



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECANICA

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULAR DE
REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA CON VARIACIÓN DE CICLO
DE CARNOT Y CICLO INVERTIDO”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO MECANICO

AUTOR:

DENNYS ALEJANDRO MONTERO HUILCA

Riobamba - Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULAR DE
REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA CON VARIACIÓN DE CICLO
DE CARNOT Y CICLO INVERTIDO”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: DENNYS ALEJANDRO MONTERO HUILCA

DIRECTOR: Ing. JUAN PABLO CHUQUIN VASCO

Riobamba - Ecuador

2021


©2021, Dennys Alejandro Montero Huilca.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Dennys Alejandro Montero Huilca, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de agosto de 2021



Dennys Alejandro Montero Huilca.


060595174-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULAR DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA CON VARIACIÓN DE CICLO DE CARNOT Y CICLO INVERTIDO**, realizado por el señor: **DENNYS ALEJANDRO MONTERO HUILCA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ	2021-08-13
Ing. Juan Pablo Chuquin Vasco DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: JUAN PABLO CHUQUIN	2021-08-13
Ing. Lidia del Rocío Castro Cepeda. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: LIDIA DEL ROCIO CASTRO CEPEDA	2021-08-13

DEDICATORIA

Quiero dedicar este párrafo principalmente a los pilares fundamentales de mi vida; a mis padres, que gracias a su esfuerzo y apoyo incondicional me han ayudado a cumplir varios de mis sueños, ellos son Oswaldo y Nancy, sé que al verme como un profesional sentirán la misma emoción y orgullo que siento yo al aún verlos crecer profesionalmente, a mis hermanos que me han ayudado a lo largo de mi vida estudiantil y me han sacado de apuros, a mi abuela que ha hecho un esfuerzo increíble y me ha cuidado como a un hijo suyo siendo su sueño el verme como un profesional, sé que donde estés te sentirás orgullosa de todo lo que voy a lograr, a todos mis familiares y amigos que he conocido hasta este punto de mi vida, que me han ayudado con consejos y han sido un plus en mi formación personal y académica.

Alejandro.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a la Escuela de Ingeniería Mecánica por todos estos años de aprendizaje y valores profesionales que nos ha sido inculcados desde el momento que llegamos, hasta el momento de salida. También es de agradecer sinceramente por todo el apoyo recibido a todas las personas que han estado involucradas en este proyecto, a mis familiares Washington y Javier por haberme apoyado con mis dudas y estar pendientes del avance de mi tesis, al igual que a mis tutores, el Ingeniero Juan Pablo Chuquin y la Ingeniera Lidia Castro, que se han visto implicados al brindarme sus conocimientos e impartirme diferentes destrezas con el fin de lograr esta anhelada meta.

Alejandro.

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	xiv
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.....	3
---------------------------	---

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Generalidades.....	7
2.2. Fluidos.....	7
2.2.1. <i>Fluido no newtoniano</i>	8
2.2.2. <i>Fluido newtoniano</i>	8
2.2.3. <i>Estados Físicos de los fluidos</i>	9
2.2.3.1. <i>Estados de la materia</i>	9
2.2.3.2. <i>Cambios de estado</i>	9
2.3. Termodinámica.....	10
2.3.1. <i>Conceptos Básicos</i>	11
2.3.1.1. <i>Tipos de sistemas</i>	11
2.3.1.2. <i>Tipos de procesos</i>	12
2.3.1.3. <i>Propiedades termodinámicas de los fluidos</i>	12
2.3.1.4. <i>Diagrama de Mollier</i>	13
2.3.2. <i>Energía</i>	14
2.3.2.1. <i>Primera ley de la termodinámica</i>	14
2.3.2.2. <i>Segunda ley de la termodinámica</i>	15
2.4. Máquinas Térmicas.....	15
2.4.1. <i>Ciclos Térmicos</i>	16

2.4.2.	Ciclo de Carnot	16
2.4.2.1.	<i>Ciclo de Carnot (Bomba de Calor)</i>	17
2.4.2.2.	<i>Sistemas de generación de calefacción</i>	19
2.4.2.3.	<i>Ciclo de Carnot invertido (Refrigeración)</i>	19
2.4.2.4.	<i>Sistemas de generación de refrigeración</i>	20
2.5.	Componentes de Sistema de Calefacción	20
2.5.1.	<i>Caldera</i>	20
2.5.2.	<i>Turbina</i>	20
2.5.3.	<i>Condensador</i>	21
2.5.4.	<i>Bomba</i>	21
2.6.	Componentes del Sistema de Refrigeración	21
2.6.1.	<i>Evaporador</i>	21
2.6.2.	<i>Compresor</i>	22
2.6.3.	<i>Condensador</i>	22
2.6.4.	<i>Refrigerante</i>	23
2.7.	Elementos del Sistema Combinado	23
2.7.1.	<i>Visor de líquido</i>	23
2.7.2.	<i>Tubo capilar</i>	24
2.7.3.	<i>Filtro secador</i>	24
2.7.4.	<i>Presostato</i>	25
2.7.5.	<i>Acumulador de líquido</i>	25
2.7.6.	<i>Válvula de paso</i>	26
2.7.7.	<i>Termostato</i>	27
2.7.8.	<i>Manómetro</i>	27
2.7.9.	<i>Protector térmico</i>	28
2.8.	Soldadura	28
2.8.1.	<i>Por Soplete</i>	28
2.8.2.	<i>Cobre</i>	29
2.9.	Dwsim	30
2.9.1.	<i>Tipos de análisis</i>	30
2.10.	Marco teórico	31
2.10.1.	Cargas térmicas	31
2.10.1.1.	<i>Cargas por transmisión.</i>	31
2.10.1.2.	<i>Carga por productos.</i>	32
2.10.1.3.	<i>Carga por infiltración.</i>	33
2.10.1.4.	<i>Carga por personas</i>	33
2.10.1.5.	<i>Carga por iluminación.</i>	33

2.10.1.6.	<i>Balance de masas</i>	34
2.10.1.7.	<i>Balance de energías</i>	34
2.10.1.8.	<i>Rendimiento del Ciclo</i>	35
2.10.1.9.	<i>Caudal másico</i>	35
2.10.1.10.	<i>Trabajo del compresor</i>	36
2.10.1.11.	<i>Trabajo del condensador</i>	36
2.10.1.12.	<i>Trabajo del evaporador</i>	36
2.10.1.13.	<i>Cálculo de la media logarítmica</i>	37
2.10.1.14.	<i>Área de transferencia de calor</i>	37
2.10.1.15.	<i>Longitud equivalente</i>	38
2.10.1.16.	<i>Numero de tubos</i>	38
2.11.	Cálculos Ciclo de refrigeración	38
2.11.1.	Carga frigorífica	38
2.11.1.1.	<i>Carga de la cámara de climatizado</i>	38
2.11.1.2.	<i>Carga por productos</i>	40
2.11.1.3.	<i>Carga por infiltración</i>	41
2.11.1.4.	<i>Carga por personas</i>	41
2.11.1.5.	<i>Carga por iluminación</i>	41
2.11.1.6.	<i>Carga total de la cámara de climatizado</i>	41
2.11.2.	Consideración temperatura de condensación	42
2.11.3.	Cálculo ciclo de refrigeración	42
2.11.4.	Selección del refrigerante	43
2.11.4.1.	<i>Características físicas y termodinámicas del refrigerante R134a</i>	44
2.11.4.2.	<i>Análisis del compresor</i>	45
2.11.4.3.	<i>Análisis en el condensador</i>	46
2.11.4.4.	<i>Análisis en el evaporador</i>	46
2.11.4.5.	<i>Coefficiente de operación</i>	47
2.11.4.6.	<i>Evaluación del COP de la refrigeración de Carnot</i>	47
2.11.4.7.	<i>Eficiencia del Ciclo</i>	48
2.11.4.8.	<i>Caudal Masico</i>	48
2.11.4.9.	<i>Potencia teórica del compresor</i>	48
2.11.4.10.	<i>Recálculo Caudal Másico</i>	49
2.11.4.11.	<i>Capacidad teórica del condensador</i>	49
2.11.4.12.	<i>Capacidad teórica del evaporador</i>	49
2.11.5.	Selección del condensador	50
2.11.5.1.	<i>Cálculo de la media logarítmica</i>	50
2.11.5.2.	<i>Área de transferencia de calor (Anexo A)</i>	51

2.11.5.3.	<i>Longitud Equivalente</i>	51
2.11.5.4.	<i>Número de tubos</i>	51
2.11.6.	<i>Selección del diámetro de la válvula de expansión</i>	52
2.11.7.	<i>Ciclo de refrigeración en DWSIM.</i>	52
2.12.	Comparación de resultados obtenidos mediante cálculo y software	55
2.13.	Cálculos ciclo de bomba de calor	55
2.13.1.1.	<i>Análisis en el compresor</i>	57
2.13.1.2.	<i>Análisis en el evaporador</i>	57
2.13.1.3.	<i>Análisis en el condensador</i>	58
2.13.2.	<i>Ciclo de bomba de calor en DWSIM</i>	59
2.14.	Comparación de resultados obtenidos mediante cálculo y software	60

CAPÍTULO 3

3.	DISEÑO DEL ANALISIS FUNCIONAL	62
3.1.	Módulos	62
3.1.1.	<i>Nivel 0</i>	62
3.2.	Módulos detallados	63
3.2.1.	<i>Modulo 1</i>	64
3.2.2.	<i>Modulo 2</i>	64
3.2.3.	<i>Modulo 3</i>	64
3.2.4.	<i>Modulo 4</i>	64
3.2.5.	<i>Modulo 5</i>	65
3.3.	Alternativas de solución.	65
3.4.	Selección de la mejor alternativa.	66
3.5.	Diagrama P&ID del equipo propuesto	67
3.6.	Selección de materiales.	68
3.7.	Construcción y ensamblaje del sistema de climatización	68
3.7.1.	<i>Construcción del armazón</i>	68
3.7.2.	<i>Acople del sistema de Carnot</i>	70
3.7.3.	<i>Instalación del sistema eléctrico</i>	79
3.8.	Evaluación y pruebas del sistema	81
3.8.1.	<i>Primera Prueba</i>	81
3.8.1.1.	<i>Presión sin conexión del compresor</i>	81
3.8.2.	<i>Segunda Prueba</i>	82
3.8.2.1.	<i>Presión con conexión del compresor</i>	82

3.8.3.	Tercera Prueba	82
3.8.3.1.	<i>Vacío</i>	82
3.8.4.	Cuarta Prueba	83
3.8.4.1.	<i>Presión con conexión del compresor</i>	83
3.8.4.2.	<i>Vacío</i>	83

CAPÍTULO 4

4.	ANÁLISIS DE COSTOS Y FASE EXPERIMENTAL	84
4.1.	Costos	84
4.1.1.	<i>Costos Directos</i>	84
4.1.2.	<i>Costos Indirectos</i>	86
4.1.3.	<i>Costos Totales</i>	87
4.2.	Pruebas de funcionamiento.	87
4.2.1.	<i>Pruebas de funcionamiento para refrigeración.</i>	88
4.2.2.	Cálculo de componentes del ciclo real de refrigeración.	90
4.2.2.1.	<i>Análisis del compresor</i>	90
4.2.2.2.	<i>Análisis en el condensador</i>	91
4.2.2.3.	<i>Análisis en el evaporador</i>	92
4.2.3.	Cálculo de componentes del ciclo real de refrigeración en DWSIM.	93
4.3.	Comparación de resultados obtenidos	94
4.3.1.	<i>Pruebas de funcionamiento para bomba de calor.</i>	95
4.3.2.	Cálculo de componentes del ciclo real de bomba de calor.	96
4.3.2.1.	<i>Análisis en el compresor</i>	97
4.3.2.2.	<i>Análisis en el evaporador</i>	98
4.3.2.3.	<i>Análisis en el condensador</i>	99
4.3.3.	Cálculo de componentes del ciclo real de bomba de calor en DWSIM.	100
4.4.	Comparación de resultados obtenidos	101
4.5.	Elaboración de manual de operación.	102
	CONCLUSIONES	106
	RECOMENDACIONES	108
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Propiedades del agua saturada	12
Tabla 2-2:	Propiedades de los fluidos.	12
Tabla 3-2:	Procesos térmicos.	14
Tabla 4-2:	Propiedades de los alimentos.	32
Tabla 5-2:	Cargas liberado debido a personas	33
Tabla 6-2:	Cargas debido a iluminación.....	34
Tabla 7-2:	Dimensiones cámara de climatizado	39
Tabla 8-2:	Datos cámara de climatizado	39
Tabla 9-2:	Potencia cámara de climatizado.....	40
Tabla 10-2:	Temperaturas tomadas	42
Tabla 11-2:	Clasificaciones de los refrigerantes.....	44
Tabla 12-2:	Propiedades Refrigerante R134a.....	44
Tabla 13-2:	Propiedades del ciclo	45
Tabla 14-2:	Temperaturas cálculo condensador	50
Tabla 15-2:	Tabla selección de tubo capilar	52
Tabla 16-2:	Resultados teóricos de refrigeración obtenidos del software.....	54
Tabla 17-2:	Comparación del ciclo refrigeración.....	55
Tabla 18-2:	Datos obtenidos del cálculo de refrigeración	56
Tabla 19-2:	Propiedades del ciclo	59
Tabla 20-2:	Resultados teóricos del ciclo de bomba de calor obtenidos del software	60
Tabla 21-2:	Comparación del ciclo de bomba de calor	61
Tabla 1-3:	Soluciones de Diseño.....	65
Tabla 2-3:	Selección de la válvula.....	66
Tabla 3-3:	Selección del controlador.....	66
Tabla 4-3:	Selección del interruptor.....	66
Tabla 5-3:	Materiales de los elementos del equipo.....	68
Tabla 6-3:	Neplos ensayados para su uso en el sistema.....	71
Tabla 7-3:	Fallas obtenidas al momento de realizar las pruebas de funcionamiento	82
Tabla 8-3:	Errores obtenidos en la última prueba realizada.....	83
Tabla 1-4:	Costos y lista de los elementos instalados en el equipo diseñado.....	84
Tabla 2-4:	Costo de las herramientas utilizadas en el equipo	85
Tabla 3-4:	Costos directos totales	86
Tabla 4-4:	Costos indirectos.....	87
Tabla 5-4:	Costo total del equipo construido.....	87

Tabla 6-4:	Muestra número 1 tomada del equipo para refrigeración	88
Tabla 7-4:	Muestra número 2 tomada del equipo para refrigeración	88
Tabla 8-4:	Muestra número 3 tomada del equipo para refrigeración	89
Tabla 9-4:	Muestra número 4 tomada del equipo para refrigeración	89
Tabla 10-4:	Promedio de muestras para el ciclo de refrigeración.	89
Tabla 11-4:	Propiedades del ciclo	90
Tabla 12-4:	Resultados del ciclo real de refrigeración	94
Tabla 13-4:	Comparación real del ciclo de refrigeración.....	94
Tabla 14-4:	Muestra número 1 tomada del equipo para bomba de calor	95
Tabla 15-4:	Muestra número 2 tomada del equipo para bomba de calor	95
Tabla 16-4:	Muestra número 3 tomada del equipo para bomba de calor	95
Tabla 17-4:	Muestra número 4 tomada del equipo para bomba de calor	96
Tabla 18-4:	Promedio de muestras para el ciclo de bomba de calor.	96
Tabla 19-4:	Propiedades del ciclo	97
Tabla 20-4:	Datos de resultados del ciclo real de bomba de calor	100
Tabla 21-4:	Comparación real del ciclo de bomba de calor.....	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Fluido sobre recipiente	7
Figura 2-2: Comportamiento de los fluidos.....	8
Figura 3-2: Estados del agua.....	10
Figura 4-2: Turbina de Heron	10
Figura 5-2: Definición del sistema, según su frontera	11
Figura 6-2: Modificación del Diagrama de Mollier para refrigerante R134-a.....	14
Figura 7-2: Estados del agua.....	16
Figura 8-2: Variación de volumen de gas	17
Figura 9-2: Ciclo Carnot, diagrama Presión/Volumen	18
Figura 10-2: Ciclo Carnot Invertido, diagrama Presión/Volumen.....	19
Figura 11-2: Evaporador	21
Figura 12-2: Bloque de compresor.....	22
Figura 13-2: Funcionamiento de un condensador	23
Figura 14-2: Visor.....	23
Figura 15-2: Tubo capilar	24
Figura 16-2: Filtro secador.....	24
Figura 17-2: Presostato	25
Figura 18-2: Tipos de acumuladores.....	26
Figura 19-2: Válvula de paso	26
Figura 20-2: Termostato	27
Figura 21-2: Manómetro	27
Figura 22-2: Protector Térmico.....	28
Figura 23-2: Soldadura por soplete	29
Figura 24-2: Átomo de cobre	29
Figura 25-2: Inicio de Interfaz tomada del programa DWSIM	30
Figura 26-2: Dimensiones cámara de climatizado.	39
Figura 27-2: Ciclo de refrigeración.....	43
Figura 28-2: Tipos de refrigerantes.....	43
Figura 29-2: Diagrama de Mollier, según consideraciones iniciales.	45
Figura 30-2: Selección del refrigerante en el software DWSIM	53
Figura 31-2: Selección del paquete de propiedades en el software DWSIM.....	53
Figura 32-2: Diagrama del ciclo de refrigeración en DWSIM	54
Figura 33-2: Ciclo de bomba de calor.....	56
Figura 34-2: Diagrama de Mollier, según consideraciones iniciales.	59

Figura 35-2:	Diagrama del ciclo de calefacción en DWSIM.....	60
Figura 1-3:	Diseño del módulo cero del modular.....	62
Figura 2-3:	Diseño de las funciones del modular.....	63
Figura 3-3:	Diagrama P&ID y flujo del ciclo de refrigeración.....	67
Figura 4-3:	Diagrama P&ID y flujo del ciclo de bomba de calor.....	67
Figura 5-3:	Ensamble de la estructura interna.....	69
Figura 6-3:	Ensamble lámina de acero.....	69
Figura 7-3:	Estructura finalizada.....	70
Figura 8-3:	Diagrama del circuito sobre el melamínico.....	70
Figura 9-3:	Fijado de componentes.....	71
Figura 10-3:	Doble y Cortes de la tubería de ¼.....	72
Figura 11-3:	Acople con los diagramas dibujados.....	72
Figura 12-3:	Expansión de cañerías.....	72
Figura 13-3:	Conexiones T sobre cañería ¼.....	73
Figura 14-3:	Válvula conectada la tubería de cobre.....	73
Figura 15-3:	Conexión filtro secador y Tubo capilar.....	74
Figura 16-3:	Conexión visor y cañería.....	74
Figura 17-3:	Conexión filtro de secado con tubería de 1/4.....	74
Figura 18-3:	Conexión del acumulador.....	75
Figura 19-3:	Conexión del condensador.....	75
Figura 20-3:	Conexión del evaporador.....	76
Figura 21-3:	Bandeja de condensado e intercambiador de calor.....	76
Figura 22-3:	Compresor de 1/6 hp conectado al sistema.....	77
Figura 23-3:	Base de aluminio para ventilador.....	77
Figura 24-3:	Ventilador sobre base de aluminio.....	77
Figura 25-3:	Manómetros de alta y baja y termómetros.....	78
Figura 26-3:	Conexión de mangueras hacia los manómetros.....	78
Figura 27-3:	Instalación de los paneles.....	78
Figura 28-3:	Conexión enchufe - Interruptor.....	79
Figura 29-3:	Toma de 110 voltios.....	79
Figura 30-3:	Instalación del interruptor principal.....	80
Figura 31-3:	Instalación termostatos, selector de 3 posiciones.....	80
Figura 32-3:	Conexión final del circuito eléctrico.....	81
Figura 1-4:	Diagrama P&ID del equipo de Carnot.....	88
Figura 2-4:	Diagrama de Mollier del ciclo real de refrigeración.....	90
Figura 3-4:	Diagrama del ciclo de refrigeración en DWSIM.....	93
Figura 4-4:	Diagrama de Mollier del ciclo real de bomba de calor.....	97

Figura 5-4: Diagrama del ciclo real de calefacción en DWSIM.....100

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** COEFICIENTE TERMICO DE FLUIDOS
- ANEXO B:** EXPLOSIONADO DEL EQUIPO
- ANEXO C:** EXPLOSIONADO DEL EQUIPO (LISTA DE ELEMENTOS)
- ANEXO D:** PROPIEDADES ACRILICO
- ANEXO E:** SELECCIÓN DEL COMPRESOR
- ANEXO F:** SELECCIÓN DEL TUBO CAPILAR
- ANEXO G:** VISTA FRONTAL Y LATERAL DERECHA DEL EQUIPO
- ANEXO H:** VISTA FRONTAL Y LATERAL IZQUIERDA DEL EQUIPO
- ANEXO I:** VISTA ISOMETRICA DEL EQUIPO
- ANEXO J:** VISTA RENDERIZADA FRONTAL DEL EQUIPO
- ANEXO K:** VISTA RENDERIZADA ISOMETRICA DEL EQUIPO

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad realizar la construcción de un equipo que proporcione una fuente fría y caliente mediante el uso del ciclo de Carnot a partir de elementos domésticos de refrigeración. Se analizó el ambiente de trabajo, para así realizar la preselección de los elementos y su diseño, tomando en cuenta los criterios en base a lo establecidas por la ASHRAE. El equipo cuenta con elementos como termómetros y manómetros para cada punto del análisis, termostatos independientes para cada ciclo, amperímetro el cual comprueba el funcionamiento del compresor, leds indicativos para evidenciar que tipo de prueba se realiza. Posterior se realizó los cálculos necesarios con el fin de encontrar las cargas en la cámara de climatizado, lo que dará la pauta para la selección del compresor, sus elementos y refrigerante. Mediante la ayuda del software DWSIM, se realizó la simulación del equipo, con el fin de validar y comparar los datos obtenidos mediante el cálculo manual del sistema. Con los datos verificados, se procede a la construcción del dispositivo, su estructura es de acero A36, cubierta por melamínico y lamina de acero. Se realizó el ensamble de las válvulas, tuberías, y diversos elementos necesarios para su correcto funcionamiento. Finalmente se realizó la instalación del panel de control y el sellado de la cámara. Mediante los diferentes ensayos se comprobó que la cámara funciona correctamente brindando temperaturas ambientales que varían dependiendo del tiempo que se encuentre en funcionamiento, que pueden llegar desde los 2 °C hasta los 28 °C. Mediante la comparación de resultados obtenidos se determina que el rendimiento del equipo en bomba de calor (COP 4.24) es más eficiente que al momento de trabajar como sistema de refrigeración (COP 3.25) debido a que aprovecha de mejor manera el calor aportado por el compresor

Palabras clave: <MECÁNICA> <TERMODINÁMICA> <CICLOS TÉRMICOS>
<REFRIGERACIÓN> <CALEFACCIÓN>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

1800-DBRA-UPT-2021

2021-09-16

SUMMARY

The purpose of this project is to build an equipment that provides a hot and cold source using the Carnot cycle from domestic refrigeration elements. The work environment was analyzed to pre-select the elements and their design, considering the criteria based on what was established by ASHRAE. The equipment has elements such as thermometers and pressure gauges for each point of the analysis, independent thermostats for each cycle, an ammeter which checks the operation of the compressor, indicative LEDs to show what type of test is carried out. Subsequently, the necessary calculations were carried out to find the loads in the air conditioning chamber, which will give the guideline for the selection of the compressor, its elements and refrigerant. Using the DWSIM software, the equipment was simulated to validate and compare the data obtained through the manual calculation of the system. With the verified data, the device was built, its structure was made of A36 steel, covered by melamine and steel sheet. The valves, pipes, and various elements necessary for their correct operation were assembled. Finally, the installation of the control panel and the sealing of the chamber were carried out. Through the different tests, it was verified that the camera works correctly, providing ambient temperatures that vary depending on the time of its operation, which can range from 2 ° C to 28 ° C. By comparing the results obtained, it is determined that the performance of the heat pump equipment (COP 4.24) is more efficient than when working as a refrigeration system (COP 3.25) because it takes better advantage of the heat provided by the compressor.

Keywords: <MECHANICS>, <THERMODYNAMIC>, <COOLING>, <HEATING>, <THERMAL CYCLES>.

INTRODUCCIÓN

El control de la temperatura fue un avance importante en la historia de la humanidad desde hace 1,6 millones de años con el manejo del fuego. Este elemento fue de mucha ayuda, debido a que, en la prehistoria, las personas consumían la carne en estado crudo y si el animal estaba enfermo producía malestares, incluso la muerte. El fuego también fue útil al momento de descansar, ya que los primeros pobladores se resguardaban del frío en épocas de invierno y evitaban decesos por hipotermia. Por lo general las altas temperaturas en un fluido se utilizan para generar energía mecánica o eléctrica por medio del intercambio de energía térmica. En época de la revolución industrial se aprovechó de mejor manera el uso de esta energía en favor de máquinas como locomotoras, barcos y automóviles que funcionaban a base de vapor. En la actualidad la energía térmica se utiliza en varias industrias como la alimenticia, la farmacéutica, entre otras, y también en equipos de confort humano como, equipos de calefacción.

A su vez el manejo del frío ha permitido el transporte y exportación de productos alimenticios de una zona a otra, su uso se ha convertido en algo imprescindible, desde el momento del cultivo de diferentes productos, pasando por su procesamiento y posterior con la entrega al consumidor final. La industria farmacéutica también se ha visto beneficiada, puesto que el manejo de estos ambientes ha permitido la conservación de órganos, el transporte de medicamentos, por ejemplo, las vacunas contra la Hepatitis, Rabia y la Covid que necesitan mantener una temperatura específica.

La finalidad del proyecto de titulación es desarrollar y construir un equipo el cual pueda generar, en un ambiente controlado, bajas y altas temperaturas, mediante el uso de componentes que sean de equipos de refrigeración doméstica. La importancia de este proyecto es debido a que se busca generar nuevos conocimientos los cuales sirvan de un futuro de aporte para el desarrollo de los estudiantes al encontrar nuevas fuentes de empleo, es por ello, que se busca facilitar la comprensión del funcionamiento del ciclo térmico y lograr intuir la función de los diferentes elementos incluidos en el equipo.

Para la realización de la tesis fue necesario la descripción de conceptos básicos de asignaturas como fluidos, termodinámica, materiales, entre otros. El proyecto se divide en 4 capítulos importantes, iniciando con antecedentes y objetivos en el capítulo 1, en el capítulo 2 se refiere a conceptos generales y específicos del tema, elementos necesarios para su funcionamiento y cálculos del equipo. La fase de diseño del equipo, selección de componentes y su ensamble se encuentra en el capítulo 3. El capítulo 4 es una reseña de los costos generados debido a los componentes necesarios para la construcción, pruebas de funcionamiento y comparativas con los cálculos teóricos realizados y el manual de uso.

CAPÍTULO 1.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Desde tiempos inexplorados la humanidad ha tratado de recrear artificialmente condiciones óptimas que ayuden a una mejor fabricación de diversos productos o que permitan la conservación de alimentos, es por ello que se realizó el primer sistema de refrigeración para conservar alimentos en la antigua Roma, consistía en cavar hoyos en medio de la tierra, esperar que la nieve pose en el lugar y mantener esta temperatura en épocas de calor con elementos como ramas y pajas, posterior en el siglo XVIII se generan los primeros métodos de refrigeración artificial con el descubrimiento de las propiedades termodinámicas de elementos como amoniaco o dióxido de carbono como uso de refrigerantes (José Bernad, 2016). Una de las primeras industrias en beneficiarse en principio fue la imprenta el equipo inventado por el Ingeniero Willis Carrier y permitía generar el clima necesario para que el papel a la hora de ser impreso pueda tener un desempeño ideal y el mismo no se quede pegado por la tinta sobre las demás hojas, luego el invento se mejoró en calidad hasta el punto de ser comercializado (Steve Johnson, 2021), en el año 1800 se idearon las primeras máquinas de refrigeración por el sistema de compresión de vapor el cual consistía en cambiar las propiedades del refrigerante generando una zona de alta y baja presión, al llegar al siglo XX existió problemas debido a los refrigerantes utilizados, debido a que la gran mayoría eran tóxicos, hoy se utilizan gases que no generan amenazas a la salud ni al medioambiente (Pichel J, 2018), esto permitió que varias industrias como la textil, alimenticia o farmacéutica fueran beneficiados. Otras aplicaciones son los sistemas de aire acondicionado que fueron enfocados desde el principio a la comodidad de los seres humanos.

La calefacción en humanos llego mediante el aprovechamiento del fuego en el Paleolítico y posterior el uso de abrigos de piel (Steph Yin, 2021), pero la comodidad llegó con los sistemas de calefacción, uno de los primeros fue el Hipocausto, el cual fue un sistema de calefacción de suelo, inventado y usado en el imperio romano mediante el aprovechamiento del vapor de las termas generando calor en los edificios. Otro sistema fue Gloria se originó en la edad media en la zona de Castilla, la cual para generar un aumento de temperatura se usaba paja como comburente, cuyos gases de combustión eran direccionados mediante canaletas generando confort en zonas

como el comedor del hogar (Haverland, 2021), también se inventaron hornos de leña el cual fue evolucionando de a poco y reduciendo el peligro que se tenía al utilizar fuego dentro de una vivienda y su forma de evacuar los gases producto de la combustión, así nacieron las estufas que se aprovecharon para generar la calefacción de hogares mediante tubos en los cuales circulaba agua a alta temperatura, con la revolución industrial se derivó con la llegada de nuevas tecnologías que ayudaron a mejorar la eficiencia de la misma mediante sistemas nuevos con gas natural, combustibles, generación eléctrica o una combinación de los mismos.

