



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGÓN"**

**"DESARROLLO DE UN MANUAL DE PRACTICAS
PARA EL LABORATORIO OPTATIVO DE
TERMODINAMICA APLICADA"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
JUAN CRUZ ROSALES ACOSTA

ASESOR: ING ALEJANDRO RODRÍGUEZ LORENZANA



SAN JUAN DE ARAGÓN EDO. DE MEXICO DEL 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA NACIONAL
DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN, U. N. A. M.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN

JUAN CRUZ ROSALES ACOSTA
Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:
"DESARROLLO DE UN MANUAL DE PRACTICAS PARA EL LABORATORIO OPTATIVO DE
TERMODINAMICA APLICADA"


ASESOR: Ing. ALEJANDRO RODRIGUEZ LORENZANA

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 23 de marzo de 2004.
LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ




C p Secretaria Académica
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/csm



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA IT
MEXICO

Recibido
21 de abril de 2004

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

OFICIO: ENAR/JAME/0313/2004.

ASUNTO: Sínodo

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
SECRETARIO ACADÉMICO
P R E S E N T E

Por este conducto me permito relacionar los nombres de los Profesores que sugiero integren el Sínodo del Examen Profesional del alumno: **JUAN CRUZ ROSALES ACOSTA**, con Número de Cuenta: **08820205-3**, con el tema de tesis: **"DESARROLLO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO OPTATIVO DE TERMODINÁMICA APLICADA"**;

PRESIDENTE:	ING. NOÉ GONZÁLEZ ROSAS	DICIEMBRE	82
VOCA:	ING. JOSÉ MARIANO SANTANA COLÍN	MARZO	86
SECRETARIO	ING. JAVIER NAVA PÉREZ	NOVIEMBRE	90
SUPLENTE:	ING. RODOLFO ZARAGOZA BUCHAÍN	NOVIEMBRE	90
SUPLENTE:	ING. ALEJANDRO RODRÍGUEZ LORENZANA	MAYO	91

Quiero subrayar que el Director de Tesis es el Ing. Alejandro Rodríguez Lorenzana, quien está incluido basándose en lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de ésta Escuela.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
 Bosques de Aragón, Estado de México, 21 de abril de 2004.
 EL JEFE DE CARRERA



[Firma manuscrita]
ING. RAÚL BARRÓN VERA

C.c.p. - Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez.- Jefa del Depto. de Servicios Escolares.
 C.c.p.- Ing. Alejandro Rodríguez Lorenzana.- Asesor de Tesis.
 C.c.p.- Alumno.
 RBVamce.

DEPARTAMENTO DE
SERVICIOS ESCOLARES
RECIBIDO
2004
ABR 21

DEDICATORIA

EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS QUIERO DEDICARLO A MIS PADRES *LUIS ROSALES HERRERA Y CARLOTA ACOSTA GARCÍA*, Y HERMANOS QUIENES CON SU APOYO INCANSABLE FORTALECIERON EN MI EL DESEO Y ENTUSIASMO POR TENER UNA PREPARACIÓN PROFESIONAL.

A MI ESPOSA *PATRICIA REYES E HIJA STEPHANY ROSALES REYES* POR SER PARTE DE MI VIDA.

A MIS PROFESORES Y LA UNAM QUE ME BRINDARON UNA EXCELENTE PREPARACIÓN PROFESIONAL PARA ENFRENTAR LOS RETOS EN EL ÁMBITO LABORAL.

JUAN CRUZ ROSALES ACOSTA

ÍNDICE

OBJETIVOS 1

JUSTIFICACIÓN 2

INTRODUCCIÓN 3

CAPITULO 1 “ANÁLISIS DEL PLAN DE ESTUDIOS DE LA MATERIA DE
TERMODINÁMICA APLICADA” (4)

- 1.1 INTRODUCCIÓN DE LA CRITICA (5)
- 1.2 CRITICA AL TEMARIO (5)
 - 1.2.1. CONTENIDO GENERAL DEL TEMA /5)
 - 1.2.2. CONTENIDO PARTICULAR DE LOS TEMAS DEL PROGRAMA (6)
- 1.3. UBICACIÓN DE LA MATERIA “TERMODINÁMICA APLICADA”
DENTRO DEL ÁREA DE LA INGENIERÍA TÉRMICA (8).
- 1.4. UBICACIÓN DE LA MATERIA “TERMODINÁMICA APLICADA”
DENTRO DEL ÁREA DE LA INGENIERÍA MECÁNICA-ELÉCTRICA (8)
- 1.5. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA MATERIA “TERMODINÁMICA
APLICADA” (8)
- 1.6. OBJETIVO GENERAL DE LA MATERIA “TERMODINÁMICA
APLICADA” (5)
- 1.7. LABORATORIO PROPUESTO (9)

CAPITULO 2 ANTECEDENTES TERMODINÁMICOS” (10)

- 2.1. ENERGÍA Y SU MANIFESTACIÓN. (11)
- 2.2. CALOR (13)
- 2.3. FRIÓ (13)
- 2.4. CALOR ESPECIFICO (14)
- 2.5. CALOR LATENTE
- 2.6. CALOR SENSIBLE
- 2.7. CALOR LATENTE DE FUSIÓN (16)
- 2.8. CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN (16)
- 2.9. CALOR LATENTE DE SUBLIMACIÓN (17)
- 2.10. PRESIÓN ATMOSFÉRICA (18)
- 2.11. PRESIÓN MANOMÉTRICA (19)
- 2.12. PRESIÓN ABSOLUTA (20)
- 2.13. PRIMERA LEY DE TERMODINÁMICA (21)
- 2.14. SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA (21)
 - 2.14.1 CONDUCCIÓN (21)
 - 2.14.2 CONVECCIÓN (22)
 - 2.14.3 RADIACIÓN (22)

CAPITULO 3 “ANÁLISIS GENERAL DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN EL LABORATORIO DE TÉRMICA Y FLUIDOS” (22)

- 3.1. BOMBA DE ¼ DE H.P. (24)**
- 3.2. BOMBA DE CALOR (25)**
- 3.2.1. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR (25)**
- 3.3. PLANTA DE VAPOR “GILKES” (27)**
- 3.3.1. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE VAPOR /27)**
- 3.3.2. CALORÍMETRO DE ESTRANGULACIÓN (29)**
- 3.4. UNIDAD DE DEMOSTRACIÓN DE REFRIGERACIÓN “MILTON” (30)**
- 3.4.1. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE REFRIGERACIÓN (30)**
- 3.5. UNIDAD DE DEMOSTRACIÓN DE REFRIGERACIÓN CON INTERCAMBIADOR DE CALOR “MILTON” (32)**
- 3.5.1. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE REFRIGERACIÓN (32)**
- 3.6. UNIDAD DE DEMOSTRACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO “HILTON” (36)**
- 3.6.1. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE DEMOSTRACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO (36)**

