

Universidad Internacional del Ecuador
Facultad de Ingeniería Automotriz

Tesis de Grado para la Obtención del Título de Ingeniero en Mecánica
Automotriz

Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle para la Construcción de una Bomba de
Calor.

Juan Francisco Salazar Daza

Luis Sebastián Isch Pérez

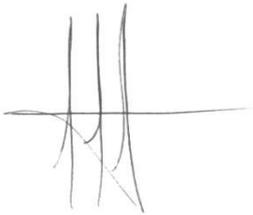
Director: Ing. Andrés Castillo

Quito, Octubre 2013

CERTIFICACIÓN

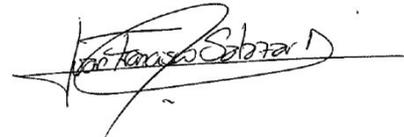
Nosotros, **LUIS SEBASTIAN ISCH PEREZ** y **JUAN FRANCISCO SALAZAR DAZA**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes



Luis Sebastian Isch Perez

CI: 1713537015



Juan Francisco Salazar Daza

CI: 1003100722

CERTIFICACIÓN

Yo, Andrés Castillo, declaro que, en lo que yo personalmente conozco, los estudiantes **LUIS SEBASTIAN ISCH PEREZ** y **JUAN FRANCISCO SALAZAR DAZA**, son los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal suya.



Ingeniero Andrés Castillo

Director

AGRADECIMIENTO

A Dios que me permitió estar vivo y me ha dado una segunda oportunidad para estar junto a mi familia y realizarme en mi vida.

A mis Padres que son mi apoyo incondicional sin ellos no podría haber llegado hasta el lugar en donde estoy.

A mi novia y ahora mi esposa que en el transcurso de mi etapa académica me supo apoyar en los momentos más difíciles.

A mis hermanas que con su cariño y comprensión me supieron guiar por el buen camino de la vida.

Al Ingeniero Roberto Gutiérrez por la paciencia y dedicación que me dio al impartir sus conocimientos.

A mis amigos y personas que me han dado su apoyo incondicional.

Juan Francisco Salazar

DEDICATORIA

A las personas que han confiado en mí, los que supieron que nunca los defraudaría.

A mi Abuelita que ya no está con nosotros pero me supo guiar y bendecir para que todo se realice de la mejor manera.

A mis Padres que con su esfuerzo y dedicación lograron que concluya una meta más en mi vida.

A mis Tíos y Abuelitos que me apoyaron al estar junto a mí.

Gracias a todos.

Juan Francisco Salazar

AGRADECIMIENTO

A mis padres, quienes siempre me han brindado todo el apoyo necesario tanto económico como anímico para salir adelante en toda mi vida estudiantil. Sin su constante aliento y motivación, culminar cada uno de los ciclos de estudios hubiera sido imposible.

A todos mis profesores universitarios que aportaron generosamente con sus conocimientos para formarme e instruirme en la carrera, y en especial al Ingeniero Roberto Gutierrez, director de este proyecto de tesis.

A todos mis amigos y familiares que tantas veces me alentaron a seguir adelante en este último tramo de la carrera.

A mi compañero de tesis, actor fundamental de este logro.

DEDICATORIA

A todos mis amigos y familiares, que de una u otra manera me apoyaron y estuvieron pendientes de la realización de este proyecto.

Sebastián Isch Pérez

Índice de Contenido

CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	v
Índice de Contenido	viii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xv

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA	2
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
1.4. JUSTIFICACION.....	3
1.5. ALCANCE.....	4

CAPÍTULO 2

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO	5
2.1.1. Bombas de calor.....	5
2.1.2. Tipos de bombas de calor	7
2.1.3. Principios de funcionamiento	15
2.1.4. Sistemas termodinámicos.....	17
2.1.5. Temperatura	19

2.1.6.	Presión	21
2.1.7.	Procesos y ciclos	22
2.1.8.	Energía total	23
2.1.9.	Sustancia pura.....	24
2.1.10.	Entalpía	27
2.1.11.	Transferencia de calor	27
2.1.12.	Primera ley de la termodinámica	28
2.1.13.	Segunda ley de la termodinámica.....	29
2.1.14.	Procesos reversible e irreversible.....	31
2.1.15.	Irreversibilidades.....	32
2.1.16.	Ciclos termodinámicos.....	33
2.1.17.	Principios de Carnot	36
2.1.18.	Entropía	39
2.1.19.	Tercera ley de la termodinámica.....	44
2.1.20	Selección	47
2.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	48
2.2.1.	Concepto de bomba de calor.....	48
2.2.2.	Sistema bomba de calor	49
2.2.3.	Elementos bomba de calor	51

CAPÍTULO 3

3. INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE

3.1.	Diseño del evaporador.....	66
3.2.	Diseño del condensador.....	72
3.3.	Ingeniería de detalle.....	79
3.3.1.	Dimensionamiento del evaporador	79
3.3.2.	Dimensionamiento del condensador.....	80
3.3.3.	Tabla de selección de materiales.....	81

3.4. Ingeniería de detalle.....	82
3.4.1. Resultados (hoja de ruta detallar).....	82
3.4.2. Planos Construidos.....	84

CAPÍTULO 4

4. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS

4.1. Construcción de diagramas	85
4.2. Procesos de montaje	86
4.3. Pruebas funcionales	89
4.4. Procedimiento	90
4.5. Tabulación de datos.....	92
4.6. EFECTO REFRIGERANTE	100
4.7. SOBRECALENTAMIENTO	100
4.8. SUBENFRIAMIENTO	100

CAPÍTULO 5

5. GUÍAS DE PRÁCTICA Y MANTENIMIENTO

5.1. Guía de práctica	105
5.2. Manual de especificaciones	111
5.3. Manual de mantenimiento	113

CONCLUSIONES.....	116
RECOMENDACIONES	118
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS	122
ANÁLISIS DE COSTOS.....	122

Índice de Figuras

Figura 2. 3 Bomba de calor por compresión	9
Figura 2. 4 Bomba de calor de absorción.....	10
Figura 2. 5 Bomba de calor aire-aire	12
Figura 2. 6 Bomba de calor aire agua	13
Figura 2. 7 Bomba de calor agua-aire y agua-agua	14
Figura 2. 8 Bomba de calor tierra-aire y tierra- agua.....	15
Figura 2. 9 Diagrama T – V	26
Figura 2. 10 Diagrama P – T	27
Figura 2. 11 Ciclo de Carnot.....	35
Figura 2. 12 Principios de Carnot.....	38
Figura 2. 13 Diagrama P – S.....	43
Figura 2. 14 Compresor	51
Figura 2. 15 Ventilador	52
Figura 2. 16 Refrigerante R134a	56
Figura 2. 17 Manómetro	58
Figura 2. 18 Presostato	60
Figura 2. 19 Rotámetros.....	61
Figura 2. 20 Capilar 1	62
Figura 2. 21 Vatímetro.....	63
Figura 2. 22 Filtro de secador.....	65
Figura 4. 1 COP vs Efecto Refrigerante (1).....	101
Figura 4. 2 COP vs. Efecto refrigerante (2).....	102
Figura 4. 3 COP vs Subenfriamiento (1)	102
Figura 4. 4 COP vs. Subenfriamiento (2)	103

Figura 4. 5 COP vs Sobrecalentamiento	103
Figura 4. 6 COP vs Sobrecalentamiento	104

Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Tabla indicadora medio de origen y destino	11
Tabla 3. 1 Tabla de datos del ensayo en el Evaporador con agua.....	82
Tabla 3. 2 Tabla de datos del ensayo en el Evaporador con refrigerante	82
Tabla 3. 3 Tabla de datos del ensayo en el Condensador con agua.....	83
Tabla 3. 4 Tabla de datos del ensayo en el Condensador con refrigerante	83
Tabla 3. 5 Tabla de resultado del ensayo del cambio de temperatura	84
Tabla 4. 1 Tabla de cálculos de caudal de refrigerante en el evaporador	93
Tabla 4. 2 Tabla de cálculos de caudal de refrigerante en el condensador	94
Tabla 4. 3 Tabla de cálculos en función de la variación de la temperatura en el agua	94
Tabla 4. 4 Tabla de cálculo de la entalpia del refrigerante	97
Tabla 4. 5 Tabla de cálculo en función de la entalpia del refrigerante.....	98
Tabla 4. 6 Tabla de cálculo de la variación de temperatura del refrigerante	101
Tabla 5. 1 Tabla de tabulación de datos para la práctica	108
Tabla 5. 2 Tabla para la tabulación de resultados de la práctica.....	109
Tabla 5. 3 Tabla de tabulación de datos de la práctica en función de la diferencia de temperatura	110

RESUMEN

El diseñar y construir una Bomba de Calor Mecánica didáctica, fue una idea para dotar a la Facultad de Mecánica Automotriz, de un equipo que permita simular procesos relacionados a la termodinámica y a la vez comprender los fundamentos teóricos y científicos de la energía y las transformaciones físicas de la misma, teniendo en cuenta que, en lo relacionado a los sistemas de energía, abarcan una de las más importantes áreas de la Ingeniería Mecánica y en especial la Automotriz. Si consideramos que La Bomba de Calor es una máquina que permite transferir calor de una fuente de menor temperatura a otra más caliente, sin producirla, sino solo transportándola, podemos asegurar, que su aplicación tanto en lo doméstico, la industria y en la automotriz, es muy requerida y sobretodo porque no contamina el medio.

Considerando que el principal problema que enfrentamos es la contaminación además de los costos en la generación de energía, la bomba de calor como

sistema de calefacción y refrigeración, es una opción muy importante por su alta eficiencia y consumo reducido de energía.

Además por ser un proyecto de investigación, se redujo considerablemente su inversión, comparándolo con el costo de importar un equipo. Esto beneficiará a los alumnos de la Facultad, el estudiar la termodinámica de una manera práctica, fácil de usar por su tamaño muy manejable.

ABSTRACT

To design and build a didactic mechanic heat pump became an idea to provide the Automotive Mechanic School with equipment that stimulates thermodynamic related processes as well as, to help understand the theoretical and scientific basis of energy and its physical transformations. In terms of energy systems, those theoretical and scientific basis cover one of most relevant areas in mechanical engineering and most importantly in car mechanics. If we consider the heat pump as a machine that allows us to transfer heat from a source of lower temperature to another of higher temperature, without producing it and only transporting it, it can be ensured that its implementation in the domestic, industrial, and the automotive realm is highly demanded and also because it does not pollutes the environment.

Currently, the world is facing some major problems, which are the environment pollution, as well as the high cost of energy generation. The heat pump as a heating and cooling system becomes an important alternative because it is highly efficient and its low energy consumption.

Additionally, since this is a research project, its investment was reduced compared with the real cost of importing an assembled heat pump. This project will help facilitate the practical study of thermodynamic for all the School students due to its manageable size and its relative ease of use.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Los sistemas de energía abarcan una de las más importantes áreas dentro de la Ingeniería Mecánica y particularmente de la Ingeniería Mecánica Automotriz. Durante el tiempo de formación y estudio de sistemas que se relacionan con la termodinámica, donde rigen los sistemas físicos y de energía, se ve reflejado la no existencia y deficiencia de poseer en el laboratorio un equipo en el cual se pueda simular dichos procesos, es por eso que nace la necesidad que exista por lo menos una máquina que nos ayude a comprender los fundamentos teóricos y científicos, que por ser una carrera netamente técnica se vuelve imperiosa la necesidad de atacar a esta grave deficiencia a la cual el presente proyecto dará una solución parcial.

Los sistemas de refrigeración son tan importantes a nivel general para la conservación de alimentos en el área industrial y en sí al uso del aire acondicionado en el área automotriz en general. El conocimiento de estos sistemas hará que el campo del futuro ingeniero automotriz no solamente se amplíe, sino se refuerce y garantice el conocimiento de una manera más práctica y concisa.

Por lo tanto se va a investigar sobre el sistema, vamos a analizar las alternativas, vamos a enfocarnos a realizar una ingeniería conceptual, para finalmente realizar la construcción, montaje y las pruebas para analizar la fiabilidad del sistema.

1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA

La Termodinámica es una de las materias fundamentales de la ingeniería mecánica automotriz debido a que esta estudia los diferentes cambios de temperatura de los gases, por eso el proyecto que se va a realizar está enfocado para la aplicación de la materia en lo práctico.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una bomba de calor mecánica didáctica, para el laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador de Quito.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a. Elaborar un marco teórico sobre el estado de arte de los sistemas energéticos para refrigeración y aprovechamiento del calor.

- b. Investigar los principios de funcionamiento de las bombas de calor y todos sus procesos de cambios de temperatura.
- c. Realizar la Ingeniería conceptual, básica y de detalle de la bomba de calor mecánica.
- d. Construir la bomba de calor mecánica, realizar el montaje y pruebas de funcionalidad.
- e. Analizar las ventajas y desventajas de disponer de una bomba de calor mecánica en el laboratorio de la Facultad.

1.4. JUSTIFICACION

En la Facultad de Ingeniería Automotriz no poseemos un equipo para reforzar el conocimiento teórico impartido en las cátedras del área de energía (termodinámica), motores climatización, sistemas hidráulicos y neumáticos. Siendo esta una realidad de nuestra Facultad, el proyecto aportara a profundizar el conocimiento y de esta manera elevar la calidad de los futuros ingenieros Mecánicos Automotrices.

Otra ventaja de este proyecto de investigación es la baja inversión en la fabricación, versus la compra de un equipo importado.

Adicionalmente el diseño que se usa en este proyecto sirve para cubrir las deficiencias reales del laboratorio de termodinámica

Por lo cual éste proyecto va enfocado a suplir en parte ésta deficiencia, lo cual solucionará un problema que la Facultad posee desde tiempo atrás.

Por lo tanto es importante la ejecución de este proyecto por los puntos de mencionados anteriormente.

1.5. ALCANCE

Este proyecto va dirigido para los estudiantes de la Facultad de Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional, con el cual se beneficiara al estudio de termodinámica y su aplicación no solo teórica sino conjugando la teoría con la práctica.

CAPÍTULO 2

MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Bombas de calor

Es un dispositivo que se utiliza en instalaciones que requieren ser calentadas. Estas permiten extraer calor de una fuente fría para entregarlo en una fuente cálida.

“El funcionamiento de una bomba de calor es, por consiguiente, el de una máquina térmica invertida” Según Levy, 2008:106

La bomba de calor es un elemento fundamental para el aprendizaje en el área de termodinámica, ya que practicando con esta, se puede llegar a conocer los diferentes procesos de absorción de temperatura de un foco frío a uno caliente o viceversa.

Este sistema es capaz de transmitir el calor del entorno hacia las dependencias que se pretenden calentar. El calor generado puede ser utilizado para calefacción y agua caliente sanitaria

El principio de funcionamiento viene a ser el mismo que usa un aparato frigorífico, el cual realiza la transferencia del calor de un medio al otro, logrando bajar la temperatura del primero y aumentando la del segundo.

Al invertir el funcionamiento de un refrigerador, que está enfriando el aire exterior y calentando el interior, se obtiene una bomba de calor, siendo una gran ventaja de una bomba, el poder ser reversibles aumentando o disminuyendo la temperatura del medio.

Al desarrollar los equipos de refrigeración fueron progresivamente tan rápido que se usa en aplicaciones para la conservación de alimentos y el aire acondicionado.

A mediados del siglo pasado la energía eran muy económica el cual no favorecía un desarrollo comercial importante a la bomba de calor ya que perdía una de sus principales ventajas competitivas: la eficiencia energética.

Sin embargo la crisis petrolera y la constante búsqueda de soluciones energéticas de alta eficiencia para reducir los costos de operación y las emanaciones contaminantes beneficiaron el desarrollo de la bomba de calor.

Durante estos años no solo se produjo un desarrollo comercial de la bomba de calor, si no que se mantuvo una evolución tecnológica de las máquinas introduciendo algunas mejoras para evitar algunos problemas comunes de las máquinas de la época tales como:

- Fallos del compresor por golpes de líquido, falta de engrase o sobrecarga del motor de accionamiento.
- Formación de hielo en el evaporador
- Potencia calorífica baja.

Al utilizar bombas de calor se puede tener un ahorro energético, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), ya que se aprovechan del medio ambiente, ya sea tierra, aire o agua, hasta el 75% de la energía utilizada, y apenas el 25% de la energía necesaria para que funcione el compresor del sistema.

De acuerdo al tipo y modelo de bomba de calor con la que se trabaje la inversión inicial serán mayor o menor, pero también en el mismo sentido se obtendrán distintos niveles de eficiencia aumentando en gran cantidad la rentabilidad de la inversión, logrando un ahorro energético superior a cualquier otro tipo de equipo similar por cada unidad de energía producida.

2.1.2. Tipos de bombas de calor

Se puede clasificar de algunas formas siendo las principales las referidas al proceso en el cual funciona la bomba y los medios de los cuales va a extraer y entregar calor. De acuerdo al tipo de bomba, esta puede estar contenida en una o varias clasificaciones dependiendo de sus características de funcionamiento.

Por la clasificación se puede tomar en cuenta el proceso que utiliza la máquina para realizar la transferencia:

Bombas de calor por compresión, son las que se utiliza un compresor que impulsa mediante electricidad, gas, diesel, se encarga de comprimir un gas refrigerante para que al momento de evaporarse y condensarse absorba y ceda calor de un medio frío a un medio caliente.

“En las bombas de calor en ciclo de compresión cerrado, la elevación de presión y temperatura; entre el evaporador y condensador, se logra mediante compresión mecánica del vapor, es decir de igual manera que en un sistema de refrigeración común; que es accionado por un compresor. Dicha compresión, se puede realizar mediante un compresor; el cual puede ser accionado ya sea por un motor eléctrico o un motor a gas”. Según Cardoza y Francia, 20120:9

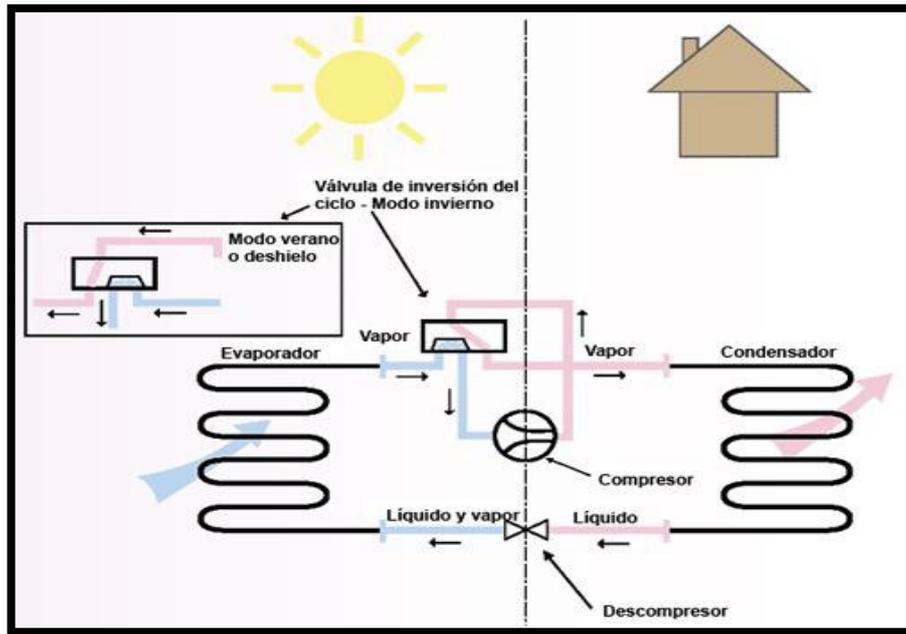


Figura 2. 1 Bomba de calor por compresión

Fuente: <http://www.caloryfrio.com/200712262563/aire->

[acondicionado/bomba-de-calor-reversible/bomba-de-calor.html](http://www.caloryfrio.com/200712262563/aire-)

Bombas de Calor de absorción, son las que mediante el refrigerante es absorbido por otra sustancia llamada absorbente formando una solución que puede ser comprimida usando menor potencia ya que el volumen específico medio de la solución es menor que el del vapor del refrigerante.