Por lo tanto, se eligió el tema de construcción de una máquina de refrigeración y bomba de calor, debido a que es importante que los estudiantes sientan que, tras la jornada estudiantil, puedan estar más seguros en sus habilidades tanto en el campo laboral, como en prácticas preprofesionales y en conocimientos teóricos.

Debido a la necesidad del uso de software para la ayuda del proceso de diseño del sistema, se ha venido manejando opciones como utilizar simuladores, como Aspen Hysys, pero adquirir una licencia sería poco accesible, es por lo que se ha seleccionado el programa DWSIM, el cual es un programa de simulación de procesos, mismo que al ser de código abierto y descarga libre. Esto significa que se adaptará a las necesidades del usuario o simplemente corregir errores.

1.2. Formulación del Problema

Existen varias áreas de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la que no se dispone de laboratorios completos para poder verificar los diferentes fenómenos expuestos en clase, esto es debido a los costos que pueden alcanzar los diferentes equipos y también a que sus adquisiciones suelen tardar más de lo estimado debido a los trámites correspondientes. Dadas las circunstancias, surge la necesidad de construir un modular para el laboratorio de energías térmicas, en el cual ayude a complementar los diferentes temas impartidos en clases y a su vez expandir los conocimientos en el área de energías. En el equipo se podrá realizar pruebas diversas como el determinar que sucede si existe una carga muy baja de refrigerante o a su vez muy alta, manipular las llaves de paso con el fin de comprender el recorrido del líquido refrigerante y la función que realizan los componentes, utilizar las diagramas de Mollier y verificar cual es el trabajo o calores que generan los elementos.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Metodológica

Se ha incentivado a la creación del sistema propuesto debido a que el mismo sería muy útil como un medio alternativo para asimilar la teoría explicada en clase, es decir conocer acerca de las diferentes conexiones de los elementos, observar su funcionamiento y verificar que existen componentes que no se consideran en la teoría y que son útiles en el plano real, siendo importante reforzar conocimientos en temas de refrigeración o calefacción brindando más conocimientos y alternativas a los estudiantes al momento de llegar a la actividad profesional.

1.3.2. Justificación Práctica

Es necesario la recreación práctica de los ciclos que se tienen en el sistema combinado de Carnot, además de apreciar su funcionamiento y sus componentes, en el cual se realizan experimentos variando diferentes parámetros para conocer los resultados, el mismo está dirigido para el apoyo didáctico de materias como Sistemas Térmicos y Termodinámica.

El conocimiento se valida mediante la interfaz gráfica DWSIM, la cual permite realizar diferentes cálculos con el uso de diversos modelos termodinámicos, y operaciones unitarias como: Mezclador, Splitter, Separador, Bomba, Compresor, Expansor, Calentador-enfriador, Válvulas, Segmentos de cañería, Columna de destilación, Intercambiadores de calor, Reactores, entre otros.

1.4. Alcance

El alcance que genera el trabajo de titulación a nivel pedagógico es lograr que los estudiantes comprendan como se realizan las conexiones del sistema de la máquina de Carnot, sus diferentes temperaturas y los ciclos que llevan a su funcionamiento, debido a que existe una variación de los elementos necesarios en la materia, distinto a como se los puede observar en la aplicación industrial, ayudando así a generar una mejor comprensión del fenómeno.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseño y construcción de un modular de refrigeración doméstica con variación de ciclo de Carnot y ciclo invertido y validación de resultados mediante software de código abierto DWSIM.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar el estudio del estado del arte que será aplicado en el sistema.
- Calcular las propiedades específicas, estados, y las posibles características de los equipos.
- Seleccionar los equipos e instrumentos a implementar en el sistema térmico.
- Construir el modular a equiparse en el laboratorio de térmicas.
- Realizar las pruebas necesarias para el control y el manejo del sistema.
- Validar datos obtenidos mediante los elementos de medición y los cálculos.
- Generar la guía de mantenimiento para facilitar el proceso de cuidado del equipo.
- Elaborar el manual de operación para garantizar el correcto uso del modular térmico.

CAPÍTULO 2.

2. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo comprende los conceptos necesarios, normas y software utilizados, con el fin de facilitar el estudio propuesto.

2.1. Generalidades

Según la Real Academia Española, climatizar es la expresión dada a la acción de proporcionar a un ambiente cerrado diversas condiciones, como la temperatura, presión, humedad, entre otros. Con el fin de mejorar el ambiente para las personas, o elementos que lo requieran (RAE, 2021).

2.2. Fluidos

Los fluidos presentan como característica fundamental poseer un estado gaseoso o líquido, es decir, que carecen de dureza, como se aprecia en la Figura 1-2, fácilmente se pueden moldear y deformar según sea la forma del recipiente en el cual el fluido este contenido.

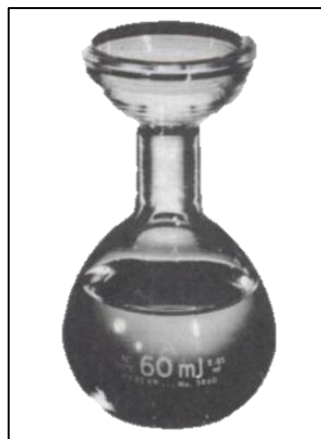


Figura 1-2: Fluido sobre recipiente

Fuente: Mott, 1996, p. 36

Aunque es necesario aclarar que no todos los fluidos se comportan de la forma explicada anteriormente, es decir, existe una línea fina debido a que bajo ciertas condiciones existen fluidos que se pueden comportar como sólidos (Crespo, 2006, p. 2)

2.2.1. *Fluido no newtoniano*

Se consideran fluidos no newtonianos a los líquidos que modifican sus propiedades tales como, su viscosidad al variar la temperatura y presión sobre el fluido, y aplicar una deformación o cizalla independientemente del tiempo que sea aplicada la misma (Mott, 2006, p. 30).

2.2.2. *Fluido newtoniano*

Al contrario del fluido no newtoniano, sus propiedades no se modifican cuando se aplica un esfuerzo de cizalla sobre el mismo. La Figura 2-2 muestra que un fluido newtoniano mantiene una relación lineal entre el esfuerzo cortante con respecto a la velocidad de deformación.

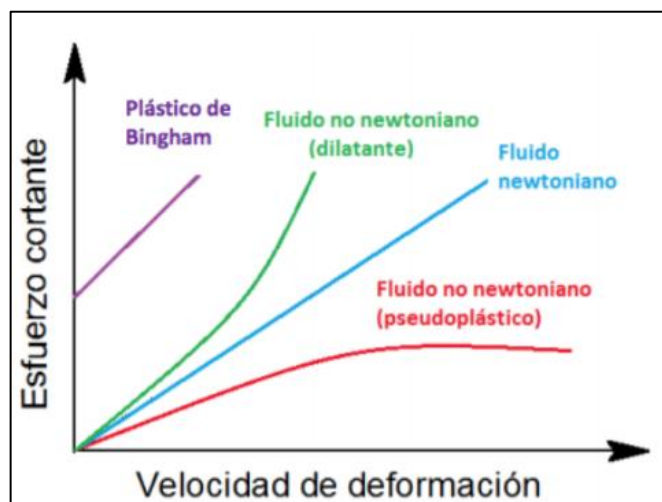


Figura 2-2: Comportamiento de los fluidos

Fuente: Museo de ciencias, p.4

2.2.3. *Estados Físicos de los fluidos*

Se entiende que la materia, en este caso los fluidos, poseen diversos estados físicos, los cuales se diferencian dependiendo la fuerza intermolecular que poseen sus átomos, mismos que pueden ser afectados si existe un cambio de temperatura.

2.2.3.1. *Estados de la materia*

En estado sólido las partículas se encuentran más unidas unas de otras, por ello se genera vibración cuando existe un movimiento en el sólido.

Al hablar de un líquido, las fuerzas entre las partículas son más débiles con relación a un sólido, debido a ello se genera un movimiento, las moléculas poseen libertad de movimiento, es decir, poseen vibración, rotación y traslación.

A diferencia de los anteriores, en el estado gaseoso, sus fuerzas intermoleculares son prácticamente nulas y pueden ocupar todo el volumen de un recipiente debido a que se pueden mover libremente en el espacio (Centro Mario Molina, 2020).

2.2.3.2. *Cambios de estado*

El cambio de un estado a otro depende del aporte del calor al fluido, es decir, cuando se agrega calor a un elemento en estado líquido, las partículas aumentan la energía cinética que genera vibración produciendo la separación de sus átomos y debilitando las fuerzas de cohesión. A este proceso se le conoce como evaporación, caso contrario y con pérdida de energía se genera un estado de condensación. En la figura 3-2 se visualiza los cambios de estado de la materia con sus respectivos procesos.

Existen casos especiales en los que se puede llegar directamente del estado sólido al gaseoso, se conoce como sublimación, esto ocurre a una temperatura y presión por debajo de su punto triple (Cidead, 2012).

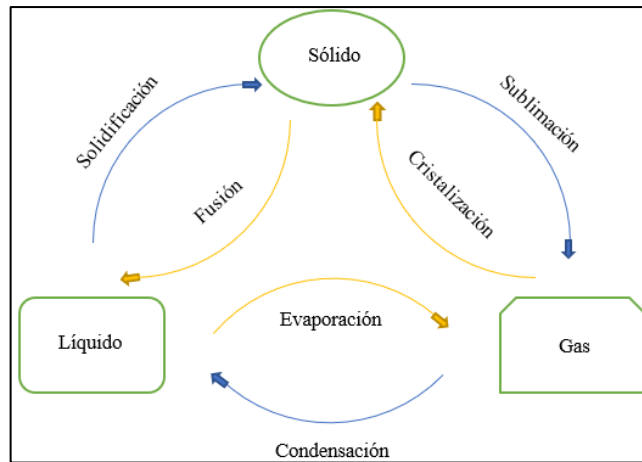


Figura 3-2: Estados del agua

Realizado por: Montero, Alejandro, 2020

2.3. Termodinámica

Se puede definir a la termodinámica como el estudio de sistemas en equilibrio que relacionan al calor, energía interna y trabajo como un todo. Si el sistema en estudio no se encuentra aislado, el entorno exterior puede hacer variar su energía interna (García, 2020).

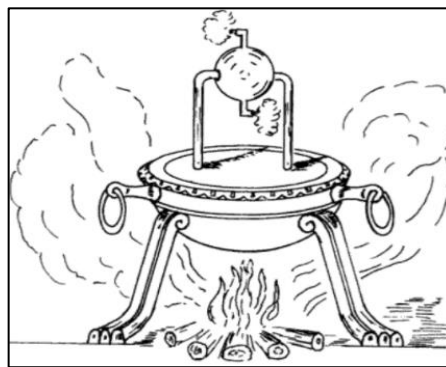


Figura 4-2: Turbina de Herón

Fuente: Rolle, 2006, p. 7

La termodinámica asentó sus bases en el año 150 D.C con la creación de la turbina de Herón (figura 4-2), el cual fue un juguete que necesitaba de una fogata que subía la temperatura de un tanque interno que en su interior se encontraba agua, al realizar el proceso de ebullición el vapor recorría las tuberías conectadas al tanque y que a su vez se expulsaba por el globo superior, generando movimiento de rotación (Rolle, 2006, p. 7).

2.3.1. *Conceptos Básicos.*

2.3.1.1. *Tipos de sistemas*

- Cerrado

En un sistema cerrado con masa constante en sus límites (figura 5-2 a), se permite intercambio de energía más no de materia, se le considera impermeable (Gómez, 2005, p. 3).

- Abierto

En un sistema abierto, se permite el intercambio de masa y energía debido a que sus límites son considerados permeables o imaginarios, en caso de limitar con una pared que permita el paso de algunas partículas se le considera como semipermeable. También se considera que su masa puede o no ser constante (Gómez, 2005, p. 3).

- Rígido

En un sistema rígido no se permite el intercambio de energía (Gómez, 2005, p. 3).

- Adiabático

Un sistema adiabático, no permite la interacción e intercambio de energía con el entorno, solo permite interacción en forma de trabajo (Gómez, 2005, p. 3).

- Aislado

Se puede considerar un sistema aislado cuando no existe un intercambio de materia o energía (figura 5-2 b) (Gómez, 2005, p. 3).

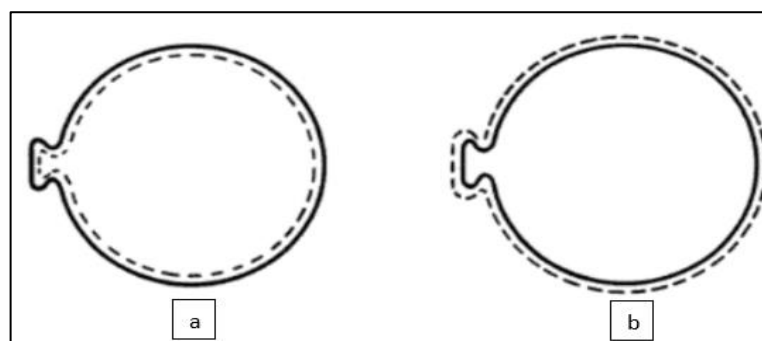


Figura 5-2: Definición del sistema, según su frontera

Fuente: Rolle, 2006, p. 36

2.3.1.2. Tipos de procesos

- Cíclico

En un proceso cíclico el estado inicial coincide con el estado final (Gómez, 2005, p. 7).

- Reversible

Este proceso es capaz de regresar a sus propiedades iniciales pasando por las mismas etapas que el estado directo, para que esto se cumpla no debe existir rozamientos ni deformaciones, por lo tanto, no existe generación de entropía (Gómez, 2005, p. 8).

- Irreversible

Se conocen como procesos irreversibles a los procesos en los que existe una pérdida de energía, es decir que no llegan a su estado original, aumentando su entropía (Gómez, 2005, p. 8).

2.3.1.3. Propiedades termodinámicas de los fluidos

Tabla 1-2: Propiedades del agua saturada

Agua saturada. Tabla de temperaturas (conclusión)

Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Líquido sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líquido sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líquido sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líquido sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
205	1724.3	0.001164	0.11508	872.86	1723.5	2596.4	874.87	1920.0	2794.8	2.3776	4.0154	6.3930
210	1907.7	0.001173	0.10429	895.38	1702.9	2598.3	897.61	1899.7	2797.3	2.4245	3.9318	6.3563
215	2105.9	0.001181	0.094680	918.02	1681.9	2599.9	920.50	1878.8	2799.3	2.4712	3.8489	6.3200
220	2319.6	0.001190	0.086094	940.79	1660.5	2601.3	943.55	1857.4	2801.0	2.5176	3.7664	6.2840
225	2549.7	0.001199	0.078405	963.70	1638.6	2602.3	966.76	1835.4	2802.2	2.5639	3.6844	6.2483

Fuente: Cengel, 2012

Realizado por: Cengel, Yunus. 2012

Tabla 2-2: Propiedades de los fluidos.

Propiedad	Definición	Unidades (S.I)
Temperatura (T)	Es una propiedad esencial de la termodinámica, que determina la capacidad de un sistema para intercambiar su calor (Gómez, 2005, p. 12).	°C
Presión (P)	Es la unidad de fuerza sobre una superficie en dirección normal al plano (Gómez, 2005, p. 10).	Pa
Volumen (V)	Espacio que ocupa una sustancia (Gómez, 2005, p. 9).	m^3

Volumen Especifico (v)	Espacio que ocupa la unidad de masa de una sustancia (Gómez, 2005, p. 9).	$\frac{m^3}{kg}$
Densidad (ρ)	Masa de unidad de volumen de una sustancia (Gómez, 2005, p. 9).	$\frac{kg}{m^3}$
Energía Interna (u)	Se define como la suma de todas las energías a nivel molecular que posee el cuerpo (Cengel et al., 2011, p. 55).	$\frac{kJ}{kg}$
Entalpía (h)	Se refiere la cantidad de energía absorbida o liberada por un sistema termodinámico (Cengel et al., 2011, p. 126).	$\frac{kJ}{kg}$
Entropía (s)	Es una propiedad extensiva, esta propiedad no se conserva, se puede definir como la irreversibilidad de un sistema termodinámico (Cengel et al., 2011, p. 9).	$\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ K}$

Fuente: Gómez, 2005; Cengel 2011

Realizado por: Montero, Alejandro. 2020

2.3.1.4. Diagrama de Mollier

Los diagramas psicométricos de Mollier se caracterizan por utilizar la entalpía en cualquier eje, es importante su uso en máquinas generadoras de frío, bombas de calor, entre otras. Permite utilizar los cambios de estado del refrigerante para transportar la energía térmica (Castro, M et al., 2020, p. 3).

En la figura 6.2 se observa el diagrama de Mollier incorporando las propiedades del fluido refrigerante, mediante un diagrama Presión – Entalpía, y se observan líneas que representan:

- Líneas horizontales o isobaras (azul): Muestra una presión constante.
- Líneas verticales o isoentálpicas (amarillo): Muestra una entalpía constante.
- Líneas isotermas (verde): Muestra la temperatura constante, en la zona de líquido se visualizan trazos paralelos a las isoentálpicas, en zona mixta, serán paralelas a las isobaras, y en la zona de vapor saturado se forma una curva por la variación de la presión y entalpía.
- Líneas isentrópicas (naranja): Muestra la variación de entalpía dividido por la temperatura, forma una curva inversa a la Isoterma en la zona de Vapor
- Líneas isocoras (negro): Muestra el volumen especifico del refrigerante, es constante en la zona mixta (líquido y vapor), pero en la zona de gas aumenta mientras disminuye la presión.

- Líneas isotítulo (rojo): Muestra la fracción másica de gas en la zona mixta, (en saturación de líquido es 0, en saturación de gas es 1)

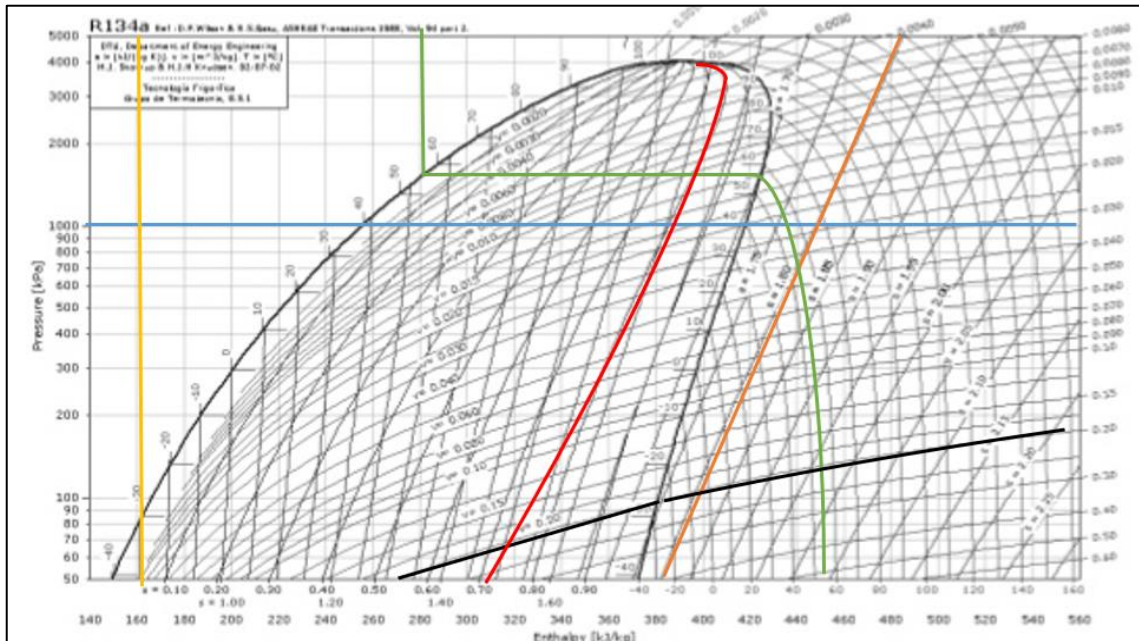


Figura 6-2: Modificación del Diagrama de Mollier para refrigerante R134-a

Realizado por: Montero, Alejandro, 2020

2.3.2. *Energía.*

2.3.2.1. *Primera ley de la termodinámica*

También es conocida como ley de la conservación de la energía, la cual se expresa como; “La energía no se puede crear ni destruir, solo cambia de forma”.

Una manera fácil de comprender el fenómeno se da al momento de realizar el experimento de caída libre, debido a que sí se tiene una masa m a una altura h en ese instante posee cierta energía potencial ($mg\Delta h$) que al llegar a su final de camino se transformara energía cinética [$m(V_2^2 - V_1^2)/2$] (Cengel et al., 2011, p. 70).

Tabla 3-2: Procesos térmicos.

Proceso	Observación	Condición.
Isotérmico	La temperatura es constante	$\Delta Q = \Delta W$; $\Delta E = 0$
Isobárico	La presión del sistema es constante	$\Delta Q = \Delta W + \Delta E$
Isocórico	Volumen del proceso es constante	$\Delta Q = \Delta U$; $\Delta W = 0$

Adiabático	No existe un intercambio de energía	$\Delta Q = 0 ; \Delta E = 0 \Delta W = 0$
------------	-------------------------------------	--

Fuente: Cengel, 2012

Realizado por: Montero, Alejandro, 2021

2.3.2.2. Segunda ley de la termodinámica

La primera ley de la termodinámica relaciona sistemas cerrados y abiertos, pero existen casos y situaciones que satisfacen la primera ley más no son factibles en realidad. Es como cuando se tiene una taza de café caliente, con el paso del tiempo el líquido se enfría debido a la temperatura ambiente de la habitación, ya que la energía que pierde el café la gana el ambiente del entorno. Pero hipotéticamente de manera inversa, si el café caliente se torna más caliente en una habitación que se encuentra a temperaturas bajas, la primera ley no sería alterada, pero se entiende que la situación planteada es ficticia (Cengel et al., 2011, p. 72).

Es en donde entra la segunda ley que dice según Kelvin-Planck: “Es imposible que un dispositivo que ópera en un ciclo reciba calor de un solo depósito y produzca una cantidad neta de trabajo”, es decir que ninguna máquina térmica puede tener una eficiencia de 100 por ciento. (Cengel et al., 2011, p. 287)

Para que una máquina funcione correctamente debe poseer un entorno con intercambio de calor entre el sumidero de baja temperatura y una fuente de alta temperatura, también se entiende que una máquina no va a trabajar con una eficiencia del 100 por ciento ya que existen pérdidas de energía debido a la fricción u otras circunstancias.

2.4. Máquinas Térmicas

Las máquinas térmicas son dispositivos especiales que permiten convertir el calor en trabajo (Cengel et al., 2011, p. 282). Existen varios tipos de máquinas térmicas, pero la mayor parte de ellas cumplen estos requisitos:

- Recibir altas temperaturas de la fuente.
- Convertir el calor en trabajo (no todo el calor es aprovechado).
- El calor no aprovechado va al sumidero.
- Es un proceso cíclico

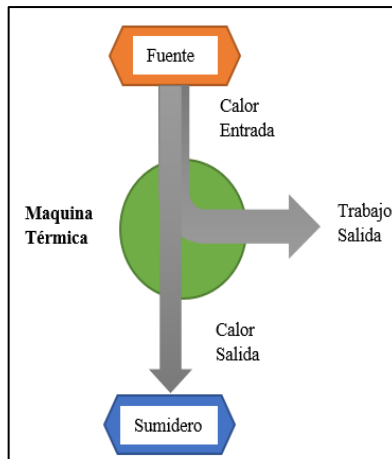


Figura 7-2: Estados del agua

Realizado por: Montero, Alejandro, 2021

Se considera que las máquinas térmicas son cíclicas debido a que requiere un fluido al cual se le transfiere calor, aunque existen casos especiales en los que no sucede, como en motores de automóviles ya que el fluido, que en este caso son los gases de combustión, no regresa al ser desechado por el escape.

2.4.1. Ciclos Térmicos

Son procesos en los que un sistema cambia su estado, siendo su etapa final coincidente con la inicial luego de una serie de pasos en los cuales cada uno posee un diferente tipo de configuración de sus propiedades, ya sean volumen, presión, temperatura, entre otras. Debido a que los ciclos térmicos no son máquinas perfectas, no presentarían pérdidas de calor.

2.4.2. Ciclo de Carnot

Carnot describe un ciclo ideal para un sistema constituido por un gas contenido en un cilindro equipado con un émbolo libre, sin fricción. Los cuerpos A y B de la figura 8-2, representan reservorios térmicos cuyas temperaturas T_A y T_B son constantes y T_A es mayor que T_B . Se indican cuatro posiciones para el émbolo. Con el émbolo, inicialmente en la posición c-d, el sistema se pone en contacto con el depósito A. Carnot enfatiza varias veces que el máximo

aprovechamiento del calor (o calórico como llamaba Carnot) para la producción del movimiento ocurriría cuando todos los cambios de temperatura en el fluido sucedieran debido a cambios de volumen.

Carnot observó con claridad que los fluidos elásticos (gas o vapor), son los verdaderos instrumentos apropiados para el desarrollo de la potencia motriz del calor, es decir, un gas mantenido a una temperatura constante pasa de un volumen (V_1) y presión (p_1) a otro volumen (V_2) y otra presión (p_2), la cantidad de calor absorbido o abandonado es siempre la misma. Carnot escribe que durante los procesos de expansión o compresión isotérmica las cantidades de calor absorbidas o liberadas por el gas siguen una progresión aritmética cuando el volumen aumentado o disminuido es sometido a una variación, siguiendo una progresión geométrica (Passos, 2020).

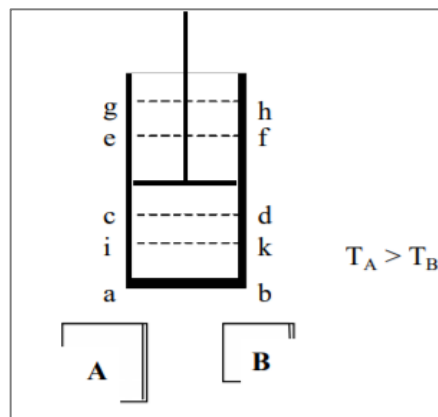


Figura 8-2: Variación de volumen de gas

Fuente: Passos, nd

2.4.2.1. Ciclo de Carnot (Bomba de Calor)

La termodinámica aporta ideas, una de las más importantes, es la capacidad de proporcionar límites naturales a la eficacia con la que se puede llevar a cabo procesos reales. Gran parte de la primera motivación fuerte para la creación de una ciencia del calor fue el deseo de hacer que las máquinas de vapor sean lo más efectivas posible.

Como señala Tisza, el énfasis de la época de Carnot y la tradición de Clausius y Kelvin y de Carathéodory, fue el uso de la termodinámica como herramienta para encontrar límites en el trabajo, la transferencia de calor y la eficiencia (Andresen et al., 1997).

Uno de los más conocidos es el ciclo mencionado que fue propuesto en el año 1824 por el Ingeniero francés Sadi Carnot, y su máquina propuesta está formada, como se puede observar en

la figura 9-2, por cuatro procesos reversibles, dos procesos adiabáticos y dos isotérmicos (Moran et al., 2004).

- Expansión Isotérmica Reversible:

El gas está en contacto con una fuente de temperatura, lo que genera que se expanda por el calor y permite realizar trabajos en su contorno, a medida que el gas se expande se mantiene la temperatura constante.

- Expansión Adiabática Reversible:

El sistema se vuelve adiabático debido a que se considera aislado, el gas se expande a poca velocidad en donde la temperatura va de una alta a una más baja.

- Compresión Isotérmica Reversible:

Ya no se considera el sistema aislado, pero tiene contacto con el sumidero, a medida que existe un trabajo aplicado en el proceso el gas comienza a incrementar su temperatura nuevamente, pero al estar en contacto con el sumidero se mantiene la temperatura baja en el fluido.

- Compresión Adiabática Reversible:

La temperatura baja del gas sube hasta regresar a la temperatura alta del primer proceso debido a que ya no existe el sumidero, este proceso completa el ciclo (González, 2012).

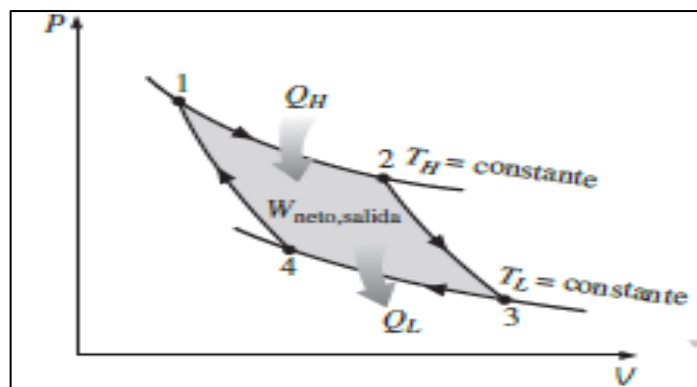


Figura 9-2: Ciclo Carnot, diagrama Presión/Volumen

Fuente: Cengel. 2012

2.4.2.2. Sistemas de generación de calefacción

La calefacción se obtiene como proceso de conversión de la energía eléctrica a calor, la cual se puede generar mediante la ayuda de elementos como resistencias, debido a la baja resistencia del material al flujo de electrones, produce la generación de calor.

Entre los sistemas de calefacción más utilizados se tienen los siguientes:

- Calefacción por gas
- Calefacción eléctrica por acumulación
- Calefacción eléctrica por convectores
- Emisor termoeléctrico
- Caldera con radiador de agua
- Suelo radiante
- Bomba de calor (Sistemas, 2020).