CAPITULO 4 “PRACTICAS PROPUESTAS”

- PRACTICA No. 1 “ANÁLISIS DE LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA (40)**
- PRACTICA No. 2 “CICLO INVERSO DE CARNOT” (58)**
- PRACTICA No. 3 “MANEJO DE TABLAS DE VAPOR DE AGUA” (70)**
- PRACTICA No. 4 “EFICIENCIA DEL CICLO RANKINE” (85)**
- PRACTICA No. 5 “ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL CICLO RANKING” (101)**
- PRACTICA No. 6 “REFRIGERACIÓN” (119)**
- PRACTICA No. 7 “BALANCES DE ENERGÍA DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN” (126)**
- PRACTICA No. 8 “PROCESO PSICROMÉTRICOS DEL AIRE” (154)**
- PRACTICA No. 9 “PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CICLO RANKING, CICLO BRAYTON O CICLO DE REFRIGERACIÓN” (171)**

BIBLIOGRAFÍA (177)

TITULO DE LA TESIS.

DESARROLLO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO
OPTATIVO DE TERMODINÁMICA APLICADA.

OBJETIVO GENERAL.

DESARROLLAR UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA MATERIA DE
TERMODINÁMICA APLICADA DENTRO DEL LABORATORIO DE TÉRMICA Y
FLUIDOS DE LA UNAM-ENEP ARAGÓN.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- A) Hacer una crítica de los planes de estudio de la materia de Termodinámica Aplicada para ver la importancia de implementar un laboratorio de esta asignatura.
- B) Hacer una investigación de los equipos con que cuenta el laboratorio de Térmica y Fluidos para la realización de prácticas.
- C) Investigar el funcionamiento de cada equipo y las condiciones en que se encuentran.
- D) Investigar que prácticas se pueden realizar en dichos equipos.
- E) Desarrollar las prácticas que se puedan realizar de acuerdo al temario de la asignatura Termodinámica Aplicada.

JUSTIFICACIÓN.

La materia de Termodinámica Aplicada, es como su nombre lo indica, una aplicación real de lo que se ha aprendido hasta el momento en la Termodinámica. Cuando curse la materia de Termodinámica se me obligo a tomar un laboratorio de donde afortunadamente pude obtener buenas calificaciones y un buen rendimiento.

Tal vez el profesor que se me asigno era muy bueno pero muy exigente, de tal manera que todo lo que alcance a comprender en la teoría, lo pude complementar en el laboratorio.

Pero desafortunadamente cuando curse la materia de Termodinámica Aplicada, no tuve un laboratorio, a mi se me hizo raro ya que esa materia se enfoca al análisis y estudio de los ciclos termodinámicos aplicados en los procesos de producción de energía.

Al analizar el temario pude percatarme de que si existe un laboratorio pero no es obligatorio, por lo que cae en una contradicción ya que no es posible tener una materia donde están todos los elementos para que se haga práctica y no exista un laboratorio obligatorio.

Hasta aquí cabría preguntarse ¿ Por que no es obligatorio dicho laboratorio, si existe equipo dentro del mismo, así como de profesores que son capaces de impartir estas prácticas ?

Por lo que en este trabajo pretendo recabar toda la información necesaria y acumulada dentro del laboratorio de Térmica y Fluidos para hacer una propuesta de prácticas y que en un futuro no muy lejano se modifique el reglamento para hacer este laboratorio de carácter obligatorio y así cumplir con una mayor excelencia académica.

INTRODUCCIÓN.

En el capítulo número uno hago una crítica muy realista sobre la materia de Termodinámica Aplicada, ya que considero que es necesario que se realice dicha crítica, por que ¿ como voy a hacer una propuesta de prácticas ? si no se el contenido real y general del temario.

Por lo tanto, considero vital este capítulo para poder plantear de acuerdo a los objetivos del curso un buen manual de prácticas.

En el segundo capítulo hago una remembranza de todos los conceptos básicos de termodinámica que aquí se aplican, vale la pena recordar que esta materia es la continuación de la asignatura llamada Termodinámica por lo que no es necesario hacer una demostración matemática de la forma en que se demuestran todas las fórmulas básicas. Por lo tanto, también me enfocaré solo a los conceptos y su aplicación.

En el tercer capítulo, tratare de observar con cuantos equipos cuenta el laboratorio de Térmica y Fluidos y cuales son los que están funcionando para hacer la propuesta de prácticas.

Una vez que ya se cuantos equipos están en óptimas condiciones, procederé a recopilar toda la información posible para realizar las siguientes prácticas.

"ANÁLISIS DE LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA"

"CICLO INVERSO DE CARNOT"

"MANEJO DE TABLAS DE VAPOR DE AGUA"

"EFICIENCIA DEL CICLO RANKINE"

"ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL CICLO RANKINE"

"REFRIGERACION"

"BALANCES DE ENERGÍA DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN"

"PROCESOS PSICROMÉTRICOS DEL AIRE"

"PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CICLO RANKINE, CICLO BRAYTON O CICLO DE REFRIGERACIÓN"

Tal vez el proyecto final podría parecer muy ambicioso, pero e observado, junto con mi asesor que han entregado muy buenos prototipos y que han funcionado bien, tal vez falte algo de instrumentación, pero se pretende que el costo sea el mínimo, por lo que se recomienda el uso de material proveniente de las "chácharas".

DESARROLLO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO OPTATIVO DE TERMODINÁMICA
APLICADA.

CAPITULO 1.

"ANÁLISIS DEL PLAN DE ESTUDIOS DE LA MATERIA DE TERMODINÁMICA APLICADA"

Para el desarrollo de este capítulo, agradezco la guía de mi asesor, ya que me base mucho en la crítica que el desarrollo cuando hizo su concurso de oposición de esta materia, del cual el fue ganador.

1.1 Introducción de la crítica.

Con el nombre de Termodinámica Aplicada se registran los elementos básicos de la termodinámica y su aplicación dentro de la ingeniería térmica, que permiten al estudiante iniciarse en el estudio de:

- Ofrecer un panorama acerca de los sistemas de producción y consumo de energía a nivel nacional.
- Comprender la aplicación del empleo de la herramienta matemática en la obtención de información acerca del comportamiento de una sustancia.
- Analizar los diferentes sistemas de producción y consumo de energía.
- Analizar el comportamiento termodinámico de mezclas de sustancias no reactivas.
- Analizar el comportamiento termodinámico de mezclas de sustancias reactivas.