Las bombas de calor que funcionan bajo el ciclo de absorción; son accionadas térmicamente. Es decir la energía aportada al ciclo, es térmica y no mecánica, como en los sistemas de compresión en ciclo cerrado.

Un sistema de absorción, se basa en la capacidad que tienen ciertas sales y líquidos; para absorber fluido refrigerante. (Cardoza y Francia, 2010:9).

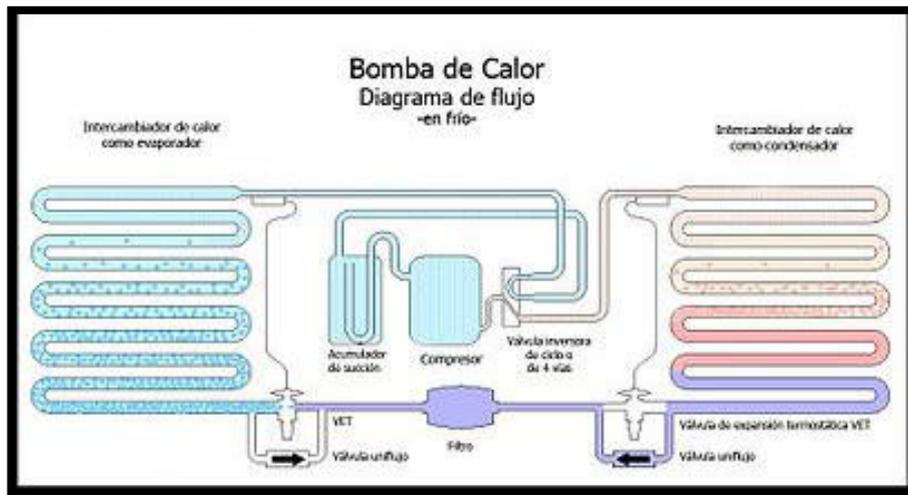


Figura 2. 2 Bomba de calor de absorción

Fuente:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/13/Diagrama_Bomba_de_Calor.jpg/400px-Diagrama_Bomba_de_Calor.jpg

Se debe tomar en cuenta el medio de donde se va a extraer el calor y a que medio lo va a entregar. Estas bombas llevan su nombre, en dos palabras de acuerdo a los medios en los que van a trabajar, siendo la primera correspondiente al foco frío y la segunda al caliente.

De acuerdo a esto tenemos:

Tabla 2. 1 Tabla indicadora medio de origen y destino

	Medio del que extrae la energía	Medio al que se cede energía
Según medio de origen y de destino de la energía	AIRE	AIRE
	AIRE	AGUA
	AGUA	AIRE
	AGUA	AGUA
	TIERRA	AIRE
	TIERRA	AGUA

Elaborado por: Juan Salazar, Sebastián Isch.

Fuente: http://e-educativa.catedu.es/html/4_bomba_de_calor.html

Bomba de calor aire – aire: “Extraen calor de una masa de aire frío y entregan calor a otra corriente de aire más caliente” (Jutglar y Galán, Óp. Cit.:394). Este tipo de bomba es la más común utilizada para la refrigeración, como su nombre lo indica gracias a dos intercambiadores aire - refrigerante toman calor del aire del foco frío para entregarlo al aire del foco caliente.

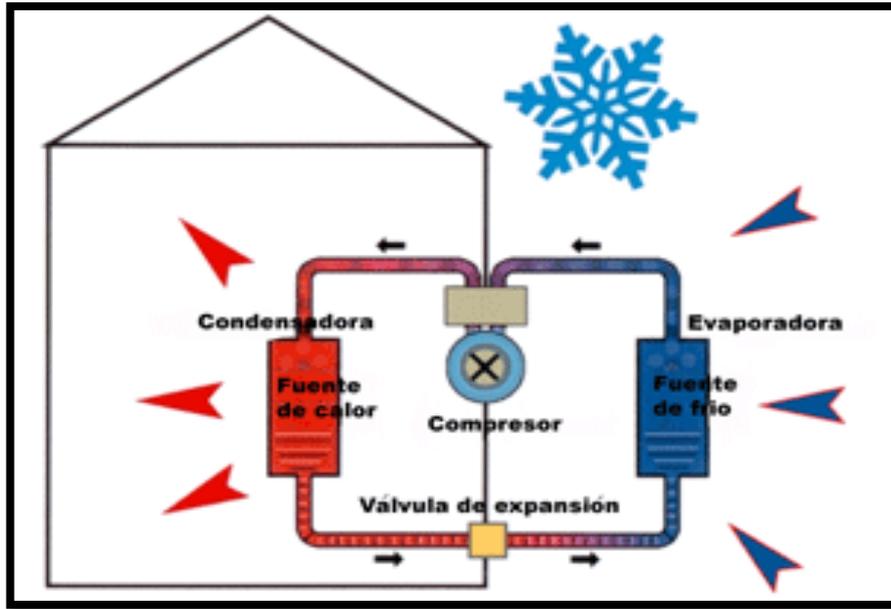


Figura 2. 3 Bomba de calor aire-aire

Fuente:http://ahorrcadadiaconloselectrodomest.blogspot.com/2012_01_01_archive.html

Bomba de calor aire – agua: “Extraen calor de una masa de aire frío y entregan calor a otra corriente de agua más caliente” (Ibíd.: 394).El trabajo de este tipo de bombas es de extraer el calor del aire y transferir al agua, para que esta eleve su temperatura y mediante una red se la distribuya logrando así elevar la temperatura del foco caliente.

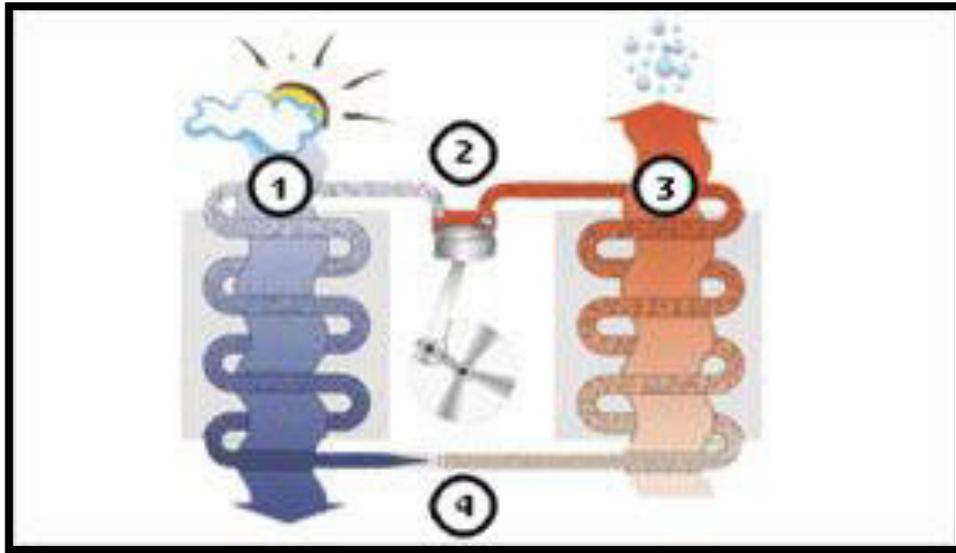


Figura 2. 4 Bomba de calor aire agua

Fuente: http://chinasolar.cl/?page_id=21

Bomba de calor agua-aire y agua - agua: Estos tipos de bombas para extraer el calor utilizan el agua como los ríos, mares, aguas de pozo, aguas residuales o simplemente de la red de agua potable.

“Agua-Aire. Extraen calor de una masa de agua fría y entregan calor a una corriente de aire más caliente” (Según Ibíd.:394).

Agua-Agua. Extraen calor de una masa de agua fría y entregan calor a una corriente de agua más caliente”.

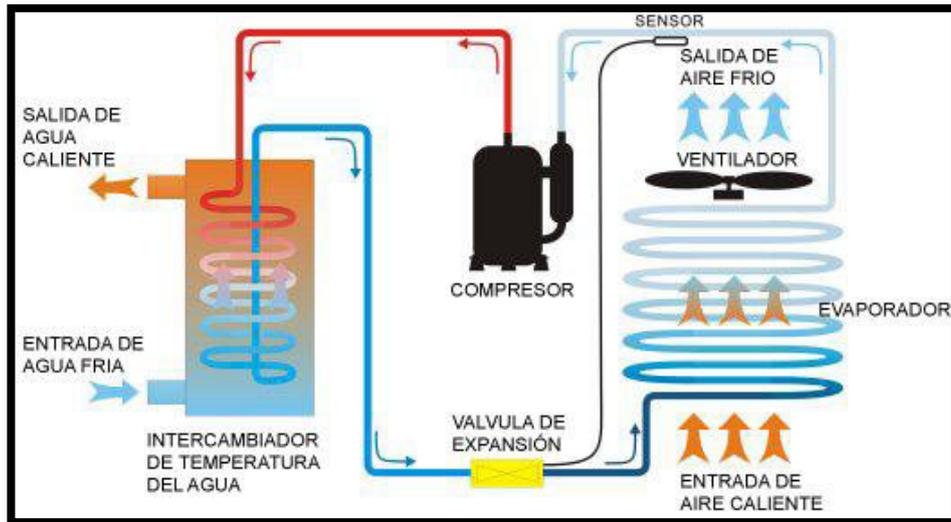


Figura 2. 5 Bomba de calor agua-aire y agua-agua

Fuente: <http://www.lanzarotesolar.es/es/equideas-calefaccion-refrigeracion-solar.html>

Bombas de calor tierra aire y tierra agua: Este tipo de bombas son las que aprovechan el calor contenido en el suelo para extraerlo y transportarlo hasta otro medio, el cuál puede ser aire o agua, son las más eficientes por al contenido de calor encontrado en el suelo, pero de la misma forma son las más costosas de instalar, por lo que son las menos comunes.

“Son bombas de calor geotérmicas, es decir aprovechan el calor contenido en la tierra o en aguas subterráneas. Este proceso se realiza por medio de intercambiadores de calor de diseño horizontal o vertical, los cuales se encuentran enterrados fuera del lugar que es acondicionado” (Según Cardoza y Francia, Óp. Cit11-12).

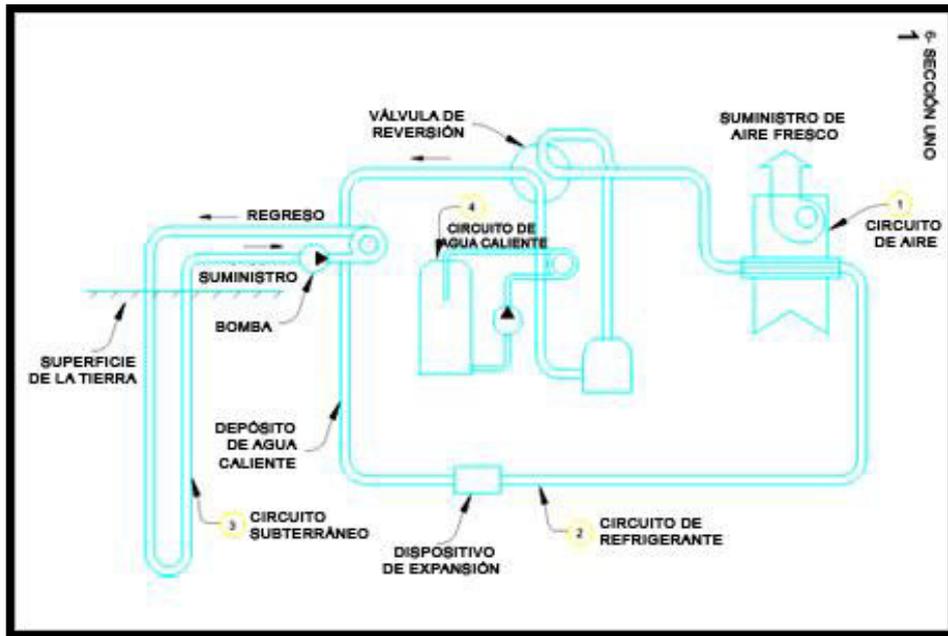


Figura 2. 6 Bomba de calor tierra-aire y tierra- agua

Fuente: <http://www.geoprodesign.com/es/Page/knowledge-center-technical-information>

El tipo de bombas de calor reversibles las que realizan el sentido inverso del flujo del refrigerante y realizar el cambio de ciclo de calefacción al de refrigeración.

2.1.3. Principios de funcionamiento

“La termodinámica se rige por un conjunto de leyes deducidas a partir de los resultados experimentales obtenidos al estudiar muchos y muy diferentes procesos que transcurren con transferencia de energía; es decir, las leyes de la Termodinámica clásica se basan en las propiedades generales de la materia” (Según Valenzuela, 1995:359).

La palabra termodinámica proviene de los vocablos griegos therme (calor) y dynamis (fuerza), los primeros esfuerzos por convertir el calor en potencia motriz.

La ley fundamental en la naturaleza es el principio de la conservación de la energía, establece que durante la interacción, la energía puede cambiar de una forma a otra, pero la cantidad total de energía permanece constante, por lo tanto la energía no puede crearse ni destruirse.

El cambio del contenido de energía de un cuerpo o de cualquier otro sistema es igual a la diferencia entre la energía que entra y la energía que sale, siendo $E_{\text{entra}} - E_{\text{sale}} = E$

La primera ley de la termodinámica afirma que la energía es una propiedad termodinámica. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, la energía tiene tanto calidad como cantidad, y los procesos reales tienden a la disminución de la calidad de la energía.

La termodinámica como ciencia y objeto de estudio aparece con la construcción de las primeras máquinas de vapor en Inglaterra a finales del siglo XVII y principios del XVIII.

Más de un siglo después en la década de 1850 son postuladas la primera y la segunda ley de la termodinámica por los trabajos de William Rankine, Rudolph Clausius y Lord Kelvin, siendo este último el primero en utilizar el término termodinámica.

2.1.4. Sistemas termodinámicos

“Sistema termodinámico: Toda región en el espacio que ocupa un volumen y tiene una frontera (real o imaginaria)” (Según Rolle, 2006:34). Dependiendo de si se escoge como objeto de estudio una masa fija o un volumen fijo este será un sistema cerrado o abierto.

La energía del sistema sí puede cruzar la frontera y el volumen del mismo puede variar. En caso de que a la energía no se le permita cruzar esta frontera, éste pasa a ser un sistema aislado.

Un sistema abierto es una región seleccionada en el espacio, generalmente puede ser un dispositivo como un compresor, una turbina o una tobera. Aquí tanto la masa como la energía pueden cruzar la frontera. El flujo másico que entra y sale de este sistema debe ser analizado como volumen de control (sistema abierto) y no como masa de control (sistema cerrado).

Las fronteras del volumen de control se llaman superficie de control y pueden ser reales o imaginarias, por ejemplo en una tobera el área interna de esta forma el límite real y las partes de entrada y salida son el límite imaginario.

Un sistema abierto también implica interacciones de calor y de trabajo al igual que en uno cerrado.

Las propiedades de un sistema pueden ser varias y entre ellas encontramos a la presión P , la temperatura T , el volumen V , la masa m , la viscosidad, la conductividad térmica entre otras.

Las propiedades pueden ser intensivas o extensivas, las primeras son independientes del tamaño del sistema como la temperatura, la presión.

Las propiedades extensivas dependen del tamaño o extensión del sistema entre las que encontramos a la masa, el volumen o la energía total.

Las propiedades extensivas por unidad de masa se llaman propiedades específicas como por ejemplo el volumen específico $v=V/m$

En un sistema que no se somete a ningún cambio es posible medir o calcular todas las propiedades, lo que resulta en un conjunto de propiedades que describen por completo la condición o el estado del sistema. En caso de que una de las propiedades cambie el estado del sistema cambiará a uno distinto.

La termodinámica estudia estados en equilibrio y este no está en equilibrio a menos que las condiciones de todos los tipos de equilibrio se satisfagan. Por ejemplo equilibrio térmico si la temperatura es la misma en todo el sistema, equilibrio mecánico si no hay cambios en la presión en ninguna parte del sistema, cuando hay dos fases en el sistema se tiene un equilibrio de fase de acuerdo a cuando la masa de cada una llega a un equilibrio y se mantiene y finalmente un equilibrio químico cuando la composición química no cambia en el tiempo.

2.1.5. Temperatura

“Lord Kelvin introdujo el concepto de temperatura termodinámica que incorpora a la temperatura el aspecto de variable energética que adquirió en manos de Sadi Carnot” (Zamora, 1998:176).

Se conoce como una medida de lo “caliente” o de lo “frio”, basado en sensaciones fisiológicas, es así que para realizar mediciones de temperatura se utilizan las variaciones que tienen ciertos materiales al cambio de esta.

Lo que se percibe es la diferencia entre la temperatura del mismo y la de la mano que la toca. Ahora bien, aunque la sensación experimentada sea tanto más intensa cuanto más elevada sea la temperatura, se trata sólo una apreciación muy poco exacta que no puede considerarse como medida de temperatura. Para efectuar esta última se utilizan otras propiedades del calor, como la dilatación, cuyos efectos son susceptibles. Con muy pocas excepciones todos los cuerpos aumentan de volumen al calentarse y disminuyen cuando se enfrían.

La dilatación es, por consiguiente, una primera propiedad térmica de los cuerpos, que permite llegar a la noción de la temperatura.

La segunda magnitud fundamental es la cantidad de calor que se supone reciben o ceden los cuerpos al calentarse o al enfriarse, respectivamente.

La cantidad de calor que hay que proporcionar a un cuerpo para que su temperatura aumente en un número de unidades determinado es tanto

mayor cuanto más elevada es la masa de dicho cuerpo y es proporcional a lo que se denomina calor específico de la sustancia de que está constituido.