2.4.2.3. Ciclo de Carnot invertido (Refrigeración)

El ciclo anterior se puede revertir generando un ciclo de refrigeración, llega a tener el mismo modelo Presión – Volumen que el ciclo de bomba de calor, pero esta vez el calor que ingresa y sale del sistema están invertidos, es decir, el calor Q_L absorbe un depósito de baja temperatura y el calor Q_H será extraído y rechazado hacia otro depósito (Figura 10-2) para ello se requiere de un trabajo neto de entrada, este proceso tendrá una dirección contraria a las manecillas del reloj (Cengel, 2007).

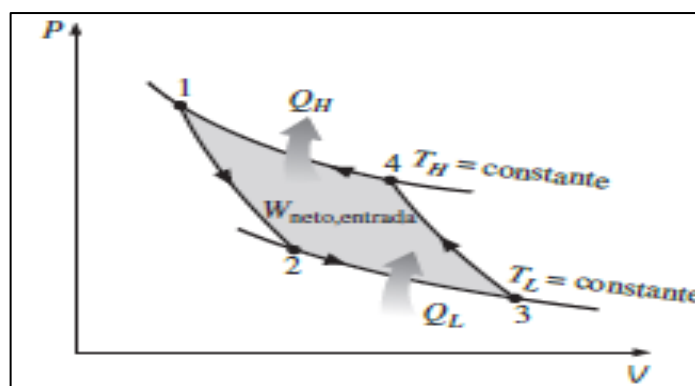


Figura 10-2: Ciclo Carnot Invertido, diagrama Presión/Volumen

Fuente: Cengel, 2012

2.4.2.4. *Sistemas de generación de refrigeración*

Son sistemas que se emplean en equipos como por ejemplo los de aire acondicionado, su finalidad es extraer el calor de un lugar a otro. Se conoce dos tipos de sistemas de refrigeración, ya sea por compresión o absorción, la diferencia se da en el uso del compresor para elevar la temperatura y presión del refrigerante, o elevar la temperatura y presión mediante el aporte de calor. (Arnabat, 2007).

El funcionamiento por compresión ayuda a generar frío artificial, generalmente consta de los siguientes elementos:

- Evaporación: mismo que se genera por conducción, radiación y convección
- Compresión: el refrigerante aumenta de temperatura con lo cual se expande
- Condensación: la temperatura del refrigerante debido a que es muy alta es absorbida por la del ambiente (agua, aire, otros), la cual permite que se condense y nuevamente regrese al sistema de evaporación (Alarcón, 2005).

Es importante conocer acerca de los refrigerantes, debido a que existe una gran variedad, según cual sea su aplicación se selecciona dependiendo de su capacidad para disipar el calor, entre otros factores (Guanipa, 2010).

2.5. *Componentes de Sistema de Calefacción*

2.5.1. *Caldera*

Este elemento es indispensable para los sistemas de calefacción, cuando se trabaja con agua es importante que el vapor generado sobrepase la curva de recalentamiento para obtener propiedades similares a las de un gas. Es importante obtener agua limpia para estos equipos, ya que, si se la capta de ríos o lagos, la calidad de agua podría contener sustancias perjudiciales y generar problemas (Forns et al., 2002, p. 384).

2.5.2. *Turbina*

La turbina es el elemento que permite convertir el vapor de agua en energía, es decir, transformar energía térmica a energía mecánica. Este dispositivo por lo general es utilizado para generar energía eléctrica en plantas termoeléctricas (Forns et al., 2002, p. 366).

2.5.3. Condensador

El condensador es un implemento importante para convertir el vapor proveniente de la turbina en líquido, este elemento se encuentra a bajas presiones debido a la condensación del gas (Forns et al., 2002, p. 389).

2.5.4. Bomba

La bomba es el elemento que permite la recirculación del fluido, debe estar purgada para evitar impurezas y gases, debido a que estas pueden generar daños (Forns et al., 2002, p. 389).

2.6. Componentes del Sistema de Refrigeración

2.6.1. Evaporador

La función que permite realizar el evaporador (figura 11-2) es la de absorber el calor del aire del ambiente por medio del refrigerante, permitiendo que en la zona se generen bajas temperaturas (Wirz, 2008, p. 8).

El refrigerante que se encuentra en la zona del evaporador está en ebullición lo cual permite absorber el calor latente, esta temperatura se la conoce como temperatura de saturación o temperatura del evaporador. Para que se dé una mejor eficiencia el evaporador debe ser de materiales conductores para así aprovechar el mayor intercambio de calor posible.

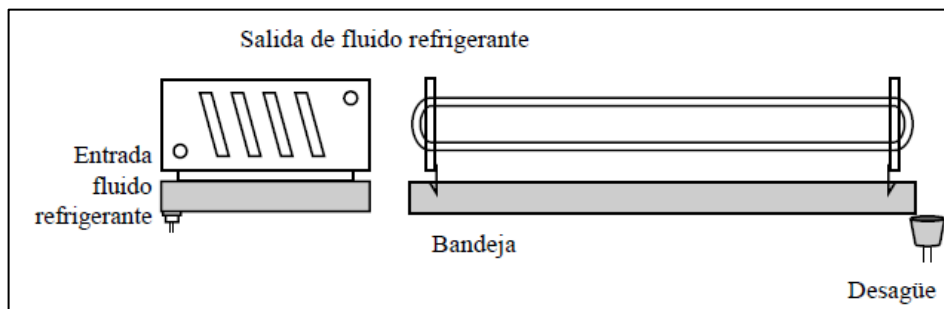


Figura 11-2: Evaporador

Fuente: Wirz, 2008, p. 8

2.6.2. *Compresor*

Este elemento permite transportar el refrigerante que se encuentra en estado gaseoso enviándolo al condensador, esto se lo realiza con la finalidad de condensar el fluido antes mencionado (Wirz, 2008, p. 8).

- Compresor Alternativo

Estos compresores a su vez se subdividen en simple efecto o doble efecto, esto depende de la compresión realizada si es en los dos lados del pistón o solo en uno. Los elementos principales del compresor son: bloque (figura 12-2), cárter, cilindro, pistón, biela, eje cigüeñal, eje de excéntrica, culata, válvulas de aspiración y descarga (Franco, 2006, p. 34).

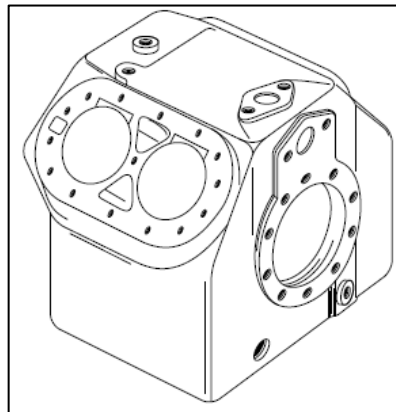


Figura 12-2: Bloque de compresor

Fuente: Franco, 2012, p. 34

2.6.3. *Condensador*

El condensador (figura 13-2) cumple una función similar a la del evaporador, pero en este caso no absorbe el calor, lo expulsa debido al intercambio de las altas temperaturas del gas con las relativas bajas temperaturas del medio en el que se encuentre ya sea aire, agua u otros (Franco, 2006, p. 8). Para que el condensador cumpla la función de cambiar el estado del fluido, es importante seleccionar o construirlo con materiales conductores (Franco, 2006, p. 77).

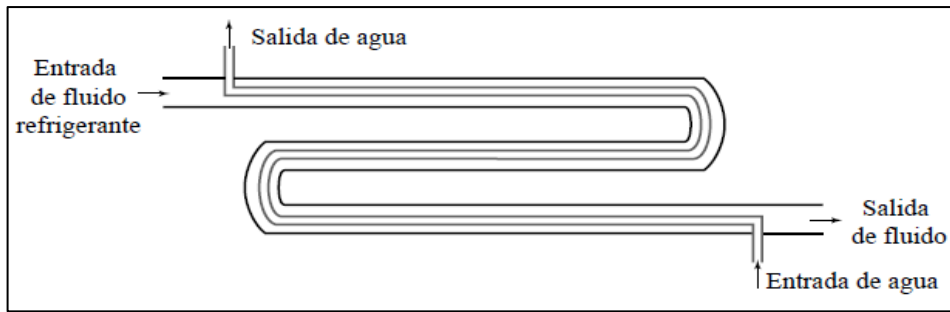


Figura 13-2: Funcionamiento de un condensador

Fuente: Franco J, 2012, p. 8

2.6.4. *Refrigerante*

Se conoce como refrigerante al fluido que tiene como capacidad absorber el calor de otra sustancia. Como el objetivo principal es el de disipar el calor este fluido debe poseer características apropiadas tales como, propiedades físicas, químicas, termodinámicas, entre otras. Debe ser un líquido seguro y en lo posible económico. Algunos ejemplos de refrigerantes son, el etano, freón, bióxido de azufre, entre otros. (Hernandez, 2009, p. 337).

2.7. **Elementos del Sistema Combinado**

2.7.1. *Visor de líquido*

Como se observa en la figura 14-2, este dispositivo es un elemento auxiliar que permite observar y poseer el control sobre el refrigerante, ya que indica el estado del fluido y su humedad. Normalmente se instalan entre el filtro secador y la válvula de expansión (Corporación, 2017).

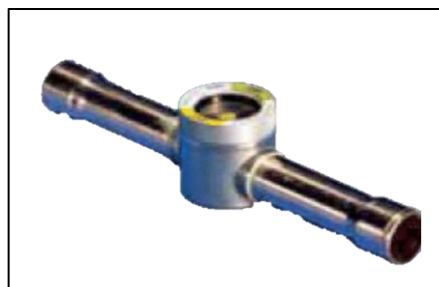


Figura 14-2: Visor

Fuente: Reymo. nd

2.7.2. *Tubo capilar*

Son utilizadas en pequeñas instalaciones donde la carga frigorífica no varía, es decir instalaciones domésticas, acondicionamiento de aire, entre otros. Este tubo (ver figura 15-2) une los diferentes elementos del sistema de alta y baja presión, el fluido refrigerante circula por el interior del capilar. Se puede encontrar hasta diámetros de 2,4 mm (Franco, 2006, p. 128).

Estos dispositivos son unas válvulas expansoras o tubos capilares y su función es la de disminuir la presión del fluido refrigerante con el fin de que pueda cambiar de estado (gaseoso) a temperaturas más bajas de lo requerido (Wirz, 2008, p. 8).



Figura 15-2: Tubo capilar

Fuente: Clirsa. nd

2.7.3. *Filtro secador*

El filtro secador (figura 16-2) es importante debido a que la humedad en estos sistemas de refrigeración causa problemas de bloqueos debido a la cristalización del agua, en caso de poseer aberturas en la red de tuberías, estas pueden permitir el paso de impurezas que generan sedimentación, oxidación y corrosión (Nieto, 2018). El paso de elementos extraños puede suceder al instante en el que se posea un mal acople entre los elementos, por medio del compresor al cargar el refrigerante (Franco, 2006, p. 15).

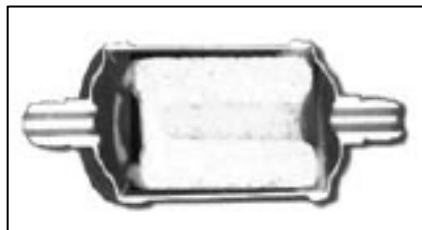


Figura 16-2: Filtro secador

Fuente: Franco, 2012, p. 15

2.7.4. Presostato

Son aparatos que pueden abrir o cerrar un contacto dependiendo de la presión a la que se encuentre, tal como un interruptor eléctrico. Los cuales se los pueden encontrar:

- Presostato de alta presión

Es instalado en la zona de alta presión, es importante debido a que ayuda a controlar que no existan presiones altas en otras zonas del equipo, debido a que esto puede ser peligroso para la seguridad de los operadores. Para ello se debe regular una presión determinada y cuando la alcanza, el presostato detiene el funcionamiento del compresor (Franco, 2006, p. 5).

- Presostato de baja presión

Este presostato (figura 17-2) es instalado en la zona de carga del compresor y la función que este tiene es evitar que las presiones sean menores a la atmosférica. Si la presión desciende más de lo establecido, el compresor se detendrá debido a que el rendimiento no será el óptimo (Franco, 2006, p. 5).

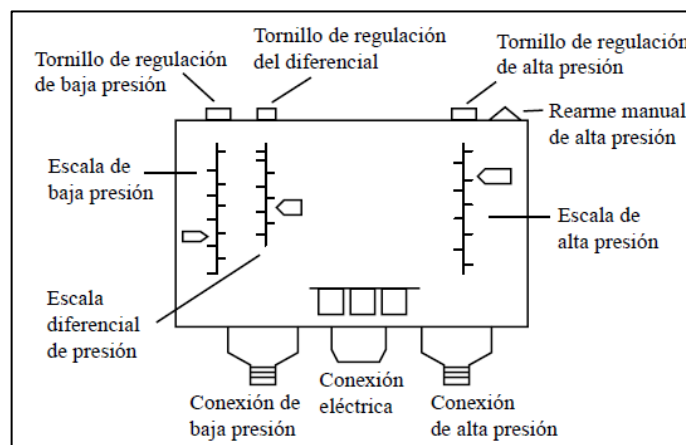


Figura 17-2: Presostato

Fuente: Franco, 2012, p. 5

2.7.5. Acumulador de líquido

Es un recipiente (figura 18-2) el cual acumula el fluido refrigerante con el fin de reservarlo en caso de ser necesario, este se encuentra instalado a la salida del condensador debido a que el flujo

que sale no pasa directamente al evaporador, con la excepción de cuando se utilizan tubos capilares (Franco, 2006, p. 12).

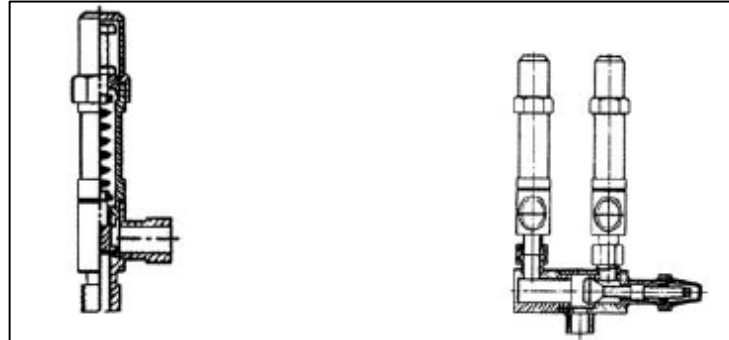


Figura 18-2: Tipos de acumuladores

Fuente: Franco, 2012, p. 12

2.7.6. *Válvula de paso*

Este elemento permite el paso del fluido o gas en las tuberías del equipo (ver figura 19-2), regulando y asegurando un flujo favorable y controlando la presión. Por lo general estas pasan totalmente abiertas o cerradas, es común utilizar en este tipo de diseños válvulas de globo, aunque existen dos tipos, válvulas con empaque y sin empaque.

Es recomendable utilizar válvulas con empaque debido a que por lo general están provistas con tapones de sellamiento los cuales permiten retener el refrigerante sin tener fugas en la unión (Climas, 2020).



Figura 19-2: Válvula de paso

Fuente: Edesa, nd

2.7.7. Termostato

Este elemento es importante debido a que controla la temperatura que genera el evaporador. Se puede decir que es un interruptor que abre o cierra el contacto eléctrico al momento que alcanza la temperatura deseada mediante el sensor de temperatura que este posee (ver figura 20-2).

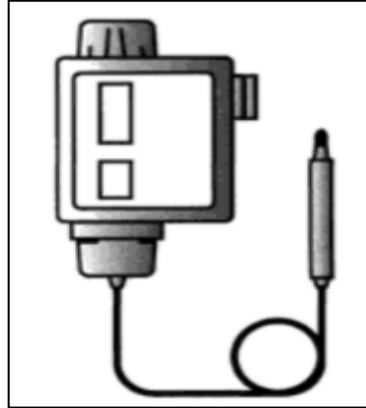


Figura 20-2: Termostato

Fuente: Franco, 2006

2.7.8. Manómetro

Este elemento permite realizar una correcta lectura de la presión que se ejerce en algún punto del sistema, se puede distinguir una zona de alta y una de baja presión (Franco, 2006). El manómetro conectado a la zona de baja presión suele tener un rango de -1 a +10 bar y por lo general es de color azul (figura 21-2), en cambio el manómetro de alta presión tiene un rango de 0 a 35 bar y es de color rojo (Franco, 2006, p. 159).

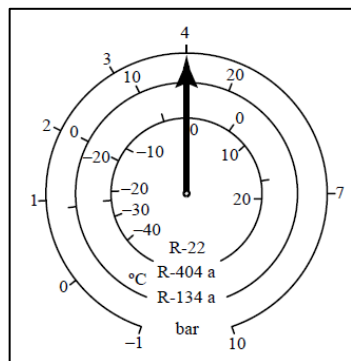


Figura 21-2: Manómetro

Fuente: Franco, 2006, p. 159

2.7.9. *Protector térmico*

Es un elemento (ver figura 22-2) que se encuentra conectado con la línea del compresor, está compuesto de un juego de platinos, una resistencia y una lámina bimetálica. Su funcionamiento se da cuando el amperaje que recibe el compresor es alto, lo cual hace que la resistencia aumente su temperatura y provoca que las platinas se arqueen de tal forma que interrumpe el contacto, por lo tanto, no permite el paso de energía, al regularse la corriente los platinos volverán a su estado normal (Protector, 2021).



Figura 22-2: Protector Térmico

Fuente: Refrigeración. 2020

2.8. Soldadura

Debido a que el equipo necesita uniones soldadas, ya sea entre la tubería de cobre con elementos como el condensador y evaporador, es importante conocer a cerca del tipo de soldadura a utilizar

2.8.1. *Por Soplete*

Se lo conoce a todo aquel que necesite el uso de Gas combustible con el fin de generar la energía necesaria para fundir el material de aporte, estos gases pueden ser acetileno, metano u hidrogeno.

De este tipo de soldadura se pueden obtener tres llamas características, se conocen como llama carburante, neutral y oxidante (figura 23-2). La llama carburante es utilizada para soldadura de monel, níquel, materiales no ferrosos, entre otros. Por su parte la llama neutral es la más utilizada debido a que las temperaturas dependiendo su cono pueden alcanzar desde los 3500°C hasta los

1275°C en su punta extrema. La llama oxidante utilizada para realizar cortes en metales y se puede utilizar para soldar latón y bronce (Rojas, 2010, p. 4).

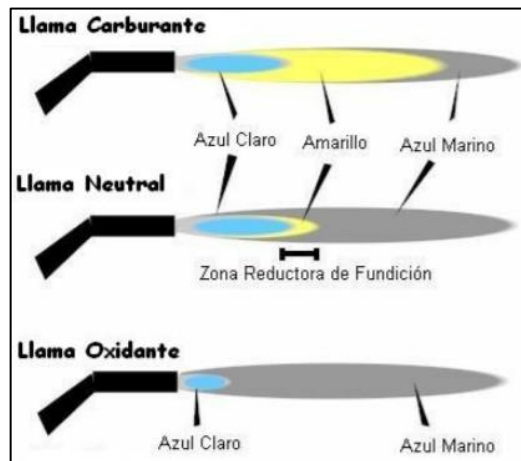


Figura 23-2: Soldadura por soplete

Fuente: Federación de Enseñanza, 2010

2.8.2. Cobre

Este elemento es uno de los más abundantes de la tierra, en su estado natural se encuentra combinado con metales como oro, plata, bismuto y plomo (Duque, et al. 2006, p. 97). Posee una gran conductividad eléctrica y térmica, es por lo que su principal aplicación es la fabricación de cables. Su punto de fusión se encuentra en torno a los 1085 °C, para realizar la soldadura se debe precalentar el cobre a una temperatura de 260 C.

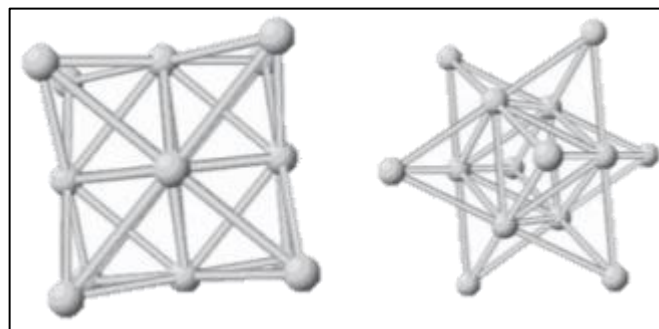


Figura 24-2: Átomo de cobre

Fuente: Duque, L. 2006, p. 97

2.9. Dwsim

Es un simulador de procesos químicos de licencia abierta (figura 25-2), compatible con diversas plataformas entre ellas Windows y macOS. Su origen empezó en 2004 como un macro Excel VBA por su desarrollador Daniel Wagner Oliveira (DWSIM, 2021).

El programa ha sido utilizado para la elaboración de artículos científicos, lo cual demuestra que posee una confiabilidad en sus procesos (Literature, 2021).

Entre las diversas operaciones unitarias que se pueden realizar en el programa están: Mezclador, separador, bomba, compresor, expansor, calentador, enfriador, intercambiador de calor, entre otros (DWSIM, 2021).

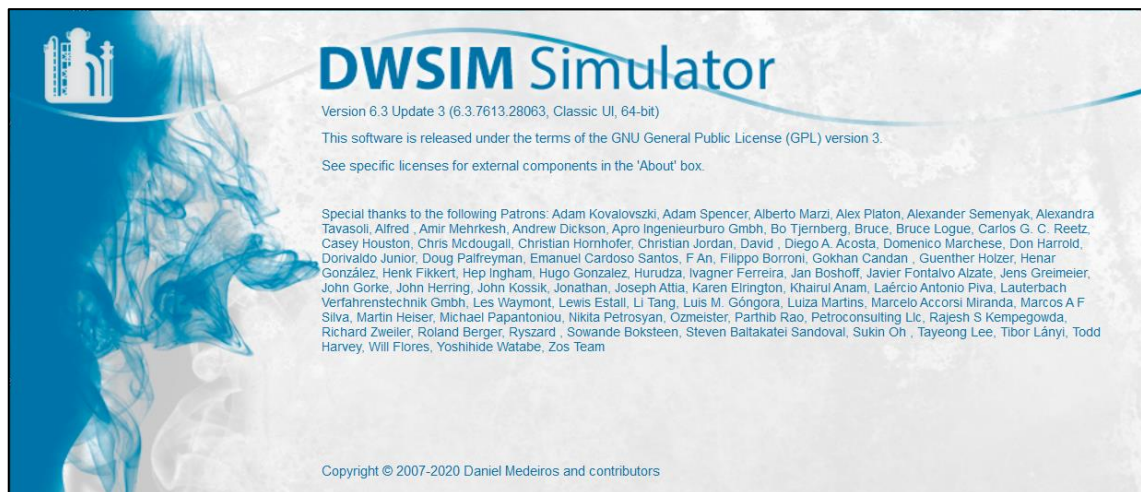


Figura 25-2: Inicio de Interfaz tomada del programa DWSIM

Realizado por: Montero, Alejandro, 2021

2.9.1. Tipos de análisis.

El programa cuenta con diversos paquetes de propiedades, que sirve de ayuda con la resolución del planteamiento del problema (DWSIM, 2021). Esto dependerá del fluido y el área en el que se trabaje, como:

- En caso de utilizar gases no congelantes a bajas presiones es necesario utilizar el paquete con la ley de Raoult

- Si se poseen gases no congelantes a altas presiones, es necesario utilizar ecuaciones de estado dadas por los modelos como: Peng-Robinson, Soave-Redlick-Kwong y PRSV2
- En caso de tener sistemas con contenido alto de hidrogeno, es mejor utilizar modelos como: Chao-Seader, Grayson-Streed o Lee-Kesler-Plöcker.
- Si necesitamos simulaciones con agua/vapor: se debe utilizar el paquete “*Steam Tables*”.
- Para sistemas de refrigeración y separación de aire, el paquete de propiedades debe ser Coolprop.

Coolprop es una biblioteca en lenguaje C++, la cual contiene propiedades de hasta 122 componentes entre los cuales se puede nombrar al aire, amonio, etano, neón, R134a, R410a, etc. Se pueden trabajar con fluidos compresibles, incompresibles y salmueras.

2.10. Marco teórico

Para la realizar los respectivos cálculos se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos

2.10.1. Cargas térmicas

Según la William Jones, miembro de la sociedad de ingenieros americanos de calefacción, refrigeración y aire acondicionado (ASHRAE por sus siglas en inglés), las cargas frigoríficas a considerar son (Jones, 2005, p.144):

2.10.1.1. Cargas por transmisión.

Esta carga considera la transmisión de calor generado a través de las paredes, piso y techo de la cámara de climatizado por conducción. Depende de los siguientes factores:

$$Q_t = K * A * (T_a - T_c) \quad (Eq. 1)$$

Donde:

Q_t = carga térmica por transmisión

K = coeficiente global de transferencia de calor

A = superficie de transferencia de calor

T_a = temperatura del ambiente exterior

T_c = temperatura deseada en la cámara de climatizado

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_c}} \quad (Eq. 2)$$

Donde:

h_0 = coeficiente transferencia de calor por convección

e = espesor de pared

λ = coeficiente transferencia de calor por conducción

2.10.1.2. Carga por productos.

Tabla 4-2: Propiedades de los alimentos.

Alimento	Contenido de agua, % (masa)	Temperatura, T °C	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · °C	Difusividad térmica, α m ² /s	Calor específico, c_p kJ/kg · K
Frutas/Vegetales						
Manzana, jugo de	87	20	1 000	0.559	0.14×10^{-6}	3.86
Manzanas	85	8	840	0.418	0.13×10^{-6}	3.81
Manzanas secas	41.6	23	856	0.219	0.096×10^{-6}	2.72
Chabacanos secos	43.6	23	1 320	0.375	0.11×10^{-6}	2.77
Plátanos frescos	76	27	980	0.481	0.14×10^{-6}	3.59
Brócoli	—	-6	560	0.385	—	—
Moras frescas	92	0-30	1 050	0.545	0.13×10^{-6}	3.99
Higos	40.4	23	1 241	0.310	0.096×10^{-6}	2.69
Toronja, jugo de	89	20	1 000	0.567	0.14×10^{-6}	3.91
Duraznos	89	2-32	960	0.526	0.14×10^{-6}	3.91
Ciruelas	—	-16	610	0.247	—	—
Papas	78	0-70	1 055	0.498	0.13×10^{-6}	3.64
Pasas	32	23	1 380	0.376	0.11×10^{-6}	2.48
Carnes						
Res, bistec de	67	6	950	0.406	0.13×10^{-6}	3.36
Res, carne magra de	74	3	1 090	0.471	0.13×10^{-6}	3.54
Res, carne grasosa de	0	35	810	0.190	—	—
Res, hígado de	72	35	—	0.448	—	3.49
Gatos, alimento para	39.7	23	1 140	0.326	0.11×10^{-6}	2.68
Pollo, pechuga de	75	0	1 050	0.476	0.13×10^{-6}	3.56
Perros, alimento para	30.6	23	1 240	0.319	0.11×10^{-6}	2.45
Bacalao	81	3	1 180	0.534	0.12×10^{-6}	3.71
Salmón	67	3	—	0.531	—	3.36
Jamón	71.8	20	1 030	0.480	0.14×10^{-6}	3.48

Fuente: Cengel, 2012

Realizado por: Cengel, Yunus, 2012

Cada elemento que ingresa a la cámara de climatizado posee calorías diferentes, por tanto, es necesario considerar desde un inicio la capacidad que va a poseer el equipo. En la tabla 4-2, se muestra una serie de diversos alimentos que poseen diferentes propiedades, como densidad, conductividad térmica y calor específico.

2.10.1.3. Carga por infiltración.

Por lo general se considera infiltración en casos de presión de viento considerado en construcciones altas, al ingresar personas, debido a que puede ingresar suciedad.

2.10.1.4. Carga por personas

Las personas emiten energía dependiendo del trabajo que se encuentren realizando, es por ello, que grandes cámaras frigoríficas deben considerarlos como cargas (ver tabla 5-2).

Tabla 5-2: Cargas liberado debido a personas

Activity	Metabolic rate W	Heat liberated in W Room dry-bulb temperature (°C)							
		20°		22°		24°		26°	
		S	L	S	L	S	L	S	L
Seated at rest	115	90	25	80	35	75	40	65	50
Office work	140	100	40	90	50	80	60	70	70
Standing	150	105	45	95	55	82	68	72	78
Eating in a restaurant	160	110	50	100	60	85	75	75	85
Light work in a factory	235	130	105	115	120	100	135	80	155
Dancing	265	140	125	125	140	105	160	90	175

Fuente: Jones, 2005

Realizado por: Jones, William, 2005

2.10.1.5. Carga por iluminación.

La luz es producida por energía eléctrica, la cual aparece en forma de calor, por lo tanto, en caso de ser necesaria luminarias al interior de la cámara se debe tomar las consideraciones que se muestra en la tabla 6-2:

Tabla 6-2: Cargas debido a iluminación.

