay Plot da un clic, se abrirá una ventana en ella seleccionamos las variables para el eje (X) la entalpia (h_i) y para el eje de las (Y) la presión (P_i) y pinchamos en OK,

- 6) Una vez realizado todos los pasos anteriores se podrá observar la curva de refrigeración en el diagrama de Mollier del refrigerante R-22a

5.17. Pruebas

Para la tabulación de los datos que se registre de los instrumentos de medición del módulo de refrigeración, se realizara en la hoja de pruebas de la tabla 18, la que permite dar el seguimiento al funcionamiento del sistema de refrigeración en diferentes puntos tanto en la temperatura como presión en el lado de baja como en el lado de alta mediante el ciclo de refrigeración, estos valores pueden ser tomado del panel de control o también del software Sitrad, para la realización de pruebas se tomó los datos que me proporciona generar resumen de Sitrad.

Tabla 18
Tabulación de datos

Mediciones	
Presión de alta (psi)	139
Presión de baja (psi)	52
Sobrecalentamiento (°C)	13.5

Antes de ingresar los datos mencionados en la tabla 18 de presiones, en el programa realizado en el software EES debemos realizar la transformación de psi a bar.

$$139psi * \frac{0.0689bar}{1psi} = 9.577bar$$

$$52psi * \frac{0.0689bar}{1psi} = 3.58bar$$

A estos valores de presiones calculadas se les suma mas 1bar de presión atmosférica, por lo que nos dara 10.577bar de presión en alta y 4.58bar de presión de

baja, con estos valores y con la ayuda del programa mencionado en el literal 5.15, se logro realizar la grafica del ciclo de refrigeración ideal en el diagrama de Mollier como se puede observar en la figura 32.

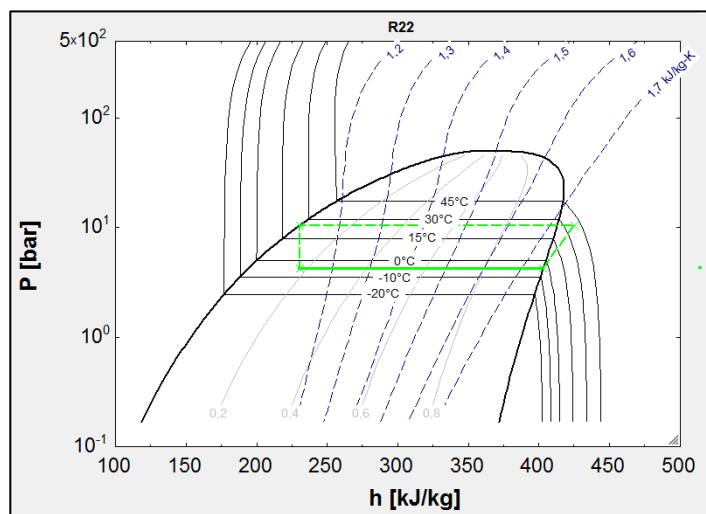


Figura 32. Curva de refrigeración de prueba

Para el análisis del ciclo de refrigeración un poco más detallado se escogió los puntos donde sucede el cambio de estado, como se puede observar en la figura 33.