Cuando se calienta un cuerpo en uno de sus puntos, el calor se propaga a los que son próximos y la diferencia de temperatura entre el punto calentado directamente y otro situado a cierta distancia es tanto menor cuando mejor conductor del calor es dicho cuerpo. Si la conductibilidad térmica de un cuerpo es pequeña, la transmisión del calor se manifiesta por un descenso rápido de la temperatura entre el punto calentado y otro próximo. Así sucede con el vidrio, la porcelana, el caucho, etc.

Cuando un cuerpo entra en contacto con otro que tiene diferente temperatura, el calor del cuerpo a mayor temperatura se transfiere al de inferior hasta que estas se igualan, es decir llegaron a un equilibrio térmico. La ley cero de la termodinámica justamente habla de que si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercer cuerpo, están en equilibrio térmico entre sí, y si a este tercer cuerpo se lo reemplaza por un termómetro se dice que: dos cuerpos están en equilibrio térmico si indican la misma temperatura incluso si no están en contacto.

Existen varias escalas de temperatura, y todas están basadas en estados fáciles de reproducir, como el punto de congelamiento o el punto de ebullición del agua. En la actualidad el SI y el inglés utilizan las escalas de Celsius y Fahrenheit respectivamente. En estas se les asigna a los puntos de congelamiento y de ebullición los valores de 0 y 100 °C para la primera y 32 y 212°F para la última.

Para la termodinámica es importante tener una escala que sea independiente de las propiedades de cualquier sustancia, a una de este tipo se la denomina escala de temperatura termodinámica. Dos ejemplos de éstas en el SI y el inglés, son las escalas de Kelvin y Rankine respectivamente.

2.1.6. Presión

“Llamamos presión a la cantidad de fuerza ejercida sobre una unidad de área, aumenta con respecto al número de veces que aumenta la unidad de superficie, siendo ésta la fuerza que pone en movimiento el mecanismo. Luego la formula patrón será: **Presión=Fuerza/Superficie** (Según Gutiérrez, 2010:113).

Es la fuerza que ejerce un fluido por unidad de área. La presión solo aplica cuando se trata de un gas o un líquido.

La presión real en una posición dada se denomina presión absoluta y se mide respecto al vacío absoluto (es decir la presión del cero absoluto). Sin embargo, la mayor parte de los medidores de presión se calibran para leer es así que indican la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica local (presión manométrica). Las presiones que se encuentra debajo de cero se las llama presiones de vacío y son igual a la presión atmosférica menos las absoluta.

2.1.7. Procesos y ciclos

Se denomina proceso a cualquier cambio que experimente un sistema pasando de un equilibrio a otro. Este proceso tiene un estado inicial, un final y una trayectoria que describe la serie de estados que se han dado durante el proceso, así como las interacciones que ha tenido con los alrededores.

“Cuando un proceso puede representarse en el espacio termodinámico mediante una trayectoria que une los puntos correspondientes a los estado inicial y final, reciben el nombre de *proceso cuasiestático* o de equilibrio” (Según Ibáñez, et. Al. 1989:262).

A un proceso se lo puede llamar como “cuasi equilibrio” cuando este es lo suficientemente lento para permitir al sistema realizar el ajuste necesario para que todas las partes del sistema cambien de la misma manera y rapidez que las otras.

Los procesos de cuasi equilibrio son idealizados y son procesos reales. Sin embargo varios procesos reales tienen a ser procesos en cuasi equilibrio con un error insignificante

En los procesos que no son de cuasi equilibrio, no es posible especificar al sistema por medio de un estado único por lo tanto tampoco tienen una trayectoria de proceso.

En los procesos de acuerdo a si alguna propiedad de estos se mantiene constante se aumenta el prefijo “iso” siendo para temperatura

contante, isotérmico, para presión constante, isobárico y para volumen constante, isométrico.

Cuando el proceso al finalizar llega al mismo estado inicial se habla que el sistema fue sometido a un ciclo.

También tenemos procesos de flujo estable donde el fluido fluye permanente a través de un sistema abierto, donde las propiedades del fluido pueden cambiar de un punto a otro dentro del sistema, pero en cualquier punto fijo permanecen iguales durante el proceso. Es decir la masa, volumen y la energía total permanecen constantes durante este proceso.

2.1.8. Energía total

“la variación de la energía total de un sistema se considera debido a tres contribuciones macroscópicas. Una es la variación cinética asociada con el movimiento del sistema como un todo relativo a un sistema externo de coordenadas. Otra es la variación de la energía potencial gravitatoria asociada con la posición del sistema como un todo en el campo gravitatorio terrestre” (Según Morán y Shapiro, 2004:54).

La energía total de un sistema es la suma de las distintas clases de energía que este tenga. Termodinámicamente hablando solo tratamos el cambio de la energía, más no el valor absoluto, es así que se puede asignar un valor de cero a la energía total cierto punto de referencia que se necesite y el cambio de energía total no depende del punto que se haya asignado.

Dentro de la energía que conforma la energía total del sistema tenemos macroscópicas, las que se relacionan con el exterior y las microscópicas que se relacionan con la estructura molecular. La suma de todas las formas microscópicas de energía se denomina energía interna.

2.1.9. Sustancia pura

“Una sustancia pura es el sistema más sencillo que podríamos idear y estaría constituido por un solo componente químico que puede estar en una o varias fases a la vez. Por ejemplo, según nuestra definición un vaso con hielo y agua será una sustancia pura. Ejemplos de sustancias puras son el oxígeno, el amoníaco, el diclorodifluorometano (Freón-12), etc” (Según Müller, 2002:53).

Es una sustancia que tiene una composición química fija, no necesariamente compuesta de un solo elemento, ya que puede ser considerada como pura una mezcla siempre y cuando esta sea homogénea.

En una sustancia encontramos 3 fases principales, las mismas que pueden contener fases adicionales de acuerdo al elemento, estas son:

- Sólida
- Líquida
- Gaseosa

De acuerdo a la temperatura y la presión que estas sustancias sean sometidas irán cambiando de fases y de acuerdo a esto tomarán un nombre.

Un líquido que no está a punto de evaporarse se lo llama líquido comprimido o sub enfriado (estado 1). Si a éste se le transfiere calor, aumentará su temperatura y se expandirá, de no tener algo que lo limite la presión será la misma, a medida que se transfiera más calor aumentará la temperatura hasta llegar a los 100° C (a 1 atm), en ese momento podemos decir que se trata de un líquido saturado (estado 2) ya que cualquier aumento de calor provocará que este se evapore, cuando se contenga la misma cantidad de vapor como de líquido habremos llegado al estado 3.

Esto se mantendrá a temperatura constante hasta que se haya evaporado por completo el líquido y solo se contenga vapor, que está a punto de condensar si es que se tiene alguna pérdida de calor, a este se lo llama vapor saturado (estado 4). En cualquier punto entre los estados 2 y 4 podemos hablar que tenemos una mezcla saturada de líquido – vapor.

Finalmente si seguimos adicionando calor, la temperatura aumentará, alejando al vapor del punto de condensación y obteniendo un vapor sobrecalentado (estado 5).

La cantidad de energía absorbida o generada durante el proceso de cambio de fase se llama calor latente.

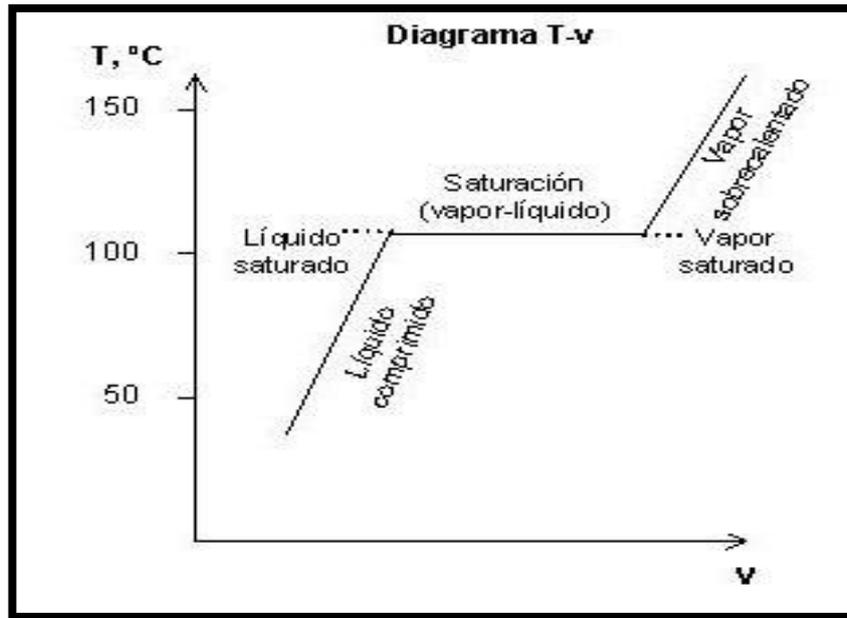


Figura 2. 7 Diagrama T – V

Fuente: <http://www.proenergia.com/id82.html>

La temperatura a la que un líquido cambiará de fase será mayor o menor dependiendo de la presión con una relación directa de a mayor presión mayor temperatura necesaria para el cambio de fase. A una presión dada a la temperatura cuando un líquido cambia de fase se llama temperatura de saturación, de igual forma de acuerdo a la temperatura a la presión que un líquido cambiará de fase se llama presión de saturación.

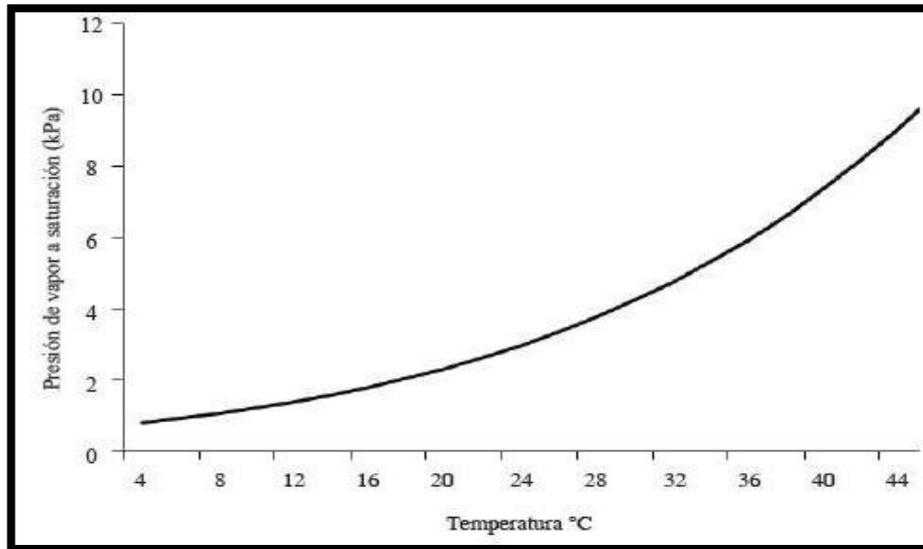


Figura 2. 8 Diagrama P – T

Fuente: <http://www.proenergia.com/id82.html>

2.1.10. Entalpía

La entalpía es la suma de la energía interna de su sistema y el producto de su presión por su volumen: $H = U + PV$.

“Como la entalpía es una función de estado, esto nos permite calcular de una manera muy directa la transferencia de calor en el sistema” (Según *ibid.*:143).

2.1.11. Transferencia de calor

La energía puede cruzar la frontera de un sistema cerrado en dos formas: calor y trabajo.

“La transferencia de energía por calor se debe a diferencias de temperatura entre el sistema y su entorno y se produce en la dirección de las temperaturas decrecientes. Los modos de transferencia de

calor incluyen conducción, radiación y convección” (Según Morán y Shapiro, Óp. Cit.:77).

Cuando un cuerpo se deja en un medio que se encuentra a temperatura distinta el de mayor temperatura cederá calor al otro hasta que lleguen a un equilibrio térmico. Este calor se lo define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a una diferencia de temperatura. Por lo que podemos decir que no existe transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentren a la misma temperatura.

El proceso en el cual no hay transferencia de calor se lo denomina proceso adiabático, y para que eso suceda existen dos maneras: el sistema está muy bien aislado por lo que solo una cantidad despreciable de calor cruza la frontera, o el sistema y los alrededores tienen la misma temperatura y por ello no hay transferencia de calor.

2.1.12. Primera ley de la termodinámica

Un sistema aislado no permite la entrada o salida de materia o energía. (Un sistema cerrado, por otra parte, permite la entrada o salida de la materia.) Si la energía no puede entrar o salir, entonces la energía total U del sistema no cambia. El enunciado explícito de este fenómeno se considera la primera ley de la termodinámica.

“La primera ley de la termodinámica: En un sistema aislado, la energía total del sistema permanece constante” (Según Ball, 2004:32).

La primera ley de la termodinámica, o principio de conservación de la energía nos ayuda a estudiar las relaciones entre las diversas formas en interacciones de la energía, es así que declara que la energía no puede crearse ni destruirse, solo se transforma. Por lo tanto toda cantidad de energía debe tenerse en cuenta durante un proceso.

Una consecuencia importante de esta primera ley es la energía total “E”, considerando que el trabajo neto es igual para todos los procesos adiabáticos de un sistema cerrado, el valor de este debe depender de los estados terminales del sistema, y por lo tanto se debe a un cambio en una propiedad del sistema. Esta propiedad es la energía total. Es decir en un proceso, el cambio en la energía total es igual al trabajo realizado.

2.1.13. Segunda ley de la termodinámica

“Segunda ley de la termodinámica: En un sistema aislado, si ocurre un cambio espontáneo, este estará asociado a un incremento simultáneo en la entropía del sistema” (Según Ibid.:76).

Las primeras máquinas térmicas construidas, fueron dispositivos muy eficientes. Solo una pequeña fracción del calor absorbido de la fuente de la alta temperatura se podía convertir en trabajo útil. Aun al progresar los diseños de la ingeniería, una fracción apreciable del calor absorbido se sigue descargando en el escape de una máquina a baja temperatura, sin que pueda convertirse en energía mecánica. Sigue siendo una esperanza diseñar una máquina que pueda tomar calor de un depósito abundante, como el océano y convertirlo íntegramente en un trabajo útil. Entonces no

sería necesario contar con una fuente de calor una temperatura más alta que el medio ambiente quemando combustibles. De la misma manera, podría esperarse, que se diseñara un refrigerador que simplemente transporte calor, desde un cuerpo frío a un cuerpo caliente, sin que tenga que gastarse trabajo exterior. Ninguna de estas aspiraciones ambiciosas viola la primera ley de la termodinámica. La máquina térmica sólo podría convertir energía calorífica completamente en energía mecánica, conservándose la energía total del proceso. En el refrigerador simplemente se transmitiría la energía calorífica de un cuerpo frío a un cuerpo caliente, sin que se perdiera la energía en el proceso. Nunca se ha logrado ninguna de estas aspiraciones y hay razones para que se crea que nunca se alcanzarán.

Ninguna máquina térmica convierte todo el calor que recibe en trabajo útil. Esta deficiencia térmica de las máquinas es la base del enunciado de Kelvin Planck de la segunda ley que dice: “Es imposible para cualquier dispositivo que funcione en un ciclo recibir calor de un solo depósito y producir una cantidad neta de trabajo”

Es decir para operar una máquina térmica debe intercambiar calor tanto de una fuente de baja temperatura como con una fuente de alta temperatura. De igual manera Kelvin, como dijimos, habla de que ninguna máquina puede tener un 100% de eficiencia térmica y esta se define como la fracción de energía térmica que una máquina puede convertir en trabajo.

Esta eficiencia es importante para reducir los costos por consumo de energía y también ayuda al medio ambiente al reducir la cantidad de emisiones contaminantes.

El segundo enunciado de esta ley lo hizo Clausius relacionado con refrigeradores y bombas de calor diciendo: “Es imposible construir un dispositivo que funcione en un ciclo y cuyo único efecto sea producir la transferencia de calor de un cuerpo de temperatura más baja a uno de temperatura más alta.”

Es decir, que una máquina de transferencia de calor no funciona por si misma y siempre va a necesitar una fuente de energía externa. Es así que no solo implica transferir calor de una fuente a otra si no también consumir alguna energía en forma de trabajo.

Los enunciados de Kelvin – Planck y de Clausius son equivalentes y a cualquiera de ellos se lo puede tomar como expresión de la segunda ley de la termodinámica. Cualquier dispositivo que viole los principios de Kelvin – Planck viola los de Clausius y viceversa.

2.1.14. Procesos reversible e irreversible

“Procesos reversibles y se definen como aquellos para los cuales se puede idear un proceso que devuelva al sistema y a sus alrededores a sus condiciones iniciales” (Según Müller, Op. Cit.: 227). Un proceso reversible es el que se puede

invertir sin dejar huella en los alrededores, tanto el sistema como los alrededores regresan a sus estados iniciales luego de finalizar el proceso inverso. Esto sucede si el intercambio de calor neto y de trabajo neto entre el sistema y los alrededores es cero luego de haberse dado los dos procesos, original e inverso. Podemos decir que los procesos que no son reversibles, son los que llamamos proceso irreversible.

Un sistema puede regresar a su estado original luego de seguir un proceso, no importa si es reversible o irreversible, la diferencia hace que en procesos reversibles no solo el sistema regresa al estado original si no los alrededores también. Realmente estos procesos no suceden en la naturaleza, y pueden aproximarse por medio de dispositivos reales, aunque nunca pueden alcanzarse.

El concepto de proceso reversible lleva a la definición de la eficiencia de la segunda ley en procesos reales, que es el grado de aproximación a los procesos reversible correspondientes. Cuanto mejor es el diseño, son menores las irreversibilidades y mayor la eficiencia de la segunda ley.

2.1.15. Irreversibilidades

La resistencia eléctrica, la fricción, una mezcla, las reacciones químicas, la transferencia de calor, entre otras son irreversibilidades ya que son causantes de la irreversibilidad de un proceso.

La fricción es la fuerza que se opone al movimiento de dos cuerpos que están en contacto los cuales se encuentran moviéndose uno con respecto al otro. Para superar esta fuerza se necesita trabajo el mismo que

se convertirá en calor el cuál no se volverá a convertir en trabajo por lo que podemos decir que el sistema y los alrededores no volverán a sus estados originales siendo este un proceso irreversible.

Un gas separado del vacío por una membrana genera una expansión libre cuando ella se rompe ocupando el gas el espacio vacío, para devolver este gas a su estado original habría que comprimirlo lo que genera transferencia de calor de este para llegar a su temperatura original, para que este proceso sea reversible habría que transformar este calor en trabajo violando la segunda ley, por lo que es un proceso irreversible.

La transferencia de calor de un cuerpo a caliente a uno frío es otro proceso irreversible, ya que para invertirlo es necesario someter este cuerpo a un proceso de refrigeración el cuál necesita de trabajo para funcionar el cual genera que la energía interna de los alrededores aumente, siendo imposible regresarla a su estado inicial ya que habría que convertirla en trabajo lo que viola la segunda ley.