Illuminance in lux	Watts liberated per m ² of floor area, including power for control gear							
	Filament lamps		Discharge lighting		65 W white fluorescent			Poly- phosphor fluorescent tube 58 W (1.5 m)
	Open industrial reflector	General diffusing fitting	MBF	SON	Enamel plastic trough	Enclosed diffusing fitting	Louvred ceiling panel	
			Open industrial reflector					
150	19-28	28-36	4-7	2-4	4-5	6-8	6-8	4-8
200	28-36	36-50	—	—	6-7	8-11	9-11	6-10
300	38-55	50-69	7-14	4-8	9-11	12-16	12-17	10-16
500	66-88	—	13-25	7-14	15-25	24-27	20-27	14-26
750	—	—	18-35	10-20	—	—	—	—
1000	—	—	—	—	32-38	48-54	43-57	30-58

Fuente: Jones, 2005

Realizado por: Jones, William, 2005

2.10.1.6. Balance de masas

$$m_{entra} = m_{sale} + \Delta\dot{m} \quad (Eq. 3)$$

Donde:

m_{entra} = masa que entra al componente de estudio

m_{sale} = masa que sale del componente de estudio

$\Delta\dot{m}$ = variación de masas

2.10.1.7. Balance de energías

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E \quad (Eq. 4)$$

Donde:

E_{entra} = energía que entra al componente de estudio

E_{sale} = energía que sale del componente de estudio

ΔE = variación de energías

2.10.1.8. Rendimiento del Ciclo

El coeficiente de rendimiento para una máquina de refrigeración se da mediante la relación entre la energía extraída del evaporador y la energía suministrada al compresor.

$$COP_R = \frac{q_e}{w_c} \quad (Eq. 5)$$

El ciclo de Carnot también se lo puede determinar mediante el análisis de temperaturas recibida del evaporador sobre las energías suministradas al equipo

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{evap}}{T_{condensador} - T_{evap}} \quad (Eq. 6)$$

La eficiencia del ciclo esta dado por la fracción entre COP_R y COP_{Carnot}

$$n_R = \frac{COP_R}{COP_{RC}} \quad (Eq. 7)$$

2.10.1.9. Caudal másico

Una vez obtenidos los datos del sistema, se puede encontrar el caudal masico del equipo mediante la siguiente ecuación.

$$\dot{m} = \frac{Q_{Total}}{q_e} \quad (Eq. 8)$$

Donde:

\dot{m} = Caudal másico

Q_{Total} = cargas totales en la cámara de climatizado

q_e = calor evaporador

2.10.1.10. Trabajo del compresor

El compresor muestra su trabajo real al realizar el siguiente calculo

$$W_c = w_c * \dot{m} \quad (Eq. 9)$$

Donde:

W_c = trabajo del compresor

w_c = trabajo másico del compresor

2.10.1.11. Trabajo del condensador

El condensador muestra su trabajo real al realizar el siguiente calculo

$$Q_c = q_c * \dot{m} \quad (Eq. 10)$$

Donde:

Q_c = trabajo del condensador

q_c = trabajo másico del condensador

2.10.1.12. Trabajo del evaporador

El evaporador muestra su trabajo real al realizar el siguiente calculo

$$Q_e = q_e * \dot{m} \quad (Eq. 11)$$

Donde:

Q_e = trabajo del evaporador

q_e = trabajo másico del evaporador

2.10.1.13. Cálculo de la media logarítmica

Debido a que no se posee un dato concreto de la temperatura de condensación, es necesario obtener una temperatura promedio entre la temperatura de entrada y salida, tanto del tubo de condensación como del ambiente al que se encuentra expuesto.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (\text{Eq. 12})$$

Donde:

$$\Delta T_1 = T_{he} - T_{cs} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$\Delta T_2 = T_{hs} - T_{ce} \quad (\text{Eq. 14})$$

Donde:

ΔT_{ml} = temperatura media logarítmica

T_{he} = temperatura entrada del ambiente

T_{cs} = temperatura salida del condensador

T_{hs} = temperatura salida del ambiente

T_{ce} = temperatura entrada del condensador

2.10.1.14. Área de transferencia de calor

$$A_s = \frac{Q_c}{U_{aprox} * \Delta T_{ml}} \quad (\text{Eq. 15})$$

Donde:

A_s = área de transferencia de calor

U_{aprox} = coeficiente de transferencia de calor del material

2.10.1.15. Longitud equivalente

$$L_E = \frac{A_s}{\pi * D_e} \quad (Eq. 16)$$

Donde:

L_E = longitud equivalente

D_e = Diámetro equivalente de la tubería de cobre

2.10.1.16. Numero de tubos

$$N_t = \frac{L_E}{L_t} \quad (Eq. 17)$$

Donde:

N_t = Numero de tubos

L_t = longitud de trabajo

2.11. Cálculos Ciclo de refrigeración

Los cálculos para el ciclo de refrigeración comienzan determinando la carga que poseerá la cámara de climatizado, que depende de los factores a continuación.

2.11.1. Carga frigorífica

2.11.1.1. Carga de la cámara de climatizado

Es importante tomar en cuenta el material y el tamaño de la cámara, en la figura 26-2 se visualiza el tamaño de la caja y en la tabla 8-2 se detallan las propiedades y dimensiones de la cámara.

Tabla 7-2: Dimensiones cámara de climatizado

Descripción	Símbolo	Dato
Material	-----	acrílico
Largo (m)	l	0.6
Ancho (m)	w	0.3
Altura (m)	h	0.4
Espesor (m)	e	0.004

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

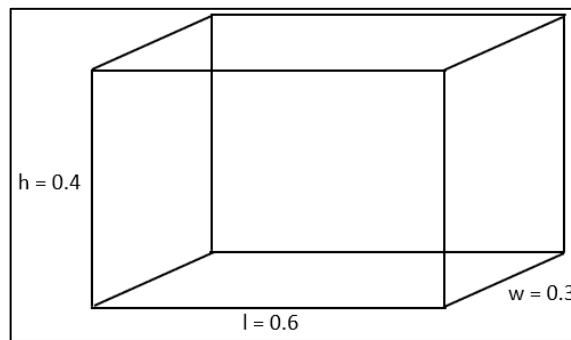


Figura 26-2: Dimensiones cámara de climatizado.

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 8-2: Datos cámara de climatizado

Descripción	Símbolo	Valor
Área base (m)	A_b	0.18
Área cara frontal (m)	A_f	0.24
Área cara lateral (m)	A_l	0.12
Coeficiente convección aire exterior ($W/m^2 \text{ }^\circ K$)	h_0	25 (UPV, 2020)
Coeficiente convección aire interior ($W/m^2 \text{ }^\circ K$)	h_c	250
Coeficiente de transferencia del acrílico ($W/m \text{ }^\circ K$)	λ	0.2 (Anexo D)
Temperatura ambiente ($^\circ C$)	T_0	20
Temperatura Cámara ($^\circ C$)	T_c	0

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Donde:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_c}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1 \text{ m}^2 \text{ K}}{25 \text{ W}} + \frac{0.004 \text{ m}^2 \text{ K}}{0.2 \text{ W}} + \frac{1 \text{ m}^2 \text{ K}}{250 \text{ W}}}$$

$$K = 15.625 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Por lo tanto, el calor generado en las puertas de la cámara de climatizado se da por la siguiente ecuación:

$$Qt = K * A * (T_a - T_c)$$

En la tabla 9-2 se observa el cálculo de la potencia total de la cámara de climatizado.

Tabla 9-2: Potencia cámara de climatizado.

Qt	K $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}\right)$	A (m ²)	Ta (°K)	Tc (°K)	Valor
Lateral Derecha	15.625	0.12	293	273	37.5 w
Lateral Izquierda	15.625	0.12	293	273	37.5 w
Frontal	15.625	0.24	293	273	75 w
Detrás	15.625	0.24	293	273	75 w
Superior	15.625	0.18	293	273	56.25 w
Inferior	15.625	0.18	293	273	56.25 w
TOTAL					337.5 w

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.11.1.2. Carga por productos.

Debido a que no se considera ingresar algún tipo de producto alimenticio ya sea líquido o sólido se desprecia esta carga.

$$Q_{prod} = 0$$

2.11.1.3. *Carga por infiltración*

El equipo por construir no posee ningún elemento requerido para considerar esta carga, por lo tanto:

$$Q_{ap} = 0$$

2.11.1.4. *Carga por personas*

Es importante conocer en el cálculo de cámaras frigoríficas las personas que ingresan, la temperatura de la cámara y el tiempo de permanencia. Debido a que el modular es pequeño no se considera el ingreso de personas por lo tanto el valor es cero.

$$Q_p = 0$$

2.11.1.5. *Carga por iluminación.*

No existe iluminación dentro de la cámara de climatizado, por lo tanto, su valor es cero.

$$Q_i = 0$$

2.11.1.6. *Carga total de la cámara de climatizado.*

Se deben sumar todas las cargas disponibles en el sistema para poder conocer cuál es la carga frigorífica que se obtendrá del sistema.

$$Q_p + Q_{ap} + Q_{prod} + Q_i + Q_t = Q_{total}$$

$$Q_{total} = 337.5 \text{ W}$$

$$Q_{total} = 337.5 \text{ W}$$

2.11.2. *Consideración temperatura de condensación*

Se considera que la temperatura que debe poseer el condensador es aproximadamente de 10-20 °C de diferencia con respecto a la temperatura ambiente, para ello se registró los siguientes datos de temperatura mostrados en la tabla 10-2, dando aproximadamente el valor de temperatura ambiente a 20 °C. Las mediciones se tomaron entre las 10:00 am y 14:00 pm

Por lo tanto, la temperatura para condensar el refrigerante es de 40 °C

Tabla 10-2: Temperaturas tomadas

Dia	Temperatura (°C)
1	21
2	22
3	23
4	18
5	20
6	19
7	21
8	20
9	20
Promedio	19.77 ≈ 20

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.11.3. *Cálculo ciclo de refrigeración*

Para el cálculo del ciclo de refrigeración se considera el inicio cuando ingresa el fluido al compresor en estado gaseoso (figura 27-2), luego lo comprime elevando su presión y temperatura e ingresando al condensador, el siguiente punto de análisis es al momento de la salida del condensador debido a que existe un intercambio de calor con el medio ambiente a presión constante e ingresando a la válvula de expansión la cual genera una variación de presión y temperatura en el sistema cambiando el estado del refrigerante, al momento de ingresar al evaporador el fluido absorbe las calorías que se encuentran en la cámara de climatizado generando un clima refrigerado y cambiando nuevamente su estado para llegar al compresor generando así un ciclo.

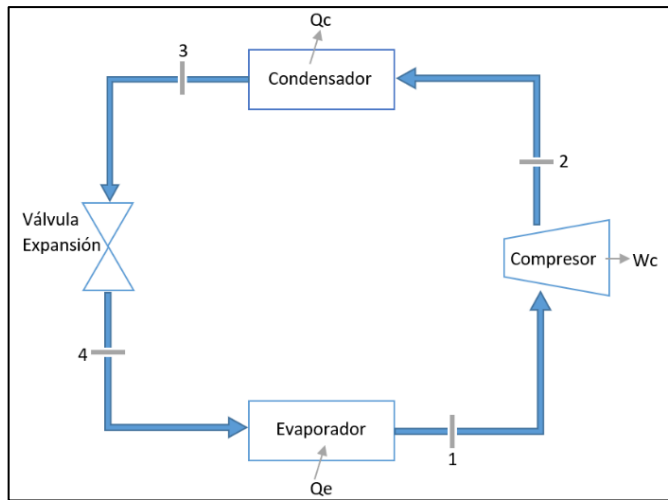


Figura 27-2: Ciclo de refrigeración.

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Para el cálculo de ciclo de refrigeración, se toma el valor de condensación de 40 °C ya calculado y una temperatura de evaporación de -10 °C, debido a que se puede comprobar de forma fácil mediante tacto la variación de temperatura con respecto al ambiente.

2.11.4. Selección del refrigerante

Existen diversos refrigerantes entre los cuales se pueden distinguir los de tipo CFC, los cuales su composición se basa en dos átomos de cloro, flúor y carbono, según estudios se determinó que son dañinos para el medio ambiente debido a que agotan la capa de ozono, entre estos se encuentra el refrigerante R-12. El mismo caso sucede con los de tipo HCFC, que contienen hidrogeno, cloro, flúor y carbono, en este caso se prohíbe su uso, y el refrigerante R-22 es un ejemplo. En cambio, los refrigerantes HFC contienen hidrogeno, flúor y carbono y no generan daño al medio ambiente, como el R134-a, R-407C, entre otros (Villanueva, R, 2011, p. 18).



Figura 28-2: Tipos de refrigerantes

Fuente: INTARCON

La selección del refrigerante depende del tipo de compresor y del lubricante que circule por este, debido a que el compresor hermético por lo general trabaja con aceite de tipo poliéster, es recomendable empezar el análisis con el refrigerante R134a (figura 28-2). En la tabla 11-2 se muestra los diferentes tipos de refrigerantes y su clasificación

Tabla 11-2: Clasificaciones de los refrigerantes

Refrigerante	Substituto	Clasificación	Componente	Tipo	Lubricante
R12	-----	CFC	12	Fluido	MO, AB
R500	-----	CFC	12/152	Azeótropo	MO, AB
R502	-----	CFC	22/115	Azeótropo	MO, AB, POE
R22	-----	HCFC	22	Fluido	MO, AB, POE
R134a	R12	HFC	134a	Fluido	POE

Fuente: TECUMSEH, 2018

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.11.4.1. Características físicas y termodinámicas del refrigerante R134a

Tabla 12-2: Propiedades Refrigerante R134a

Formula Química	C2F4H2
Denominación Química	Tetrafluoroetano
Masa molar (gr/mol)	102.3
Punto de Ebullición a 1.03 bar	-26.5
Temperatura máxima (°C)	180
Presión crítica Absoluta. (bar)	40.64
Densidad Crítica (kg/l)	0.508
Temperatura Crítica (°C)	101

Fuente: Carreño, P; Jadán, C, 2013

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Para la selección de los parámetros iniciales se determina en la figura 29-2 que en inicio el punto 1 y 2 se deben mover en el área de vapor saturado y el punto 3 debe llegar a la zona de líquido saturado. Consultando valores de temperatura en equipos de refrigeración (Buenaño L, 2010, p. 118) se concluye que el rango del diagrama de Mollier será:

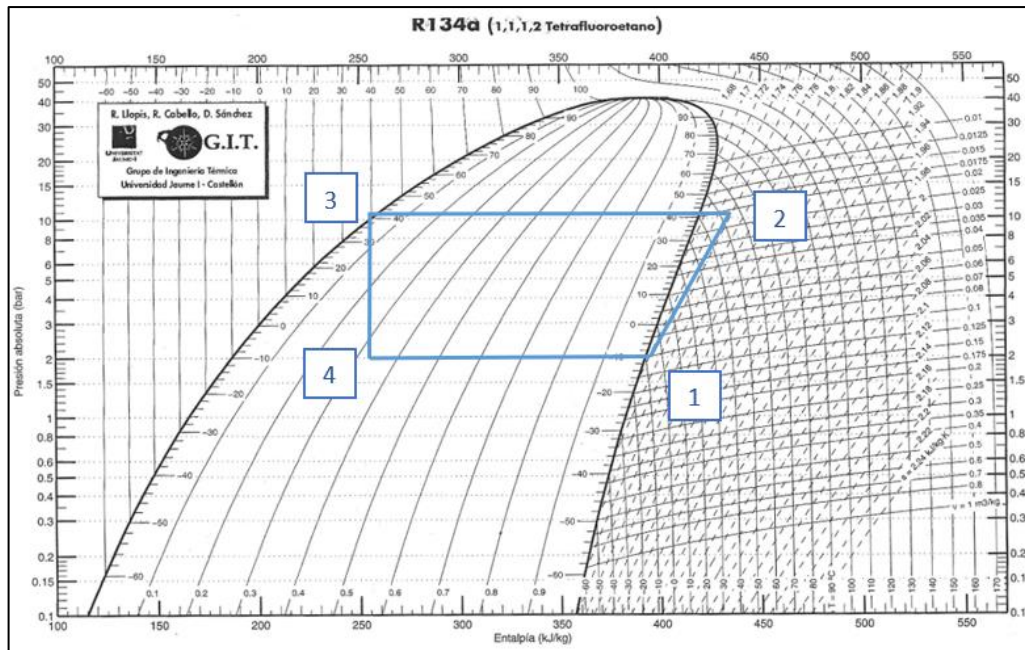


Figura 29-2: Diagrama de Mollier, según consideraciones iniciales.

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 13-2: Propiedades del ciclo

Etapa	Temperatura °C	Presión (bar)	Entalpía $\frac{KJ}{Kg}$
1	-10	2	392
2	55	11	435
3	40	11	257.91
4	-10	2	257.91

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.11.4.2. Análisis del compresor

Realizando el balance de energías y masas para el compresor se tiene que:

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_1 + q_1 + h_1 = w_2 + q_2 + h_2$$

$$w_1 + h_1 = h_2$$

donde $w_1 = w_c$

$$w_c = (h_2 - h_1)$$

$$w_c = 435.56 \frac{KJ}{Kg} - 392.58 \frac{KJ}{Kg}$$

$$w_c = 42.98 \frac{KJ}{Kg}$$

2.11.4.3. Análisis en el condensador

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_2 + q_2 + h_2 = w_3 + q_3 + h_3$$

$$q_3 + h_3 = h_2$$

donde $q_3 = q_c$

$$q_c = (h_2 - h_3)$$

$$q_c = (435.56 \frac{KJ}{Kg} - 257.91 \frac{KJ}{Kg})$$

$$q_c = 117.65 \frac{KJ}{Kg}$$

2.11.4.4. Análisis en el evaporador

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_4 + q_4 + h_4 = w_1 + q_1 + h_1$$

$$q_4 + h_4 = h_1$$

donde $q_4 = q_e$

$$q_e = (h_1 - h_4)$$

$$q_e = 392.58 \frac{KJ}{Kg} - 257.91 \frac{KJ}{Kg}$$

$$q_e = 134.67 \frac{KJ}{Kg}$$

2.11.4.5. Coeficiente de operación

$$COP_R = \frac{q_e}{w_c}$$

$$COP_R = \frac{134.67 \frac{KJ}{Kg}}{42.98 \frac{KJ}{Kg}}$$

$$COP_R = 3.133$$

2.11.4.6. Evaluación del COP de la refrigeración de Carnot

$$COP_r = \frac{T_{evap}}{T_{condensador} - T_{evap}}$$

$$COP_{rc} = \frac{263 K}{313 K - 263 K}$$

$$COP_{rc} = 5.26$$

2.11.4.7. Eficiencia del Ciclo

$$n_R = \frac{COP_R}{COP_{RC}}$$

$$n_R = \frac{3.1333}{5.26}$$

$$n_R = 0.5956$$

2.11.4.8. Caudal Masico

$$\dot{m} = \frac{Q_{Total}}{q_e}$$

$$\dot{m} = \frac{337.5 \text{ W}}{134670 \frac{\text{J}}{\text{Kg}}}$$

$$\dot{m} = 0.002506 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

2.11.4.9. Potencia teórica del compresor.

$$W_c = w_c * \dot{m}$$

$$W_c = 42.8 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} * 0.002506 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$W_c = 108.2973 \text{ W}$$

Con la potencia calculada se selecciona un equipo mediante catálogo de fabricantes, debido a su potencia y al trabajar sin cargas se selecciona un compresor comercial, el cual, en caso de necesitar un recambio, sea fácil de encontrar.

El compresor seleccionado es de marca Sikelan, modelo ADW57T6 de 1/6 de Hp (Anexo E), el cual para -10 °C posee una potencia de 313 W

Con la potencia real se recalcula el nuevo caudal másico

2.11.4.10. *Recálculo Caudal Másico*

$$\dot{m} * w_c = W_c$$

$$\dot{m} = \frac{W_c}{w_c}$$

$$\dot{m} = \frac{313 \text{ W}}{42.98 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$\dot{m} = 0.00728245 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

2.11.4.11. *Capacidad teórica del condensador*

$$Q_c = q_c * \dot{m}$$

$$Q_c = 177.65 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} * 0.00728245 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$Q_c = 1293.728 \text{ W}$$

2.11.4.12. *Capacidad teórica del evaporador*

$$Q_e = q_e * \dot{m}$$

$$Q_e = 134.67 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} * 0.00728245 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$Q_e = 980.734 \text{ W}$$

Por lo tanto, el evaporador se selecciona por la capacidad que posee según datos de fabricante.

2.11.5. Selección del condensador

Para el cálculo del condensador es necesario considerar las temperaturas que se tienen en el entorno (tabla 14-2), es decir, la temperatura de entrada y salida del condensador junto con la temperatura a la que se encuentra el ambiente.

Tabla 14-2: Temperaturas cálculo condensador

Temperatura	Símbolo	Centígrados	Kelvin
Entrada al condensador	T_{Ce}	55	328
Salida del condensador	T_{Cs}	35	308
Entrada del ambiente	T_{he}	20	293
Salida del ambiente	T_{hs}	20	293

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.11.5.1. Cálculo de la media logarítmica

Debido a que no se posee un dato concreto de la temperatura de condensación, es necesario obtener una temperatura promedio entre la temperatura de entrada y salida, tanto del tubo de condensación como del ambiente al que se encuentra expuesto.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$\Delta T_1 = T_{he} - T_{cs}$$

$$\Delta T_1 = 328 \text{ K} - 293 \text{ K}$$

$$\Delta T_1 = 35 \text{ K}$$

$$\Delta T_2 = T_{hs} - T_{ce}$$

$$\Delta T_2 = 308 \text{ K} - 293 \text{ K}$$

$$\Delta T_2 = 15 \text{ K}$$

Resolviendo la ecuación se tiene:

$$\Delta T_{ml} = \frac{15 \text{ K} - 35 \text{ K}}{\ln \frac{15 \text{ K}}{35 \text{ K}}}$$

$$\Delta T_{ml} = 23.60445 \text{ K}$$

2.11.5.2. Área de transferencia de calor (Anexo A)

$$A_s = \frac{Q_c}{U_{aprox} * \Delta T_{ml}}$$

$$A_s = \frac{1293.728 \text{ W}}{340 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} * 23.60445 \text{ K}}$$

$$A_s = 0.161201 \text{ m}^2$$

2.11.5.3. Longitud Equivalente

Se considera que la tubería de trabajo es de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

$$L_E = \frac{A_s}{\pi * D_e}$$

$$L_E = \frac{0.161201 \text{ m}^2}{\pi * 0.0064 \text{ m}}$$

$$L_E = 8.0175 \text{ m}$$

2.11.5.4. Número de tubos

Se considera que el espacio máximo en el modular es de 60 centímetros, por lo tanto:

$$N_t = \frac{L_E}{L_t}$$

$$N_t = \frac{8.0175 \text{ m}}{0.6 \text{ m}}$$

$$N_t = 13.36 \text{ tubos}$$

Es necesario un condensador de mínimo 8.01 metros de longitud, para poder condensar todo el refrigerante que llega desde el compresor

2.11.6. Selección del diámetro de la válvula de expansión

Se puede seleccionar el diámetro de la válvula de expansión mediante tablas de fabricantes (Anexo F), es decir que para seleccionar el capilar para un compresor de 1/6 de Hp es necesario:

Tabla 15-2: Tabla selección de tubo capilar

Compresor	Diámetro (mm)	Largo (mm)
1/6 HP	0.71	1250
	0.80	2200
	0.90	4000

Fuente: EMBRACO, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se selecciona el diámetro de 0.8mm y el largo de 2200 mm el cual puede trabajar de -20 a -10 °C

2.11.7. Ciclo de refrigeración en DWSIM.

Una vez abierto el programa DWSIM, se selecciona 'Process Modeling', y se escoge el refrigerante a trabajar, para este caso se utiliza R134a

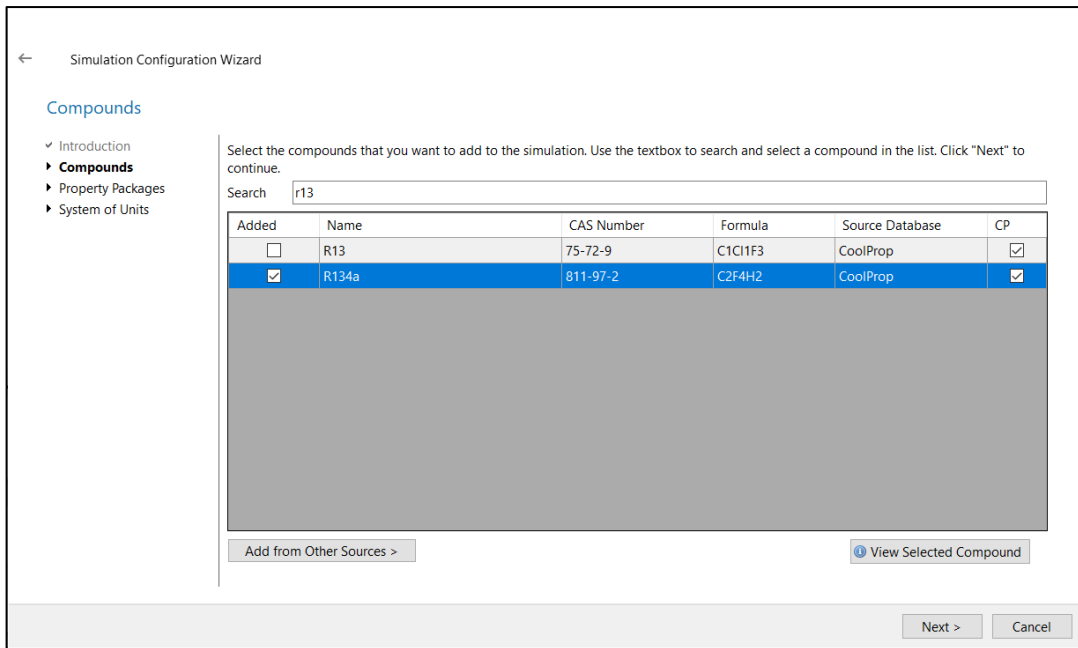


Figura 30-2: Selección del refrigerante en el software DWSIM

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se procede a seleccionar el paquete de propiedades que se requiere para analizar el sistema diseñado, el cual es coolprop.

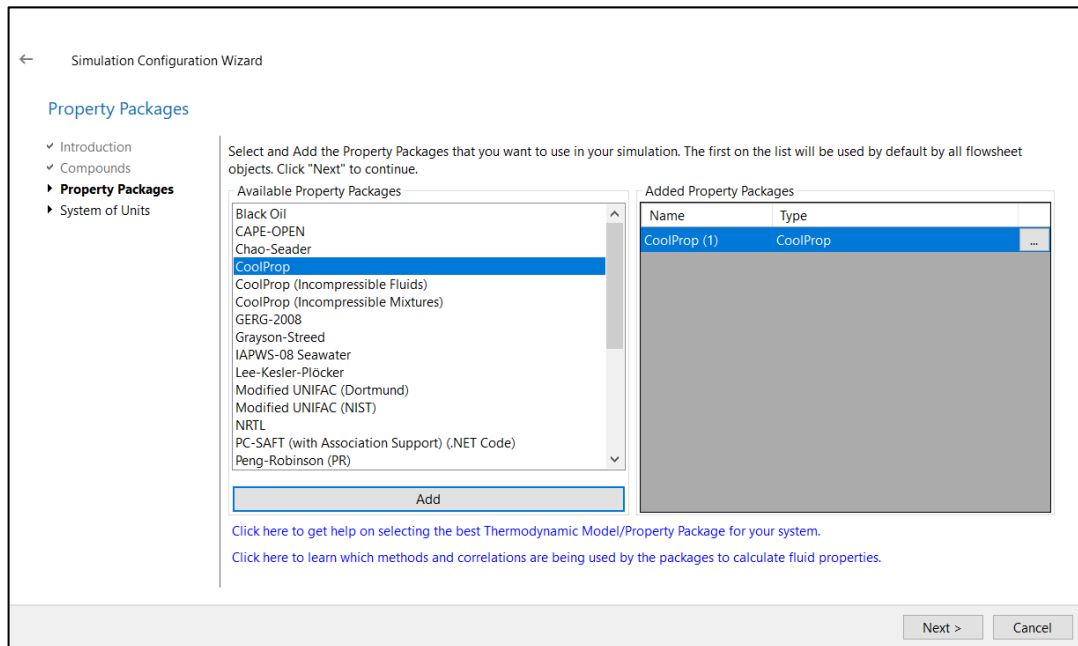


Figura 31-2: Selección del paquete de propiedades en el software DWSIM

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se realiza el esquema del ciclo en la figura 32-2, a través de los componentes ingresando los valores considerados, para que el software pueda realizar el análisis del ciclo.

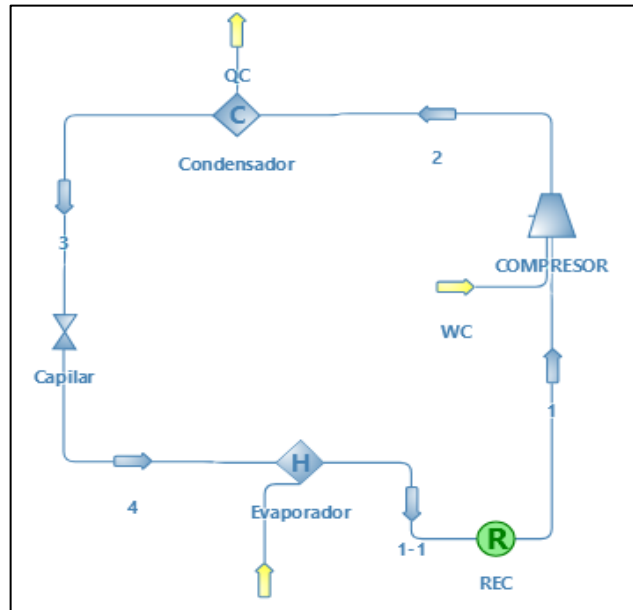


Figura 32-2: Diagrama del ciclo de refrigeración en DWSIM

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

En la tabla 16-2 se exponen los resultados obtenidos del cálculo realizado mediante el programa Dwsim, el cual arroja los siguientes resultados:

Tabla 16-2: Resultados teóricos de refrigeración obtenidos del software

TABLA DE RESULTADOS					
P1	2	bar	h1	392.684032266086	kJ/kg
P2	10.3898022939831	bar	h2	435.627648771421	kJ/kg
P3	10.3898022939831	bar	h3	257.977544754229	kJ/kg
P4	2	bar	h4	257.977544754229	kJ/kg
T1	-10.076272460233	C	COP	3.13339552834879	
T2	53.858021191901	C			
T3	39.356402017693	C			
T4	-10.076272460233	C			
WC	313	W			
QC	1293.728	W			
QE	980.734	W			

Fuente: DWSIM, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.12. Comparación de resultados obtenidos mediante cálculo y software

La comparación de la tabla 17-2 es respecto a los valores obtenidos del cálculo mediante el uso del diagrama de Mollier y el cálculo realizado por el software, el cual muestra el porcentaje de error siguiente:

Tabla 17-2: Comparación del ciclo refrigeración.