1.2 Crítica al temario.

A continuación presento una crítica del contenido general del programa y posteriormente analizaré cada uno de los temas que integran dicho programa.

1.2.1 Contenido general del tema.

En general considero que el programa de termodinámica aplicada es homogéneo, ya que contiene temas bien interrelacionados cuyo contenido es importante y permiten ubicar al estudiante en el ámbito de la ingeniería térmica en forma sistemática y cronológica. Sin embargo, el problema principal es el hecho de que no se le asigne un laboratorio de carácter obligatorio para la realización de prácticas donde el alumno y el docente interactúen para la mejor comprensión del programa y crear un conocimiento significativo.

1.2.2 Contenido particular de los temas del programa.

Tema No.1. INTRODUCCIÓN.

Todo el contenido de este tema es importante por que se analizan los factores que involucran a los sistemas de producción y consumo de energía.

Es necesario concientizar al alumno de la importancia que tiene el ahorro de energía en la industria para no caer en un déficit energético y depender de otros países del consumo energético. Además de la importancia que tiene el ingeniero mecánico para optimizar los recursos naturales y ahorrar energía.

Por lo tanto considero que todo lo que se expone está correcto. Pero solo se cuentan con dos horas programadas para desarrollar dicho tema. Por lo que se me hace incongruente este tiempo programado, ya que si se va muy rápido, el alumno no entiende por completo el tema. Además que se presta para desarrollar actividades grupales como:

- Exposición grupal del tema.
- Investigación vía internet y de campo.
- Simulaciones de cómo afectaría una crisis energética al país.

Tema No.2. TERMODINÁMICA DE LA SUSTANCIA.

En este tema se estudia el empleo de la herramienta matemática en la obtención de información acerca del comportamiento de la sustancia.

Se involucra la primera y segunda ley de la termodinámica para llegar a las relaciones de Maxwell y otras importantes relaciones. A mi criterio personal sería bueno que se le de realce al tema de disponibilidad por que con es un tema de actualidad debido a los criterios de ahorro de energía que se manejan dentro de la industria.

Por lo que considero que un buen ingeniero térmico debe de saber la cantidad de exergía que tiene en sus diseños para ver si son o no viables desde el punto de vista energético.

Tal vez el único problema que le encuentro es que no se tiene el tiempo para el desarrollo de tablas de propiedades termodinámicas, además de

que ya existe hasta un software cortesía del libro de termodinámica de Cengel y Boles. Ed. Mc. Graw Hill.

Tema No.3. SISTEMAS TERMODINÁMICOS.

Este tema representa el objetivo central del curso, se ve el estudio de las diferentes formas convencionales de transformación de la energía térmica.

En esta parte, es donde se tiene contemplado realizar una serie de prácticas para que el alumno tenga un mejor conocimiento ya que existe equipo y personal en el laboratorio para estas actividades. También se propone que al alumno, el desarrollo de un proyecto real para que relacione la teoría y la práctica y egresen excelentes ingenieros mecánicos de la UNAM ENEP ARAGÓN.

Tal vez el único problema que le encuentro es que no se tiene el tiempo para el desarrollo de las prácticas por lo que es necesario tomar una buena cantidad de horas extras para la realización de éstas.

Tema No.4. MEZCLAS NO REACTIVAS.

Se divide en dos partes; la primera parte es analítica y la segunda es gráfica. En la primera se establecen las ecuaciones básicas que permiten la determinación de las propiedades de las mezclas en función de sus propiedades de los componentes y las cantidades de éstos dentro de la mezcla.

La segunda parte involucra el uso de la carta psicrométrica para ver las propiedades del aire. Es necesario hacer ver al alumno que esta parte tiene grandes aplicaciones en todos los sistemas de aire acondicionado dentro de la industria. Además de que existe una práctica de laboratorio para visualizar esta aplicación.

Tema No.5. MEZCLAS REACTIVAS.

Este tema se alcanza a ver en la materia de Química y en la materia de Máquinas de Desplazamiento Positivo, su principal objetivo es analizar el fenómeno de la combustión. Desafortunadamente no existe equipo funcional en el laboratorio para hacer una práctica de este tema, pero sería bueno proponer algo para la realización de una práctica.

1.3 Ubicación de la materia "Termodinámica Aplicada" dentro del área de la ingeniería térmica.

Esta materia es importante dentro del área de la ingeniería térmica por que guarda una relación directa con todas las materias del área mecánica, ya que en todas se hacen análisis térmicos y deducción de fórmulas básicas a partir de la primera y segunda ley de la termodinámica.

1.4 Ubicación de la materia "Termodinámica Aplicada" dentro del área de la ingeniería mecánica-eléctrica.

Esta materia esta ubicada en el cuarto semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica teniendo 8 créditos con el carácter de obligatoria para todos los alumnos que van para el área mecánica.

Esta materia es base para el buen desempeño del alumno en materias afines que se ven semestres mas adelante en su trayectoria como alumno de ingeniería. Tiene como materia antecedente: Termodinámica, y consecuentes: Turbo maquinaria, Máquinas de Desplazamiento Positivo e Ingeniería de Procesos Industriales.

1.5 Aspecto importante de la materia "Termodinámica Aplicada" .

La asignatura "Termodinámica Aplicada", es importante en la formación del estudiante y la buena asimilación de los conceptos que se manejan en el programa serán un apoyo fundamental en el desarrollo de su vida profesional.

1.6 Objetivo general de la materia "Termodinámica Aplicada" .

Introducir al alumno de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, área de la ingeniería mecánica, al estudio de los principales ciclos y procesos termodinámicos generalmente utilizados en la industria.

Aquí podemos observar por que el tercer tema por su contenido es la esencia de esta materia ya que tiene una relación directa con el objetivo general que se pretende desarrollar en este curso.

También podemos observar que se cuenta en el laboratorio de térmica y fluidos con equipo y material para que se desarrolle un laboratorio de carácter obligatorio alterno a la materia.

1.7 Laboratorio propuesto.

En forma general propongo las siguientes prácticas. Aclarando que es solo un bosquejo de lo que considero se debe de llevar en el laboratorio de térmica y fluidos, para la materia de Termodinámica Aplicada.