2.1.16. Ciclos termodinámicos

Ciclo de Carnot

El ciclo de Carnot presenta en total cuatro procesos:

1-2 Expansión isotérmica a alta temperatura (hay una entrada de calor, Q_A)

2-3 Expansión adiabática

3-4 Compresión isotérmica a baja temperatura (hay una salida de calor, Q_B)

4-1 Compresión adiabática.

La eficiencia de una máquina térmica depende en gran parte de cómo se ejecutan los procesos individuales que componen el ciclo de ésta. Los ciclos más eficientes son los reversibles, pero que lamentablemente en la práctica no se los puede alcanzar, pero nos permiten mostrar el límite superior para una máquina térmica de ciclo real. Uno de estos es el ciclo de Carnot, propuesto en 1824 por un ingeniero francés llamado Sadi Carnot, basado en la máquina térmica de Carnot.

Es un sistema compuesto por un gas que se encuentra en un dispositivo cilindro – émbolo y el ciclo de éste, está constituido por cuatro procesos: dos adiabáticos reversibles y dos isotérmicos reversibles:

a) *Proceso isotérmico* (1-2): una región que se halla a una temperatura T_c - dT_c suministra calor reversiblemente a la máquina, cuyo medio de trabajo se encuentra a una temperatura T_c . para obtener esta diferencia infinitesimal de temperaturas durante el suministro de calor, el fluido o medio de trabajo en la maquina se expande isotérmicamente desde el estado inicial al estado final.

b) *Proceso adiabático (2-3)*: el fluido se expande adiabáticamente de una manera reversible desde el estado 2 que se encuentra a temperatura T_c , hasta el estado 3 que está a temperatura T_f . durante esta expansión el sistema realiza el trabajo.

c) *Proceso isotérmico (3-4)*: la maquina térmica disipa calor hacia la región de baja temperatura que se encuentra a $T_f - dT_f$, con el objeto de mantener la temperatura constante durante la compresión reversible.

d) *Proceso adiabático (4-1)*: el medio de trabajo se comprime adiabáticamente y de una manera reversible desde el estado 4 hasta el estado 1.

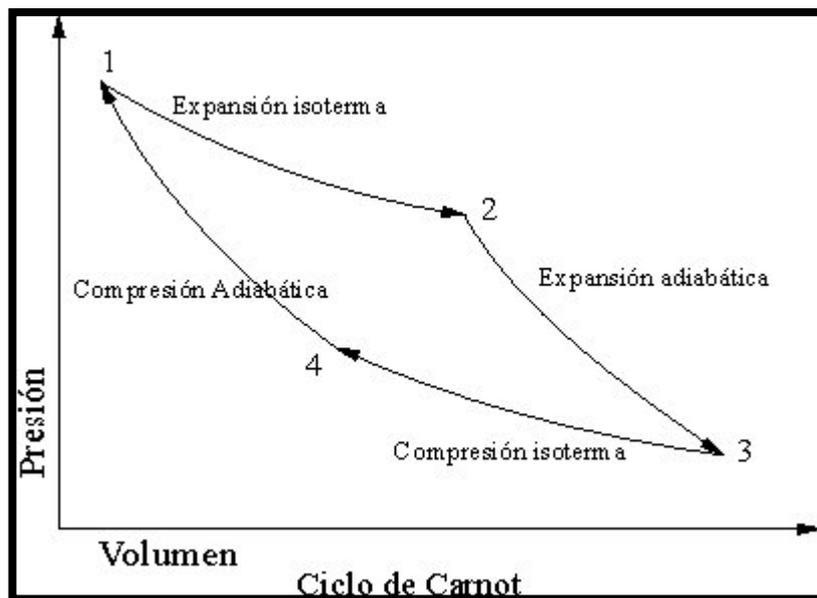


Figura 2. 9 Ciclo de Carnot

Fuente:<http://www2.ubu.es/ingelec/maqmot/StirlingWeb/maquinas/maquinastermicas.htm>

En el diagrama P – V del ciclo de Carnot el área bajo la curva 1-2-3 es el trabajo efectuado por el gas durante la expansión del ciclo y el área bajo la curva 3-4-1 es el trabajo efectuado por el gas durante la compresión. El área encerrada por la trayectoria del ciclo representa el trabajo neto del ciclo.

Al ser un ciclo reversible, este ciclo es el más eficiente que opera entre dos límites de temperatura específicos. Aun cuando el ciclo no es posible en la realidad, la eficiencia de los ciclos reales se mejora al acercarse lo más posible al de Carnot.

Al operar inversamente se convierte en el ciclo de refrigeración de Carnot, operando exactamente igual pero en dirección opuesta por lo que se absorbe calor de un depósito de baja temperatura y se desecha calor en un depósito de alta temperatura.

2.1.17. Principios de Carnot

“El principio de Carnot permite calcular el rendimiento de la transformación y nos facilita al propio tiempo la relación que permite calcular el rendimiento en función de las temperaturas, bajo las cuales tienen lugar estas transformaciones” (Según Rapin y Jacquard).

De acuerdo a las limitaciones de operación de las máquinas térmicas descritas en los enunciados de Kelvin – Planck y Clausius se generan los

principios de Carnot los cuáles se refieren a la eficiencia de las máquinas térmicas reversibles e irreversibles los cuáles son dos:

- La eficiencia de una máquina térmica irreversible siempre es menor que la eficiencia de una reversible que funcione entre los mismos dos depósitos.
- Las eficiencias de todas las máquinas térmicas reversibles que funcionan entre los dos mismos depósitos son iguales.

Estos se pueden demostrar probando que cuando se viola cualquiera de ellos también se viola la segunda ley de la termodinámica.

Es así que si se consideran que operan entre dos depósitos una máquina térmica irreversible y una reversible, donde cada una recibe la misma cantidad de calor (Q_H) obteniendo 2 cantidades de trabajo de acuerdo a las máquinas W_{rev} y W_{irrev} .

Violando el primer principio de Carnot, suponemos que la máquina irreversible es más eficiente que la reversible, por lo tanto entrega mayor cantidad de trabajo. Si invertimos el ciclo de la máquina reversible y la operamos como un refrigerador el mismo que recibirá una entrada de trabajo W_{rev} y desechará una cantidad de calor Q_h en el depósito de alta temperatura, la misma cantidad del mismo depósito que está recibiendo la máquina irreversible, por lo que el intercambio de calor neto de este depósito es cero. Es así que se podría eliminar éste al tener una descarga de calor directa del refrigerador a la máquina irreversible. Si consideramos al

refrigerador y a la máquina como un conjunto tenemos que hay una cantidad de trabajo neto igual a $W_{\text{irrev}} - W_{\text{rev}}$ mientras se está intercambiando calor con un solo depósito, violando el enunciado de la segunda ley, por lo que comprobamos que la suposición de que la eficiencia de la máquina irreversible es mayor que la reversible es incorrecta.

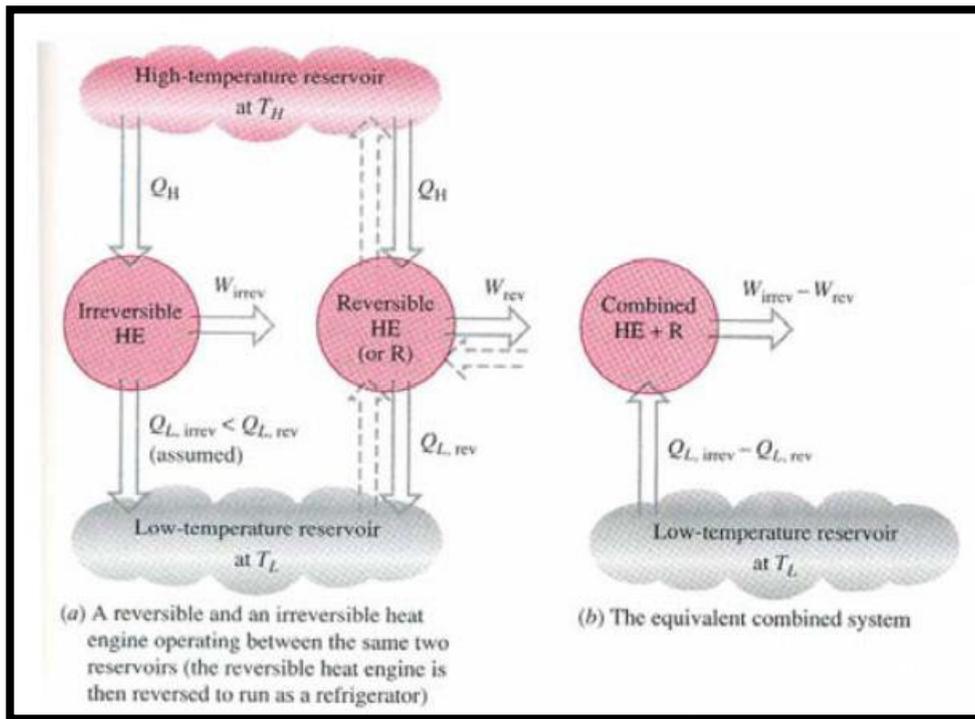


Figura 2. 10 Principios de Carnot

Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/mateos_e_e/capitulo4.pdf

Basados en la anterior demostración también se puede comprobar el segundo principio de Carnot, ya que si se reemplaza la máquina irreversible por una reversible que sea más eficiente podemos llegar a la misma conclusión de una máquina entregando una cantidad neta de trabajo

mientras intercambia calor con un solo depósito, es decir, violando la segunda ley de la termodinámica.

2.1.18. Entropía

“La entropía como la energía térmica necesaria para que un cuerpo pueda efectuar reversiblemente una determinada transformación durante el espacio de tiempo en que la temperatura puede considerarse como constante” (Según Ibid.:300).

Desigualdad de Clausius.

En 1865 Clausius se dio cuenta que había descubierto una nueva propiedad termodinámica llamándola entropía (s) que se mide con la unidad $\text{kJ/Kg} \cdot \text{K}$.

Puesto que cualquier ciclo reversible puede sustituirse por una serie de ciclos de Carnot, la desigualdad de Clausius es válida para cualquier máquina térmica (o refrigerador) reversible o irreversible, en donde la igualdad se conserva en ciclos reversibles y la desigualdad de ciclos irreversibles. A medida que aumenta la Irreversibilidad de una máquina dada, la integral cíclica de dQ/t se hace cada vez más negativa.

La segunda ley nos conduce a una nueva propiedad llamada entropía, abstracta y de difícil descripción física, como todas las variables de estado, dependen sólo de los estados del sistema, y debemos estar preparados para

calcular el cambio en la entropía de procesos irreversibles y es más fácil de comprender al estudiar sus aplicaciones en procesos de ingeniería.

La entropía es una medida del desorden molecular o aleatoriedad molecular, a medida que un sistema se desordena, las posiciones de las moléculas son menos predecibles y aumenta la entropía, es por eso que la entropía de una sustancia es más baja en la fase sólida que en la gaseosa, esto debido a que las moléculas en la fase sólida continuamente están oscilando en torno a su posiciones de equilibrio, pero están imposibilitadas de moverse y la posición de estas se puede predecir con buena certidumbre, todo lo contrario a lo que sucede en el estado gaseoso donde es muy difícil predecir la posición de las moléculas que se mueven sin una dirección definida, chocando entre ellas con constantes cambios de dirección generando un caos molecular y un alto valor de entropía.

En la fase gaseosa las moléculas poseen una cantidad considerable de energía cinética, sin embargo no van a producir trabajo ya que están desorganizadas, es decir unas se mueven hacia un lado, otras hacia otro, etc., sin haber un trabajo de conjunto. Es así que es imposible extraer trabajo útil directamente de la energía desorganizada.

Cuando la energía está organizada se puede emplear fácilmente para generar trabajo, es decir está libre de desorden molecular por lo que carece de entropía.

La segunda ley requiere que el aumento en la entropía del cuerpo frío sea mayor que la disminución de la misma en el cuerpo caliente por lo que la entropía neta del sistema combinado va a aumentar, lo que quiere decir que al final, el estado del sistema combinado va a ser de mayor desorden.

Microscópicamente hablando un sistema aislado que puede aparentar estar en equilibrio puede mostrar un alto nivel de actividad debido al continuo movimiento de moléculas. Por cada estado de equilibrio macroscópico se puede tener gran número de estados microscópicos, es por esto que la entropía de un sistema tiene relación con el número total de estados microscópicos posibles del sistema, llamándose a esto probabilidad termodinámica p . De esto sacamos que la entropía de un sistema aumenta a medida que lo hace la incertidumbre molecular (probabilidad molecular).

El cambio de entropía de un sistema cerrado durante un proceso irreversible siempre es mayor que la transferencia de entropía, es decir se genera o crea cierta entropía durante un proceso irreversible, y esta generación se debe por completo a la presencia de irreversibilidades. Esto se denomina generación de entropía y es igual a la diferencia entre el cambio de entropía de un sistema cerrado y la transferencia de entropía, esta debe ser siempre positiva o cero.

En un sistema aislado (cerrado adiabático) la entropía durante un proceso siempre aumenta o, permanece constante pero nunca disminuye. La ausencia de transferencia de calor, el cambio en la entropía se debe a irreversibilidades que producen siempre un cambio en la entropía.

La entropía total de un sistema es igual a la suma de las entropías de las partes de un sistema.

El cambio de entropía de un sistema puede ser negativo durante un proceso, pero la generación de entropía no. La generación de entropía se resume en que si es mayor a cero es un proceso irreversible, igual a cero es un proceso reversible y menor a cero un proceso imposible.

Por lo tanto el principio de incremento de entropía para cualquier sistema es expresado como: $(\text{entropía total que entra}) - (\text{entropía total que sale}) + (\text{entropía total generada}) = (\text{cambio en la entropía total del sistema})$.

Esta relación se la denomina como el balance de la entropía y también se la puede enunciar como: "el cambio de entropía de un sistema durante un proceso es igual a la transferencia neta de entropía a través de la frontera del sistema y a la entropía generada dentro del sistema."

Cuando se alcance el valor máximo de entropía en un sistema aislado este llega a un equilibrio esto ya que el principio del incremento de entropía no permite al sistema someterse a un estado que resulte en una disminución de la entropía.

Para determinar el cambio de entropía en un sistema solo es necesario evaluar a la misma al principio y al final del sistema para calcular la diferencia existente. Esta será cero si el estado del sistema no cambia.

Desde un sistema se puede transferir la entropía de dos formas: por transferencia de calor y por flujo másico. La transferencia de esta se produce al cruzar la frontera y representa la entropía ganada o perdida por el sistema en un proceso. La única forma de ganar o perder entropía por un sistema cerrado es la transferencia de calor, por lo que, como ya se dijo, en un sistema cerrado adiabático esto es igual a cero.

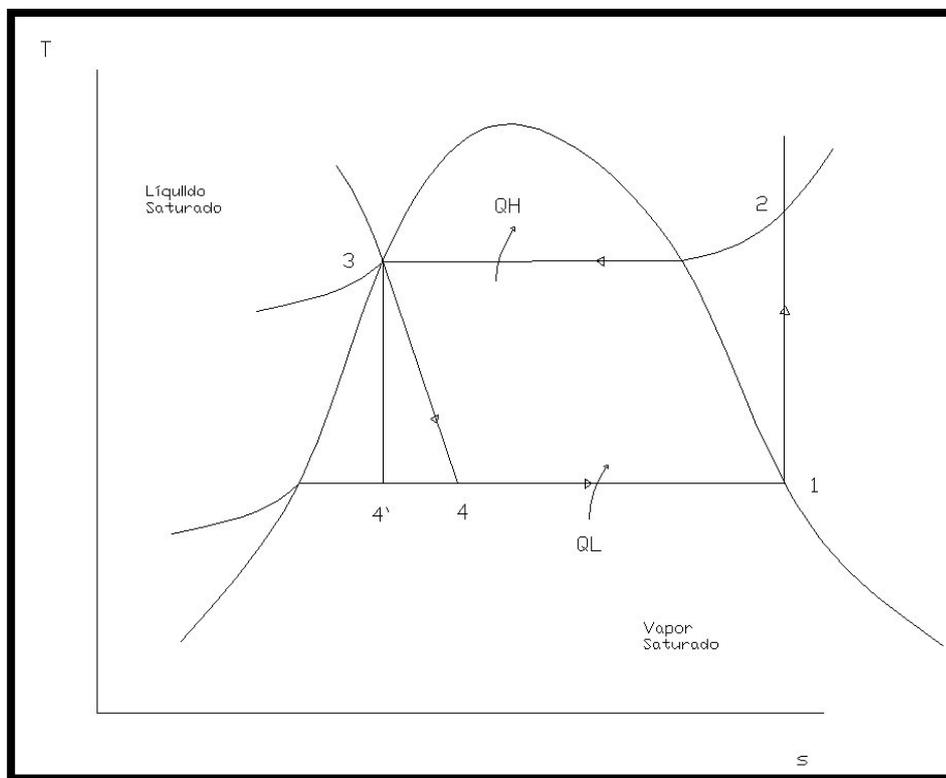


Figura 2. 11 Diagrama P – S

Fuente: Cengel, Yanus, Termodinámica, P. 620

2.1.19. Tercera ley de la termodinámica

“La entropía de una sustancia cristalina pura a la temperatura del cero absoluto es cero puesto que no hay incertidumbre en torno al estado de las moléculas en ese instante” (Según Yanus, et al., 2003:623).

Se debe tomar en cuenta que en una sustancia que no es cristalina pura existe más de una configuración molecular produciéndose cierta incertidumbre, por lo tanto el valor de entropía en el cero absoluto sería diferente de cero.

Los valores absolutos de la entropía se determinan con base a la tercera ley de la termodinámica y se puede asignar un valor de cero a la entropía de una sustancia en un estado de referencia seleccionado arbitrariamente. El cambio de la entropía entre dos estados específicos es el mismo, no importa qué trayectoria se siga durante el proceso.

Siendo el calor esencialmente una forma desorganizada de energía y sabiendo que cierto valor de entropía fluirá con él, la transferencia de este hacia un sistema aumenta la entropía, y por lo tanto la aleatoriedad molecular, de igual forma si se transfiere calor desde el sistema la disminuye; siendo la única forma de disminuir entropía de una masa fija el restarle calor; llamamos a estos fenómenos transferencia de entropía.

Cuando dos sistemas están en contacto, la transferencia de entropía del sistema más caliente es igual a la transferencia que recibe el sistema

más frío en el punto de contacto, ya que la frontera al no ocupar volumen no permite creación ni destrucción alguna de entropía.

Según la segunda ley: “Una interacción energética que es acompañada por una transferencia de entropía es una transferencia de calor, y una interacción energética que no es acompañada por una transferencia de entropía es trabajo” (Según Ibid., 624).

Los contenidos de energía y entropía son proporcionales a la masa del sistema y estos son transportados por flujos de materia siendo proporcional su tasa de transporte con respecto a la del flujo másico. En los sistemas cerrados no se tiene flujo de materia por lo que no existe transferencia de entropía.

Las irreversibilidades como la fricción, el mezclado, las reacciones químicas, la transferencia de calor, la expansión irrestricta, la compresión causan que la entropía del sistema aumente siendo la generación de entropía una medida de este aumento.