Diagrama Mollier		DWSIM		% Error
WC	313 W	WC	313 W	0
QC	1293.728 W	QC	1293.728 W	0
QE	980.734 W	QE	980.734 W	0
COP	3.13	COP	3.13	0
T1	-10 °C	T1	-10.07 °C	0.69
T2	55 °C	T2	53.85 °C	2.13
T3	40 °C	T3	39.35 °C	1.65
T4	-10 °C	T4	-10.07 °C	0.69
P1	2 bar	P1	2 bar	0
P2	10 bar	P2	10.38 bar	3.66
P3	10 bar	P3	10.38 bar	3.66
P4	2 bar	P4	2 bar	0

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.13. Cálculos ciclo de bomba de calor

El ciclo de bomba de calor se realiza utilizando los datos del análisis del condensador, evaporador y compresor que se obtuvieron del cálculo de refrigeración, estos resultados deben tomarse como referencia en la tabla 18-2 debido a que diversos elementos instalados en el equipo van a realizar un trabajo diferente para el cual es su diseño, por lo tanto, la eficiencia puede tener una variación considerable.

Tabla 18-2: Datos obtenidos del cálculo de refrigeración

Datos	Valor
Potencia del compresor	313 W
Caudal masico	0.00728245 Kg/s
Potencia del evaporador	980.734 W
Potencia del condensador	1293.728 W
Presión alta	10 bar
Presión baja	2 bar
Temperatura 1	-10
Entalpía 1	$392 \frac{KJ}{Kg}$

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

El sentido de flujo para este ciclo cambia tal como se visualiza en la figura 33-2, pasando del compresor al evaporador, posterior a la válvula de expansión, siguiendo con el condensador y generando un nuevo ciclo al llegar nuevamente al compresor

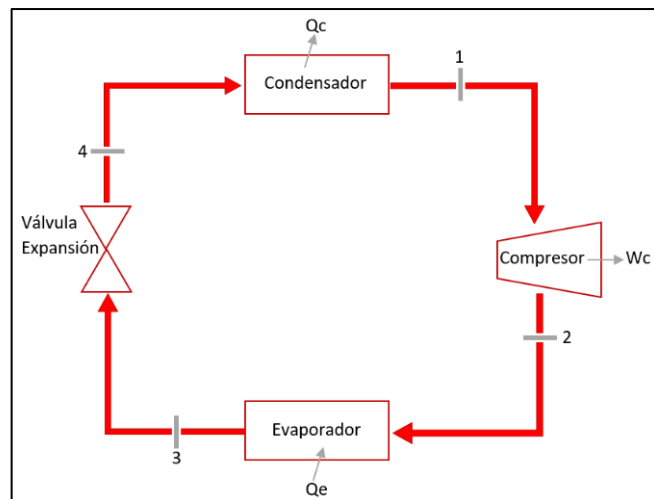


Figura 33-2: Ciclo de bomba de calor

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Con los datos del punto 1 podemos realizar el análisis de la segunda etapa

2.13.1.1. Análisis en el compresor

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta\dot{m}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_1 + q_1 + h_1 = w_2 + q_2 + h_2$$

$$w_1 + h_1 = h_2$$

donde $w_1 = w_c$

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

$$W_c = \dot{m} * w_c$$

$$\frac{313W}{0.00728245 \text{ Kg/s}} = \left(h_2 - 392.58 \frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_2 = 435.56 \frac{KJ}{Kg}$$

2.13.1.2. Análisis en el evaporador

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta\dot{m}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_2 + q_2 + h_2 = w_3 + q_3 + h_3$$

$$q_3 + h_3 = h_2$$

donde $q_3 = q_e$

$$q_e = (h_2 - h_3)$$

$$Q_e = \dot{m} * q_e$$

$$\frac{980.734 \text{ W}}{0.00728245 \text{ Kg/s}} = (435.56 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - h_3)$$

$$134.670 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 435.56 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - h_3$$

$$h_3 = 300.889 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

2.13.1.3. Análisis en el condensador

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_4 + q_4 + h_4 = w_1 + q_1 + h_1$$

$$q_4 + h_4 = h_1$$

donde $q_4 = q_c$

$$q_c = (h_1 - h_4)$$

$$q_c = 392.58 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 300.889 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$q_c = 134.67 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Asumiendo la temperatura de salida del compresor del valor que se obtiene mediante el cálculo de refrigeración se puede idealizar lo siguiente mediante el uso del diagrama de Mollier:

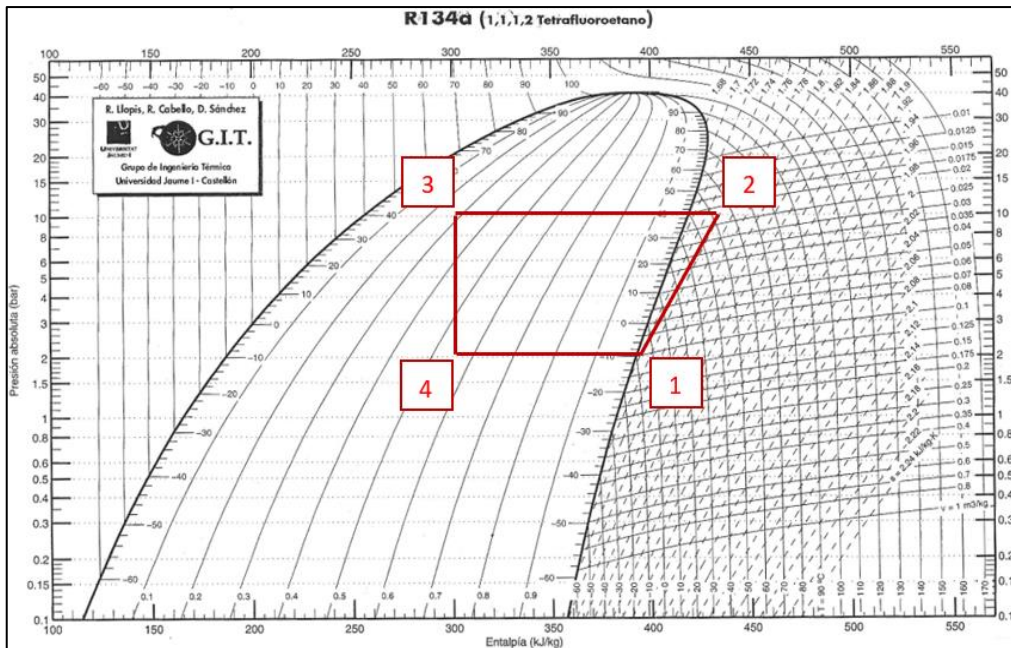


Figura 34-2: Diagrama de Mollier, según consideraciones iniciales.

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Obtenidas las entalpías del sistema y presiones del equipo se pueden determinar las temperaturas teóricas a trabajar (ver tabla 19-2).

Tabla 19-2: Propiedades del ciclo

Etapa	Temperatura °C	Presión (bar)	Entalpía $\frac{KJ}{Kg}$
1	-10	2	392
2	53	10	435.56
3	40	10	300.889
4	-10	2	300.889

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.13.2. Ciclo de bomba de calor en DWSIM

Para el ciclo de bomba de calor mostrada en la figura 35-2, se realiza el proceso mostrado para el ciclo de refrigeración, pero es necesario invertir el sentido del equipo, como se muestra a continuación.

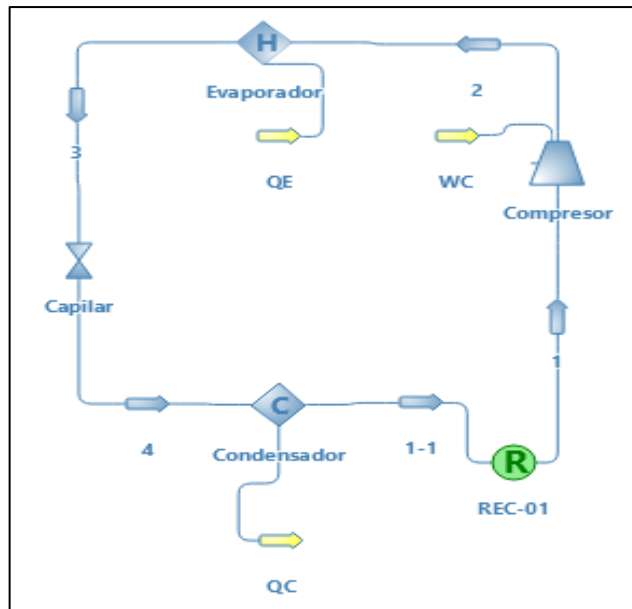


Figura 35-2: Diagrama del ciclo de calefacción en DWSIM

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Los resultados obtenidos para este ciclo mediante el uso del software Dwsim se muestran en la tabla 20-2

Tabla 20-2: Resultados teóricos del ciclo de bomba de calor obtenidos del software

TABLA DE RESULTADOS					
P1	2	bar	h1	392.684032266086	kJ/kg
P2	10.3898022939831	bar	h2	435.627648771421	kJ/kg
P3	10.3898022939831	bar	h3	327.890939284916	kJ/kg
P4	2	bar	h4	327.890939284916	kJ/kg
T1	-10	C	COP	3.13339552834879	
T2	55.136436120389	C			
T3	40.814429484111	C			
T4	-10.076272460233	C			
WC	313	W			
QC	-1293.728	W			
QE	-980.734	W			

Fuente: DWSIM, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

2.14. Comparación de resultados obtenidos mediante cálculo y software

La comparación de la tabla 21-2 es respecto a los valores obtenidos del cálculo mediante el uso del diagrama de Mollier y el cálculo realizado por el software, el cual muestra el porcentaje de error siguiente:

Tabla 21-2: Comparación del ciclo de bomba de calor

Diagrama Mollier		DWSIM		Error
WC	313 W	WC	313 W	0
QC	-1293.728 W	QC	-1293.728 W	0
QE	-980.734 W	QE	-980.734 W	0
COP	3.13	COP	3.13	0
T1	-10 °C	T1	-10 °C	0
T2	53 °C	T2	55.13 °C	3.86
T3	40 °C	T3	40.81 °C	1.98
T4	-10 °C	T4	-10 °C	0
P1	2 bar	P1	2 bar	0
P2	10 bar	P2	10.38 bar	3.66
P3	10 bar	P3	10.38 bar	3.66
P4	2 bar	P4	2 bar	0

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

CAPÍTULO 3.

3. DISEÑO DEL ANALISIS FUNCIONAL

Este capítulo se enfoca en describir los procesos que realiza el equipo con el objetivo de seleccionar la mejor alternativa en su construcción y armado. Por lo tanto, es necesario distribuirlo en diferentes módulos, los cuales se presentan a continuación.

3.1. Módulos

3.1.1. Nivel 0

El módulo cero (figura 1-3), describe de manera rápida el proceso básico que se aplica en el modular.

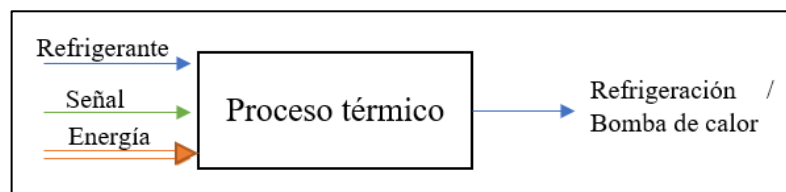


Figura 1-3: Diseño del módulo cero del modular

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Como se explica de forma rápida, es necesaria una señal y energía eléctrica que ayuda a que circule el gas refrigerante dentro de la cañería, el cual permite según sea el caso que el modular trabaje como una bomba de calor o como un ciclo de refrigeración.

3.2. Módulos detallados

En esta etapa se detallan los procesos de operación para la construcción del equipo de climatización. Según sean los casos se busca la solución más adecuada al contexto y de esta manera se seleccionan los elementos que pueden conformar el equipo.

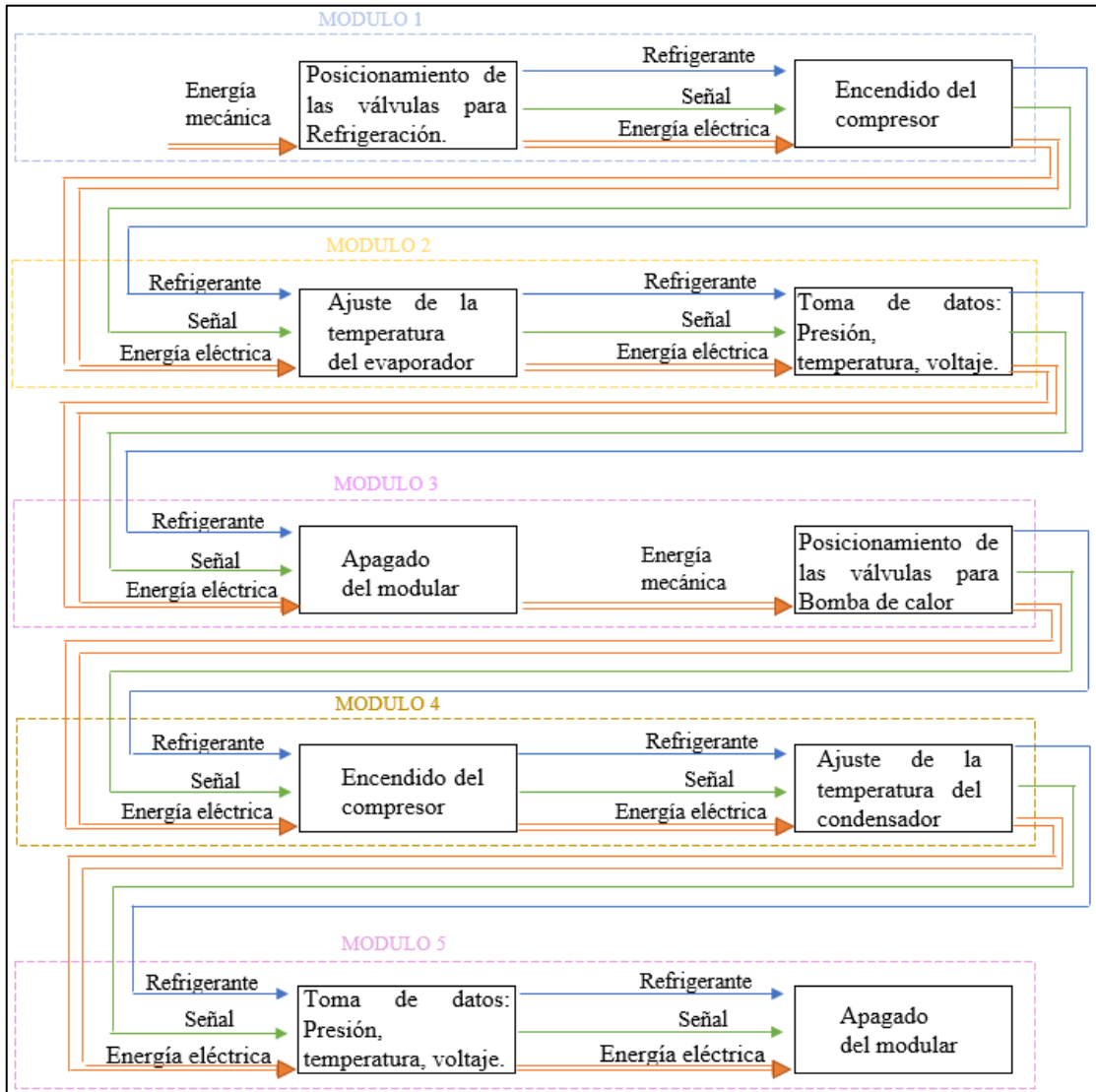


Figura 2-3: Diseño de las funciones del modular

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Una vez definido los módulos en la figura 2-3, es importante enunciar cuales son las posibles soluciones para el diseño del sistema propuesto.

3.2.1. Modulo 1

El módulo 1 establece cual es el tipo de válvula a utilizar en el aparato, es importante debido a que las válvulas marcan la dirección del fluido que definen si se trabaja como una bomba de calor o un ciclo de refrigeración.

- Válvula de bola
- Válvula de 4 vías
- Válvula de globo

3.2.2. Modulo 2

El módulo 2 establece el dispositivo necesario para la regulación de la temperatura al momento de trabajar, también se selecciona que aparatos se deben instalar con el fin de dar lectura a los diferentes estados.

- Termostato de contacto
- Termostato de ambiente
- Presostato

3.2.3. Modulo 3

El módulo 3 establece el tipo de elementos eléctricos que se deben instalar para el proceso de accionamiento y apagado del modular.

- Interruptor de 3 posiciones
- Switch de encendido
- Interruptor on / off

3.2.4. Modulo 4

El módulo 4 comparte las características del módulo 1, por lo tanto, la solución del primer módulo es compartida.

3.2.5. Módulo 5










De igual forma la solución del módulo 2 y 3 se comparte al último módulo debido a que la bomba de calor y el ciclo de refrigeración requieren los mismos componentes.

3.3. Alternativas de solución.

En la tabla 1-3 se detalla tres vías de solución para la construcción del equipo:

- Solución 1: Válvula de bola, termostato de contacto, interruptor de tres posiciones
- Solución 2: Válvula de 4 vías, termostato de ambiente, *Switch* de encendido
- Solución 3: Válvula de globo, presostato, interruptor on/off

Tabla 1-3: Soluciones de Diseño

	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Válvula			
Control clima			
Interruptor			
Solución	1	2	3

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

3.4. Selección de la mejor alternativa.

Para escoger la mejor alternativa de diseño se aplicará el método de ponderaciones, el cual permite apreciar la importancia de cada elemento a seleccionar, todo mediante criterios que permitan su valoración y comparación.

Tabla 2-3: Selección de la válvula

Válvula	Sol 1	Sol2	Sol 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1		0	1	2	0.333
Solución 2	1		1	3	0.5
Solución 3	0	0		1	0.166
Suma				6	1

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 3-3: Selección del controlador

Control Clima	Sol 1	Sol2	Sol 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.5
Solución 2	0		0	1	0.166
Solución 3	0	1		2	0.333
Suma				6	1

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 4-3: Selección del interruptor

Interruptor	Sol 1	Sol2	Sol 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.5
Solución 2	0		0	1	0.166
Solución 3	0	1		2	0.333
Suma				6	1

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se seleccionan los diferentes elementos según la actualidad que vive el país, y se toman en cuenta las necesidades al momento del aprendizaje de las personas que observen el equipo. Es por lo que a pesar de evaluar a la válvula de 4 vías como la mejor alternativa se considera que la válvula de bola es apta para obtener una mejor comprensión del funcionamiento del equipo.

3.5. Diagrama P&ID del equipo propuesto

El diagrama P&ID mostrado, indica los elementos necesarios para realizar el ciclo de refrigeración (figura 3-3) y de bomba de calor (figura 4-3), además de mostrar el flujo del fluido en cada proceso.

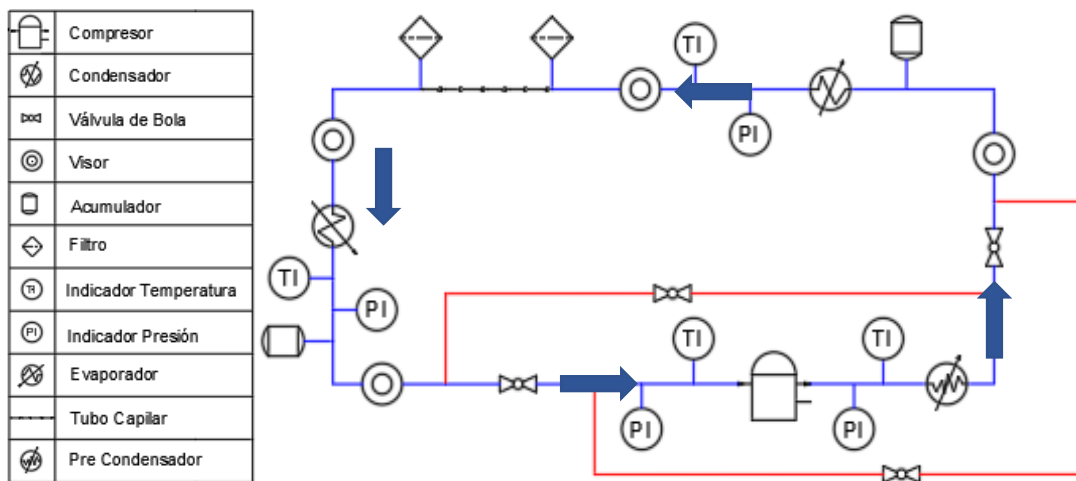


Figura 3-3: Diagrama P&ID y flujo del ciclo de refrigeración.

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

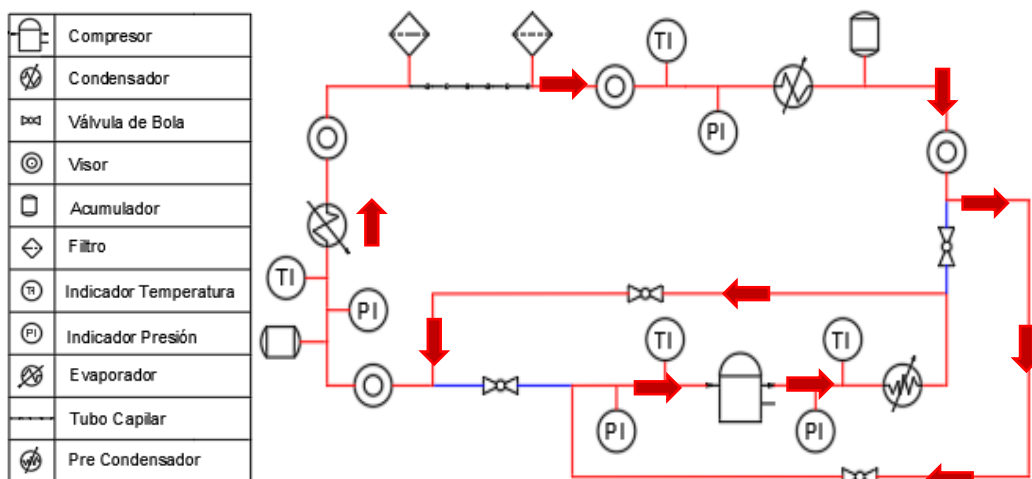


Figura 4-3: Diagrama P&ID y flujo del ciclo de bomba de calor.

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

3.6. Selección de materiales.

En la tabla 5-3 se describe la selección de los materiales a utilizar en el modular en relación con la función del elemento.

Tabla 5-3: Materiales de los elementos del equipo

Material	Observación
Estructura	La estructura exterior se fabrica con perfiles cuadrados de acero, debido a que se necesita un esqueleto que sea resistente y confiable, el material posee características de durabilidad y resistencia adecuadas para el propósito.
Panel	Se utiliza melamínico como base para los equipos, debido a que es un material resistente e impermeable, esta característica es importante porque existe condensación.
Cañería	Los sistemas de refrigeración y bomba de calor trabajan de manera adecuada con cobre, debido a que posee una alta conductividad térmica y por su propiedad de resistencia al desgaste, son dúctiles y se pueden manipular con cierta facilidad.
Condensador	Los condensadores poseen un cuerpo construido en acero al carbono
Evaporador	Los evaporadores se construyen en su mayoría de aluminio debido a su gran capacidad de conducción térmica y bajo peso. Genera deshielo de forma eficaz.
Caja Evaporador	La caja se fabrica en acrílico, con el fin de manejar y montar de una manera eficiente al modular, es resistente a la intemperie, debido a que no cambia sus propiedades a diferentes condiciones climáticas, es un 50% más liviano que el vidrio.

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

3.7. Construcción y ensamblaje del sistema de climatización

3.7.1. Construcción del armazón

Se realiza el diseño del modular mediante el uso del programa SolidWorks (Anexo G - K), para ello se toma en cuenta que el equipo debe estar a una altura considerable y debe ser amplia, debido a que el modular se ubicará en los laboratorios de Ingeniería mecánica y se realizarán pruebas en el mismo.

Una vez se define la forma del esqueleto, se realiza la construcción (figura 5-3). Para ello se utiliza tubos cuadrados de 2x2 cm.



Figura 5-3: Ensamble de la estructura interna

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Armado el esqueleto del modular, se procede a ubicar la plancha de acero y de melamínico, lo cual, ayuda de soporte de los equipos y accesorios (ver figura 6-3).



Figura 6-3: Ensamble lámina de acero

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

En la figura 7-3 se observa, la instalación de las puertas de acero en la parte inferior, con el fin de poder guardar diferentes elementos necesarios, y se procede a pintar la estructura.



Figura 7-3: Estructura finalizada

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

3.7.2. *Acople del sistema de Carnot*

Se dibuja el diagrama del circuito sobre el armazón del equipo para realizar las respectivas uniones (figura 8-3)





Figura 8-3: Diagrama del circuito sobre el melamínico

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se analiza diferentes métodos para acoplar la llave de bola con la cañería de $\frac{1}{4}$, mediante dos tipos de neplós, el nepló flex debe ser soldada y el nepló con acople se mantiene por presión a la tubería. Al realizar la prueba de vacío, resulta más confiable unir mediante soldadura.

Tabla 6-3: Nепlos ensayados para su uso en el sistema.

Material	Observación	Imagen
Neplo Flex	Es necesario realizar una suelda bronce-cobre, es un proceso más delicado que puede crear micro fisuras y no permitir un cierre hermético.	
Neplo acople	Este tipo de acople es más sencillo, debido a que permite la unión de la llave con la cañería únicamente a presión, pero no garantiza un sellado perfecto.	

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

A continuación, como se muestra en la figura 9-3, se instala el condensador y compresor al modular.

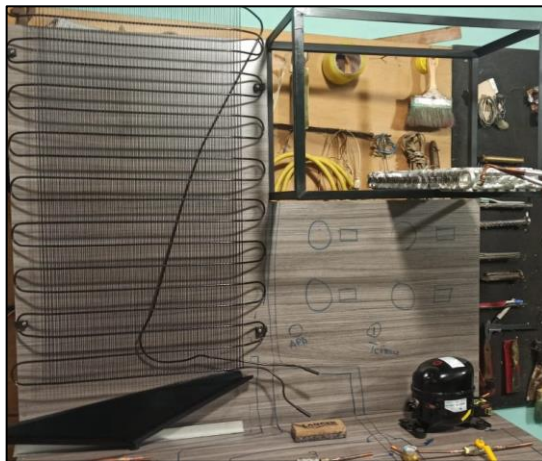


Figura 9-3: Fijado de componentes

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se realiza la medición de la cañería de cobre para poder realizar los diversos cortes y dobleces requeridos, para ello se utiliza cortadora y dobladora de tubos (ver figura 10-3 y 10-4)

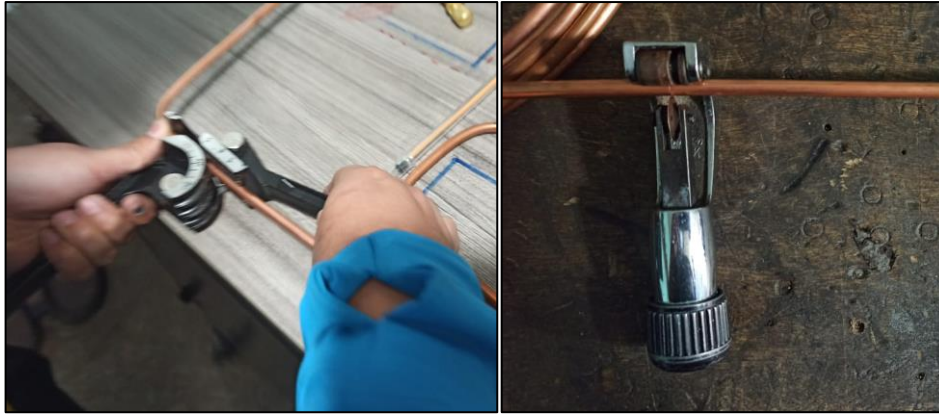


Figura 10-3: Doblez y Cortes de la tubería de ¼

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

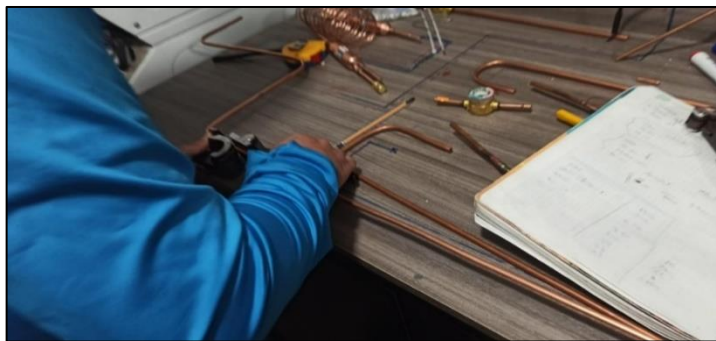


Figura 11-3: Acople con los diagramas dibujados

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

En la figura 12-3 se puede observar el proceso al expandir la cañería de ¼ a ¼ para poder realizar las conexiones con los elementos del sistema.