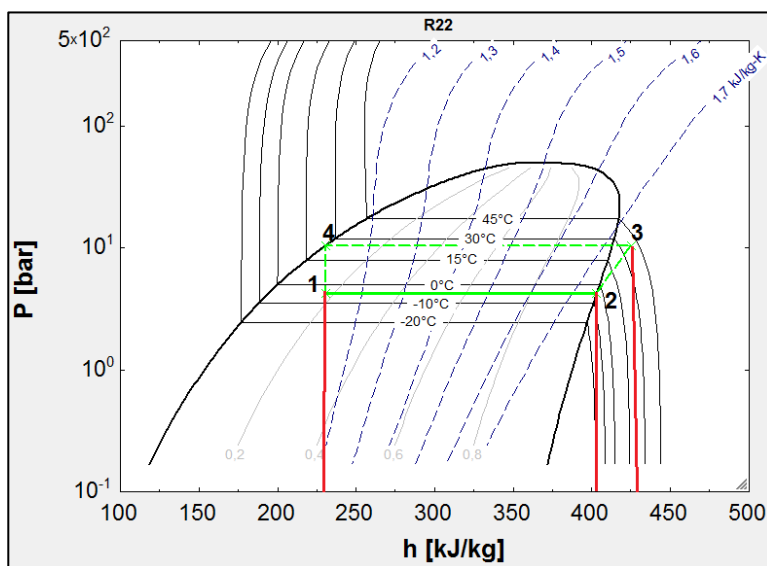


Figura 33. Análisis del ciclo de refrigeración

Se ha tomado datos del funcionamiento del módulo de refrigeración instrumentado, los cuales serán representados en el diagrama de Mollier, esto se lo realiza para ver si está funcionando correctamente la máquina.

Los datos tomados son la presión de alta que es de 10.557bar una temperatura de condensación 24.98°C, la presión del lado de baja que es de 4,58bar con una temperatura de evaporización de -4.994°C, con estos dos valores trazamos las líneas por las que se va a mover el ciclo de refrigeración.

Partiremos de la entrada del evaporador, desde el punto 1 hacia el punto 2 en esta sección se tendrá una presión constante a una temperatura baja con un trabajo realizado de 172.7 kJ/kg, este trabajo hace que la temperatura del evaporador se encuentre a -4.994°C, mientras que en los cálculos realizados se necesita un trabajo de 170 kJ/kg para una temperatura del evaporador de -2.33°C, como se puede observar a nivel de trabajo de energía se encuentran casi por las mismas cantidades, en lo que varía es en la temperatura alrededor de -2.664°C, el valor sigue dentro de un rango aceptable.

Partiendo desde el punto 2 hacia el punto el punto 3 se grafica una línea perpendicular a las líneas de entropía, en esta línea es por donde se mueve el compresor y realiza la compresión del refrigerante, en esta sección se puede observar el trabajo que realiza el compresor que tiene un valor de 22.2 KJ/kg del sistema, mientras que el calculado es de es de 35kJ/kg.

Del punto 3 que es del condensador trazamos una línea recta hasta el punto 4, que es la salida del condensador, el trabajo realizado por el condensador es igual a la suma del trabajo del evaporador más la suma del trabajo realizado por el compresor por

lo que tiene un valor más elevado que los demás componentes que es de 194.9kj/kg del módulo, y el valor calculado de trabajo es de 205kj/kg.

Del punto 4 se pasa a la válvula de expansión electrónica en esta sección se bajará una línea vertical hasta el punto 1 que es la entrada del evaporador, en esta sección unimos los puntos y finalmente tendremos el ciclo cerrado ideal de refrigeración en el diagrama de Mollier.

Como se puede observar en el análisis de comparación de datos del ciclo de refrigeración entre el módulo y los calculados los valores de presión tiene un margen de diferencia de 0.3 bar, de temperatura de evaporación tiene un margen de diferencia de 2.664°C, estos valores como se pueden ver no son muy representativos por lo que, al momento de graficar el ciclo de refrigeración, las gráficas son casi idénticas (Anexo H) por lo que el sistema de refrigeración tiene un correcto funcionamiento.

5.18. Validación de la hipótesis

5.18.1. Hipótesis

Mediante el diseño y construcción de un módulo de refrigeración asistido por computador se podrá analizar el ciclo de refrigeración, con la ayuda del diagrama de Mollier.

5.18.2. El método deductivo

Mediante este método partimos de un cálculo teórico, para llegar a datos experimentales realizado mediante pruebas en el módulo de refrigeración. En el cual se recogerá una base de datos de las variables para la comprobación de la hipótesis y si se ha logrado lo planificado en el tema.