En un proceso reversible, la generación de entropía es cero, por lo que el cambio de entropía del sistema es igual a la transferencia de la misma.

En un sistema cerrado no se involucra flujo másico por lo que su cambio de entropía es simplemente la diferencia entre las entropías inicial y

final. El cambio de entropía en este sistema se debe a la transferencia de calor y a la generación de la misma dentro de la frontera, es decir el cambio de entropía de un sistema cerrado durante un proceso es igual a la suma de la entropía transferida neta por la frontera del sistema mediante la transferencia de calor, y de la entropía generada dentro de las fronteras del sistema. Si este proceso es adiabático solo tomamos en cuenta la entropía generada dentro de las fronteras.

Para volúmenes de control se debe tomar en cuenta el flujo másico a través de las fronteras. “La tasa de cambio de entropía dentro del volumen de control durante un proceso es igual a la suma de la tasa de transferencia de entropía a través de la frontera del volumen de control por transferencia de calor, de la tasa neta de transferencia de entropía hacia el volumen de control por flujo másico y de la tasa de generación de entropía dentro de la frontera del volumen de control como resultado de irreversibilidades.”

Si estos volúmenes de control operan establemente no sufrirán un cambio de entropía y el balance de esta dependerá de si son de flujo estable, de flujo estable con un solo flujo o si son de flujo estable con un solo flujo en un proceso adiabático.

2.1.20 Selección

Para seleccionar los elementos importantes para el diseño y la construcción de la bomba de calor se realizó un estudio basado en los cálculos y dimensiones de la bomba a construir.

El compresor de $\frac{1}{2}$ hp tiene la potencia suficiente para hacer que el refrigerante circule por el sistema sin tener problemas y realizar el trabajo que necesitamos para demostrar el funcionamiento.

Tanque Evaporador está construido en fibra de vidrio para que no afecte en el cambio de temperatura ya que no tiene ningún compuesto que altere la temperatura del agua.

Tanque Condensador el diseño está construido en fibra de vidrio con un revestimiento que no altera la temperatura del agua y poder demostrar el funcionamiento.

Cañería de Cobre de $\frac{1}{2}$ excelente conductor de la temperatura, adecuada medida para que circule el refrigerante con la presión exacta y es la medida correcta debido a que el compresor nos indica que diámetro podemos usar para las cañerías

Cañería de Cobre de $\frac{3}{8}$ es la medida que el fabricante del compresor diseña para que el sistema funcione correctamente.

Rotámetros son elementos de medición que se sirven para saber la cantidad de refrigerante y de agua que va a pasar por el sistema y tomar las referencias para realizar las prácticas.

Manómetros instrumentos de medición que ayuda a verificar la presión del refrigerante que circula por las cañerías en los puntos necesarios.

Presostato de baja es un instrumento electrónico que sirve para cortar el paso de corriente en el sistema de la bomba.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Concepto de bomba de calor

Es una máquina capaz de extraer calor de un cuerpo frío para entregarlo a otro más caliente, de hecho es una máquina frigorífica convencional en la que se aprovecha el calor de refrigeración del condensador.

“Precisamente se llama bomba de calor porque es capaz de “bombear” calor de un cuerpo menos caliente a otro más caliente, por decirlo de alguna manera, el calor circula en sentido inverso al natural y por esta razón debe consumir energía” (Según Jutglar y Galán, 2012:394).

La bomba de calor es una máquina que permite transferir calor de una fuente de temperatura menor a otra con mayor temperatura (calor) en sentido inverso al flujo natural del calor.

Para realizar la transferencia se utiliza una máquina que efectúa el ciclo termodinámico en el cual un fluido refrigerante se evapora y condensa sucesivamente, absorbiendo y cediendo calor al medio que tiene en contacto.

Se trata de un equipo el cual no produce calor sino que transporta de un lugar a otro. Puede adquirir el calor del agua o aire, realizando la transferencia al espacio que se desea calentar, siendo agua, aire u otra sustancia.

Las bombas de calor también pueden ser utilizadas para refrigerar. La transferencia del calor se va a realizar en el sentido contrario, esto quiere decir desde la aplicación que requiere frío al lugar que se encuentra a temperatura superior.

2.2.2. Sistema bomba de calor

El primer sistema de bomba de calor se instaló en 1862 para extraer calor de un lago austriaco. Desde entonces, la tecnología ha madurado aunque aún quedan posibilidades para mejorar su alta eficiencia con el uso de nuevos diseños de componentes.

En la bomba de calor por compresión el transporte de calor se logra gracias al refrigerante, que circula por la acción de un compresor que, a su

vez, es movido por un motor eléctrico. El refrigerante tiene la propiedad de que al cambiar de estado, pasando de gas a líquido o viceversa, cede o absorbe calor. Esto es lo que sucede cuando se establece el ciclo de la Bomba de Calor.

La transferencia de calor la realiza desde un medio a otro, llamado foco frío y caliente.

El foco frío es el que se encuentra ubicado en el exterior del espacio a calentar, este es el evaporador que al pasar el refrigerante esta en forma líquida para proceder a evaporarse y al realizar esto absorber calor del medio exterior. Seguidamente el refrigerante es aspirado por el compresor, el que es movido por una fuente eléctrica, siendo comprimido y enviado hacia el condensador, el cual se encuentra ubicado en el medio que deseamos calefactar.

El refrigerante procede a condensarse cediendo el calor que absorbe del foco frío al ambiente y logrando la transferencia de calor del equipo. Para completar el ciclo de trabajo, el refrigerante que esta en forma líquido a alta presión pasa por una válvula donde reducirá la presión y comenzara nuevamente el ciclo.

La bomba de calor incorpora una válvula que invierte el ciclo, lo que le permite funcionar también como equipos de aire acondicionado.

La eficiencia de una bomba de calor se mide por medio del coeficiente de funcionamiento (CDF_{BC}) el cual se define como:

$$CDF_{BC} = \text{salida deseada} / \text{entrada requerida} = Q_H / W_{\text{neto en}}$$

2.2.3. Elementos bomba de calor

2.2.3.1. Compresor

Este mecanismo se encarga de transformar la energía mecánica que transmite el motor del vehículo en energía de presión.

“El compresor es un motor que está diseñado para aumentar la presión y desplazar fluidos compresibles, así como lo son los gases y los vapores. Lo realiza mediante el intercambio de energía entre el motor y el fluido” (Según Gil Martínez, 2008).



Figura 2. 12 Compresor

Autor: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch.

2.2.3.2. Ventilador

Es el que produce corriente de aire mediante un eje con aspas, que al momento de realizar los giros produce diferencia de presiones. Sirven para renovar y circular el aire en lugares cerrados, entregar suficiente oxígeno a los usuarios y también es excelente para que los malos olores eliminen.

Este procederá a enfriar el gas refrigerante de los sistemas que utilizan presión en el interior como compresores debido a que están diseñados para que sus aspas disipen el calor, es muy importante recalcar que estos deben tener una estructura que al momento de generar el flujo de aire sea encaminado y no se pierda con el ambiente, también se debe a que protege las aspas de cualquier objeto que pueda dañarlo.



Figura 2. 13 Ventilador

Autor: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch.

2.2.3.3. Refrigerante

El refrigerante es un gas químico-líquido, que es fácil de licuarlo, utilizado como medio transmisor de calor a otros dos medios.

Es importante tener en cuenta sus principales usos como los refrigeradores y aires acondicionados.

Esta sustancia se puede encontrar en estado gaseoso a temperatura ambiente y mediante una baja de temperatura inferior a 0 °C se puede convertir en líquido.

Todos los sistema de refrigeración utilizan el refrigerante R22e R22 Monoclorodifluorometano debido a que este fue desarrollado para sistemas que requieren temperaturas muy bajas en el evaporador, por lo general este se utiliza en sistemas de congelación rápida que pueden mantener temperaturas de -29°C y -40°C, también es usado en sistemas de aire acondicionado y en refrigeradores caseros.

Es capaz de absorber agua a 19.5 ppm, por lo que es recomendable usar con secadores o desecantes para impedir que la humedad ingrese al sistema y este colapse.

Características de los refrigerantes

- Punto de congelación. Debe de ser inferior a cualquier temperatura que existe en el sistema, para evitar congelaciones en el evaporador.

- Calor latente de evaporación. Debe de ser lo más alto posible para que una pequeña cantidad de líquido absorba una gran cantidad de calor.
- Volumen específico.- El volumen específico debe de ser lo más bajo posible para evitar grandes tamaños en las líneas de aspiración y compresión
- Densidad. Deben de ser elevadas para usar líneas de líquidos pequeñas.
- La temperatura de condensación, a la presión máxima de trabajo debe ser la menor posible.
- La temperatura de ebullición, relativamente baja a presiones cercanas a la atmosférica.
- Punto crítico lo más elevado posible.
- No deben ser líquidos inflamables, corrosivos ni tóxicos.
- Dado que deben interaccionar con el lubricante del compresor, deben ser miscibles en fase líquida y no nociva con el aceite.
- Los refrigerantes, se aprovechan en muchos sistemas para refrigerar también el motor del compresor, normalmente un motor eléctrico por tener una baja conductividad eléctrica.

Tipos

POR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA:

- Los inorgánicos, como el agua o el NH_3 : Amoníaco
- Los de origen orgánico(hidrocarburos y derivados):

- Los CFC's, Clorofluorocarbonos, perjudiciales para la capa de ozono
- Los HCFC's. Hidroclorofluorocarbonados.
- Los HC: Hidrocarburos (alcanos y alquenos)
- Las mezclas, azeotrópicas o no azeotrópicas.

POR SU GRADO DE SEGURIDAD

- GRUPO 1: no son combustibles ni tóxicos.
- GRUPO 2: tóxicos, corrosivos o explosivos a concentraciones mayores de 3,5% en volumen mezclados con el aire.
- GRUPO 3: tóxicos, corrosivos o explosivos a concentraciones menores o iguales a 3,5% en volumen.

POR SUS PRESIONES DE TRABAJO

- Baja:
- Media:
- Alta:
- Muy alta:

POR SU FUNCIÓN

- Primario: al ser el agente transmisor en el sistema de refrigeración, este realiza un intercambio térmico en forma de calor latente.

- Secundario: realiza un papel de intercambio térmico intermedio entre el refrigerante primario y el medio exterior. Realiza el intercambio principalmente en forma de calor sensible.
- Pueden ser perjudiciales para la capa de ozono: Índice ODP y ayudar al efecto invernadero: Índice GWP. (Whitman y Johnson, 2000)



Figura 2. 14 Refrigerante R134a

Autor: Juan Francisco Salazar, Sebastián Isch

2.2.3.4. Manómetros

“Es un instrumento simple, barato que sirve para medir presión estática que no tiene partes mecánicas móviles.” (Según Potter y Wigger, 2002:583).

Es un instrumento que sirve para medir la presión en los fluidos, determinando la diferencia de la presión del fluido y la presión local.

Podemos definir la presión como la fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas.

La presión se mide en atmósferas (atm); en el sistema internacional de unidades (SI), la presión se expresa en Newtons por metro cuadrado; un Newton por metro cuadrado es un pascal (Pa). La atmósfera se define como 101.325 Pa, y equivale a 760 mm de mercurio en un barómetro convencional.

Hay que tener en cuenta que la mayoría de los manómetros miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local, entonces hay que sumar ésta última al valor indicado por el manómetro para hallar la presión absoluta. Cuando se obtiene una medida negativa en el manómetro es debida a un vacío parcial.



Figura 2. 15 Manómetro

Fuente: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

2.2.3.5. Tanques de fibra de vidrio

“La fibra de vidrio es un producto de origen mineral. Se elabora a partir de la principal materia prima de la que están compuestos los materiales vítreos. Esta materia prima es la arena de sílice.” (Según Crespo, 2010:287). Este material se obtiene mediante el fundido de vidrio a través de una pieza de agujeros muy finos (espinerette) que al momento de solidificarse tiene la propiedad de ser flexible y se lo usa como fibra.

Entre sus principales propiedades son: tiene un buen aislamiento térmico, es inerte ante ácidos, soporta temperaturas altas. Este material debido a su bajo precio se lo ha utilizado industrialmente. La fibra de vidrio tiene la característica de ser moldeable fácilmente, es ideal para realizar partes artesanales en piezas de bricolaje tales como kayak, cascos de veleros, terminaciones de tablas de surf o esculturas. Esta fibra es utilizada

para realizar cables de fibra óptica para transmitir señales lumínicas, se usa como aislante térmico en la construcción como mantas o paneles.

Es recomendable utilizar fibra de vidrio para la fabricación de artículos que estén expuestos a agentes químicos y degradación por corrosión, entre los cuales se encuentran los Tanques de Fibra de Vidrio.

2.2.3.6. Presostato

Este instrumento de medición es también conocido como interruptor de presión, debido a que abre y cierra un circuito eléctrico dependiendo de la presión con la que va a funcionar.

Se subdivide en:

- a) De baja presión.
- b) De alta y baja presión combinados.

“Los primeros, como su nombre indica, actúan de acuerdo con los cambios naturales de presión en el lado de baja del sistema.” (Según Alarcón, 1998:191).

Función:

El fluido ejerce presión sobre un pistón interno que hace que se mueva hasta unir dos contactos, al bajar la presión baja un resorte

que empuja al pistón para desactivar el contacto, un tornillo permite ajustar el nivel de disparo del presostato para aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. Tiene dos ajustes; la presión de encendido y la presión de apagado.

No deben ser confundidos con los transductores de presión (medidores de presión), mientras estos últimos entregan una señal variable en base al rango de presión, los presostatos entregan una señal apagado/encendido únicamente.



Figura 2. 16 Presostato

Fuente: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

2.2.3.7. Rotámetros

Medidor de caudal en tuberías de área variable, de caída de presión constante. Consta de un flotador que se mueve libremente

dentro de un tubo vertical ligeramente cónico, con el extremo angosto hacia abajo. El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo, para que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficientemente para equilibrar el peso del flotador. El tubo es de vidrio y lleva una escala lineal, sobre la cual indica el gasto o caudal.

Esta herramienta de medición se basa en el balance de fuerzas, en que las fuerzas de impacto y de arrastre hacen que ascienda el flotador, para que aumente el área anular para el paso del fluido, para equilibrar la posición del flotador la realiza mediante la fuerza ascendente.



Figura 2. 17 Rotámetros

Fuente: Juan Francisco Salazar, Sebastián Isch

2.2.3.8. Tubo capilar

Este dispositivo se encarga de controlar el flujo de refrigerante que va ser llevado al evaporador, este consta de un tramo de tubería de diámetro muy pequeño que varía de 0.02 a 0.10 pulgadas. Y su longitud puede ser de 2 a 12 pies, cumple la función cuando la carga de refrigerante baje y la presión de succión baje, deja pasar por un momento más refrigerante al compresor, obteniendo control deseado de flujo de refrigerante.



Figura 2. 18 Capilar 1

Autor: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

2.2.3.9. Vatímetro

El vatímetro es un instrumento que mide la potencia eléctrica o la masa que va a suministrar el circuito eléctrico. Está conformado por 2 bobinas fijas, llamadas bobinas de corriente y una bobina de potencial.

“Un vatímetro no sólo se clasifica en vatios, sino también en voltios y amperios” (Según López, 2009:11-12).



Figura 2. 19 Vatímetro

Autor: Juan Francisco Salazar, Sebastián Isch

2.2.3.10. Filtro secador

Este dispositivo es el que se encarga de eliminar el agua que se encuentra en forma de humedad dentro del sistema, va instalado en la línea del líquido, como las partículas extrañas. El agua puede causar la corrosión de las partes metálicas.

En el sistema construido este dispositivo cumple la función de evitar la obstrucción de impureza encontrada en el sistema, se encuentra antes del tubo capilar para filtrar el flujo del refrigerante, su función es de remover la humedad del sistema de refrigeración debido a que en su interior está constituido por Silica-gel en forma granulada.

Las propiedades del filtro son:

- Reducir el contenido de humedad del refrigerante
- Actuar rápidamente para reducir la humedad en un paso de refrigerante a través de la unidad de secado.
- Soportar aumentos de temperatura hasta de 70°C sin que se altere su eficiencia.
- Ser inerte químicamente al aceite.
- Permanecer insoluble, no debe disolverse con ningún líquido.
- Permanecer en su condición sólida original.
- Permitir el flujo uniforme del refrigerante a través de los gránulos, bolitas o bloque con una baja restricción o caída de presión del refrigerante.