Figura 12-3: Expansión de cañerías

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Debido a que existen conexiones en “T” es necesario realizar las conexiones con la ayuda de perforaciones en la cañería de $\frac{1}{4}$ para poder construir el baipás (ver figura 13-3).



Figura 13-3: Conexiones T sobre cañería $\frac{1}{4}$

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se realiza la soldadura de la cañería de $\frac{1}{4}$ con el neplo de la válvula de bola (ver figura 14-3).



Figura 14-3: Válvula conectada la tubería de cobre

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

En la figura 15-3 se puede observar la unión por soldadura del tubo capilar y el filtro de secado

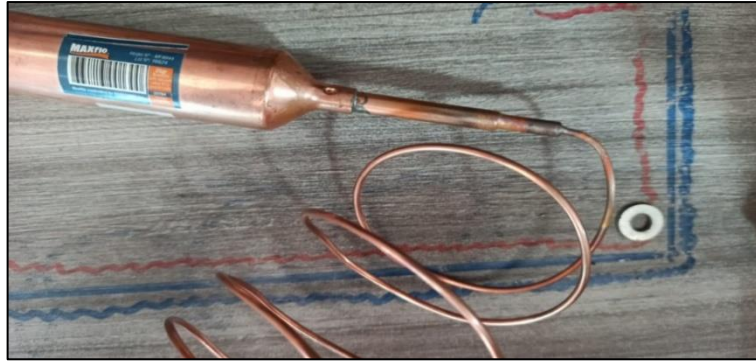


Figura 15-3: Conexión filtro secador y Tubo capilar

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se acopla la cañería $\frac{1}{4}$ con los demás elementos del sistema, como son: visores (figura 16-3),- filtros (figura 17-3), acumuladores (figura 18-3), cabe destacar que el acumulador es necesario colocarlo a 45 grados aproximadamente, debido a que su función es retener el líquido refrigerante y evitar daños en el compresor.



Figura 16-3: Conexión visor y cañería

Realizado por: Montero, Dennys, 2021



Figura 17-3: Conexión filtro de secado con tubería de $\frac{1}{4}$

Realizado por: Montero, Dennys, 2021



Figura 18-3: Conexión del acumulador

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

En la figura 19-3 se observa la conexión del sistema con el condensador y en la figura 20-3 se puede observar la soldadura de la tubería de cobre con el evaporador



Figura 19-3: Conexión del condensador

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

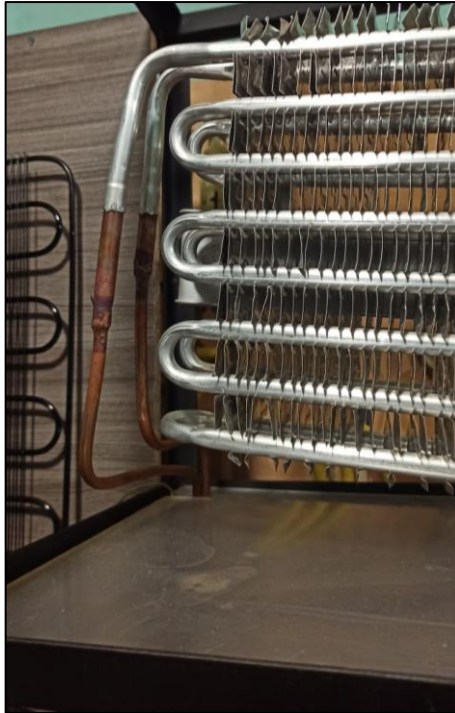


Figura 20-3: Conexión del evaporador

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se instala el intercambiador de calor con su respectiva bandeja (ver figura 21.3).



Figura 21-3: Bandeja de condensado e intercambiador de calor

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

En la figura 22-3 se observa la soldadura del sistema de tubería de cobre con el compresor



Figura 22-3: Compresor de 1/6 hp conectado al sistema

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se instala el ventilador (figura 24-3) con una base de aluminio(figura 23-3) para mejorar la transferencia de calor.



Figura 23-3: Base de aluminio para ventilador

Realizado por: Montero, Dennys, 2021



Figura 24-3: Ventilador sobre base de aluminio

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

En la figura 25-3 se puede apreciar los instrumentos de medición, para temperatura y presión que indicara las propiedades del refrigerante.



Figura 25-3: Manómetros de alta y baja y termómetros

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

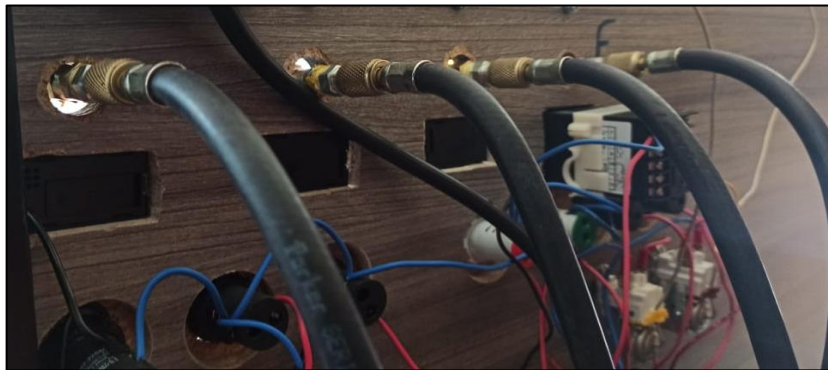


Figura 26-3: Conexión de mangueras hacia los manómetros

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se instalan los paneles de acrílico en la cámara de condensado (ver figura 27-3)

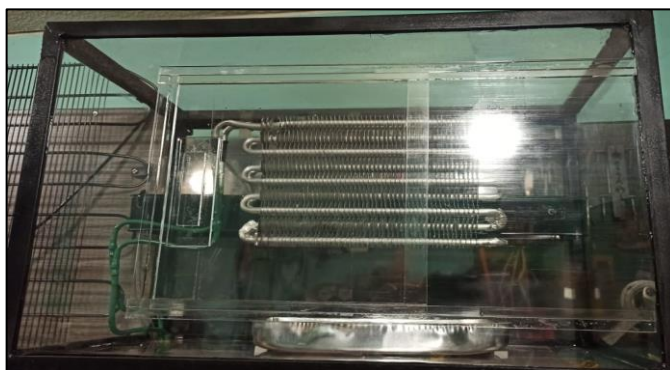


Figura 27-3: Instalación de los paneles

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

3.7.3. *Instalación del sistema eléctrico*

Se instala la caja térmica formando la conexión de los elementos electrónicos (ver figura 28-3) .

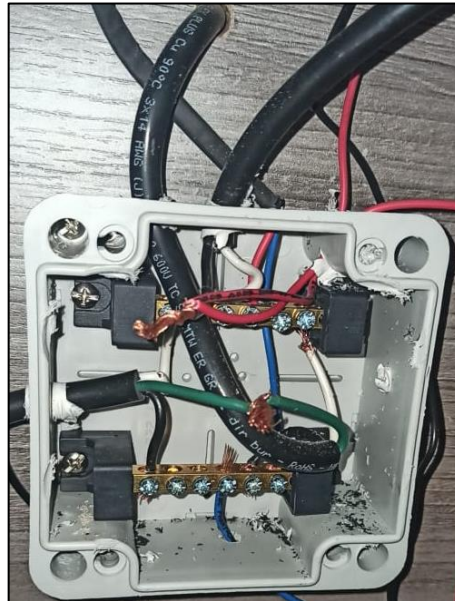


Figura 28-3: Conexión enchufe - Interruptor

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se realiza la conexión del tomacorriente (figura 29-3), el cual es de ayuda para conectar herramientas como taladro y bomba de vacío.



Figura 29-3: Toma de 110 voltios

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se instala el interruptor principal (figura 30-3) en el panel trasero del equipo, mismo que servirá como interruptor principal del equipo.



Figura 30-3: Instalación del interruptor principal

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se colocan luces indicativas, selector de tres posiciones, termostato en la parte frontal del equipo (ver figura 31.3).



Figura 31-3: Instalación termostatos, selector de 3 posiciones

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Se realiza la conexión del todo el sistema eléctrico (figura 32-3) y se procede a realizar la primera prueba con el equipo encendido.

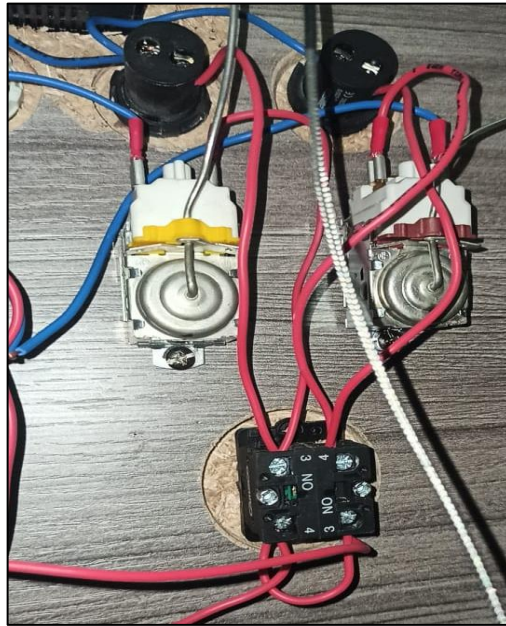


Figura 32-3: Conexión final del circuito eléctrico

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

3.8. Evaluación y pruebas del sistema

Al soldar todos los componentes, es necesario hacer la comprobación del sistema. Debido a que dentro de la red se encuentra circulando gas refrigerante, es necesario tener la certeza de que el sistema se encuentra completamente hermético. Para ello se realizan las siguientes pruebas.

3.8.1. Primera Prueba

3.8.1.1. Presión sin conexión del compresor

Para comprobar el estado del sistema se realiza una prueba de presión, para lo cual ingresa gas refrigerante a la tubería del equipo para eliminar todo tipo de impurezas que pueden encontrarse, ya sean estos limallas, aire o humedad. Se debe tener en cuenta que para realizar este proceso no se debe conectar el compresor.

3.8.2. Segunda Prueba

3.8.2.1. Presión con conexión del compresor

Se realiza un ensayo en el sistema con el fin de comprobar que las conexiones roscadas y soldadas se encuentren selladas, para este fin se eleva la presión del sistema y se comprueba si existen fugas. Dando como resultado la tabla 7-3 que describe los problemas obtenidos en el equipo.

Tabla 7-3: Fallas obtenidas al momento de realizar las pruebas de funcionamiento

Elemento	Observación	Solución
Visor	Fuga en el cristal del elemento	Debido a que la falla es un defecto de fábrica, se procede a abrir el elemento e insertar un empaque con el fin de repararlo, pero al no poder sellarse, se determina que es necesario reemplazarlo por otro.
Cañería ¼	Fuga en la soldadura cañería – neplo	Se procede a soldar la parte afectada de la cañería. El resultado es positivo
Válvula 2 Sistema Refrigeración	Fuga por la conexión roscada	Es necesario desoldar el sistema para poder roscar la válvula correctamente.

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

3.8.3. Tercera Prueba

3.8.3.1. Vacío

Para la tercera prueba, se realiza un ensayo de vacío, esta prueba permite confirmar que el sistema ya se encuentra aislado, para ello es necesario conectar una bomba de vacío y comprobar la presión que se obtiene en un tiempo de 15 minutos. Al pasar 24 horas se observa un descenso en la presión y se determina que el sistema se encuentra aún con fugas.

3.8.4. Cuarta Prueba

3.8.4.1. Presión con conexión del compresor

Se realiza nuevamente la prueba de presión con el fin de encontrar las fallas que aún permanecen en el sistema. Dando como resultado la tabla 8-3 que describen los diversos problemas y sus respectivas soluciones.

Tabla 8-3: Errores obtenidos en la última prueba realizada

Elemento	Observación	Solución
Válvula filtro	Fuga en el elemento centro de la válvula	Se intenta ajustar el componente con el fin de poder sellar la sección, pero debido a que la falla persiste se opta por cambiar a uno nuevo.
Cañería ¼	Fuga en la soldadura filtro-cañería	Debido a las posiciones incómodas no se logra un buen cierre, se procede a lijar y soldar la parte afectada nuevamente.
Cañería ¼	Fuga en la soldadura cañería – neplo	Debido a las posiciones incómodas no se logra un buen cierre, se procede a lijar y soldar la parte afectada nuevamente.
Cañería ¼	Fuga en la soldadura cañería - acumulador	Debido a las posiciones incómodas no se logra un buen cierre, se procede a lijar y soldar la parte afectada nuevamente.
Cañería ¼	Fuga en la soldadura cañería – condensador	Se encuentran micro fisuras que se logran resolver mediante soldadura.
Válvula 1 Sistema Refrigeración	Fuga por la válvula	La válvula se encuentra con defectos de fabricación debido a una abertura en su cuerpo, es necesario reemplazarla.

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

3.8.4.2. Vacío.

Se realiza una prueba de vacío con el objetivo de verificar que no exista ingreso de aire al sistema, esto es debido a que la cañería permanece cerrada e internamente circula refrigerante R134-A, el cual, para tener un óptimo desarrollo, es necesario que no existan pérdidas a largo plazo, ya que la humedad u elementos extraños pueden causar problemas como taponar la cañería o dañar el compresor.

CAPÍTULO 4.

4. ANALISIS DE COSTOS Y FASE EXPERIMENTAL

En este capítulo se realiza el desglose de los costos generados al momento de construir el equipo, también se detalla la etapa de pruebas de funcionamiento y toma de datos.

4.1. Costos

4.1.1. Costos Directos

Se consideran como costos directos a todo aquel gasto que fue invertido en elementos que componen al equipo ya sean materiales o herramientas (Anexo B, Anexo C).

Tabla 1-4: Costos y lista de los elementos instalados en el equipo diseñado

Material	Cantidad	Costo
Compresor	1	83.47
Ventilador	1	16.50
Condensador	1	15.25
Evaporador	1	58
Bandeja de plástico	1	8
Bandeja de metal	2	7.26
Rollo de Tubería de cobre $\frac{1}{4}$	1	23
Rollo de Tubería de cobre de $\frac{3}{4}$	1	14.50
Rollo de Tubo capilar	1	20
Llave de bola	4	25
Juego de Acoples $\frac{1}{4}$ para llave	4	16
Acumulador de cobre	2	7.30
Visores	4	53.80
Manómetros	4	32
Juego de mangueras con férulas y neplos	4	60
Acoples de mangueras	12	10
Filtro secador con válvulas	2	8
Termostato	2	22.50
Válvulas de carga	3	3

Pintura en Aerosol	3	5.5
Silicon en cartucho	1	4
Plancha de acrílico	½	50
Aluminio	1	5
Refrigerante R134-A	2	21
Termómetro digital	4	41.25
Perillas	2	8.50
Melamínico	1	64.50
Interruptor de levas	1	15
Luz piloto	5	7.5
Amperímetro	1	5.60
Voltímetro	1	2.62
Cable concéntrico	1	1
Selector 22mm 3pos	1	3.5
Enchufe	1	0.60
Amarras	1	1.71
Control temperatura	1	27
Termocupla tipo J	1	7
Toma doble polar	1	3
Cajetín para toma	1	2
Terminales	1	1
Caja para interruptor	1	5
Caja plástica lisa	1	2.75
Cable concéntrico	1	10
Tubo termo compresible	1	2
Barra de tierra (Borneras)	2	3
Tornillos	10	4
Tuercas	8	4
Arandelas	8	1
Arandelas de presión	8	1
Total		801.04

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 2-4: Costo de las herramientas utilizadas en el equipo

Máquinas y Herramientas	Costo
Taladro	80
Juego de sierras circulares	15

Pistola para silicón	5
Destornillador estrella	2
Destornillador plano	2
Llave para tuerca n10-11	4
Gas (Propano)	3.50
Oxígeno	10
Material de aporte para cobre Harris 0%	15
Material de aporte para bronce	5
Fundente	4
Cortadora de tubo de cobre	25
Dobladora de tubos de cobre	30
Mordaza y expansores	70
Martillo	5
Cizalla	0
Metro	4
Tizas	1.50
Playo	5
Amoladora	75
Total	361

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 3-4: Costos directos totales

Costo por	Valor
Materiales	793.78
Máquinas y Herramientas	361

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.1.2. *Costos Indirectos*

Para los costos indirectos, se toma en cuenta todos los gastos que no tienen que ver con el proceso de fabricación del equipo, e imprevistos suscitados al momento de la construcción e instalación.

Tabla 4-4: Costos indirectos

Detalle	Valor
Imprevisto	50
Transporte	50
Total	100

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.1.3. *Costos Totales*

En la sección de costos totales se realiza la adición de los costos directos generados al momento de la construcción del equipo de climatización (tabla 3-4) y los costos indirectos que forman parte de imprevistos o gastos que fueron necesarios realizar para cumplir con la construcción de la máquina (tabla 4-4) . En la tabla 5-4 que se muestra el costo total del equipo.

Tabla 5-4: Costo total del equipo construido

Detalle	Valor
Costos Directos Totales	1154.78
Costos Indirectos Totales	100
Total	1154.78

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.2. **Pruebas de funcionamiento.**

Una vez ensamblado el equipo y solucionado los diversos problemas encontrados, se realizan las pruebas de funcionamiento necesarias para comprobar el comportamiento del equipo cuando realiza la función de refrigeración y bomba de calor.

Para ello se toman diversos datos en base al P&ID para el equipo propuesto en la figura 1-4.

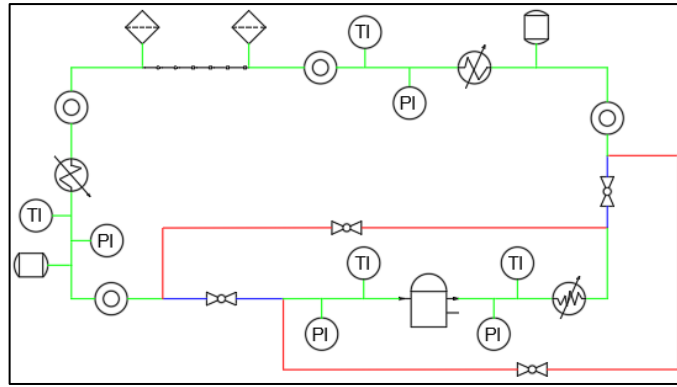


Figura 1-4: Diagrama P&ID del equipo de Carnot.

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.2.1. Pruebas de funcionamiento para refrigeración.

Para las pruebas realizadas en el ciclo de Carnot inverso, se procedió encender el equipo por 10 minutos y se generaron cuatro muestras diferentes, los resultados se presentan a continuación.

Tabla 6-4: Muestra número 1 tomada del equipo para refrigeración

Datos obtenidos para refrigeración		
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)
Punto 1	3	15
Punto 2	76	175
Punto 3	37.6	170
Punto 4	-7.7	18

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 7-4: Muestra número 2 tomada del equipo para refrigeración

Datos obtenidos para refrigeración		
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)
Punto 1	4	16
Punto 2	78	175
Punto 3	38.3	170
Punto 4	-8.1	20

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 8-4: Muestra número 3 tomada del equipo para refrigeración

Datos obtenidos para refrigeración			
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)	
Punto 1	5.3	16	
Punto 2	79	173	
Punto 3	38.9	167	
Punto 4	-11.2	21	

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 9-4: Muestra número 4 tomada del equipo para refrigeración

Datos obtenidos para refrigeración			
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)	
Punto 1	1	15	
Punto 2	74	175	
Punto 3	36.4	170	
Punto 4	-7.4	20	

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Una vez obtenidas las muestras, se calcula en la tabla 10-4 el promedio de los datos obtenidos de presión y temperatura, con el fin de realizar el recalcu del equipo y obtener valores reales de los trabajos realizados.

Tabla 10-4: Promedio de muestras para el ciclo de refrigeración.

Datos Promedio refrigeración				
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)	Presión (bar)	
Punto 1	3.3	16	2.1	
Punto 2	77	175	13	
Punto 3	37.8	169	12.6	
Punto 4	-8.6	20	2.3	

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.2.2. Cálculo de componentes del ciclo real de refrigeración.

Los datos promedio del ciclo real de refrigeración permite determinar las propiedades reales del equipo por medio del uso del diagrama de Mollier (figura 2-4), las propiedades del refrigerante se detallan en la tabla 11-4.

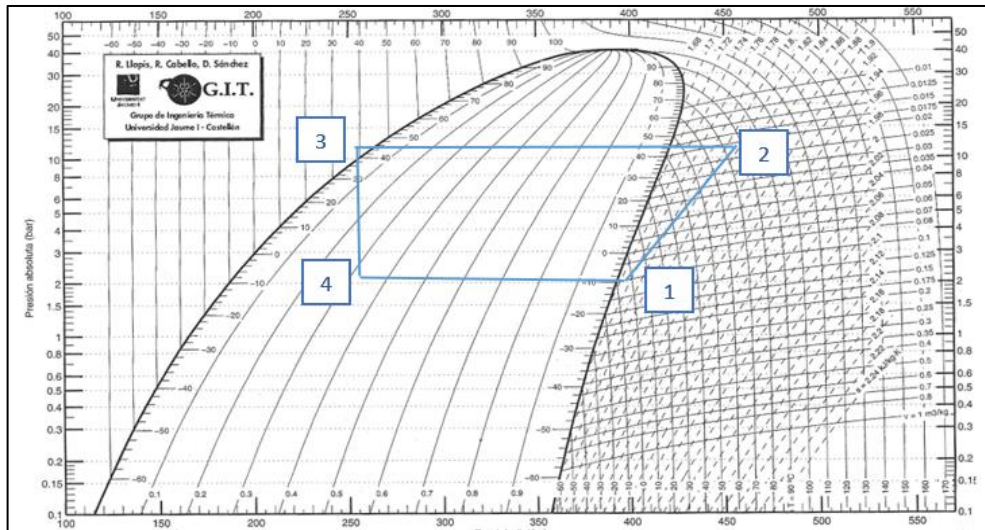


Figura 2-4: Diagrama de Mollier del ciclo real de refrigeración

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 11-4: Propiedades del ciclo

Etapas	Temperatura °C	Presión (bar)	Entalpía (KJ/kg)
1	3.3	2.1	395
2	77	13	455
3	37.8	12.6	255
4	-8.6	2.3	255

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.2.2.1. Análisis del compresor

Realizando el balance de energías y masas para el compresor se tiene que:

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_1 + q_1 + h_1 = w_2 + q_2 + h_2$$

$$w_1 + h_1 = h_2$$

donde $w_1 = w_c$

$$w_c = (h_2 - h_1)$$

$$w_c = 455 \frac{KJ}{Kg} - 395 \frac{KJ}{Kg}$$

$$w_c = 60 \frac{KJ}{Kg}$$

$$W_c = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

$$W_c = 0.00728245 \frac{Kg}{s} * 60 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_c = 436 W$$

Por tanto, el rendimiento del compresor esta dado por:

$$\eta_c = \frac{Q_c \text{ tabulado}}{Q_c} * 100$$

$$\eta_c = \frac{313 W}{436 W} * 100$$

$$\eta_c = 71.78\%$$

4.2.2.2. Análisis en el condensador

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_2 + q_2 + h_2 = w_3 + q_3 + h_3$$

$$q_3 + h_3 = h_2$$

donde $q_3 = q_c$

$$q_c = (h_2 - h_3)$$

$$q_c = 455 \frac{KJ}{Kg} - 255 \frac{KJ}{Kg}$$

$$q_c = 200 \frac{KJ}{Kg}$$

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

$$Q_c = 0.00728245 \frac{Kg}{s} * 200 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_c = 1456.4 W$$

4.2.2.3. Análisis en el evaporador

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_4 + q_4 + h_4 = w_1 + q_1 + h_1$$

$$q_4 + h_4 = h_1$$

donde $q_4 = q_e$

$$q_e = (h_1 - h_4)$$

$$q_e = 392.58 \frac{KJ}{Kg} - 257.91 \frac{KJ}{Kg}$$

$$q_e = 140 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_e = \dot{m} * (h1 - h4)$$

$$Q_e = 0.00728245 \frac{Kg}{s} * 140 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_e = 1019.5 W$$

4.2.3. Cálculo de componentes del ciclo real de refrigeración en DWSIM.

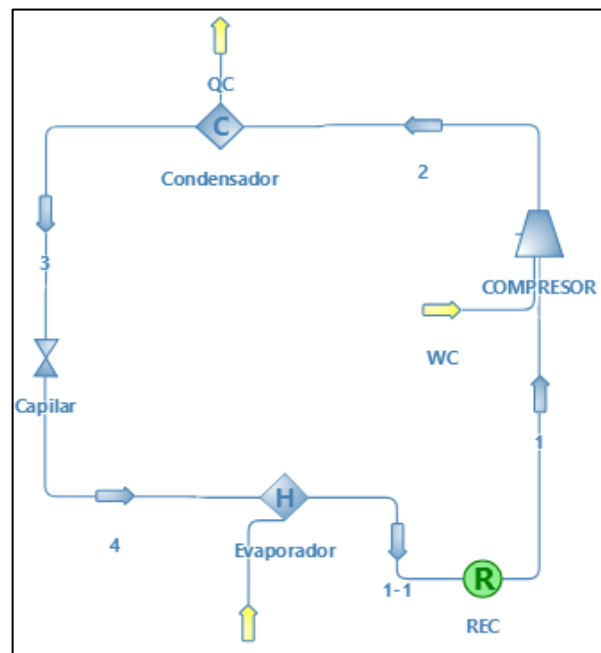


Figura 3-4: Diagrama del ciclo de refrigeración en DWSIM

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Recreando el ciclo Carnot Inverso con los valores reales tomados del equipo en el programa DWSIM (figura 5-4), se obtiene los datos mostrados en la tabla 12-4:

Tabla 12-4: Resultados del ciclo real de refrigeración

TABLA DE RESULTADOS					
P1	2.1	bar	h1	403.752234671914	kJ/kg
P2	13	bar	h2	447.308860202099	kJ/kg
P3	13	bar	h3	254.778907648201	kJ/kg
P4	2.1	bar	h4	254.778907648201	kJ/kg
T1	3.30000000000001	C	COP	3.40858483459867	
T2	70.240407610534	C			
T3	39.356402017693	C			
T4	-8.83443038358098	C			
WC	317.198948197043	W			
QC	1402.0894343366	W			
QE	1084.05326469482	W			

Fuente: DWSIM, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.3. Comparación de resultados obtenidos

La tabla a continuación muestra la comparación de los cálculos realizados con los valores obtenidos en la tabla 11-4 del ciclo de refrigeración, el cálculo generado mediante el Software DWSIM y el porcentaje de error de los valores antes mencionado. La mayor variación de error es de 8.77% indicando una diferencia de la temperatura T2 de 7 °C. Por lo tanto, se comprueba la confiabilidad del software.

Tabla 13-4: Comparación real del ciclo de refrigeración.

Datos DWSIM		Datos Reales		% Error
WC (W)	317	WC (W)	313	1.27
QC (W)	1402.08	QC (W)	1456.4	3.72
QE (W)	1084.05	QE (W)	1019.5	6.33
COP	3.40	COP	3.25	4.61
T1 (°C)	3.3	T1 (°C)	3.3	0
T2 (°C)	70.24	T2 (°C)	77	8.77
T3 (°C)	39.35	T3 (°C)	37.8	4.1
T4 (°C)	-8.8	T4 (°C)	-8.6	2.32
P1 (bar)	2.1	P1 (bar)	2.1	0
P2 (bar)	13	P2 (bar)	13	0
P3 (bar)	13	P3 (bar)	12.6	3.17
P4 (bar)	2.1	P4 (bar)	2.3	8.69

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.3.1. Pruebas de funcionamiento para bomba de calor.

Una vez tomado los datos del ciclo de refrigeración, se procede a cambiar el flujo del refrigerante mediante la manipulación de las válvulas, se registró datos de presión y temperatura a los 10 minutos de encendido el equipo, mostrando los valores a continuación:

Tabla 14-4: Muestra número 1 tomada del equipo para bomba de calor

Datos obtenidos para bomba de calor		
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)
Punto 1	18	0
Punto 2	82	120
Punto 3	26.6	115
Punto 4	-16.5	9

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 15-4: Muestra número 2 tomada del equipo para bomba de calor

Datos obtenidos para bomba de calor		
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)
Punto 1	20	-1
Punto 2	83	120
Punto 3	28.6	117
Punto 4	-18.2	8

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 16-4: Muestra número 3 tomada del equipo para bomba de calor

Datos obtenidos para bomba de calor		
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)
Punto 1	18	2
Punto 2	85	120
Punto 3	28.3	117
Punto 4	-15.5	12

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 17-4: Muestra número 4 tomada del equipo para bomba de calor

Datos obtenidos para bomba de calor			
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)	
Punto 1	20	0	
Punto 2	81	120	
Punto 3	26	115	
Punto 4	-17.1	10	

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Una vez obtenidas las muestras, se calcula el promedio de los datos obtenidos de presión y temperatura en el ciclo de bomba de calor (tabla 18-4), con el fin de realizar el recalcu lo del equipo y obtener valores reales de los trabajos realizados.

Tabla 18-4: Promedio de muestras para el ciclo de bomba de calor.

Promedio bomba de calor				
Zona	Temperatura (°C)	Presión (Psi)	Presión (bar)	
Punto 1	19	0	1	
Punto 2	83	120	9.3	
Punto 3	27.3	115	8.9	
Punto 4	-16.8	10	1.7	

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.3.2. Cálculo de componentes del ciclo real de bomba de calor.