5.18.3. Evaluación

Al realizar las pruebas pertinentes en el módulo de refrigeración se recolecto una base de datos como se indica en el (Anexo H), se tomó un promedio de 30 datos del sistema a diferentes horas del día los cuales no arrojaron los siguientes datos que se observan en la tabla.

Tabla 19
Tabulación de datos

Presión (bar)	Valores teóricos		Valores de laboratorio	
	Lado de alta	Lado de baja	Lado de alta	Lado de baja
	10.557	4.58	10.2	4.8
Temperatura(°C)	Condensación	Evaporación	Condensación	Evaporación
	27.4	-2.77	24.83	-1.77

Como se puede observar los valores de la tabla 19 en valores de presión y temperatura, se ha logrado obtener una base de datos los cuales pueden ser usados para graficar la curva de refrigeración en el diagrama de Mollier. Ver en la figura 32.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Mediante la investigación realizada de sistemas de refrigeración asistidos por computador se encontró a la empresa EDIBON, se dedica a la construcción de sistemas de refrigeración didácticos, esta empresa utiliza el software labview para el control y adquisición de datos, por lo que a estos módulos son completos a la hora de realizar los laboratorios, una ventaja de estos equipos es que a la hora de realizar la curva de refrigeración esta la gráfica directamente en el ordenador.
- Se diseñó el sistema de refrigeración asistido por computador, en base a un sistema de compresión de refrigerante ya que este sistema es el más usado al momento de la construcción de sistema didácticos, el diseño actual está hecha para una carga frigorífica de 0.5073 kw, con una temperatura ambiente de 61.7°F y una temperatura interna de la cámara de 33.8°F el módulo está diseñado para el laboratorio de refrigeración, aunque los equipos están sobre dimensionados para futuros proyectos para una carga frigorífica de 2,5kw, este cambio se lo realizo por el motivo del uso de sus elementos que pueden dar una mayor capacidad de funcionamiento.
- La implementación del módulo en forma operativa demuestra los principios básicos del ciclo de refrigeración, por lo que se facilita el entendimiento de cada componente en el proceso termodinámico en el que se aprovecha el efecto físico que se produce, el cambio de fase que se origina en el refrigerante de

condensación a evaporación y viceversa, extrayendo el calor del entorno, el sobre calentamiento y el subenfriamiento del sistema, para el mejor aprendizaje de los estudiantes.

- Para el análisis de la curva de refrigeración se tomó en cuenta los valores que proporcione el sistema, para realizar la gráfica de estos puntos se usó el diagrama de Mollier del refrigerante R-22, el cual permite graficar los puntos de cambios de estado del refrigerante por debajo de los puntos críticos, donde la curva de saturación indica el cambio de estado dependiendo de la presión y temperatura, en el caso del módulo esos cambios de estado se realizaron en los puntos de presión en el lado de alta de 10.57 bar con una temperatura de 24.98°C y la presión en el lado de baja de 4.58 con una temperatura de -4.994 °C. con la obtención de estos puntos de podrá observar la curva de refrigeración

6.2.RECOMENDACIONES

- Una posibilidad también es la de implementar un HMI para la recolección de datos de las diferentes variables que ayudaran para la realización de la curva de refrigeración en la gráfica del diagrama de Mollier
- El módulo está diseñado para el laboratorio de refrigeración por lo que los equipos están sobre dimensionados lo conveniente sería la construcción de una cámara con las medidas reales para los que fue dimensionado los equipos, para la simulación del sistema de transporte de refrigeración.
- El equipo consta con el control VX-950 plus, este controlador tiene varias aplicaciones dentro de los sistemas de refrigeración, por lo que sería lo ideal seguir