Figura 2. 20 Filtro de secador

Autor: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

CAPÍTULO 3

INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE

3.1. Diseño del evaporador

ENTALPIA DEL REFRIGERANTE R134 a

$$h_g := 255.16 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad \text{Entalpía del vapor saturado}$$

$$h_f := 35.92 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad \text{Entalpía de líquido saturado}$$

$$Q := h_g - h_f$$

$$Q = 219.24 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

CALCULO DE LA MASA DE REFRIGERANTE

$$D_e := 0.28 \quad (\text{m})$$

$$D_i := 0.16$$

$$H_{\text{agua}} := 0.26$$

$$V_{\text{agua}} := \frac{\pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) \cdot H_{\text{agua}}}{4}$$

$$V_{\text{agua}} = 0.011 \quad (\text{m}^3)$$

$$\rho_{\text{agua}} := 1000 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \quad \text{Densidad del agua}$$

$$M_{\text{agua}} := \rho_{\text{agua}} \cdot V_{\text{agua}} \quad (\text{Kg})$$

$$M_{\text{agua}} = 10.782$$

$$C_{p\text{agua}} := 4.22 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \quad \text{Calor específico del agua}$$

$$T_{i\text{agua}} = 20 \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_{f\text{agua}} = 9.2 \quad (^\circ\text{C})$$

$$\Delta T := T_{i\text{agua}} - T_{f\text{agua}}$$

$$\Delta T = 10.8 \quad (^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{agua}} := M_{\text{agua}} C_{p\text{agua}} \Delta T$$

$$Q_{\text{agua}} = 491.398 \quad (\text{kJ})$$

$$M_{\text{ref}} := \frac{Q_{\text{agua}}}{Q}$$

$$M_{\text{ref}} = 2.241 \quad (\text{kg}) \quad \text{Masa de refrigerante}$$

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CALOR POR CONVECCION PARA EL AGUA

$$D_{\text{eq}} := D_e - D \quad \text{Diámetro equivalente}$$

$$D_{\text{eq}} = 0.12 \quad (\text{m})$$

$$L_{\text{agua}} := 0.26 \quad (\text{m}) \quad \text{Altura de agua}$$

$$\text{Rel} := \frac{L_{\text{agua}}}{D_{\text{eq}}}$$

$$\text{Rel} = 2.167$$

Para cilindros horizontales y verticales se utiliza la correlación de Evans y Stefany

$$g_r := 9.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \quad \text{Aceleración de la gravedad}$$

$$T_s := 1 \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{Temperatura superficial de referencia}$$

$$T_b := \frac{T_{\text{agua}} + T_{\text{fagua}}}{2}$$

$$T_b = 14.6 \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{Temperatura media volumétrica}$$

$$T_f := \frac{T_s + T_b}{2} \quad \text{Temperatura de película}$$

$$T_f = 7.8 \quad (^\circ\text{C})$$

$$\rho_{20} := 998$$

$$\rho_{10} := 1000 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\beta := \rho_{10} \cdot \left(\frac{\frac{T_f - 7.8}{\rho_{20}} - \frac{1(^\circ\text{C})}{\rho_{10}}}{T_{\text{agua}} - T_b} \right)$$

$$\beta = 3.711 \times 10^{-4}$$

$$v := 1.534 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

PITTS,310

$$\text{GrL} := \frac{\text{gr} \cdot \beta \cdot (\text{Tb} - \text{Ts}) \cdot \text{Lagua}^3}{\nu^2}$$

$$\text{GrL} = 3.694 \times 10^8$$

$$\text{Pr} := 11.46$$

$$\text{NuD} := 0.55 \cdot (\text{GrL} \cdot \text{Pr})^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{NuD} = 140.296$$

$$\text{kagua} := 1.7425$$

$$\text{hagua} := \frac{\text{kagua} \cdot \text{NuD}}{\text{Deq}}$$

$$\text{hagua} = 2.037 \times 10^3 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}} \right)$$

COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EL REFRIGERANTE

$$\text{di} := 8.5 \quad \text{Diámetro de la tubería de cobre en mm}$$

$$\text{do} := 9.5$$

$$\text{Ri} := \frac{\text{di}}{2 \cdot 1000}$$

$$\text{Ro} := \frac{\text{do}}{2 \cdot 1000}$$

$$\text{href} := 32.31 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}} \right)$$

$$k_{\text{cobre}} := 387 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} \right)$$

$$U_o := \frac{1}{\frac{R_o}{R_i \cdot h_{\text{ref}}} + \frac{R_o \cdot \ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)}{k_{\text{cobre}}} + \frac{1}{h_{\text{agua}}}}$$

$$U_o = 28.503 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right)$$

MEDIA LOGARITMICA DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA

$$T_{ro} := 9 \quad (^{\circ}\text{C}) \quad \text{Temperatura de salida del refrigerante}$$

$$\Delta T_1 := T_{\text{agua}} - T_{ro}$$

$$\Delta T_1 = 11$$

$$T_{ri} := -12 \quad (^{\circ}\text{C}) \quad \text{Temperatura de ingreso del refrigerante}$$

$$\Delta T_2 := T_{\text{agua}} - T_{ri}$$

$$\Delta T_2 = 21.2 \quad (^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta T_{\text{ml}} := \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_{\text{ml}} = 15.546 \quad (^{\circ}\text{C})$$

CALOR PERDIDO POR EL AGUA EN UNA HORA

$$Q_p := \frac{Q_{\text{agua}} \cdot 1000}{3600} (\text{W})$$

$$Q_p = 136.499$$

AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$A_s := \frac{Q_p}{U_o \cdot \Delta T_{ml}} \left(\text{m}^2 \right)$$

$$E_s := 0.006 (\text{mm})$$

$$A_s = 0.308$$

LONGITUD DEL TUBO

$$L_o := \frac{A_s}{\pi \cdot 2 \cdot R_o} (\text{m})$$

$$P_c := \pi \cdot D_e$$

$$P_c = 0.88$$

$$L_o = 10.321$$

$$N_v := \frac{L_o}{P_c}$$

$$N_v = 11.733$$

Numero de vueltas del serpentín

$$H_c := N_v \cdot (2 \cdot R_o + E_s)$$

$$H_c = 0.182 \text{ (m)}$$

El número de espiras teórico del evaporador es 11

3.2. Diseño del condensador

El condensador es el recipiente que contiene el agua en el espacio anular, dentro del cual se encuentra sumergida la tubería de cobre en forma de anillos por donde circula el fluido refrigerante R134 a.

Mediante el procedimiento de cálculo debe encontrarse:

- Entalpía del refrigerante R134 a
- Masa del agua y del refrigerante
- Coeficiente de transferencia de calor
- Calor ganado por el agua
- Área de transferencia de calor
- Número de espiras

ENTALPÍA DEL REFRIGERANTE R134 a EN EL CONDENSADOR

$$h_g := 325.89 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad \text{Entalpía del vapor sobrecalentado a } 90^\circ\text{C y } 0.9 \text{ Mpa}$$

$$h_f := 96.48 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad \text{Entalpía de líquido saturado a } 32^\circ\text{C}$$

$$Q := h_g - h_f$$

$$Q = 229.41 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

CÁLCULO DE LA MASA DE AGUA Y DE REFRIGERANTE

$$D_e := 0.26 \quad (\text{m})$$

$$D_i := 0.16$$

$$H_{\text{agua}} := 0.28$$

$$V_{\text{agua}} := \frac{\pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) \cdot H_{\text{agua}}}{4}$$

$$V_{\text{agua}} = 9.236 \times 10^{-3} \quad (\text{m}^3) \quad \text{Volumen de agua en el espacio anular}$$

$$\delta_{\text{agua}} := 1000 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \quad \text{Densidad del agua}$$

$$M_{\text{agua}} := \delta_{\text{agua}} \cdot V_{\text{agua}}$$

$$M_{\text{agua}} = 9.236 \quad (\text{Kg})$$

$$C_{p\text{agua}} := 4.22 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \quad \text{Calor específico del agua}$$

$$T_{i\text{agua}} := 20 \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_{f\text{agua}} := 35 \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{Temperatura promedio final del agua}$$

$$\Delta T := T_{f\text{agua}} - T_{i\text{agua}}$$

$$\Delta T = 15 \quad (^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{agua}} := M_{\text{agua}} C_{p\text{agua}} \Delta T$$

$$Q_{\text{agua}} = 584.657 \quad (\text{kJ}) \quad \text{Calor ganado por el agua}$$

$$M_{\text{ref}} := \frac{Q_{\text{agua}}}{Q}$$

$$M_{\text{ref}} = 2.549 \quad (\text{kg}) \quad \text{Masa de refrigerante R134a}$$

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CALOR POR CONVECCION PARA EL AGUA

$$D_{\text{eq}} := D_e - D \quad \text{Diámetro equivalente}$$

$$Deq = 0.1 \text{ (m)}$$

$$Lagua := 0.28 \text{ (m)} \quad \text{Altura de agua}$$

$$Rel := \frac{Lagua}{Deq}$$

$$Rel = 2.8$$

Para cilindros horizontales y verticales se utiliza la correlación de Evans y Stefany

$$gr := 9.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \quad \text{Aceleración de la gravedad}$$

$$Ts := 61 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad \text{Temperatura superficial de referencia}$$

$$Tb := \frac{Tiagua + Tfagua}{2}$$

$$Tb = 27.5 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad \text{Temperatura media volumétrica}$$

$$Tf := \frac{Ts + Tb}{2}$$

$$Tf = 44.25 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad \text{Temperatura promedio de película}$$

$$\rho_{20} := 998 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\beta := \rho_{35} \cdot \left(\frac{\frac{1}{\rho_{20}} - \frac{1}{\rho_{35}}}{T_{\text{agua}} - T_b} \right)$$

$$\rho_{35} := 997 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\beta = 1.336 \times 10^{-4}$$

$$v := 1.006 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) \quad \text{PITTS, 310}$$

$$\text{GrL} := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_b) \cdot L_{\text{agua}}^3}{v^2}$$

$$\text{GrL} = 9.514 \times 10^8$$

$$\text{Pr} := 7.02 \quad \text{Número de Prandtl}$$

$$\text{NuD} := 0.55 \cdot (\text{GrL} \cdot \text{Pr})^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{NuD} = 157.23$$

$$k_{\text{agua}} := 1.7425$$

$$h_{\text{agua}} := \frac{k_{\text{agua}} \cdot \text{NuD}}{D_{\text{eq}}}$$

$$h_{\text{agua}} = 2.74 \times 10^3 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EL REFRIGERANTE

$d_i := 8.5$ Diámetro de la tubería de cobre en mm

$d_o := 9.5$

$$R_i := \frac{d_i}{2 \cdot 1000}$$

$$R_o := \frac{d_o}{2 \cdot 1000}$$

$$h_{\text{ref}} := 32.31 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

$$k_{\text{cobre}} := 387 \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

$$U_o := \frac{1}{\frac{R_o}{R_i \cdot h_{\text{ref}}} + \frac{R_o \cdot \ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)}{k_{\text{cobre}}} + \frac{1}{h_{\text{agua}}}}$$

$$U_o = 28.606 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

MEDIA LOGARITMICA DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA

$T_{ro} := 32$ (°C) Temperatura de salida del refrigerante

$\Delta T_2 := T_{ro} - T_{iagu}$

$$\Delta T_2 = 12$$

$T_{ri} := 90$ (°C) Temperatura de ingreso del refrigerante

$\Delta T_1 := T_{ri} - T_{fagu}$

$$\Delta T_1 = 55$$
 (°C)

$$\Delta T_{ml} := \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 28.244$$
 (°C)

CALOR GANADO POR EL AGUA EN UNA HORA

$$Q_p := \frac{Q_{agua} \cdot 1000}{3600}$$

$$Q_p = 162.405$$
 (W)

ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$A_s := \frac{Q_p}{U_o \cdot \Delta T_{ml}}$$

$$A_s = 0.201$$
 (m²)

LONGITUD DEL TUBO DEL CONDENSADOR

$$L_o := \frac{A_s}{\pi \cdot 2 \cdot R_o}$$

$$L_o = 6.735 \quad (\text{m})$$

$$P_c := \pi \cdot D_e$$

$$P_c = 0.817$$

$$N_v := \frac{L_o}{P_c}$$

$$N_v = 8.245 \quad \text{Número de vueltas del serpentín}$$

$$E_s := 0.008 \quad (\text{m}) \quad \text{Espaciamiento entre tubos}$$

$$H_c := N_v \cdot (2 \cdot R_o + E_s)$$

$$H_c = 0.144 \quad (\text{m})$$

El número teórico de espiras del intercambiador del condensador es de 8 en forma de anillos toroidales.

3.3. Ingeniería de detalle

3.3.1. Dimensionamiento del evaporador

Dimensiones del recipiente exterior: Diámetro 280 mm, altura 310 mm, espesor 3 mm.

Dimensiones del recipiente interior: Diámetro 160 mm, altura 260 mm, espesor 1mm

Materiales del evaporador: Acero al carbono de 3mm y 1 mm, tubería de cobre

Medio de evaporación: 10,782 litros de agua

Masa de refrigerante: 2,241Kg., en los anillos de cobre

Está compuesto por un cilindro exterior, un cilindro interior y una tubería de cobre, en la región anular debe llenarse de agua como medio de transferencia de calor.

Como se ha explicado anteriormente, el evaporador es un intercambiador de calor que genera la transferencia de energía térmica contenida en el agua, hacia el refrigerante, a baja temperatura, el volumen de agua que se encuentra en la región anular es de 10,782 litros.

3.3.2. Dimensionamiento del condensador

Dimensiones del cilindro exterior: Diámetro 260mm, altura 310 mm, espesor 3mm.

Dimensiones del cilindro interior: Diámetro 160 mm, altura 280 mm, espesor 1mm.

Materiales del condensador: Acero al carbono de 3mm y 1 mm, tubería de cobre.

Medio de evaporación: 9,236 litros de agua.

Masa de refrigerante: 2,549Kg., en los anillos.

El condensador es un intercambiador de calor latente, que convierte el fluido que se encuentra en estado gaseoso a líquido, conocido como fase de transición. Para el caso de la bomba de calor, el condensador es del mismo tipo que del evaporador.

3.3.3. Tabla de selección de materiales

Procedimos a realizar la selección de los materiales a ser usados, detallado en la tabla siguiente.

MATERIALES	DESCRIPCION
Mesa Soporte	Acero al Carbono 3mm.
Tubería	Cobre 3/8; 1/2 pulg.
Refrigerante	R134a
Tanques	Fibra de Vidrio, Acero al Carbono

3.4. Ingeniería de detalle

3.4.1. Resultados (hoja de ruta detallar)

Ensayos en el Evaporador

Tabla 3. 1 Tabla de datos del ensayo en el Evaporador con agua.

Agua	
Temp.(°C)	Caudal(Kg/h)
16	20
14	30
14.5	40
15	50
12.6	20
10	20
9.2	20

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

Tabla 3. 2 Tabla de datos del ensayo en el Evaporador con refrigerante

Refrigerante		
T. Entrada(°C)	T. Salida(°C)	Presión(PSI)
-3	18	6
-10	12	8
-9	12	10
-8	14	10
-11	12	10
-11	10	8
-12	9	7.5

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

Ensayos en el Condensador

Tabla 3. 3 Tabla de datos del ensayo en el Condensador con agua

Agua	
Temp.(°C)	Caudal(Kg/h)
26	20
32	20
33.3	20
35.3	20
33	30
30.2	40
26	50

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

Tabla 3. 4 Tabla de datos del ensayo en el Condensador con refrigerante

Refrigerante		
T. Entrada(°C)	T. Salida(°C)	Presión(PSI)
58	32	130
76	36	150
89	40	180
80	42	170
92	40	160
90	34	140
90	32	130

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

- Q_e , Q_c , COP, W. Estos tres valores han de ser obtenidos en función de los cambios de temperatura en el agua.

Tabla 3. 5 Tabla de resultado del ensayo del cambio de temperatura

Cálculos en función de la variación de la temperatura				
Ensayo	Q evaporador (Watts)	Q condensador (Watts)	W compresor (Watts)	COP
1	-116,22	116.22	54	2,15
2	-244,06	255.68	54	4,7
3	-302,17	285.90	72	3,97
4	-348,66	332.39	72	4,61
5	-195,25	418.4	77,15	5,42
6	-255,68	427.69	93,92	4,55

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

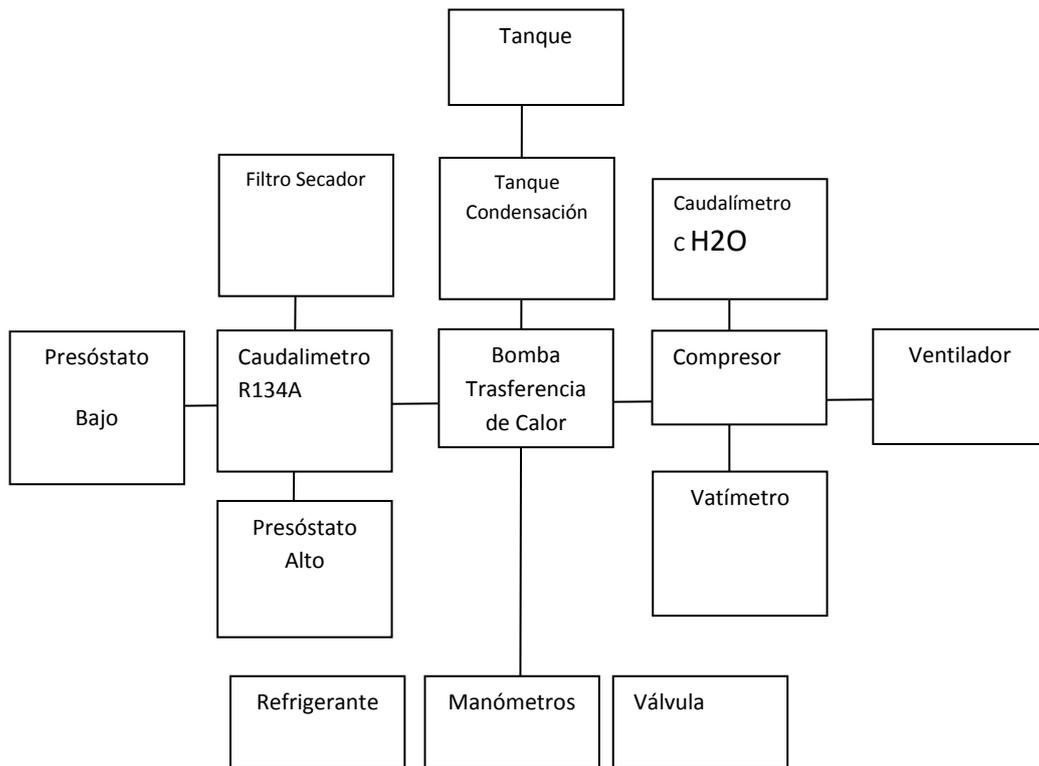
3.4.2. Planos Construidos

Ver anexos.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS

4.1. Construcción de diagramas



Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

4.2. Procesos de montaje

Una vez obtenido todos los componentes de la bomba de transferencia de calor, se procede a realizar el montaje de los mismos en una secuencia que permita la fácil operación y mantenimiento de la misma.

Elaboración de la base para soportar la bomba.

Se escogió usar una plancha de tool de 44 cm de ancho por 84 cm de largo, debido a su tamaño

Se utiliza cañería de cobre de 3/8 pulgadas para realizar los espirales que van dentro de los tanques Condensador y Evaporador para que circule el refrigerante.

Para realizar el espiral se debe tomar como referencial un diámetro de 18 cm. En base al cilindro que va a estar en el aparte interna del condensador y el evaporador.

Se realiza tanques metálicos para que funcionen como sellos en los tanques del condensador y evaporador y no exista fuga por ningún lugar.

Para realizar la unión de las cañerías de cobre se utiliza suelda y dobleces para las uniones, se utiliza suelda de plata al 15%, se realiza una presurización con Nitrógeno se realiza esta operación para sacar la humedad e impurezas y verificar si existe fuga por una de las uniones que se realizo con suelda.

Para que el sistema pierda toda la humedad e impurezas se aplica una mezcla de Nitrógeno y R134a durante 48 horas, esto hace que todo el sistema quede limpio y se pueda cargar con el nuevo refrigerante.

Realizamos un vacío hasta 22 pulgadas de mercurio en donde se realiza un triple vacío que corresponde a determinados lapsos de tiempos que son de 45, 30 y 15 minutos, para que este proceso sirva se debe realizar el mismo procedimiento tres veces vacío, se observa cómo queda limpio el sistema.

En la carga de primera instancia se permite nivelar la presión en el tanque del R134a y el sistema, se lo realiza este procedimiento con el compresor apagado, al cargar por la zona de baja presión del sistema, se prende el equipo para que el refrigerante cambie de estado líquido a gaseoso y tenga una presión de compresión de 10 a 12 psi, la cual es ideal para los pequeños equipos didácticos.

- En los tanques del evaporador como en el condensador, colocamos entrada y salidas para distribuir el agua.
- Colocamos el compresor en el centro de la mesa metálica
- Diseñamos el trayecto de la cañería de cobre antes de ser montados.
- Colocamos los tanques de fibra de vidrio.
- Colocamos los tanques metálicos en la parte interior de los tanques de fibra de vidrio.
- Colocamos el soporte metálico donde se asienta el vatímetro.