PRÁCTICA No.	TITULO DE LA PRÁCTICA.
1	"ANÁLISIS DE LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA"
2	"CICLO INVERSO DE CARNOT"
3	"MANEJO DE TABLAS DE VAPOR DE AGUA"
4	"EFICIENCIA DEL CICLO RANKINE"
5	"ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL CICLO RANKINE"
6	"REFRIGERACION"
7	"BALANCES DE ENERGÍA DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN"
8	PROCESOS PSICROMÉTRICOS DEL AIRE"
9	"PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CICLO RANKINE, CICLO BRAYTON O CICLO DE REFRIGERACIÓN"

CAPITULO 2.

"ANTECEDENTES TERMODINÁMICOS"

2.1 Energía y su manifestación.

Se admite que las moléculas de los cuerpos se están moviendo continua y desordenadamente en todas direcciones, y aunque, en un instante dado las velocidades con que se mueven las moléculas de un cuerpo son distintas, el valor medio de todas esas velocidades no lo es, sino que permanece constante, a temperatura constante.

Entonces podemos deducir que el calor de un cuerpo consiste en la energía cinética del movimiento desordenado de sus moléculas y la temperatura de un cuerpo depende de la velocidad media de sus moléculas.

La idea de que el calor es una forma de energía, es relativamente moderna. Hasta mediados del siglo pasado se creía que el calor era un fluido indestructible, el calórico, que impregnaba todos los cuerpos y pasaba de unos a otros.

Al hacer el análisis del calor se descubrió que existe una transformación íntegra de trabajo en calor o viceversa, una cantidad de calor produce siempre la misma cantidad de trabajo.

Demostaron que existe una relación constante entre la cantidad de calor consumido y el trabajo obtenido o entre el trabajo empleado y el calor producido.

La palabra energía que empleamos bastante en física está estrechamente relacionada con el trabajo. Decimos que tiene energía todo aquello que es capaz de realizar un trabajo.

Los motores, los animales, las centrales eléctricas, etc. Son capaces de originar fuerzas y desplazarlas, efectuando un trabajo, son portadores de energía.

Medimos la energía de un cuerpo, por el trabajo que es capaz de realizar. Así las unidades de energía serán las mismas que las del trabajo: **Joule**.

Un motor eléctrico no funcionará si no recibe la energía eléctrica que lo pone en marcha, ni el motor de gasolina si no tiene el combustible que al quemarse en el interior le proporciona la energía necesaria. El hombre y los animales poseen la energía que le suministran los alimentos.

La energía se manifiesta de distintas formas aunque, en esencia, se trate siempre de la misma energía. Estas distintas manifestaciones de la

energía se pueden convertir en otras con equivalencias recíprocas y también en trabajo. La energía se mide en unidades de trabajo.

Estas formas bajo las cuales aparece la energía son las siguientes:

a) Energía Cinética.- Es la energía que llevan los cuerpos en su movimiento. Ejemplo: Las turbinas.

b) Energía Potencial.- Esta forma de energía no se manifiesta, sino que está almacenada en los cuerpos. La llamada energía atómica es una forma de ésta energía que está almacenada en los átomos de la materia.

c) Energía Calorífica.- Es la que se manifiesta en los cuerpos con mayor temperatura.

d) Energía Eléctrica.- Es la energía que lleva la corriente eléctrica, los rayos y los cuerpos electrizados. Se da por el movimiento de electrones de las moléculas.

e) Energía Luminosa.- Es la energía que se manifiesta por la luz que despierta al pasar de un espacio a otro.

f) Energía Sonora.- Es la energía que se emite por los cuerpos vibrantes que producen sonidos.

g) Energía Química.- Es la producida en fenómenos químicos como las combustiones y las reacciones entre las distintas materias con formación en otras nuevas. Por ejemplo cuando reacciona un combustible con el oxígeno.

h) Energía Atómica.- Las investigaciones atómicas han demostrado que algunos elementos químicos, pueden transformar parte de su masa en energía, de acuerdo con la fórmula de Einstein. La energía que se obtiene de desmaterializar un solo gramo de materia sería:

90 000 000 000 000 de Joules, o sea noventa billones de Joules, que es el equivalente a 25 millones de kilowatt-hora.

La enorme energía que se desprende de las explosiones de las bombas atómicas tiene este origen: parte de la masa de algunos elementos, como el uranio y el plutonio, que se convierte en energía.

Concluyendo, la energía se pone de manifiesto de diversas formas como puede ser la luz, el calor, el movimiento, la electricidad, las explosiones, etc.

La variación de la energía potencial de un cuerpo equivale a la energía cinética que desarrolla. Este principio no es más que la explicación parcial de otro más general, que se aplica a cualquier forma de energía presente en el universo y que se enuncia así:

“ En el universo la cantidad de energía es constante. Cuando desaparece una forma de energía, es por que se a transformado íntegramente en otras ”.

Esto da origen al postulado de “La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma en otros tipos de energía”.

2.2 Calor.

Es una forma de energía transferida en virtud de una diferencia de temperatura.

El calor existe en mayor o menor grado. Como cualquier forma de energía no puede ser creado ni destruido, aunque otra forma de energía pueda convertirse en calor y viceversa. La energía viaja en una sola dirección de un objeto o área más caliente a una más fría.

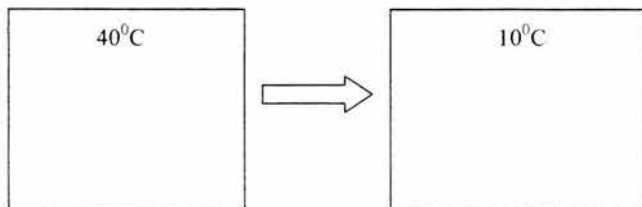


Figura 2.1. Nos muestra la dirección del calor.

2.3 Frío.

Es un término relativo que se refiere a la carencia de calor en un objeto o espacio. Algunas definiciones lo describen como la ausencia de calor, pero no hay nada conocido en el mundo hoy en día del cual el calor esté totalmente ausente. (Ningún proceso ha sido capaz de alcanzar el estado de “cero absoluto”, en el cual todo el calor ha sido removido de

un espacio u objeto). Teóricamente este punto cero, sería 459.69° bajo cero en la escala termométrica Fahrenheit, o 273.16° bajo cero en la escala termométrica Celsius.

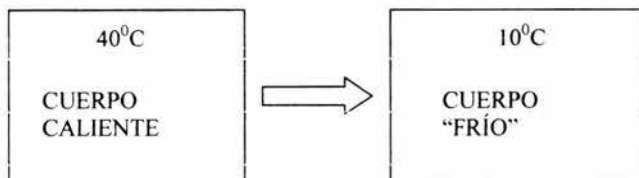


Figura 2.2. Nos muestra cual es el cuerpo "frío", respecto a otro cuerpo con una temperatura mayor.