con el estudio del elemento conjuntamente con la válvula de expansión electrónica y de esta manera poder seguir implementando el laboratorio de refrigeración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amer, M. (2013, 02 13). Recuperado el 12 de Julio del 2019 de <https://es.scribd.com/doc/125342284/carrier-cold-room-calculaton-pdf>
- Armijos, H. G. (2015, 05 18). dspace.unl.edu.ec. Recuperado el 5 de Agosto del 2019 de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11804/1/Coronel%20Armijos,%20Henry%20Geovanny.pdf>
- Arnabat, I. (2016, 06 17). www.caloryfrio.com. Recuperado el 9 de Agosto del 2019 de <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/sistema-tubo-aplicaciones-altas-presiones-k65-conex-baenninger.html>
- Carmona, J. F. (2009). Guía Práctica, seleccion de los elementos de una instalación frigorífica. Sevilla: Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla. Recuperado el 12 de Agosto del 2019 de <https://studylib.es/doc/5638318/gu%C3%ADa-pr%C3%A1ctica-selecci%C3%B3n-de-los-elementos-de-una-instalaci...>
- Company, S. (2019, 06 05). www.swep.net. Recuperado el 11 de Agosto del 2019 de <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/appendix/appendix-b/>
- Danfoss. (2019, 09 16). www.danfoss.com. Recuperado el 12 de Agosto del 2019 de <https://www.danfoss.com/es-es/products/valves/dcs/electric-expansion-valves/ets-electric-expansion-valves/#tab-product-range>
- Dossat, R. J. (1995). Principios de Refrigeración. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México.
- Efinox. (2019, 09 16). www.efinox.com. Recuperado el 12 de Julio del 2019 de <https://www.efinox.com/evaporador-l-345mm-an-100mm-h-210mm-horeca-select-ggc2270-white>
- España, A. E. (2011, 03 04). www.boe.es. Recuperado el 20 de Agosto del 2019 de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-4292>
- Figueroa, F. (2018, 03 22). sensoricx.com. Recuperado el 25 de Agosto del 2019 de <https://sensoricx.com/arduino/sensores-de-temperatura-para-arduino/>
- Fullgauge. (2019, 08). Recuperado el 9 de Agosto del 2019 de <https://www.fullgauge.com/es/productos-vx-950-plus>
- FullGauge. (2019, 09 22). Recuperado el 01 de Septiembre del 2019 de <https://www.fullgauge.com/es/productos-conv32>

- FullGauge. (2019, 10 07). Recuperado el 28 de Agosto del 2019 de <https://www.fullgauge.com/es/productos-transductor-de-presion-sb69>
- FULLGAUGE. (2019). www.fullgauge.com. Recuperado el 12 de Agosto del 2019 de <https://www.fullgauge.com/es/veeselector>
- Galo Almandariz, D. L. (2014, 02 14). <http://dspace.esPOCH.edu.ec>. Recuperado el 25 de Agosto del 2019 de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3525/1/15T00568.pdf>
- Gilberto Durán, D. R. (2009, 05 23). ResearchGate. Recuperado el 20 de Agosto del 2019 de https://www.researchgate.net/publication/316790004_DISENO_DE_UN_SISTEMA_CRIOGENICO_MULTITAPAS_QUE_EMPLEE_UN_REFRIGERANTE_BINARIO_PARA_LICUEFACCION_DE_GAS_METANO
- Huang, J. (2019, 09 16). <https://www.alibaba.com>. Recuperado el 25 de Agosto del 2019 de https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Price-Industrial-Air-Cooled-Freezer_60752048098.html
- ICE-IECEE. (2015, 02 13). www.iecee.org. Recuperado el 28 de Agosto del 2019 de https://www.iecee.org/dyn/www/f?p=106:49:0::::FSP_STD_ID:21803
- INDURA. (2019, 11 24). Recuperado el 9 de Agosto del 2019 de <http://www.indura.cl/Mobile/CL/1023577/gas-refrigerante-r-134a/4>
- Industry, D. (2019, 04 12). Recuperado el 5 de Agosto del 2019 de <https://trends.directindustry.es/shanghai-zhaohui-pressure-apparatus-co-ltd-zhyq/project-180967-171522.html>
- INEN, I. E. (2004, 04 20). Recuperado el 9 de Agosto del 2019 de <https://archive.org/details/ec.nte.2206.2011/page/n1>
- Instalación, T. (2015, 03 08). Recuperado el 11 de Agosto del 2019 de <https://www.tecnoinstalacion.com/noticias/20140318/analisis-evolucion-refrigeracion-aplicaciones-frio-comercial#.XNHaShRKjIU>
- INTERCAL. (2014, 08). www.intercal.cl. Recuperado el 9 de Agosto del 2019 de <http://www.intercal.cl/wp-content/uploads/sites/1899/2015/10/ECC6-60-HZ-compressed.pdf>
- ISO, O. I. (2005, 10 18). www.iso.org. Recuperado el 11 de Agosto del 2019 de <https://www.iso.org/standard/27428.html>
- Langley, C. (2008). Refrigeración principios prácticas y funcionamiento. España: PARANINFO.