Los datos promedio del ciclo real de bomba de calor permite determinar las propiedades reales del equipo por medio del uso del diagrama de Mollier (figura 4-4), las propiedades del refrigerante se detallan en la tabla 19-4.

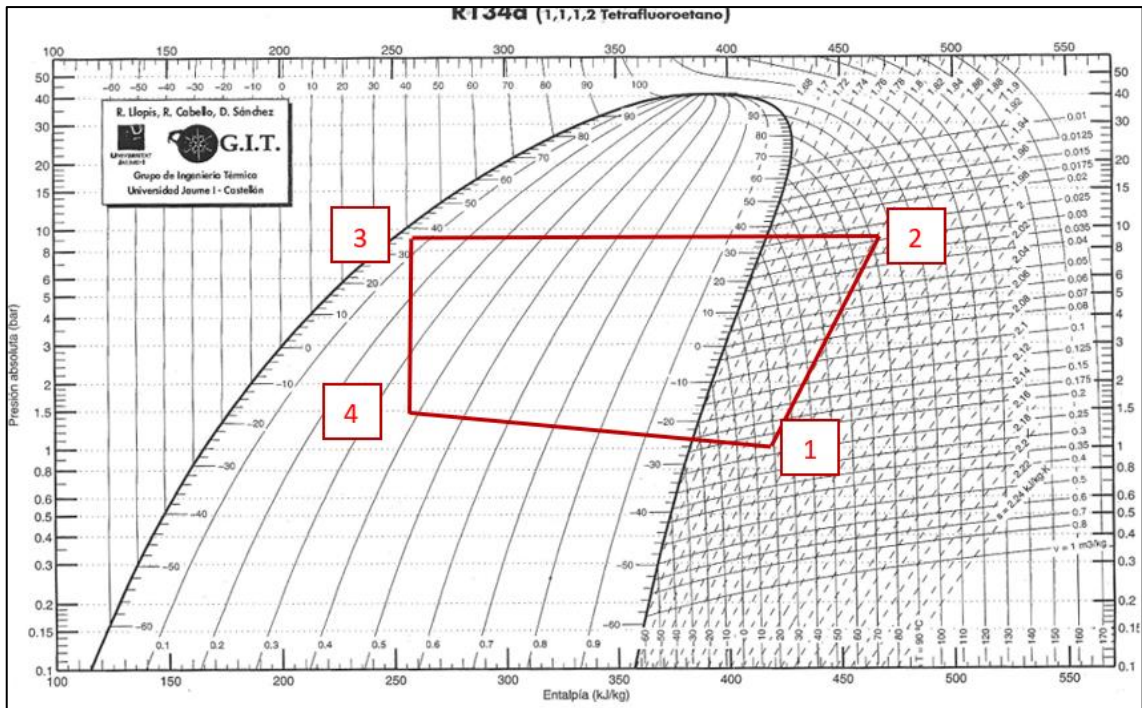


Figura 4-4: Diagrama de Mollier del ciclo real de bomba de calor.

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Tabla 19-4: Propiedades del ciclo

Etapa	Temperatura °C	Presión (bar)	Entalpía $\frac{KJ}{Kg}$
1	19	1	420
2	83	9.3	470
3	27.3	8.9	258
4	-16.8	1.7	258

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.3.2.1. Análisis en el compresor

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_1 + q_1 + h_1 = w_2 + q_2 + h_2$$

$$w_1 + h_1 = h_2$$

donde $w_1 = w_c$

$$w_c = (h_2 - h_1)$$

$$w_c = 470 \frac{KJ}{Kg} - 420 \frac{KJ}{Kg}$$

$$w_c = 50 \frac{KJ}{Kg}$$

$$W_c = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

$$W_c = 0.00728245 \frac{Kg}{s} * 50 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_c = 364.1W$$

4.3.2.2. Análisis en el evaporador

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_2 + q_2 + h_2 = w_3 + q_3 + h_3$$

$$q_3 + h_3 = h_2$$

donde $q_3 = q_e$

$$q_e = (h_2 - h_3)$$

$$q_e = 470 \frac{KJ}{Kg} - 258 \frac{KJ}{Kg}$$

$$q_e = 212 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_e = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

$$Q_e = 0.00728245 \frac{Kg}{s} * 212 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_e = 1543.87 W$$

4.3.2.3. Análisis en el condensador

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} + \Delta \dot{m}$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 + 0$$

$$E_{entra} = E_{sale} + \Delta E$$

$$w_4 + q_4 + h_4 = w_1 + q_1 + h_1$$

$$q_4 + h_4 = h_1$$

donde $q_4 = q_c$

$$q_c = (h_1 - h_4)$$

$$q_c = 420 \frac{KJ}{Kg} - 258 \frac{KJ}{Kg}$$

$$q_c = 162 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_c = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

$$Q_c = 0.00728245 \frac{Kg}{s} * 162 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_c = 1179.75 W$$

4.3.3. Cálculo de componentes del ciclo real de bomba de calor en DWSIM.

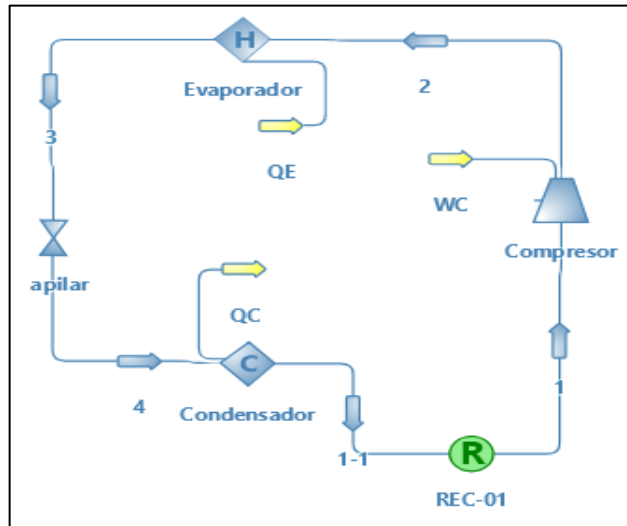


Figura 5-4: Diagrama del ciclo real de calefacción en DWSIM

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

Recreando el ciclo Carnot con los valores reales tomados del equipo en el programa DWSIM (figura 5-4), se obtiene los datos mostrados en la tabla 20-4:

Tabla 20-4: Datos de resultados del ciclo real de bomba de calor

TABLA DE RESULTADOS					
P1	1	bar	h1	419.470810493795	kJ/kg
P2	8	bar	h2	471.91636827808	kJ/kg
P3	8	bar	h3	231.313120416154	kJ/kg
P4	1.7	bar	h4	231.313120416154	kJ/kg
T1	19	C	COP	-4.58767679051944	
T2	86.717608952123	C			
T3	22.717604938819	C			
T4	-14.117105181842	C			
WC	381.932152352208	W			
QC	-1370.24897010592	W			
QE	-1752.18108108282	W			

Fuente: DWSIM, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.4. Comparación de resultados obtenidos

La tabla a continuación se encuentra dividida en tres columnas que indica la comparación de los cálculos realizados con los valores obtenidos en la tabla 19-4 del ciclo de bomba de calor, el cálculo generado mediante el Software DWSIM y el porcentaje de error de los valores antes mencionados. Se puede observar que la mayor variación de error es de 19.06% es decir en este caso la variación de la temperatura T4 es de 2.69. Lo cual indica que para el ciclo de Carnot existe una confiabilidad al usar el programa DWSIM.

Tabla 21-4: Comparación real del ciclo de bomba de calor.

Datos DWSIM		Datos Reales		% Error
WC (W)	381.93	WC (W)	364.1	4.66
QC (W)	1370.25	QC (W)	1179.75	13.90
QE (W)	1752.18	QE (W)	1543.87	11.88
COP	4.58	COP	4.24	7.42
T1 (°C)	19	T1 (°C)	19	0
T2 (°C)	86.71	T2 (°C)	83	4.27
T3 (°C)	22.71	T3 (°C)	24.5	7.88
T4 (°C)	-14.11	T4 (°C)	-16.8	19.06
P1 (bar)	1	P1 (bar)	1	0
P2 (bar)	8	P2 (bar)	9.3	16.25
P3 (bar)	8	P3 (bar)	8.9	11.25
P4 (bar)	1.7	P4 (bar)	1.7	0

Fuente: Autor, 2021

Realizado por: Montero, Dennys, 2021

4.5. Elaboración de manual de operación.

 ESPOCH ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		
	Facultad de Ingeniería Mecánica Escuela de Ingeniería Mecánica	
Manual de Operación Equipo de Refrigeración y Bomba de Calor		
Objetivo: Realizar un buen manejo del equipo, mediante indicaciones obtenidas en esta guía, con el fin de conservar de manera funcional el equipo.		
Manual de Operación para Cargar Refrigerante <ul style="list-style-type: none">• Conectar el enchufe al tomacorriente.• Seleccionar la posición “On” para energizar el equipo (se encuentra en la parte posterior del equipo).• Abrir una de las válvulas en caso de que exista presión interna dentro del circuito.• Esperar a que la presión en el manómetro marque 0 PSI• Conectar la bomba de vacío a la cañería de servicio (Tubo de cobre color plateado en el compresor), puede ayudarse del tomacorriente instalado en el equipo.• Abrir las válvulas color rojo y azul (4 en total) con el fin de crear vacío en todo el circuito.• Esperar 15 a 20 minutos, con el fin de poder eliminar impurezas que pueden encontrarse en el sistema.• Apagar la bomba de vacío cerrando el paso de aire con ayuda de los manómetros.• Conectar el refrigerante R134a a los manómetros auxiliares.		

- Purgar la manguera de conexión con el manómetro auxiliar con el fin de evitar el ingreso de aire al sistema.
- Ingresar mínimo 30 psi de refrigerante dentro del compresor
- Cerrar las válvulas del ciclo de refrigeración
- Encender el equipo mediante el selector de tres posiciones y seleccionar “refrigeración” (girar el selector en sentido horario)
- Cargar lentamente el equipo a una presión constante de 5 psi
- Con una balanza previamente puesta ingresar alrededor de 190 gramos de refrigerante R134a.
- Comprobar que el condensador este generando altas temperaturas (alrededor de 40 grados) y que la cámara de climatizado se encuentre refrigerando.
- Cerrar el paso de refrigerante con ayuda del manómetro auxiliar.
- Apagar el equipo girando el selector en la posición apagado.
- Desconectar el manómetro auxiliar de la tubería de servicio.
- Apagar el equipo con ayuda del Switch ubicado en la parte posterior del equipo.

Manual de Operación para Refrigeración

- Conectar el enchufe al tomacorriente.
- Seleccionar la posición “On” para energizar el equipo (se encuentra en la parte posterior del equipo).
- Abrir únicamente el paso de las válvulas de refrigeración (Válvulas color azul).
- Encender los termómetros presionando el Switch de contacto
- Encender el equipo mediante el selector de tres posiciones y seleccionar “refrigeración” (girar el selector en sentido horario)
- Esperar a que el equipo se estabilice (alrededor de 10 minutos)
- Comprobar las presiones y temperaturas que posee cada estado
- Al momento de terminar el uso del equipo, se recomienda apagar el equipo girando el selector en la posición apagado.
- Apagar el equipo con ayuda del Switch ubicado en la parte posterior del equipo

Manual de Operación para Bomba de Calor

- Conectar el enchufe al tomacorriente.
- Seleccionar la posición “On” para energizar el equipo (se encuentra en la parte posterior del equipo).
- Abrir únicamente el paso de las válvulas del ciclo de bomba de calor (Válvulas color rojo).
- Encender los termómetros presionando el Switch de contacto

- Encender el equipo mediante el selector de tres posiciones y seleccionar “Bomba de calor” (girar el selector en sentido antihorario)
- Esperar a que el equipo se estabilice (alrededor de 10 minutos)
- Comprobar las presiones y temperaturas que posee cada estado
- Al momento de terminar el uso del equipo, se recomienda apagar el equipo girando el selector en la posición apagado.
- Apagar el equipo con ayuda del Switch ubicado en la parte posterior del equipo

Troubleshooting

- **El equipo no se encuentra refrigerando**

Si el equipo no refrigera, es posible que no contenga el suficiente gas refrigerante circulando por el conducto, por lo que es necesario ingresar gas R134a, con el propósito de generar el efecto deseado en el sistema

- **El equipo está congelando la tubería de succión**

En caso de observar que el compresor se empieza a congelar es debido a que está ingresando gas refrigerante en estado líquido en el motor, es importante apagar el equipo, y eliminar el gas que se encuentra dentro del sistema, mediante el uso de la bomba de vacío, y volver a cargar el equipo

- **El compresor me marca un vacío excesivo**

Si el equipo marca un vacío excesivo, es debido a que existe falta de gas en el sistema, es posible que exista una fuga dentro del equipo, o simplemente no esté cargado completamente el compresor.

- **El manómetro no marca**

Es posible que no exista un contacto entre el manómetro y el sistema, es necesario ajustarlo

- **Los termómetros no marcan**

Es posible que las baterías con las cuales trabajan los termómetros se agoten, por lo tanto, será necesario reemplazarlas

- **No tengo energía en el tomacorriente del equipo**

Es necesario comprobar que exista energía eléctrica en la zona, se encuentre correctamente energizada.

En caso contrario es posible que exista un daño en el sistema energético

- **No funciona arranca el compresor al girar el selector en “refrigeración” o “Bomba de calor”**

<p>Es importante iniciar el ciclo de refrigeración y bomba de calor con presiones estables, si el amperímetro marca más de 4 amperios al arrancar el compresor, es debido a que el pistón no tiene la fuerza suficiente como para vencer la presión interna.</p> <p>Puede suceder que el amperímetro marque 0, lo cual significa que existió un problema de sobrecalentamiento o energético, el cual hizo saltar el protector térmico, se podrá utilizar el equipo cuando regrese a su posición original, alrededor de 5 minutos.</p> <p>Puede tener fallos el termostato, debido a un daño interno, con lo cual es recomendable intercambiar por otro.</p> <p>Puede existir un problema con el compresor, debido a que los compresores domésticos son herméticos, no existe la posibilidad de repararlo, por lo cual es necesario intercambiar por uno nuevo.</p>	
Realizado por:	Dennys Alejandro Montero Huilca.

CONCLUSIONES

Ninguna máquina es reversible, es decir, no existe equipo alguno que pueda aprovechar toda la energía del sistema debido a que existen elementos y componentes que en el proceso de funcionamiento generan pérdidas, el equipo fabricado genera desgaste principalmente en los elementos como compresor e intercambiadores de calor.

Se consideró inicialmente para el cálculo del ciclo de refrigeración una temperatura de condensación de 40 °C y una temperatura de evaporación de -10 °C, con lo cual se condicionó mediante el diagrama de Mollier que se genere vapor saturado en la línea de succión del compresor (Punto 1), es decir, que el equipo siempre funcione con refrigerante en estado gaseoso para evitar daños principalmente en el compresor.

El análisis del ciclo real de refrigeración muestra que el COP es de 3.25, en cambio el ciclo de bomba de calor indica un valor de 4.24, lo cual revela que se puede obtener una mejor eficiencia al trabajar como generador de calor, ya que se aprovecha mejor la energía aportada desde el compresor con dirección a la cámara de climatizado.

Mediante cálculos se seleccionó los diferentes materiales y equipos del sistema de Carnot, ciertos elementos como el condensador (1293.73 W) o evaporador (980.73 W), debido a que no se los puede obtener con capacidad exacta requerida, se escogieron unidades de mayor capacidad y que a su vez sean muy comerciales con el fin de asegurarnos el funcionamiento correcto.

Para realizar la construcción del equipo, se consideró una longitud de 1.2 metros, con el fin de facilitar el aprendizaje de grupos de alrededor de 5 personas, también se seleccionó la válvula de bola, debido a que su manipulación permitirá una mejor comprensión de la dirección del fluido refrigerante.

La realización de las pruebas de funcionamiento del equipo da como principal problema la fuga del refrigerante debido a que existen varias uniones y al soldar por secciones de cañería aumenta la complejidad de maniobrar y realizar un sellado perfecto. Existieron elementos defectuosos los cuales fueron necesarios cambiar debido a que creaban escapes, como la mirilla y las válvulas.

El programa DWSIM, se ha utilizado para la generación de diversos papers, lo cual indica que posee una cierta confiabilidad al momento de realizar los cálculos requeridos, en este caso el ciclo de refrigeración brinda valores cercanos a los calculados, siendo un error máximo de 8.7% en la temperatura T2 y para la bomba de calor un error máximo de 19% en la temperatura T4 del condensador.

RECOMENDACIONES

El modular se puede mejorar de diversas maneras, debido a que su construcción se basa en elementos de refrigeración doméstica, no fue viable la instalación de válvulas de estrangulación, la cual, al ser regulable, permite un mejor funcionamiento en ambos sentidos del ciclo.

Se recomienda que el equipo descansa luego de realizar sus operaciones un tiempo promedio de 5 minutos, debido a que la presión interna es la suficiente como para que no permita que el pistón del compresor trabaje instantáneamente.

Es importante utilizar refrigerantes que eviten el uso de cloro en sus componentes, debido a que este elemento genera agujeros en la capa de ozono, aparte de ser tóxico en el cuerpo humano. El ácido clorhídrico que resulta de la combinación de cloro y agua puede causar edema pulmonar, dificultad para respirar o inflamación de garganta.

Se recomienda el uso de programas libres en el contexto educativo siempre y cuando el software sea probado debido a que son herramientas didácticas, las cuales fortalecen los conocimientos de los estudiantes, pudiendo ser usados como reforzadores del contenido revisado.

El tubo de cobre de 1/4 según fabricantes puede resistir presiones internas de 1023 psi, pero no es recomendable elevar la presión a más de 300 psi, debido a que existen elementos como mirillas o evaporador los cuales trabajan con presiones menores a la indicada.

Existen diversos métodos de unión del cobre, entre ellos por presión, roscado o soldadura, se realizó pruebas pertinentes con cada uno de ellos y se determinó que la unión mediante soldadura generaría menos problemas de fugas en el circuito. A su vez para realizar la soldadura entre dos materiales diferentes (hierro, cobre, aluminio o bronce), es necesario tomar en cuenta las temperaturas de fusión de los elementos, debido a que cuentan con diferentes puntos de fusión y un mal uso de soldadura de propano podría fundir los materiales.

BIBLIOGRAFÍA

AIRE. *AIRE ACONDICIONADO*. [blog]. [Consulta el: 7 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <http://www.aire-acondicionado.com.es/>.

ALARCÓN, J. *Tratado Práctico de Refrigeración Automática*. [En línea]. España: Marcombo, 2005. [Consulta el: 22 de Noviembre de 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Tratado_Pr%C3%A1ctico_de_Refrigeraci%C3%B3n_Auto.html?id=p-F0oAEACAAJ&source=kp_book_description&redir_esc=y

ANDRESEN, BJARNE ET AL. *Thermodynamics in finite time. I. The step-Carnot cycle*. [blog]. 1997 [Consulta el: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://journals.aps.org/pra/abstract/10.1103/PhysRevA.15.2086>.

ARNABAT, IDOIA. 2007. *Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción*. [blog]. 2007. [Consulta el: 12 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistemas-de-refrigeracion-compresion-absorcion.html>

BERNAT, J. *Historia de la refrigeración: De la prehistoria a la actualidad*. [En línea]. Inglaterra: BBC, 2015. [Consulta el: 28 de Junio de 2021]. Disponible en: <https://www.josebernad.com/historia-de-la-refrigeracion-de-la-prehistoria-a-la-actualidad/#:~:text=Aunque%20los%20primeros%20intentos%20fueron,de%20pacientes%20de%20fiebre%20amarilla>.

CASTRO, MARTA ET AL. Utilización del diagrama de Mollier de presión - entalpía para sistemas frigoríficos. [blog]. 2020. [Consulta el: 28 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104051/Castro%3bTom%c3%a1s%3bOrto1%c3%a1%20-%20Utilizaci%3%b3n%20del%20diagrama%20de%20Mollier%20de%20presi%3%b3n-entalp%3%ada%20para%20sistemas%20frigo....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CENGEL, Y; & BOLES, M. *TERMODINÁMICA*. [En línea]. México: McGraw-Hill, 2011. [Consulta el: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://dypsit.com/termodinamica-yunes-cengel-7ma-ed/>

CENGEL, Y. *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. Un enfoque práctico*. [En línea]. Tercera. México: McGRAW-HILL, 2007. [Consulta el: 22 de Noviembre de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/11262715/Transferencia_de_calor_y_masa_Yunus_A_Cengel

CENTRO MARIO MOLINA. *PROGRAMA DE EDUCACIÓN CAMBIO CLIMÁTICO*, 2020. [En línea] [Consulta el: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://centromariomolina.org/libro/libros/LibrodeQuimica/150/>.

CIDEAD. *Estados de la materia*, 2012. [En línea]. [Consulta el: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en: http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/EDAD_3eso_estados_de_la_materia/impresos/quincena3.pdf.

CLIMAS. *¿Qué son las Válvulas de Paso?* [blog] 2021. [Consulta el: 22 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.climasmonterrey.com/que-son-las-valvulas-de-paso>.

COOLPROP. *COOLPROP*. [blog]. 2021. [Consulta el: 1 de Febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.coolprop.org>.

CORPORACIÓN. *VÁLVULA DE PASO*. [blog]. 2019 [Consulta el: 22 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <http://www.corporaciontermodinamica.com/productos/valvula-de-paso/valvula-de-paso/>.

CORPORACIÓN. 2. *Visor de Líquido*. [blog]. 2017. [Consulta el: 15 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <http://www.corporaciontermodinamica.com/productos/visor-de-liquido/visor-de-liquido/>.

CRESPO, A. *Mecánica de Fluidos*. [En línea]. Madrid-España: Paraninfo, 2006. [Consulta el: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=ArW9u-Rn4DsC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>. 978-84-9732-475-5.

DUQUE, JAIME ET AL. *ESTRUCTURA CRISTALINA DEL COBRE*, propiedades microscópicas mecánicas y de procesamiento. Ciencia e Ingeniería Neogranadina [en línea]. 2006, 16(2), 96-103 [blog]. ISSN: 0124-8170. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91116210>

DWSIM. *DWSIM Simulator*. [blog]. 2021. [Consulta el: 3 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://dwsim.inforside.com.br/new/index.php/about/>.

FLUIDO NO NEWTONIANO. *Arenas movedizas: fluido no newtoniano*. [blog]. 2020. [Consulta el: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://museodeciencias.unav.edu/documents/25998948/26361509/fluidos-no-newtonianos.pdf/>.

FORNS, ET AL. *Maquinas térmicas motoras - 1*. [En línea]. Barcelona : UPC, 2002. [Consulta el: 22 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36712/9788498802047.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20%20pg79>

FRANCO, J. *Manual de refrigeración*. [En línea]. España : REVERTÉ, 2006. [Consulta el: 3 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=F7-dmrTl0TAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

GARCÍA, ÁNGEL. *Fundamentos Físicos*. [blog]. 2020. [Consulta el: 21 de Noviembre de 2020] Disponible en: http://www.sc.ehu.es/sbweb/ocw-fisica/intro/guia_docente/termo.xhtml.

GÓMEZ, T. *TERMODINÁMICA*. [En línea]. Navarra: tecnun, 2005. [Consulta el: 22 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/5185/4/Termodinamica-UnivNavarra.pdf>.

GONZÁLEZ, D. *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. [En línea]. España: Paraninfo, 2012. [Consulta el: 22 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=ENKt0SIk3sAC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

GUANIPA, GELYS. *SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN*. [blog]. 2010. [Consulta el: 12 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://fdocuments.ec/reader/full/sistema-de-refrigeracion>.

HAVERLAND. *LA CALEFACCIÓN A LO LARGO DE LA HISTORIA*. [blog]. 2015. [Consulta el: 28 de Junio de 2021]. Disponible en: <https://haverland.com/2015/03/03/la-calefaccion-a-lo-largo-de-la-historia/>.

HERNÁNDEZ, E. *FUNDAMENTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN*. [En línea]. México : LIMUSA, 2009. [Consulta el: 9 de Diciembre de 2020]. Disponible en: https://books.google.co.cr/books?id=NeyHmp0a_vAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

JOHNSON, S. *La escalofriante historia del frío artificial*. [En línea]. Inglaterra : BBC, 2015. [Consulta el: 28 de Junio de 2021]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/03/150224_ciencia_hielo_finde_yv

JONES, W. *AIR CONDITIONING ENGINEERING*. [En línea]. Quinta Inglaterra: Butterworth-Heinemann, 2005. . [Consulta el: 9 de Febrero de 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/36703295/Air_Conditioning_Engineering_5th_Edition_Malestrom_pdf?auto=download

LITERATURE. *Technical Papers*. [blog]. 2021. [Consulta el: 3 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://dwsim.inforside.com.br/wiki/index.php?title=Literature>.

MORAN, M & SHAPIRO, H. *FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA TÉRMICA*. [En línea]. Segunda. Barcelona- España : REVERTÉ, 2004. [Consulta el: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=IJcF1oqP5wC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

MOTT, R. 2006. *Mecánica de fluidos*. [En línea]. México : PEARSON EDUCACIÓN, 2006. [Consulta el: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: https://es2.slideshare.net/AgustnVzquezSarin/mecanica-de-fluidos-robert-mott-sexta-edicion-47968316?qid=e695fbc5-ce0b-4f57-8998-d76438a92d23&v=&b=&from_search=2

NIETO, ANTONIO. *Indicadores de Líquido y Humedad..* [blog]. 2018. [Consulta el: 16 de Diciembre de 2020] Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2006/01/indicadores-de-liquido-y-humedad/>.

NIETO, ANTONIO. *Válvulas de Expansión Funcionamiento y Selección de la Adecuada.* [blog]. 2018. [Consulta el: 5 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2008/02/valvulas-de-expansion-funcionamiento-y-seleccion-de-la-adecuada/>.

PASSOS, JULIO. *CARNOT E A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.* [blog]. 2020. [Consulta el: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-tCeM0riNngJ:https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php%3Fid%3D1423886+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>.

PICHEL, J. Así se invento la primera nevera: la maquina que se metia <<en el terreno de Dios>>. [blog]. España : El Español, 2018. [Consulta el: 29 de Junio de 2021]. Disponible en: https://www.elespanol.com/ciencia/20180418/invento-primera-nevera-maquina-metia-terreno-dios/300720986_0.html

PRESSMAN, R. *Ingeniería del software, un enfoque práctico.* [En línea]. Séptima. México : McGraw-Hill, 2010. [Consulta el: 10 de Enero de 2021]. Disponible en: <http://cotana.informatica.edu.bo/downloads/ld-Ingenieria.de.software.enfoque.practico.7ed.Pressman.PDF>

PROTECTOR. *PROTECTOR TÉRMICO DE UN REFRIGERADOR.* [blog]. 2021. [Consulta el: 3 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://refrigeracionner.com/protector-termico-de-un-refrigerador/#:~:text=E1%20protector%20t%C3%A9rmico%20de%20un,resistencia%20y%20una%20t%C3%A1mina%20bimet%C3%A1lica>.

QUIMOBÁSICOS. *LOS CAPILARES Y SU FUNCIONAMIENTO* . [blog]. 2014. [Consulta el: 16 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://blogquimobasicos.com/2014/11/24/los-capilares-y-su-funcionamiento/>

RAE. *Climatizar* [blog]. 2021. [Consulta el: 18 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/climatizar>.

REYMO. *VISORES DE LÍQUIDO SGN*. [blog]. 2018. [Consulta el: 16 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://reymo.com/producto/visores-de-liquido-sgn/>.

ROJAS, L. "PROCESOS DE SOLDADURA". Revista digital para profesionales de la enseñanza [En línea] 2010, pp. 1-14. [Consulta el: 7 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6712.pdf>.

ROLLE, K. *TERMODINAMICA*. [En línea]. Sexta. México : Pearson Education, 2006. [Consulta el: 28 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=1rIBBXQhmCwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

SISTEMAS. *TOP 6 sistemas de calefacción para ahorrar en 2020*. [blog]. 2020. [Consulta el: 22 de Noviembre de 2020] Disponible en: <https://www.fotocasa.es/blog/hogar/energia/cual-es-el-sistema-de-calefaccion-mas-adecuado/>.

STEPH, Y. *El descubrimiento del fuego también trajo efectos negativos para los seres humanos*. [En línea]. Estados Unidos : New York Times, 2016. [Consulta el: 28 de Junio de 2021]. Disponible en: <https://www.nytimes.com/es/2016/08/16/espanol/el-descubrimiento-del-fuego-tambien-trajo-efectos-negativos-para-los-seres-humanos.html#:~:text=Cuando%20los%20primeros%20humanos%20descubrieron,dif%C3%A9rciles%20de%20masticar%20y%20digerir>.