2.4 Calor específico.

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor en BTU requerida para cambiar la temperatura de una libra de la sustancia en un grado Fahrenheit. Considerando que un BTU es la cantidad de calor necesario para incrementar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit, o para bajar la temperatura del mismo peso del agua, la misma unidad de medida sobre el termómetro.

2.5 Calor latente.

El calor latente es el que se necesita para cambiar un sólido en líquido, o un líquido en gas sin variar la temperatura de la sustancia. La palabra latente significa "oculto", o sea, que este calor requerido para cambiar el estado de una sustancia, no es percibido por los sentidos.

2.6 Calor sensible.

El calor que puede sentirse o medirse se llama calor sensible. Este es el calor que causa un cambio en la temperatura de una sustancia, pero no un cambio en el estado. La sustancia bien sea en un estado sólido, líquido o gaseoso, contiene calor sensible, en algún grado, siempre que su temperatura esté por encima del cero absoluto.

AGUA	1.00
HIELO	0.50
AIRE	0.24
VAPOR DE AGUA	0.48
ALUMINIO	0.22
BRONCE	0.09
PLOMO	0.03
HIERRO	0.10
MERCURIO	0.03
COBRE	0.09
ALCOHOL	0.60
KEROSENE	0.50
ACEITE DE OLIVA	0.47
VIDRIO	0.20
Pino	0.67
MÁRMOL	0.21

Tabla 1.1. Nos muestra los calores específicos de sustancias comunes en BTU/lb/ °F.

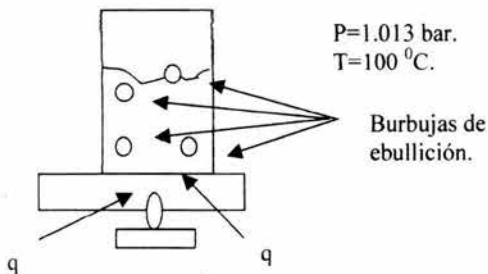


Figura 2.3. Nos muestra la manifestación del calor latente del agua en condiciones a nivel del mar.

Como ya sabemos, una sustancia puede existir en un estado sólido, líquido, gaseoso o vapor. La sustancia como un sólido contiene algún calor sensible y también cuando está en otros estados de la materia. La cantidad total de calor necesaria para traerlo en un estado sólido a un estado de vapor depende de:

Su temperatura inicial como un sólido.
La temperatura en la cual cambia de un sólido a un líquido.
La temperatura a la cual cambia de un líquido a un vapor.
Su temperatura final como un vapor.

2.7 Calor latente de fusión.

Bajo un cambio de estado, la mayoría de las sustancias tendrán un punto de fusión en el cual ellas cambiarán de un sólido a un líquido sin ningún incremento en la temperatura. En este punto, si la sustancia está en un estado líquido y el calor se retira de ella, la sustancia se solidificará sin un cambio en su temperatura. El calor envuelto en uno u otro de estos sin un cambio en su temperatura. El calor envuelto en uno u otro de estos (cambio de un sólido a un líquido, de un líquido a un sólido), sin un cambio en la temperatura se conoce como calor latente de fusión.

2.8 Calor latente de evaporación.

Para cambiar una sustancia de líquido a vapor y de vapor a líquido se requiere calor latente de evaporación. Puesto que la ebullición es sólo un proceso acelerado de evaporación, o para el proceso contrario, calor latente de condensación.

Cuando un kilo (una libra) de agua hierve o se evapora, absorbe 539 kilo-calorías (970 BTU) a una temperatura constante de 100°C (212°F) al nivel del mar; igualmente, para condensar un kilo (una libra) de vapor deben substraerse 539 kilo-calorías (970 BTU).

Debido a la gran cantidad de calor latente que interviene en la evaporación y en la condensación, la cantidad de calor puede ser muy eficiente mediante este proceso. Los mismos cambios de estado que afectan el agua se aplican también a cualquier líquido aunque a diferentes presiones y temperaturas.

La absorción de calor para cambiar un líquido a vapor y la sustracción de este calor para condensar nuevamente el vapor, es la clave para todo el proceso de la refrigeración mecánica y la transmisión del calor latente requerido es el instrumento básico de la refrigeración.

2.9 Calor latente de sublimación.

El proceso de sublimación es el cambio directo de un sólido a un vapor sin pasar por el estado líquido, que puede ocurrir en algunas sustancias. El ejemplo más común es el uso de "hielo seco" o sea, bióxido de carbono para enfriar. El mismo proceso puede ocurrir con hielo debajo de su punto de congelación, y se utiliza también en algunos procesos de congelamiento a temperaturas extremadamente bajas y altos vacíos. El calor latente de sublimación es igual a la suma del calor latente de fusión y el calor latente de evaporación.