- Leverone, L. F. (2013, 04 23). Diseño y construcción de un banco de pruebas para un sistema de bomba de calor mecánica de 1hp de capacidad, que usa refrigerante R404A. Recuperado el 20 de Agosto del 2019 de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6529>
- Marllelis Gutiérrez, S. I. (2017). Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control. Península de Santa Elena: UPSE.
- Narváez, C. P. (2014). Mantenimiento de sistemas de refrigeración industrial. Mexico: TECSUP.
- Navarro, J. (2019, 08 31). <https://es.wikipedia.org>. Recuperado el 28 de Agosto del 2019 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigerante>
- P. J. Rapin, P. J. (1999). Instalaciones Frigoríficas. México: Alfaomega grupo editorial, S.A.
- Paredes, C. (2008). Refrigeración Principios, Diseño, Aplicaciones. Mexico.
- REACSA. (2019, 08 12). <https://reacsa.mx>. Recuperado el 25 de Agosto del 2019 de <https://reacsa.mx/products/cr38k6-tf5-525-compresor-hermetico-copeland-3hp-alta-temperatura-r22-220v-3-trifasico?variant=15888707354658>
- Seminis. (2016, 05 09). www.seminis.mx. Recuperado el 28 de Agosto del 2019 de <https://www.seminis.mx/blog-recomendaciones-de-temperatura-post-cosecha/>
- Tecumseh. (2019, 04 21). www.tecumseh.com. Recuperado el 20 de Agosto del 2019 de https://www.tecumseh.com/globalassets/media/south-america/files/commercial-brochures/ctl-006-1015-catalogo---unidades-condensadoras-black-unit_pt.pdf
- TOTALINE. (2019, 12 23). www.yumpu.com. Recuperado el 11 de Agosto del 2019 de <https://www.yumpu.com/en/document/read/4339491/refrigeration-selection-guide-carrier>
- universitarios, C. p. (2018, 04 30). uuniversitarios.blogspot.com. Recuperado el 12 de Julio del 2019 de <http://uuniversitarios.blogspot.com/2018/04/software-ees-engineering-equation-solver.html>
- Yañez, G. (2019, 05 29). www.gildardoyanez.com. Recuperado el 12 de Agosto del 2019 de <https://www.gildardoyanez.com/tips/ciclo-de-refrigeracion/>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por el Señor: **QUINGA CAIZA, GIOVANNI PATRICIO**

En la ciudad de Latacunga, a los 24 días de mes de Enero del 2020.

Aprobado por:


ING. FAUSTO ACUÑA.
DIRECTOR DEL PROYECTO


ING. FREDDY SALAZAR
DIRECTOR DE CARRERA


DR. RODRIGO VACA
SECRETARIO ACADÉMICO