UPV. *CONVECCION*. [blog]. [Consulta el: 17 de Diciembre de 2020]. Disponible en: http://personales.upv.es/vsoto/index_archivos/FTP/TC/Conveccion.pdf

VILLANUEVA, R. *REFRIGERANTES PARA AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN*. [En línea]. España : Club Universitario, 2011. [Consulta el: 18 de Diciembre de 2020]. Disponible en: https://books.google.ca/books?id=yXM6DwAAQBAJ&dq=refrigerantes+refrigeracion&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s

WIRZ, D. *REFRIGERACIÓN COMERCIAL para técnicos de aire acondicionado*. [En línea]. España : Paraninfo, 2008. [Consulta el: 3 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xDW6YzX4kacC&oi=fnd&pg=PR3&dq=compre>

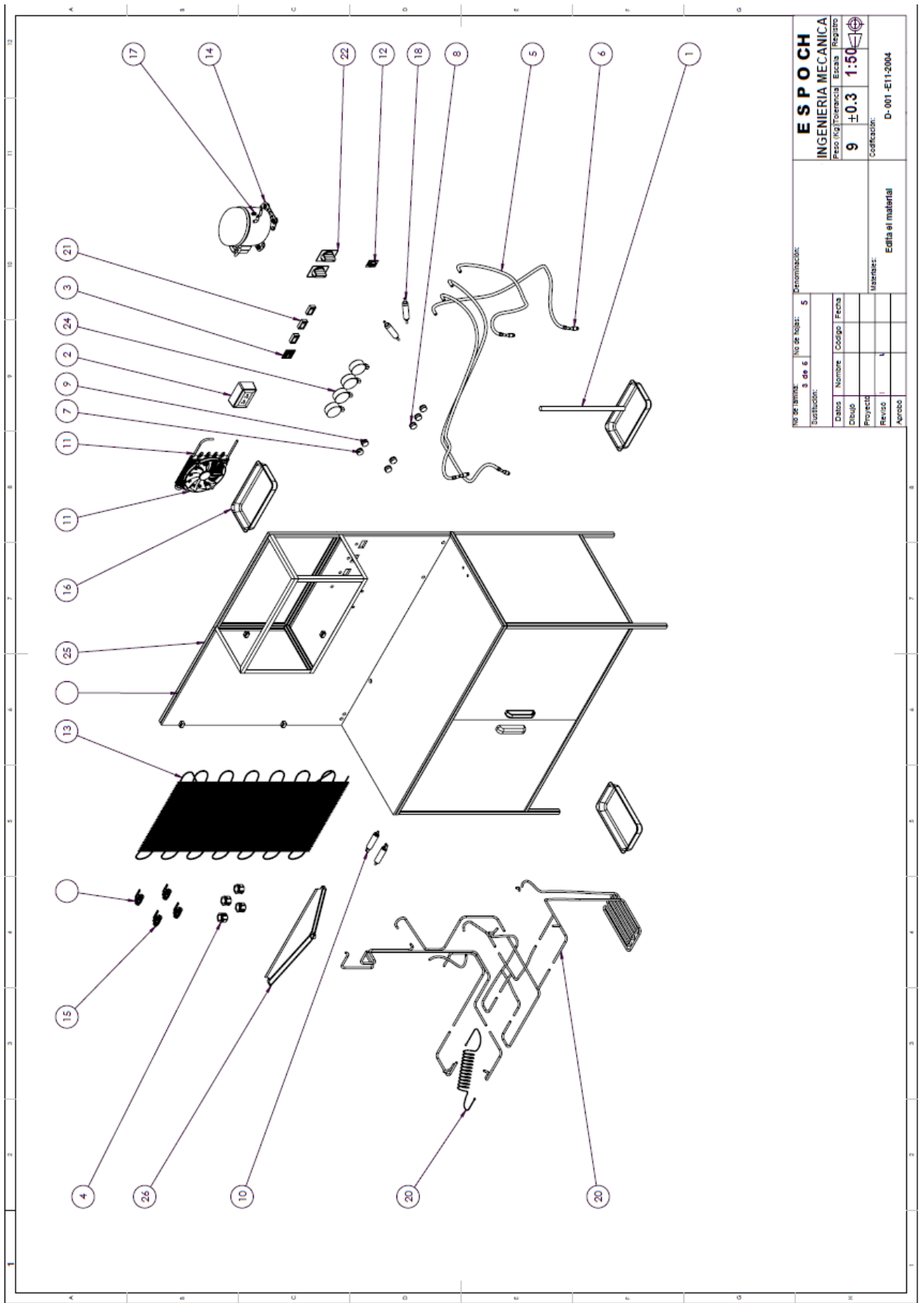
sor+evaporador+condensador&ots=qjl8fLn7ul&sig=mttdGGeYRPUAYo7s68P9nSlbkBI#v=on
epage&q=compresor%20evaporador%20condensador&f=false

ANEXOS

ANEXO A: COEFICIENTE TERMICO DE FLUIDOS

Service	U_o	
	Btu/hr · ft ² · °F	W/m ² · K
<i>Sensible Cooling</i>		
Process water	105–120	600–680
Light hydrocarbons	75–95	425–540
Fuel oil	20–30	114–170
Flue gas, 10 psig	10	57
<i>Condensation</i>		
Steam, 0–20 psig	130–140	740–795
Ammonia	100–200	570–680
Light hydrocarbons	80–95	455–540
Refrigerant 12	60–80	340–455
Mixed hydrocarbons, steam, and noncondensables	60–70	340–397

ANEXO B: EXPLOSIONADO DEL EQUIPO



No. de laminas: 3 de 6		No. de hojas: 5		Determinación:	
Sustitución:					
Datos		Nombre		Codigo	
Dibujo		Fecha		Escala	
Proyecto		Revisión		Materiales:	
Aprobado		Emita el material		D-001 -E11-2004	

ESPOCH
INGENIERIA MECANICA
 Puno (Ingeniería) Escala: 1:50
 Configuración: D-001 -E11-2004

ANEXO D: PROPIEDADES ACRILICO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
NORMA ASTM	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	UNIDAD DE MEDIDA	ACRYLIT®GC	
			CRISTAL	BLANCO
			1.4 mm	1.4 mm
PROPIEDADES FÍSICAS				
D-1494	Transmisión de luz	%	80%	55%
E-903	Pérdida de Luz 0 horas 1000 horas Pérdida		80	55
			74.4	51.1
			7%	7%
E-903	Difusión de Luz	%	95%	95%
D-1925	Amarillamiento	Delta	6	5
	Comentario		Sin cambio de tono	Sin cambio de tono
PROPIEDADES MECÁNICAS				
D-256	Resistencia al Impacto	J/m	370	370
D-638	Resistencia a la Tensión	kg/cm ²	820	820
D-790	Resistencia a la Flexión	kg/cm ²	1,680	1,680
D-696	Coefficiente de Dilatación Lineal	^o 10 ⁻³ mm/mm°C	2.6	2.6
OTRAS PROPIEDADES				
D-52612	Conductividad Térmica	W/m²k	0.23	0.23
	Dureza de Barcol	U.B.	45-50	45-50

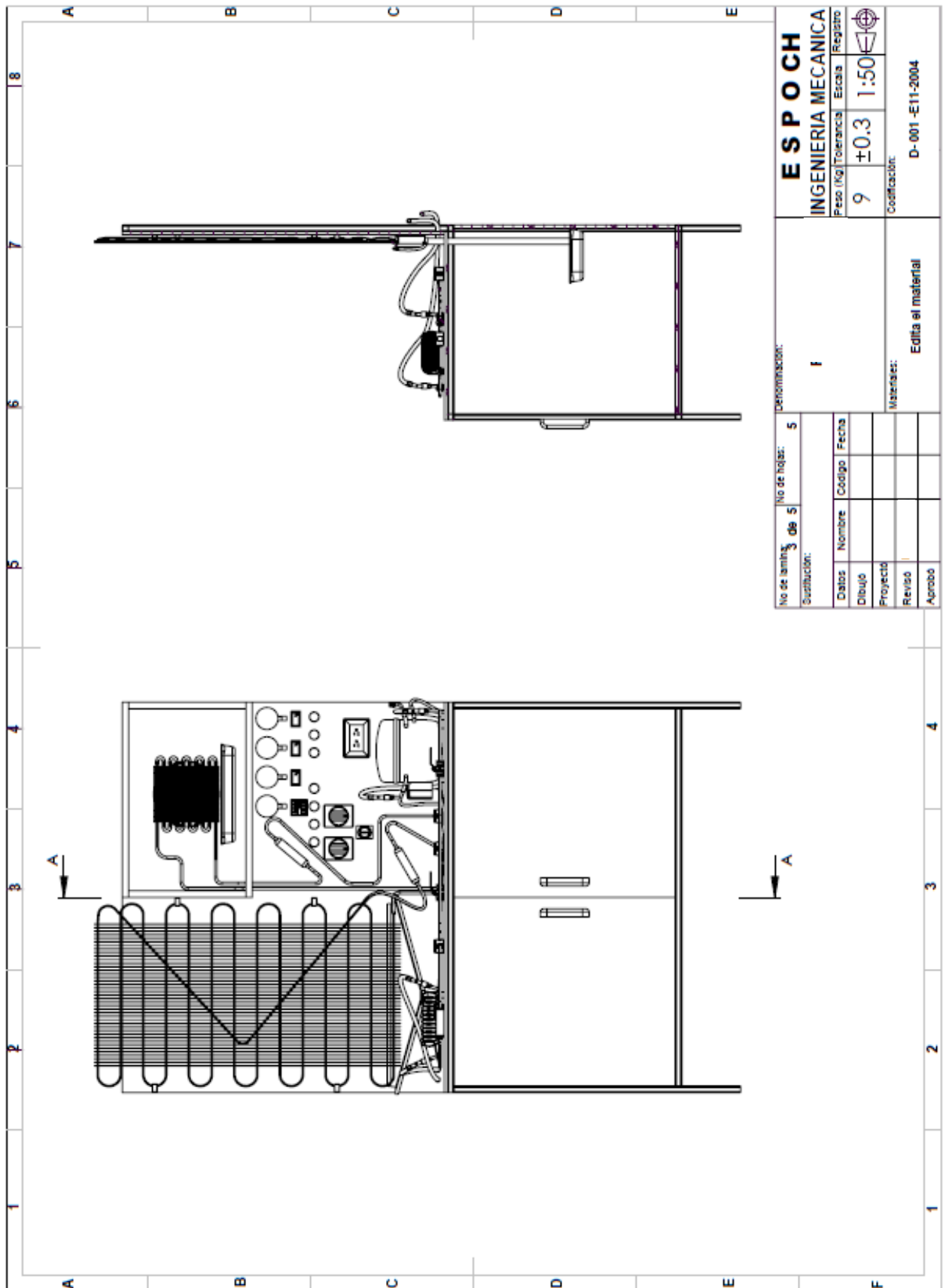
ANEXO E: SELECIÓN DEL COMPRESOR

产品系列 Serial	产品型号 Model	马力 HP	电压频率 (V/Hz)	气缸容积 Displacement (cm ³)	制冷量 Cooling Capacity ASHRAE												电机类型 Motor type	启动器 Starting Device	启动电容 Starting capacitor (uF)	运行电容 Running capacitor (uF)	冷却方式 Cooling	认证 Certificate								
					-35°C (-31F)		-30°C (-22F)		-25°C (-13F)		-20°C (-4F)		-15°C (5F)		-10°C (10F)								-5°C (23F)		0°C (32F)					
					W	Btu/h	W	Btu/h	W	Btu/h	W	Btu/h	W	Btu/h	W	Btu/h							W	Btu/h	W	Btu/h				
L	OD25H11G	1/12		2.5	30	102	38	130	50	171	65	222	59	0.9	1.1	3.76	81	276	102	348	127	433	159	543	198	676	/	/	ST	ULETL
	OD30H11G	1/10		3.0	34	116	44	150	58	198	75	256	68	1.1	1.1	3.76	94	321	117	389	147	502	183	624	229	781	/	/	ST	UL
	OD35H11G	1/9		3.5	41	140	53	181	69	235	90	307	69	1.3	1.3	4.45	113	386	141	481	176	601	220	751	275	938	/	/	ST	UL
MS	ADW43T6	1/6		4.3	59	201	77	263	100	341	130	444	100	1.4	1.3	4.44	163	556	203	693	254	867	317	1082	397	1355	/	/	ST	UL
	ADW51T6	1/5		5.1	68	232	89	304	115	392	150	512	115	1.5	1.3	4.45	188	641	234	798	293	1000	366	1249	458	1553	/	/	ST	UL
	ADW57T6	1/4		5.7	73	249	95	324	123	420	160	546	123	1.6	1.3	4.44	200	682	250	853	313	1088	391	1334	488	1655	/	/	ST	UL
LM	ADW43T6	1/6		4.3	59	201	77	263	100	341	130	444	100	1.4	1.3	4.44	163	556	203	693	254	867	317	1082	397	1355	/	/	ST	UL
	ADW51T6	1/5	110-	5.1	68	232	89	304	115	392	150	512	115	1.5	1.3	4.45	188	641	234	798	293	1000	366	1249	458	1553	/	/	ST	UL
	ADW57T6	1/4	120V	5.7	73	249	95	324	123	420	160	546	123	1.6	1.3	4.44	200	682	250	853	313	1088	391	1334	488	1655	/	/	ST	UL
MK	ADW66T6	1/4+	50-60Hz	6.6	89	304	115	392	150	512	195	665	145	2.2	1.35	4.59	244	833	305	1041	381	1300	476	1624	595	2030	/	/	ST	UL
	ADW77T6	1/3-		7.7	100	341	130	444	169	577	220	751	165	2.4	1.35	4.55	275	938	344	1174	430	1467	537	1832	671	2289	/	/	ST	UL
	ADW86T6	1/3		8.6	109	372	142	485	185	631	240	819	178	2.6	1.35	4.60	300	1024	375	1280	469	1600	586	1999	732	2498	/	/	ST	UL
WQ	ADW91T6	3/8-		9.1	118	403	154	525	200	682	260	887	192	3.3	1.35	4.62	325	1109	406	1385	508	1733	635	2167	794	2709	80	/	F	ETL
	ADW110T6	3/8		11.0	141	481	183	624	239	815	310	1058	230	3.8	1.35	4.60	388	1324	484	1651	605	2064	757	2583	946	3228	93-169	/	F	ETL
	ADW110T6	3/8-		9.1	118	403	154	525	200	682	260	887	193	3.3	1.35	4.60	325	1109	406	1385	508	1733	635	2167	794	2709	93-169	/	F	ETL
WQ	ADW128T6	1/2-		11.0	141	481	183	624	239	815	310	1058	230	3.8	1.35	4.60	388	1324	484	1651	605	2064	757	2583	946	3228	重锤 Current	/	F	ETL
	ADW142T6	1/2		12.8	166	566	216	737	281	959	365	1245	270	4.3	1.35	4.61	456	1556	570	1945	713	2433	891	3040	1114	3801	重锤 Relay	/	F	ETL
	ADW153T6	1/2+		14.2	183	624	238	812	309	1054	402	1372	298	4.6	1.35	4.60	503	1716	628	2143	785	2678	981	3347	1227	4187	93-169	/	F	UL

ANEXO F: SELECCIÓN DEL TUBO CAPILAR

REFRIGERADORAS													
VOLUMEN DEL SISTEMA (litros) Temperatura Ambiente		COMPRESOR				CAPACITOR DE ARRANQUE		TUBO CAPILAR					
		Modelo	Capacidad Frigorífica Btu/h	Eficiencia Btu/Wh	Referencia Comercial HP	Capacitancia μ F		Diámetro Interno		Largo		Caudal de N ₂ a 10 atm /min	Temperatura de Evaporación
32°C	43°C					220V50Hz / 220-240V50Hz		pul	mm	pul	mm		
Hasta 90	Hasta 80	EM 20NP	165	2,70	1/12	-		0,025 0,028	0,63 0,71	99 132	2500 3350	3,5	-20°C a -10°C
Hasta 220	Hasta 180	EM 30NP	245	3,10	1/10	-		0,025 0,028	0,63 0,71	45 79	1150 2000	8,4	
		EMI 30ER	290	3,95		53 a 64 - 180 VAC		0,031	0,80	140	1150 3550		
160 a 300	130 a 240	EM 40NP	350	3,57	1/8	-		0,028 0,031	0,71 0,80	61 110	1550 2800	9,4	
		EMI 45ER	380	4,10		53 a 64 - 190 VAC		0,035	0,90	197	1550 5000		
220 a 400	180 a 300	EM 55NP	470	3,73	1/6	-		0,028 0,031	0,71 0,80	49 87	1250 2200	10,5	
		EMI 55ER	460	4,25		108 a 130 - 220 VAC		0,035	0,90	157	1250 4000		
250 a 450	215 a 350	EM 65NP	545	3,89	1/5	-		0,028 0,031	0,71 0,80	49 87	1250 2200	10,5	
		FF 6BK	555	4,05		88 a 108 - 180 VAC		0,035	0,90	157	1250 4000		
300 a 500	250 a 400	FF 7,5BK	627	3,97	1/5+	88 a 108 - 180 VAC		0,031 0,035	0,80 0,90	69 124	1750 3150	11,9	
		FFC 60BK	631	4,44		145 a 175 - 235 VAC		0,039	1,00	203	1750 5150		
400 a 600	300 a 500	FF 8,5BK	715	3,86	1/4	108 a 130 - 180 VAC		0,031 0,035	0,80 0,90	51 94	1300 2400	13,5	
		FFU 70AK	700	4,80		64 a 77 - 220 VAC		0,039	1,00	157	1300 4000		
500 a 800	400 a 600	FF 10BK	793	3,81	1/4+	108 a 130 - 180 VAC		0,035 0,039	0,90 1,00	65 106	1650 2700	16,5	
		FFU 80AK	750	4,74		108 a 130 - 220 VAC		0,042	1,07	153	1650 3900		

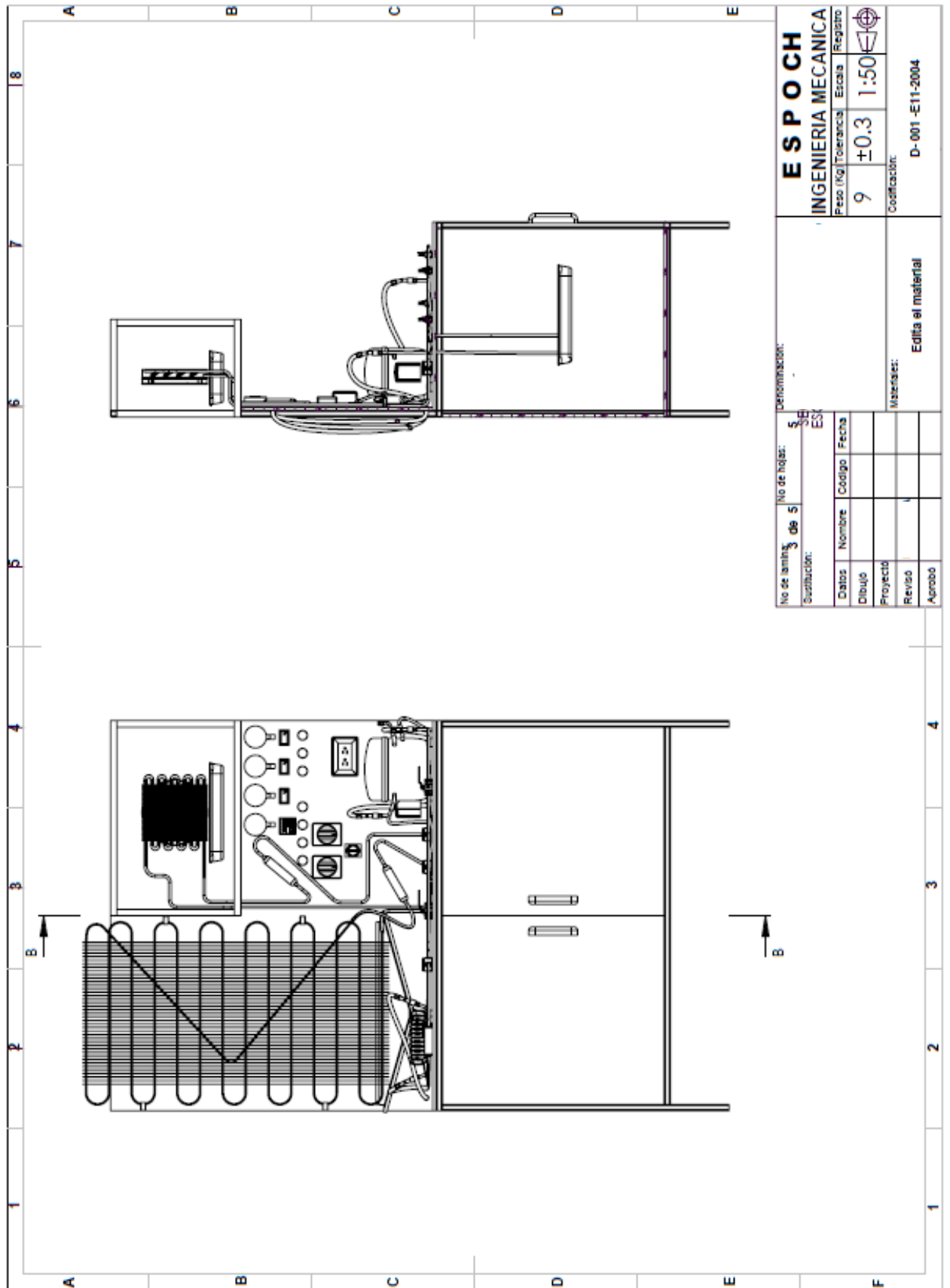
ANEXO G: VISTA FRONTAL Y LATERAL DERECHA DEL EQUIPO



No de laminas: 3		de 5		No de hojas: 5	Denominacion: f
Sustitucion:					
Datos	Nombre	Codigo	Fecha		
Dibujo					
Proyecto					
Reviso				Materiales: Edifica el material	
Aprobó				D-001-E11-2004	

ESPOCH			
INGENIERIA MECANICA			
Peso (Kg)	Tolerancia	Escala	Registro
9	±0.3	1:50	
Codificación:			

ANEXO H: VISTA FRONTAL Y LATERAL IZQUIERDA DEL EQUIPO

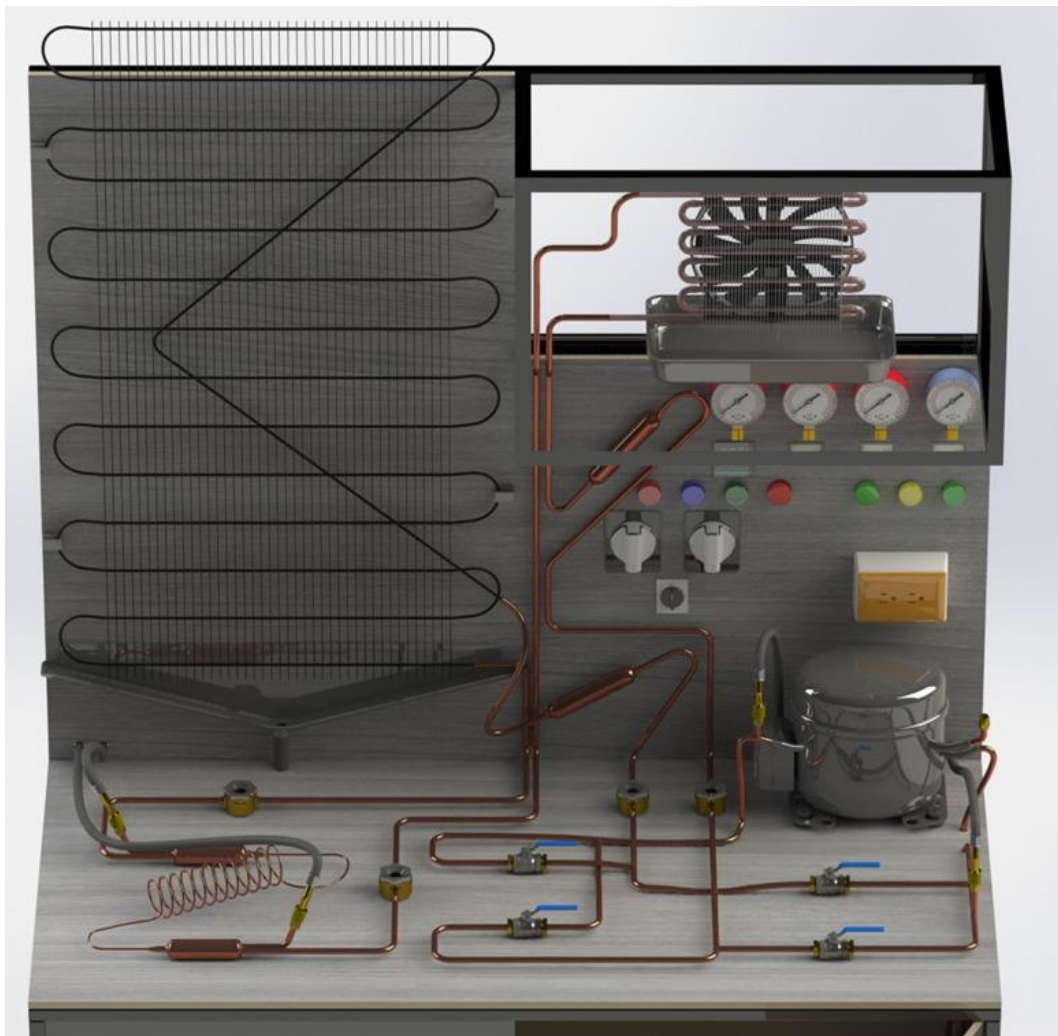


No de laminas: 3 de 5		No de hojas: 5 de 5		Denominación:	
Substitución:		ESK		INGENIERIA MECANICA	
Datos	Nombre	Código	Fecha	Peso (Kg)	Tolerancia
Dibujo				9	±0.3
Proyecto				Escala	1:50
Revisó				Registro	
Aprobó				Material:	
				Edita el material	
				Codificación: D-001-E11-2004	

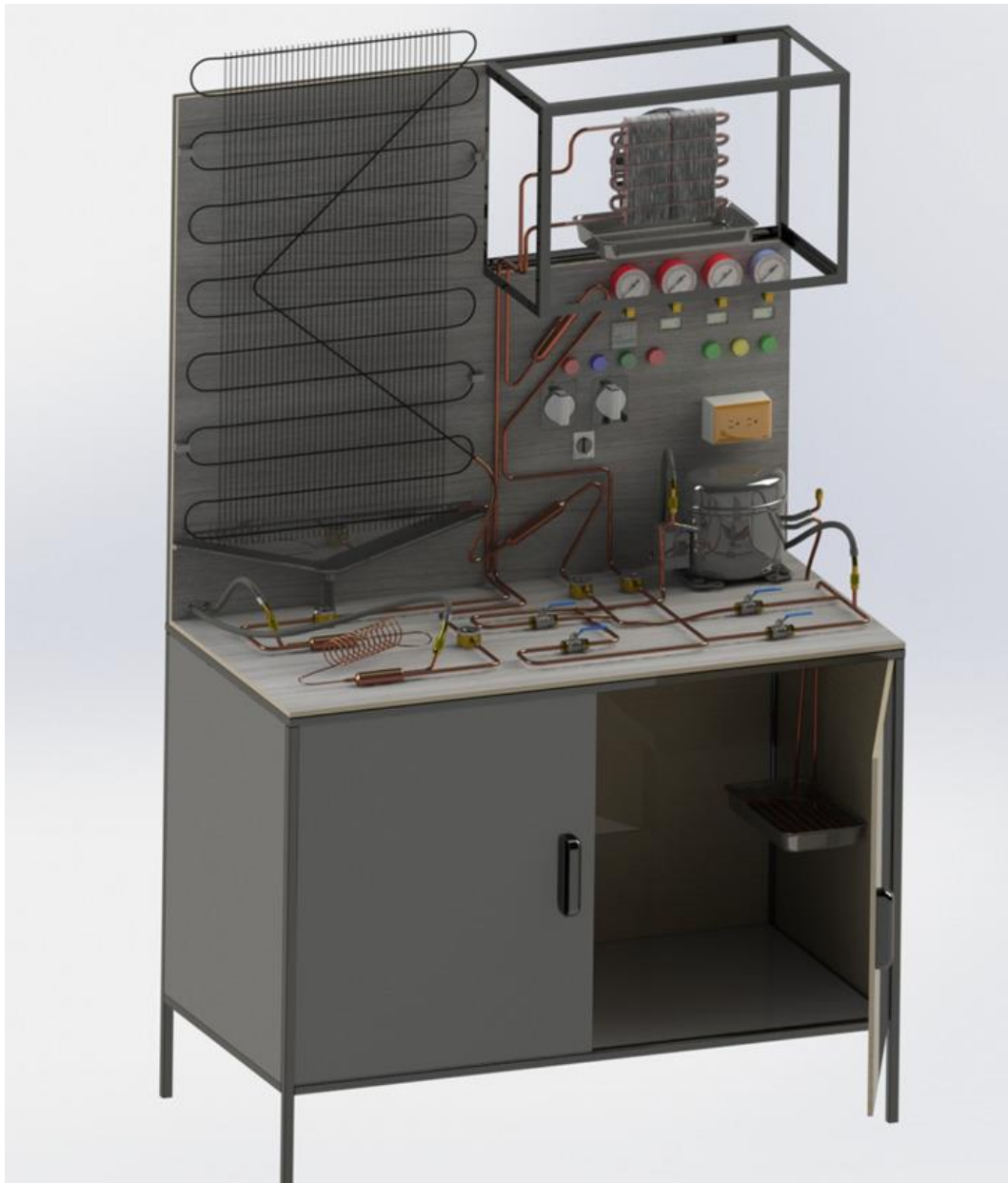
ANEXO I: VISTA ISOMETRICA DEL EQUIPO



ANEXO J: VISTA RENDERIZADA FRONTAL DEL EQUIPO

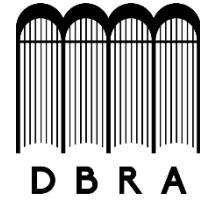


ANEXO K: VISTA RENDERIZADA ISOMETRICA DEL EQUIPO





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: DENNYS ALEJANDRO MONTERO HUILCA

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: MECÁNICA

Carrera: MECÁNICA

Título a optar: INGENIERO MECÁNICO

f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

1800-DBRA-UPT-2021