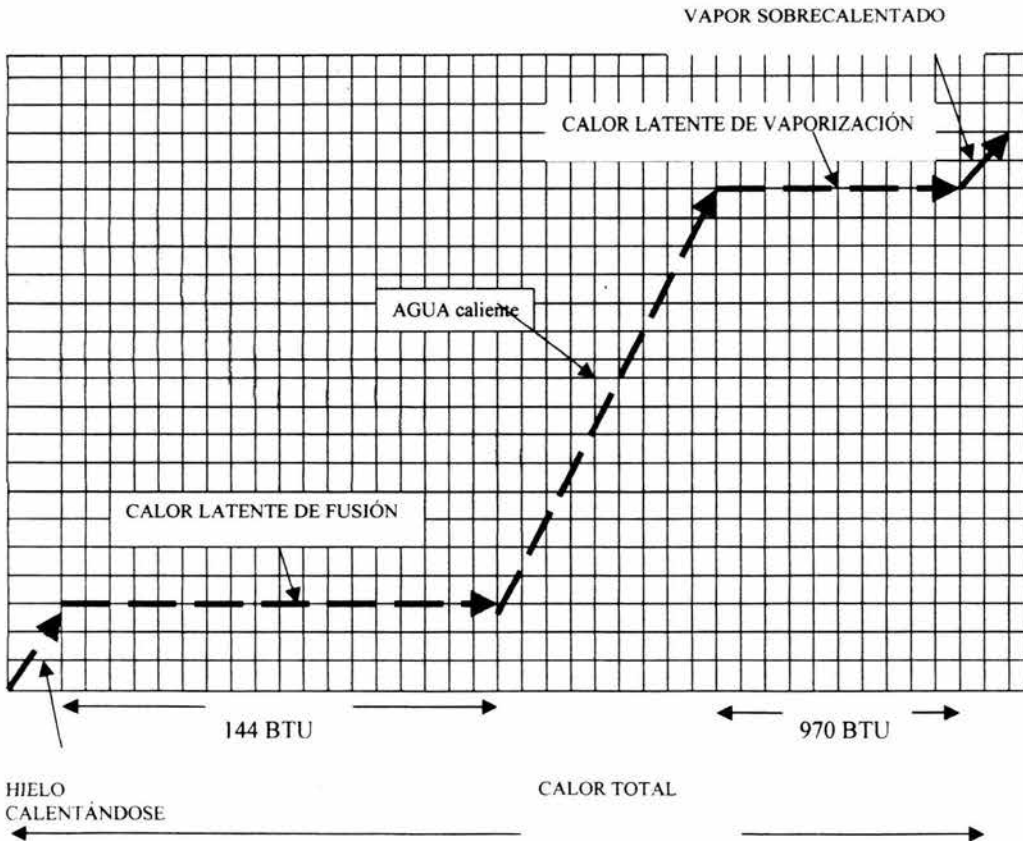


Figura 2.4. Nos muestra una carta que demuestra las relaciones entre calor sensible y latente, al fundir hielo, cambiar hielo a agua y agua a vapor.

2.10 Presión atmosférica.

La atmósfera alrededor de la tierra, que está compuesta de gases como el oxígeno y el nitrógeno, se extiende muchos kilómetros sobre la superficie. El peso de esta atmósfera sobre la tierra crea la presión atmosférica. En un punto dado, la presión atmosférica es relativamente constante excepto por pequeños cambios debidos a las diferentes condiciones atmosféricas.

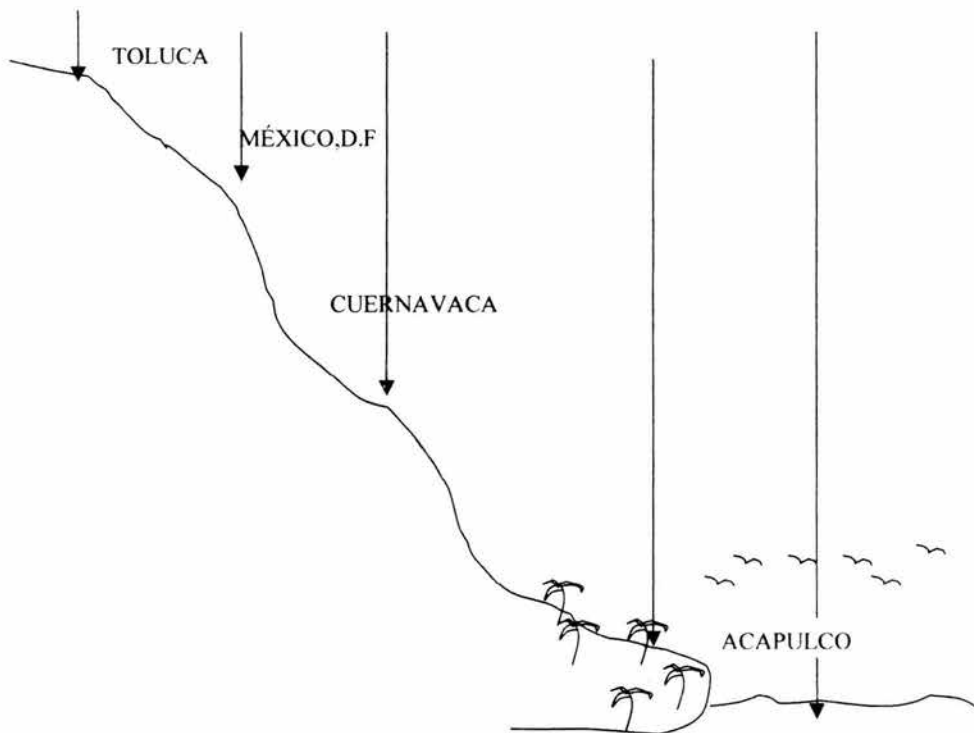


Figura 2.5. Nos muestra como a mayor altura se encuentren los cuerpos, la atmósfera ejerce un peso menor sobre los cuerpos, por lo tanto entre mayor sea la altura (Acapulco) mayor será la presión atmosférica, las fuerzas se están representando con vectores y observamos como en la Ciudad de Toluca dichas flechas son menores.

Con el objeto de estandarizar y como referencia básica para su comparación, la presión atmosférica al nivel del mar ha sido universalmente aceptada y establecida a 1.03 kilogramos por centímetro

cuadrado(14.7 libras por pulgada cuadrada), lo cual es equivalente a la presión causada por una columna de mercurio de 760 milímetros de alto(29.92 pulgadas). En alturas sobre el nivel del mar, la altitud de la capa atmosférica que existe sobre la tierra es menor y por la tanto la presión atmosférica disminuye. A 1525 metros (5,000 pies) de altura, la presión atmosférica es sólo de 0.86 kilogramo por centímetro cuadrado (12.2 libras por pulgada cuadrada).

2.11 Presión manométrica.

La presión absoluta de un sistema cerrado será siempre la presión manométrica más la presión atmosférica. Las presiones inferiores a 0 kg/cm^2 (psig) son realmente lecturas negativas en los manómetros y se llaman milímetros (pulgadas) de vacío. Un manómetro de refrigeración mixto (compound) está calibrado en el equivalente de milímetros (pulgadas) de mercurio por las lecturas negativas. Es importante recordar que la presión manométrica es siempre relativa a la presión absoluta.