- Diseñamos los codos donde van a ser tomados los datos con los termómetros.
- Colocamos los manómetros con sellamiento para que no exista ninguna fuga de R134a al ambiente y no perdamos los datos exactos.
- Realizamos las conexiones eléctricas para el encendido y apagado de la maquina.
- Colocamos los rotámetros con las medidas exactas para que no exista uniformidad en la bomba.
- Verificamos todas las conexiones de las mangueras de cobre para que no exista una fuga de refrigerante y no perdamos la presión necesaria para el correcto funcionamiento de la bomba.
- Cargamos el compresor con R134a.

4.3. Pruebas funcionales

Para poder verificar el preciso funcionamiento de la bomba, se realizaron varias prácticas y pruebas.

Se prende sin necesidad de esforzar la bomba, el refrigerante empieza a circular por el sistema de cañerías de cobre, en la cual se puede ver los cambio de temperatura debido al exceso de escarcha que produce el R134a debido a la presión que va a tener al momento de cambiar de temperatura, se verifica la medida exacta de caudal en los rotámetros para tener un buen funcionamiento de la bomba.

Dentro de los tanques de fibra se aprecia que está lleno de agua para verificar el cambio de temperatura.

Prendemos el equipo, seleccionamos el caudal que va a pasar al evaporador y condensador, para empezar a tomar los datos que vamos a utilizar se espera 8 minutos que empieza a circular el refrigerante por las cañerías y el sistema.

Para tener los datos necesarios comenzamos tomando del caudal del refrigerante, el tiempo de entrada al evaporador.

Tomamos el tiempo de salida del refrigerante del evaporador.

Tomamos la presión en el evaporador.

Procedemos a tomar la temperatura de entrada en el condensador.

Tomamos la temperatura de salida en el condensador.

Se debe tomar la presión del condensador.

Tomamos la temperatura de ingreso del agua al sistema.

Realizamos la captura de los datos en la salida del agua del evaporador y del condensador.

Este proceso se lo debe repetir por lapsos de 8 minutos escogiendo diferentes caudales.

Se observa el consumo eléctrico como potencia suministrada al sistema.

Se procede a dejar en reposo al sistema por 20 minutos para que se estabilice.

4.4. Procedimiento

El procedimiento está relacionado con la puesta en funcionamiento de la bomba mecánica de calor, la cual consta de los siguientes pasos:

La unidad está lista para funcionar con un mínimo de trabajo preparatorio.

- Debemos colocar los termómetros en los lugares previstos para este objetivo.
- Permitimos la entrada de agua y regulamos la válvula reductora y las dos válvulas de suministro de agua hasta lograr un caudal adecuado y constante.
- Hacemos funcionar el compresor.

Una vez realizados estos pasos debemos esperar uno 30 minutos para que la unidad llegue al equilibrio, en este proceso se formará un poco de hielo en el tanque evaporador, esto es normal, sin embargo debemos impedir el exceso de hielo mediante el ajuste del caudal de agua.

Una vez que la bomba ha llegado al equilibrio inicial, las condiciones requeridas podemos obtener mediante la manipulación de las válvulas de suministro de agua. Si el cambio realizado es notable, la unidad necesitará de uno 15 a 20 minutos para alcanzar el equilibrio, caso contrario el tiempo será menor.

Es importante anotar que, una vez terminados los ensayos, debemos desconectar primero la electricidad para luego pasar a desconectar el caudal de agua, nunca debemos desconectarse primero el agua.

4.5. Tabulación de datos

Se suministra con el equipo un diagrama ampliado T-S (en unidades S.I. solamente) con escalas lineales para poder medir fácilmente el área. También se suministra un diagrama aumentado y montado presión-entalpía, en unidades inglesas o S.I. Este primer análisis se realiza sobre el diagrama T-S seguido por un análisis idéntico usando el diagrama P-H.

Una vez que la bomba está funcionando con normalidad, el siguiente paso es la toma de los datos, que es el objetivo primordial de esta etapa del laboratorio. Los datos a obtenerse son:

DATOS EN EL EVAPORADOR:

- Temperatura del refrigerante a la entrada. (T_4)
- Temperatura del refrigerante a la salida. (T_1)
- Presión del refrigerante a la entrada. (P_e)
- Temperatura del agua. (T_e)
- Caudal del agua. (m_e)
- Caudal del refrigerante. (m_r)

DATOS EN EL CONDENSADOR:

- Temperatura del refrigerante a la entrada. (T_2)
- Temperatura del refrigerante a la salida. (T_3)
- Presión del refrigerante a la entrada. (P_c)
- Temperatura del agua. (T_c)

- Caudal del agua. (mc)
- Caudal del refrigerante. (mr)

CAUDAL DEL REFRIGERANTE

Estos caudales están predispuestos en consumo constante ya que tiene un tubo capilar.

Aparte de los datos mencionados se tomarán también otras magnitudes, como la temperatura del agua a la entrada del condensador y del evaporador (ambiente), y los segundos que tarda el disco del compresor en dar una vuelta completa.

Tabla 4. 1 Tabla de cálculos de caudal de refrigerante en el evaporador

ENSAYO	EVAPORADOR				
	Agua	Refrigerante			
	Temp.(°C)	Caudal(Kg/h)T.	Entrada (°CT.	Salida(°C	Presión(PSI
1	16	20	-3	18	6
2	14	30	-10	12	8
3	14.5	40	-9	12	10
4	15	50	-8	14	10
5	12.6	20	-11	12	10
6	10	20	-11	10	8
7	9.2	20	-12	9	7.5

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

Tabla 4. 2 **Tabla de cálculos de caudal de refrigerante en el condensador**

ENSAYO	CONDENSADOR				
	Agua	Refrigerante			
	Temp.(°C)	Caudal(Kg/h)T.	T. Entrada(°C)	T. Salida(°C)	Presión(PSI)
1	26	20	58	32	130
2	32	20	76	36	150
3	33.3	20	89	40	180
4	35.3	20	80	42	170
5	33	30	92	40	160
6	30.2	40	90	34	140
7	26	50	90	32	130

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

CÁLCULOS:

- a) Q_e , Q_c , COP, W. Estos tres valores han de ser obtenidos en función de los cambios de temperatura en el agua.

Tabla 4. 3 Tabla de cálculos en función de la variación de la temperatura en el agua

Cálculos en función de la variación de la temperatura				
Ensayo	Q evaporador (Watts)	Q condensador (Watts)	W compresor (Watts)	COP
1	- 116,22	116.22	54	2,15
2	- 244,06	255.68	54	4,73
3	- 302,17	285.90	72	3,97

4	- 348,66	332.39	72	4,61
5	- 195,25	418.4	77,15	5,42
6	- 255,68	427.69	93,92	4,55
7	- 274,28	290.55	93.92	3.09

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

Calor en el Evaporador:

$$Q_e = m_e \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot (T_e - T_s)$$

$$Q_e = 20 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}} \cdot 4.184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (16 - 21) \text{K}$$

$$Q_e = -116.22 \text{W}$$

Calor en el Condensador:

$$Q_c = m_c \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot (T_c - T_s)$$

$$Q_c = 20 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}} \cdot 4.184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (26 - 21) \text{K}$$

$$Q_c = 116.22 \text{W}$$

Trabajo del Compresor:

$$w = \frac{3.6 * 10^5}{166.66 * s}$$

$$w = \frac{3.6 * 10^5}{166.66 * 40}$$

$$w = 54.00 \text{W}$$

COP:

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{W}$$

$$\text{COP} = \frac{116.22\text{W}}{54\text{W}} = 2.15$$

b) Q_e , Q_c , COP, W. Estos valores se calcularán utilizando las entalpías del refrigerante.

Tabla 4. 4 Tabla de cálculo de la entalpia del refrigerante

ENSAYO	ENTALPIAS DEL REFRIGERANTE				
	Entalpías Evaporador(KJ/Kg)		Entalpías Condensador (KJ/Kg)		
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	CAUDAL
1	20.53	32.89	58.53	41.47	5
2	16.57	29.31	71.72	44	10
3	17.14	29.31	82.84	46.54	10
4	17.71	30.5	74.94	47.83	12
5	16	29.31	85.81	46.54	12
6	16	28.13	83.83	42.72	5
7	15.44	27.54	83.83	41.47	5

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

Tabla 4. 5 Tabla de cálculo en función de la entalpía del refrigerante

Cálculos en función de la entalpía del refrigerante				
Ensayo	Q evaporador (Watts)	Q condensador (Watts)	W compresor (Watts)	COP
1	1,71	-2,36	54,00	5,42
2	3,53	-7,70	54,00	5,58
3	3,38	-10,08	72,00	8,47
4	4,26	-9,03	72,00	8,83
5	4,43	-13,09	77,15	9,36
6	1,68	-5,70	93,92	8,10

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastián Isch

Calor en el Evaporador:

$$Q_e = m_{R134a} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_e = 5 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}} \cdot (32,89 - 20,53) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Calor en el Condensador:

$$Q_e = 1,71W$$

$$Q_c = m_{R134a} \cdot (h_3 - h_2)$$

$$Q_c = 5 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}} \cdot (41,47 - 58,53) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_c = -2.39W$$

Trabajo del Compresor:

$$w = \frac{3.6 * 10^5}{166.66 * s}$$

$$w = \frac{3.6 * 10^5}{166.66 * 40}$$

$$w = 54.00W$$

COP:

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{W}$$

$$\text{COP} = \frac{292.4W}{54W} = 5.41$$

4.6. EFECTO REFRIGERANTE

Se define como la cantidad de calor transferida en el evaporador expresado por unidad de masa de refrigerante circulado, o por unidad de volumen de vapor de refrigerante manipulado dentro del compresor. Cuando se expresa por unidad de masa el efecto refrigerante es simplemente Q_e e igual a $(h_1 - h_4)$

4.7. SOBRECALENTAMIENTO

Es la variación de temperatura del refrigerante desde la zona de vapor saturado hasta la zona de vapor sobrecalentado durante la evaporación o en el evaporador.

$$\Delta T_{\text{sobrecalentamiento}} = T_1 - T_{\text{sat @ } P_{\text{evaporador}}}$$

4.8. SUBENFRIAMIENTO

Es la variación de la temperatura del refrigerante desde la zona de líquido saturado hasta la zona de líquido comprimido durante la condensación o en el condensador.

$$\Delta T_{\text{subenfriamiento}} = T_3 - T_{\text{sat @ Pcondensador}}$$

Tabla 4. 6 Tabla de cálculo de la variación de temperatura del refrigerante

ENSAYO	VARIACION DE TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE				
	Efecto	Temperatura de saturación	Temperatura de Saturación	Grado de Subenfriamiento	Grado de Sobrecalentamiento
	Refrigerante	Presión evaporador	Presión condensador		
1	249,59	-37,07	31,33	3,33	51,07
2	248,51	-37,07	26,72	0,72	49,07
3	233,11	-37,07	35,53	1,53	47,07
4	232,71	-37,07	31,33	5,33	45,07
5	232,68	-26,43	39,39	13,39	38,93
6	231,42	-26,43	35,53	10,53	35,93

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

COP vs. ER

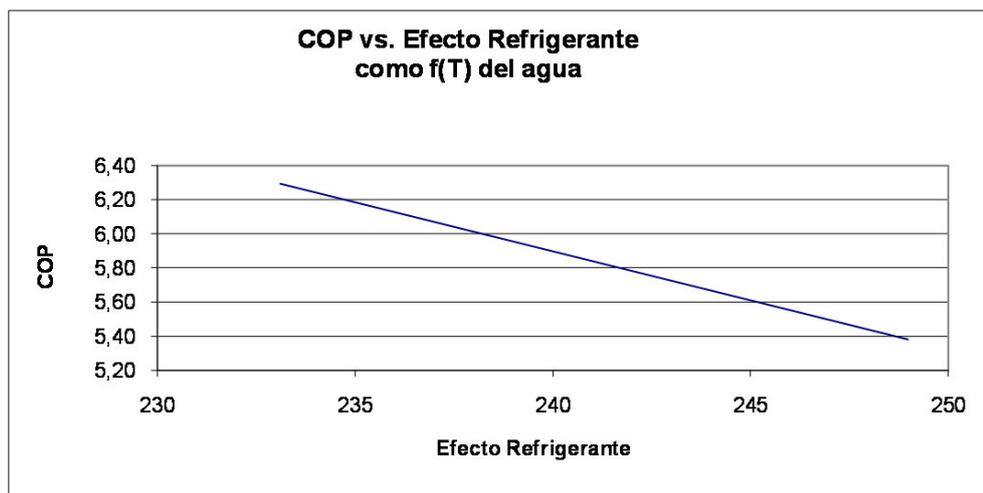


Figura 4. 1 COP vs Efecto Refrigerante (1)

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

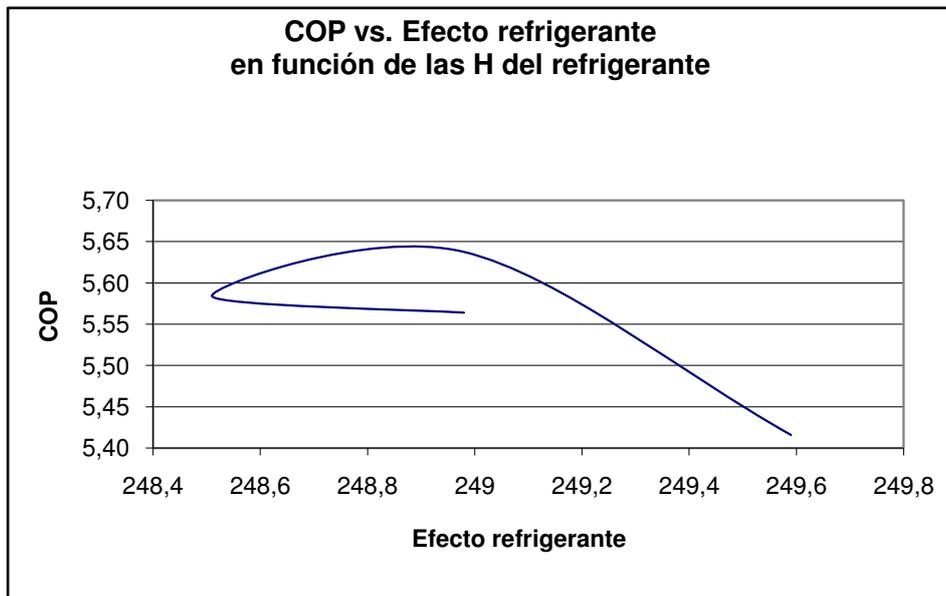


Figura 4. 2 COP vs. Efecto refrigerante (2)

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

COP vs. Subenfriamiento

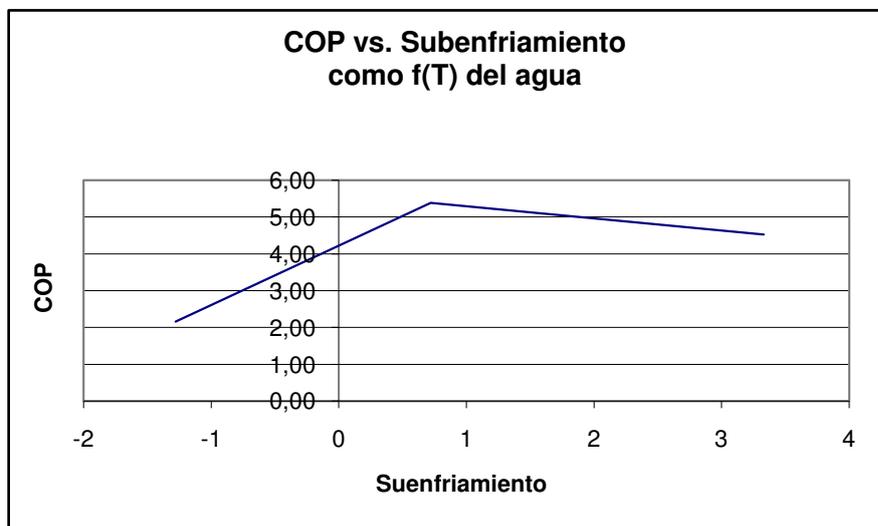


Figura 4. 3 COP vs Subenfriamiento (1)

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

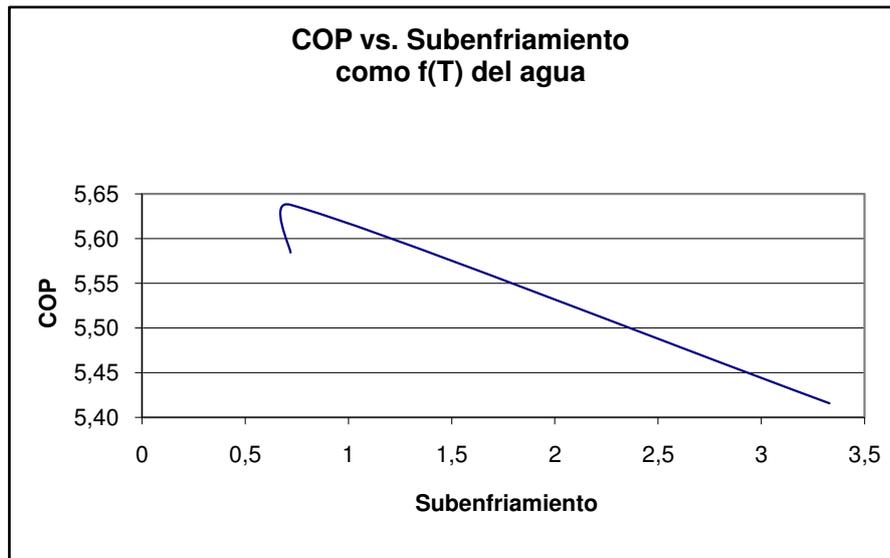


Figura 4. 4 COP vs. Subenfriamiento (2)

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

COP vs. Sobrecalentamiento

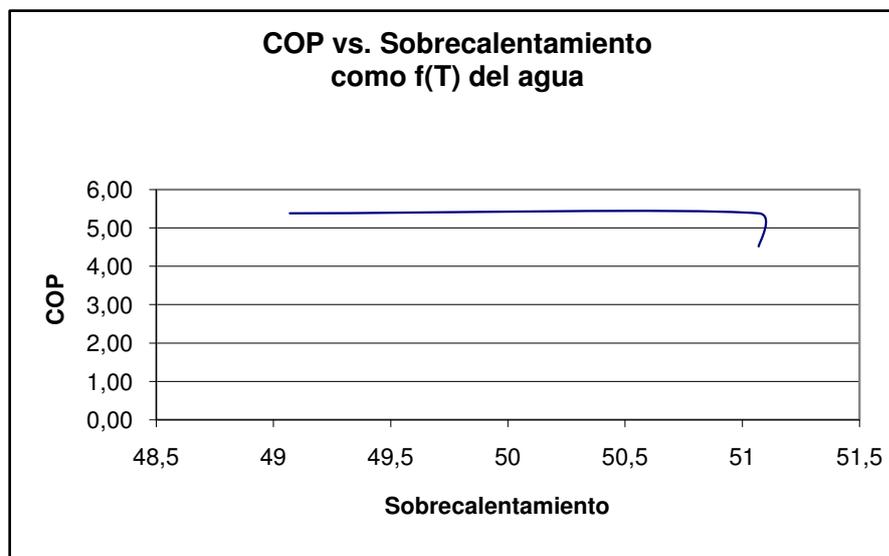


Figura 4. 5 COP vs Sobrecalentamiento

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

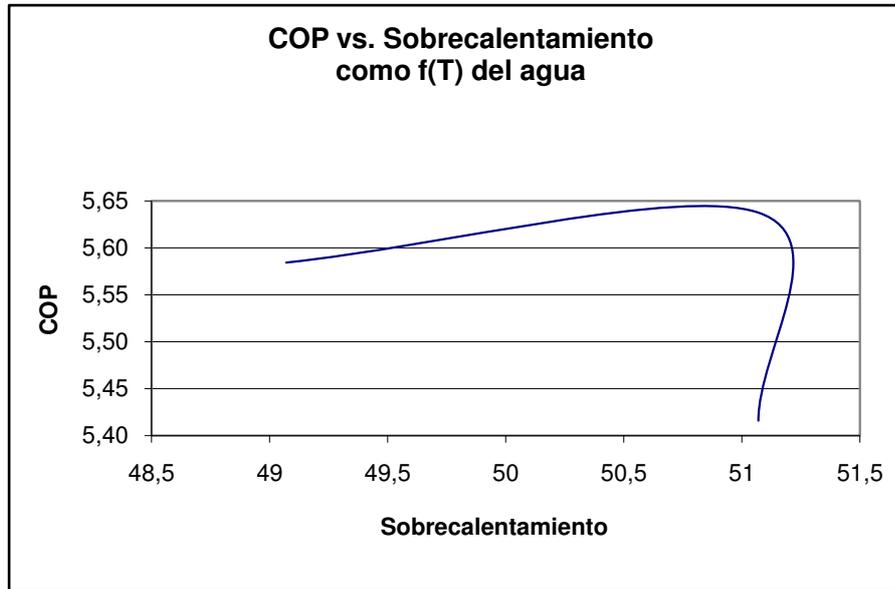


Figura 4. 6 COP vs Sobrecalentamiento

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

CAPÍTULO 5
GUÍAS DE PRÁCTICA Y MANTENIMIENTO

5.1. Guía de práctica

Para elaborar la guía de práctica del laboratorio de termodinámica debemos seguir el esquema que a continuación se detalla:

LABORATORIO DE TERMODINAMICA

PRACTICA N° 01

TEMA: Bomba de Calor Mecánica

1. Objetivo:

Realizar un balance másico y energético de un ciclo de refrigeración por compresión del vapor refrigerante, que actúa como Bomba de Calor.