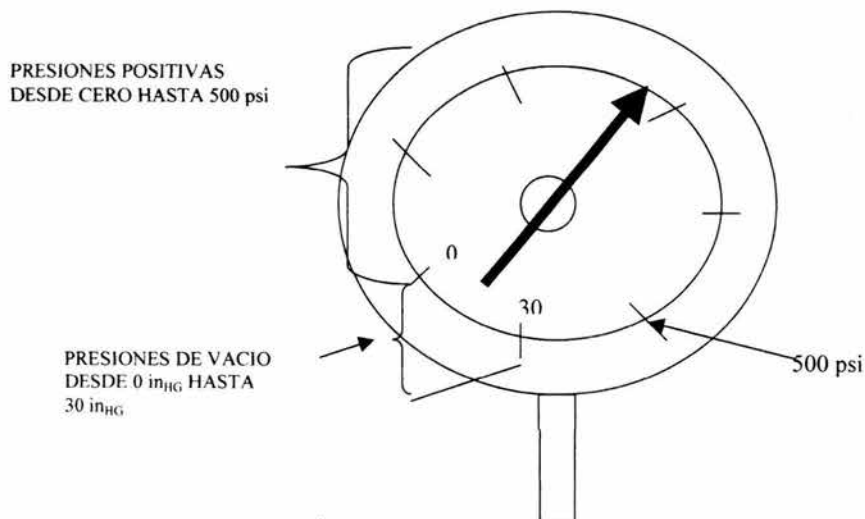


Figura 2.6. Nos muestra un manómetro compuesto que se aplica en el servicio de mantenimiento dentro de la industria de la refrigeración y aire acondicionado. Este tipo de manómetro es Bourdon de deformación elástica.

2.12 Presión absoluta.

Generalmente la presión absoluta se expresa en términos de Kg/cm^2 (lb/in^2) y se cuenta a partir del vacío perfecto en el cual no existe presión. Por lo tanto en el aire de nuestro alrededor, la presión absoluta y atmosférica son iguales.

Cuando tenemos una presión vacuométrica se mide por debajo de la presión atmosférica por lo que se le conoce como presión de vacío.

Toda presión propia de un sistema se le conoce como presión relativa, esta es tomada como punto de referencia a otro valor dado, ya que, los manómetros y vacuómetros indican la presión relativa a la presión atmosférica, en un sistema la presión relativa se refiere al vacío perfecto o presión cero, la presión relativa manométrica y vacuométrica se refieren a la diferencia entre la presión absoluta de un sistema y la presión atmosférica de la localidad. La presión referida al vacío perfecto se le da el nombre de presión absoluta y esta puede ser manométrica o vacuométrica.

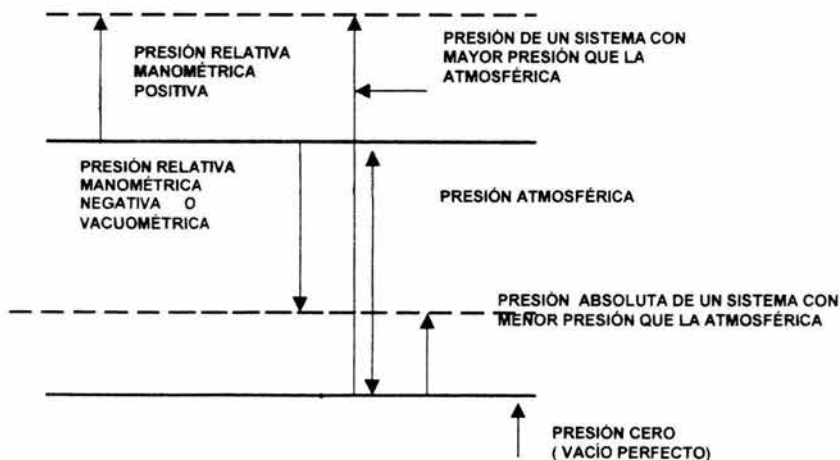


Figura 2.7. Nos muestra un la equivalencia entre presiones absolutas y relativas.

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} \pm P_{\text{rel}}$$

$$P_{\text{abs vac}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{vac}}$$

$$P_{\text{abs man}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{man}}$$

Cuando la presión en un sistema es menor que la presión atmosférica, la presión manométrica es negativa, pero se puede designar con un número positivo si se llama presión manométrica de vacío o vacuométrica.

2.13 PRIMERA LEY DE TERMODINÁMICA.

La primera ley de la termodinámica (la rama de la ciencia que trata con la acción mecánica del calor) establece que la energía no puede ser creada ni destruida. Solamente puede convertirse de una forma a otra. La energía en si misma se define como la habilidad de producir trabajo, y el calor es la forma de energía.

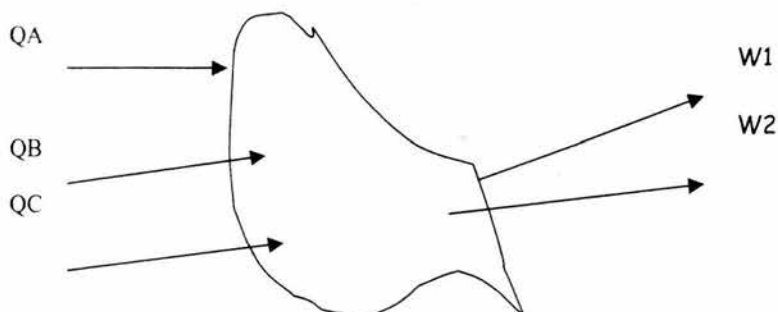


Figura 2.8. Nos muestra un análisis energético aplicando la primera ley de la termodinámica en donde toda la energía que entra es igual a toda la energía que sale. En este caso matemáticamente hablando $Q_A + Q_B + Q_C = W_1 + W_2$.

2.14 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA.

La segunda ley de la termodinámica, establece que se transfiere calor en una sola dirección, de mayor a menor temperatura; y esto tiene lugar a través de tres modos básicos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación).

2.14.1 CONDUCCIÓN.

La conducción se describe como la transferencia de calor entre las moléculas cercanas a una sustancia, o entre sustancias que estén

tocándose o en un buen contacto una con la otra. Cuando la transferencia de calor ocurre en una sola sustancia, tal como una varilla de metal con un extremo en una llama de fuego, el movimiento de calor va hasta que hay un balance de temperatura a todo lo largo de la longitud de la varilla.

Si la varilla se sumerge en agua, las moléculas que se mueven rápidamente sobre la superficie de la varilla transmitirán algún calor a las moléculas del agua y otra transferencia de calor por conducción tendrá lugar. Cuando la superficie exterior de la varilla se enfría, hay algún calor dentro de la varilla y está continuará transfiriéndolo a las superficies exteriores de la varilla y luego el agua hasta que se alcanza el balance de temperatura.

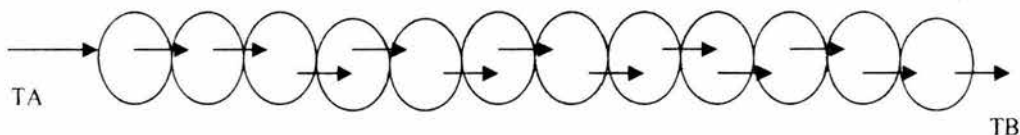


Figura 2.9 Nos muestra un análisis del flujo de calor por conducción, en donde el calor se transmite de molécula a molécula y la temperatura en "A" es mayor que la temperatura "B".