2. Diagrama del Equipo.

3. Detallar las partes del equipo.

CIRCUITO DE REFRIGERACION

- Compresor: es de ½ hp, totalmente hermético.

- Refrigerante: R134a, no tóxico e incombustible.
- Termómetros de mercurio: 4
- Un medidor del flujo del refrigerante.
- Un tubo capilar
- Sistema integrado que proporciona el consumo de energía del compresor en vatios-hora.
- Ventilador.
- Manómetros: 2

CIRCUITO DE AGUA

- Válvula manual de apertura para el agua
- Termómetros de mercurio: 3
- Dos medidores de flujo con sus respectivas válvulas reguladoras

4.- PROCEDIMIENTO

- 1.- Medir la temperatura ambiente del agua y tabular los datos.
- 2.- Energizar el equipo
- 3.- Regular la entrada de flujo a los tanques de evaporador, condensador y también regular el flujo del refrigerante, se debe realizar cada vez que se realice una práctica.
- 4.- Tabular los datos necesarios que indique la tabla.

5.- Regular los flujos de agua y refrigerante de acuerdo a la tabla y tomar los datos requeridos nuevamente.

6.- Realizar las mediciones exactas para el flujo de agua y refrigerante para cada valor de la tabla.

7.- Recopilación de valores en el cuadro de datos.

8.- Realizar un Reporte Técnico de acuerdo a las indicaciones dadas en el laboratorio

5.-TABLA DE TABULACION DE DATOS

Tabla 5. 1 Tabla de tabulación de datos para la práctica

PARAMETROS	SIMBOLOS	UNIDADES					
MEDICIONES			1	2	3	4	5
Flujo de refrigerante	CR	Kg/h					
Temp. Agua Suministrada	Ts	°C					
Temp. Agua a la salida del Evaporador	TE	°C					
Temp. Agua a la salida del Condensador	Tc	°C					
Flujo de Agua en el evaporador	CE	Kg/h					
Flujo de Agua en el condensador	Cc	Kg/h					
Presión absoluta en el evaporador	PE	KN/m2					
Presión absoluta en el condensador	Pc	KN/m2					
Temp. Del R134A a la entrada del evaporador	T1	°C					
Temp. Del R134A a la entrada del condensador	T2	°C					
Temp. Del R134A a la salida del evaporador	T3	°C					
Temp. Del R134A a la salida del evaporador	T3	°C					
Temp. Del R134a a la salida del condensador	T	°C					
Tiempo por revolución	T	s/rev					
Temperatura ambiente	Ta	°C					

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

6.- RESULTADOS

Tabla 5. 2 Tabla para la tabulación de resultados de la práctica

PARAMETROS	SIMBOLOS	UNIDADES					
Proceso			1	2	3	4	5
Potencia que consume el compresor	P	W					
Calor que pierde el R134A en el condensador	QC	W					
Calor que gana el R134A en el evaporador	QE	W					
COP	COP						

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

1.- Realizar los cálculos aplicando la segunda ley de la termodinámica en función de diferencia de temperatura H₂O.

2.- Realizar los cálculos en términos de entalpia del refrigerante incluir el ER

Tabla 5. 3 Tabla de tabulación de datos de la práctica en función de la diferencia de temperatura

PARAMETROS	SIMBOLOS	UNIDADES	UNIDADES				
			1	2	3	4	5
Proceso							
Temp. de Saturación del evaporador	Tse(-)	°C					
Temp. de Saturación del condensador	Tsc	°C					
Subenfriamiento	subfto	°C					
Sobrecalentamiento	subfto	°C					
ER							

Elaborado por: Juan Francisco Salazar, Sebastian Isch

7.- GRÁFICAS:

- Graficar COP vs Efecto Refrigerante
- Graficar COP vs Grado Sobrecalentamiento
- Graficar COP vs Grado Subenfriamiento
- Realizar la proyección del comportamiento de las graficas anteriores, mediante ajuste de curvas (utilizar Microsoft EXCEL).
- Graficar sobre el diagrama P vs h el ciclo de refrigeración

8.- PREGUNTAS

- ¿Qué es y cómo se determina el Efecto Refrigerante ER?
- ¿Cómo se calcula el cambio de temperatura en el condensador?
- ¿Cómo se calcula el cambio de temperatura en el evaporador?
- ¿Por qué usamos el refrigerante R134a en la bomba de transferencia de calor?

5.2. Manual de especificaciones

Detalle de cada uno de los componentes que integran la bomba de transferencia de calor

El compresor es de $\frac{1}{2}$ hp de potencia debido a que es ideal para realizar trabajos en equipos pequeños y didácticos y verificar el objetivo de absorber calor.

Cañerías de $\frac{3}{8}$ está indicado por el fabricante en el compresor y es un requerimiento para su función.

Cañería de $\frac{1}{2}$ está indicado por el fabricante en el compresor y es un requerimiento para su función.

Rotámetro para H₂O está diseñado para calcular el caudal que va a pasar en Litros x Minutos, el es de 4 Litros x minutos y una apreciación de 0.5 Litros x minutos.

Rotámetro para R134a está diseñado para calcular el caudal de refrigerante que va a circular por el sistema, el rango es de 0 a 10 Litros por minutos y la apreciación de 0.05 Litros x Minutos.

Presostato utilizado en el sistema es en base a la presión del compresor, ya que sirve para cortar la corriente del sistema.

Medidas son de 0.2 a 7.5 bar, diferencial de 0.7 a 4 bar, se selecciona en 5 bar para el corte del sistema y en 1 como diferencial de presión.

La relación de 5 bar sirve para que el sistema no exceda su capacidad de trabajo de igual manera se tiene ± 1 psi se prende el sistema por seguridad del mismo ya que no son igual a los termostatos, son elementos de referencia y seguridad.

Fibra de vidrio se usa como aislante para que no exista corrosión y mala apariencia del equipo y de fácil trabajo.

Vatímetro se lo usa para comprobar la cantidad de energía que consume la bomba de transferencia de calor durante el proceso de trabajo.

Tubo capilar es un sistema que se asemeja a una válvula de expansión, el cual da un flujo constante en el sistema, diferente al sistema que funciona la válvula de expansión la cual se puede manipular.

Switch electrónico diseñado para encender y apagar el equipo, tomando la conexión principal del ventilador y del compresor.

Tubería de desagüe componente para eliminar el agua del condensador y del evaporador.

Tubería de entrada de agua al sistema es de ½.

Llave de paso de ½ para el ingreso del refrigerante al sistema de la bomba.

Filtro de sílice o deshidratador es un elemento filtrante que consta de una malla grande con perforación en el centro tiene sílica gel y en la salida tiene una malla con agujeros pequeños, lo que sirve para eliminar las impurezas del refrigerante por partes por 100000.

Ventilador de 10w. Este elemento sirve para mantener la temperatura adecuada en el compresor de 70° a 80° C.

5.3. Manual de mantenimiento

Para el correcto funcionamiento de la Bomba de Transferencia de Calor, se debe tener muy en cuenta los siguientes puntos a seguir:

Mantenimiento Preventivo:

Debemos realizar cada seis meses consta de:

- Verificamos visualmente de todos los puntos de suelda de la cañería por donde se circula el refrigerante para que no existan fugas del mismo.
- Verificamos la presión exacta del refrigerante caso contrario realizar la debida carga.
- Realizamos un chequeo del sistema eléctrico para verificar que no existan fallas en las conexiones o se hayan desoldado las conexiones.
- Revisamos el compresor que funcione adecuada mente y sin ningún problema.
- Revisamos el ventilador que no tenga ninguna falla o alguna conexión suelta para que no existan anomalías en el sistema.
- Verificamos que las válvulas de apertura del sistema estén de fácil manipulación.
- Chequeamos los tanques que no existan fugas de agua y deterioro en la apariencia.
- Comprobamos que los manómetros estén en buen funcionamiento.
- Revisamos los rotámetros para comprobar su óptimo rendimiento.
- Comprobamos que el filtro de sílice este en buen estado.
- Observamos que el vatímetro este funcionando al conectar la energía eléctrica.

- Realizamos una limpieza de la mesa de soporte para su mejor apariencia.

Mantenimiento Correctivo:

Debemos realizar este tipo de mantenimiento de acuerdo a las fallas que se presenten, siempre y cuando no se hayan realizado correctamente y en el tiempo estimado los pasos dispuestos en el mantenimiento preventivo que detallamos para corregir:

- Cambiamos de refrigerante cada año para que no exista un mal funcionamiento.
- Revisamos que no tenga fugas en el sistema.
- Cambiamos cada 6 meses el filtro de sílice para mantener limpio el sistema.
- Revisamos el funcionamiento del compresor cada 6 meses.
- Si es necesario realizar una calibración de los manómetros cada 6 meses.
- Realizamos limpieza de los tanques de evaporación y condensación para mantenerlos en buen estado.
- Realizamos un retoque cada año de la pintura de apariencia de la bomba.

CONCLUSIONES

- Tomando en cuenta los grandes problemas actuales de contaminación y generación de energía, la bomba de calor como sistema de calefacción y refrigeración, es una opción muy importante gracias a su alta eficiencia, obteniendo bajos consumos energéticos y de acuerdo a la generación eléctrica del medio, muy pocas emisiones contaminantes. Basado en esto, la rentabilidad de la inversión puede llegar a ser muy alta con respecto a otros sistemas. Gracias a los distintos medios de los cuáles las bombas pueden extraer energía, se las puede utilizar en cualquier lugar que necesite calefacción o refrigeración. Gozan de una larga vida útil y requieren de poco mantenimiento, siendo éste de costo muy bajo.
- El equipo construido es de gran ayuda para las prácticas de estudios, gracias a tener un tamaño muy manejable, un funcionamiento realmente simple y la posibilidad de recolectar datos en diversos modos de funcionamiento de acuerdo a los recursos y necesidades de uso.
- Con la construcción de la bomba de transferencia de calor vamos a llegar más profundamente al conocimiento en la práctica ya que este va a permitir una mejor comprensión en el estudio de la materia.

- Las ventajas que obtendremos con la construcción de la bomba de transferencia de calor serán mayor compresión del comportamiento del refrigerante y el agua en un sistema de aire acondicionado, el mejor entendimiento de la transformación de la temperatura y su uso.

RECOMENDACIONES

- Para realizar las prácticas en la materia de termodinámicas, en este equipo se debe tener muy claro la manera cómo van a funcionar sus diferentes componentes.
- Antes de empezar con la práctica de cálculo de las diferentes presiones del sistema debemos contar con las herramientas completas y adecuadas así como también de las protecciones o seguridades necesarias del operario.
- Realizar los mantenimientos al equipo para que tenga mayor tiempo de vida útil y sea aprovechado de una manera positiva por los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz de la UIDE.
- Se debe profundizar a los estudiantes sobre estos temas ya que es muy importante para su vida profesional debido a que este tipo de sistemas aclarara la teoría impartida en el salón de clases.
- Para sacar más provecho de la bomba de transferencia de calor podemos realizar prácticas en AutoCad para simular la construcción y el funcionamiento para una mejor comprensión.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, José, (1998), *Tratado práctico de refrigeración automática*, Barcelona, Editorial Marcombo, S.A.
- Ball, David, (2004), *Fisicoquímica*, México, Editorial Thomson Learning, S.A.
- Crespo, Santiago, (2010), *Materiales de construcción para edificación y obra civil*, España, Editorial Club Universitario.
- Gil, Hermógenes, (2008), *Manual del Automóvil Reparación y Mantenimiento*, Madrid, Editorial Cultural S.A.
- Gutiérrez, Felipe, (2010), *Sistemas de aeronaves de turbina Tomo III*, España, Editorial Club Universitario.
- Ibáñez, J.; Martín, E.; Zamarro, J., (1989), *Física, curso de orientación universitaria*, Murcia, Ediciones Universidad de Murcia.
- Irving, Granet,(1988), *Termodinámica*, México, Pretice Hall, 1988.
- Jose, Segura, Clavell, (1990), *Termodinámica Técnica*. Barcelona, Editorial Reverté.
- Jutglar, Luis y Galán, Maribel, (2012), *Termotecnia*, Barcelona, Editorial Marcombo, S.A.
- Lévy, Élie, (2008), *Diccionario Akal de Física*, Madrid, Ediciones Akal, S.A.
- López, Ibeth, (2009), Tesis: *Implementación de una red rs-485 para un sistema de relés de medición, protección y control con protocolo*

IEC 60870-5-103 para supervisión en la subestación San Rafael de la empresa eléctrica Provincial Cotopaxi s.a, Latacunga, ESPE.

- Mark, W., Zemansky, Richard, H., Dittman, (1988), *Calor y Termodinámica*, México, Mc Graw Hill.
- Méndez, Miguel, (2010), *Automatización de una línea de trefilado de cobre*, Cataluña, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Moran, Michael y Shapiro, Howard, *Fundamentos de termodinámica técnica*, Segunda Edición, Barcelona, Editorial Reverté, S.A.
- Müller, Erick,(2002), *Termodinámica Básica*, Segunda Edición, Sevilla, Publidisa, S.A.
- Potter, Merle y Wiggert, David, *Mecánica de Fluidos*, tercera edición, México, Thomson Learning, S.A.
- Rapin, P y Jacquard, P. (1997), *Instalaciones frigoríficas*, Barcelona, Marcombo, S.A.
- Rolle, Kurt, (2006), *Termodinámica*, Sexta Edición, Mexico, D.F., Pearson Educación.
- Valenzuela, Cristóbal, (1995), *Química General, Introducción a la Química Teórica*, Salamanca, Ediciones Universidad de Salamanca.
- Whitman, William y Johnson, William, (2000), *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*, Madrid, Editorial Paraninfo.
- Yanus, A., Cengel, Michael, A., Boles,(2003), *Termodinámica*. México, Editorial Mc Graw Hill.

- Zamora, Manuel, (1998), *Termo I, Un estudio de los sistemas termodinámicos*, Sevilla, Editorial Secretariado de Publicaciones Universidad de Sevilla.
- Beltrán, Rafael, (2008), *Termodinámica, Conversión Térmica de Energía*, Bogotá, Ediciones Uniandes.
- Pita, Edward, (2006), *Principios y Sistemas de Refrigeración*, México, Editorial Limusa S.A.

ANEXOS

- BOMBA DE TRANSFERENCIA DE CALOR
- MEDIDAS GENERALES
- VISTA EXPLOSIONADA
- BANCADA
- PLANCHA AGUJERADA
- BASE 2
- BASE PRINCIPAL
- MEDIDAS GENERALES DEL FILTRO
- FLUJOMETRO
- VISTA GENERAL MEDIDOR
- VISTA MOTOR ELECTRICOS
- MOTOR AC2
- MOTOR DE REFRIGERADORA
- VISTA ELEMENTOS DE MEDICION
- MANOMETRO
- PRESOSTATO
- INTERCAMBIADOR
- TANQUE
- ESPIRAL
- CHAQUETA
- ACOPLER
- NEPLOS
- TUBERIA 1
- TUBERIA 2
- TUBERIA 3
- TUBERIA 4
- TUBERIA 5
- SOPORTE TERM.
- MANGUERA

ANALISIS DE COSTOS

PRESUPUESTO DE INVERSION

DESCRIPCIÓN:

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Refrigerante

Filtro deshidratador

MAQUINARIA Y EQUIPO

Compresor

Rotámetros

Vatímetro

Motor y ventilador

Manómetros

Tanque de fibra de vidrio y acero

Apoyo técnico profesional

Pies de tuberías de 1/2 y 3/8

Preóstatos de baja y alta

Válvula de cierre

MATERIAL DE APOYO A CONSTRUCCIÓN

Mesa de metal

Gasolina, luz y agua

Gastos Organización

TOTAL INVERSION FIJA

VALOR US\$	VIDA UTIL AÑOS	VALOR DEPRECIACION ANUAL
52,00	3	17,33
40,00		13,33
12,00		4,00
1.723,41	10	172,34
148,73		14,87
389,01		38,90
150,00		15,00
11,87		1,19
11,80		1,18
80,00		8,00
750,00		75,00
46,00		4,60
108,00		10,80
28,00		2,80
210,00	10	21,00
70,00		7,00
140,00		14,00
300,00		0,00
2.285,41		210,67