2.14.2 CONVECCION.

Otro medio de transferencia de calor es por el movimiento del material calentado en sí mismo cuando se trata de un líquido o gas. Cuando el material se calienta, las corrientes de convección son producidas dentro del mismo y las porciones más calientes de él suben, ya que el calor trae consigo el decrecimiento de la densidad del fluido y un incremento en su volumen específico.

2.14.3 RADIACIÓN.

Un tercer medio de transferencia de calor es la radiación por medio de ondas similares a las de la luz o las ondas del sonido. Los rayos del sol calientan la tierra por medio de ondas de calor radiante el cual viaja en caminos rectos sin calentar la materia que interviene en su recorrido o el aire. El calor de un bulbo de luz o de una estufa caliente es radiante en naturaleza y se siente cuando se está cerca de ella, aunque el aire entre la fuente y el objeto cuando los rayos pasan a través de él no se calientan.

CAPITULO 3.

"ANÁLISIS GENERAL DE LOS EQUIPOS INSTALADOS EN EL LABORATORIO DE TÉRMICA Y FLUIDOS"

3.1 Bomba de ¼ de H.P.

En el laboratorio de termodinámica se cuenta con un equipo de bombeo para poder hacer la primera práctica.

Este equipo de bombeo consta de los siguientes componentes:

- 1 Bomba de ¼ de HP.
- Tubería galvanizada de varios diámetros
- 1 manómetro
- 1 vacuo metro.
- 1 recipiente.
- 1 manómetro diferencial.

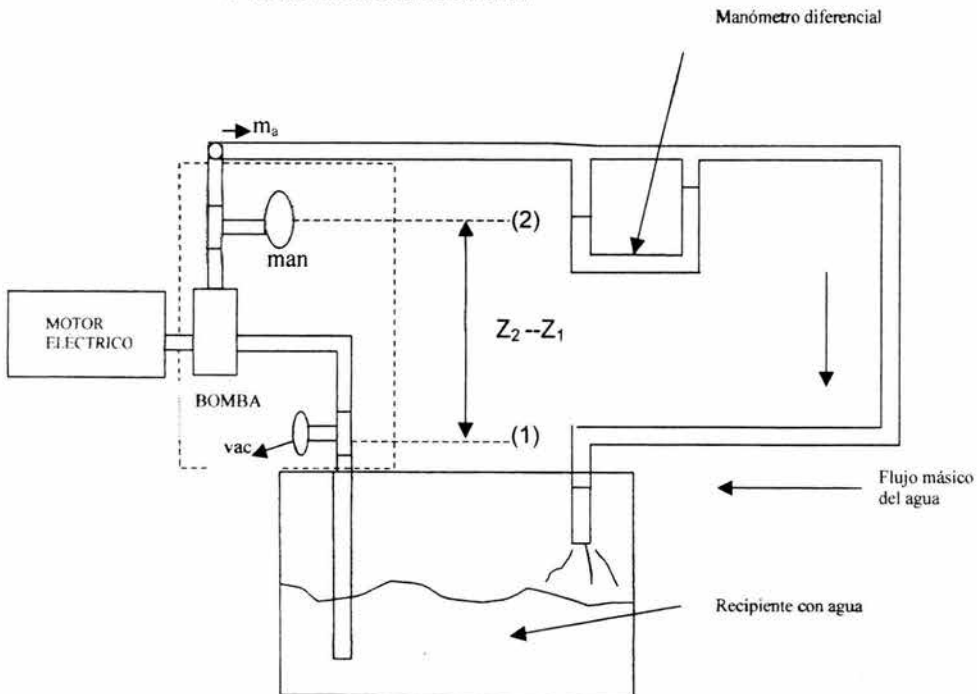


Figura 3.1 Nos muestra en un diagrama esquemático el equipo de bombeo instalado en el laboratorio de termodinámica.

En la práctica No. 1 se pretende que el alumno recuerde el concepto de la primera ley de la termodinámica, que esta ley es fundamental en el área de Térmica y Fluidos, y si no la recuerda, el curso puede ser muy pesado para dicho alumno.

Tal vez se parezca a una copia de la práctica seis del laboratorio de Termodinámica, pero trataremos de darle una aplicación mas real y que el alumno recuerde siempre esta primera ley.

3.2 Bomba de calor.

En el laboratorio de Máquinas Térmicas se cuenta con un equipo de bomba de calor "HILTON" para poder hacer la segunda práctica propuesta.

3.2.1 Descripción y funcionamiento de la bomba de calor.

La figura No. 3.2, nos muestra la parte externa de la bomba mecánica de calor "HILTON" diseñada para fines didácticos, en ella se encuentran marcadas las partes principales del equipo.

1. CONDENSADOR.
2. EVAPORADOR.
3. COMPRESOR (DENTRO DEL GABINETE).
4. WATTHORIMETRO.
5. SECADOR DE GEL DE SÍLICE.
6. MEDIDORES DE CAUDAL DE AGUA (ROTAMETROS).
7. MEDIDOR DE CAUDAL DE REFRIGERANTE.
8. MANÓMETRO (REFRIGERANTE SALIDA DEL EVAPORADOR).
9. MANÓMETRO (REFRIGERANTE ENTRADA DEL CONDENSADOR).
10. TERMÓMETRO(REFRIGERANTE ENTRADA DEL EVAPORADOR).
11. TERMÓMETRO(REFRIGERANTE SALIDA DEL EVAPORADOR).
12. TERMÓMETRO (SALIDA AGUA DEL EVAPORADOR).
13. TERMÓMETRO(REFRIGERANTE ENTRADA DEL CONDENSADOR).
14. TERMÓMETRO(REFRIGERANTE SALIDA DEL CONDENSADOR).
15. TERMÓMETRO (AGUA DE SALIDA DEL CONDENSADOR).
16. VÁLVULA DE EXPANSIÓN.

El método de funcionamiento esta mostrado en la figura 3.2, si tomamos un punto cualquiera del circuito, (por ejemplo a la salida del evaporador), veremos que el refrigerante (en fase de vapor) es sobrecalentado (ya que

absorbió calor del evaporador) y pasa al compresor donde aumenta su presión y temperatura.

Posteriormente es conducido al condensador (a una presión P_2 y una temperatura T_3) a una presión constante, disipando ahí el calor absorbido y realizándose un cambio de fase en el refrigerante al pasar al estado líquido.

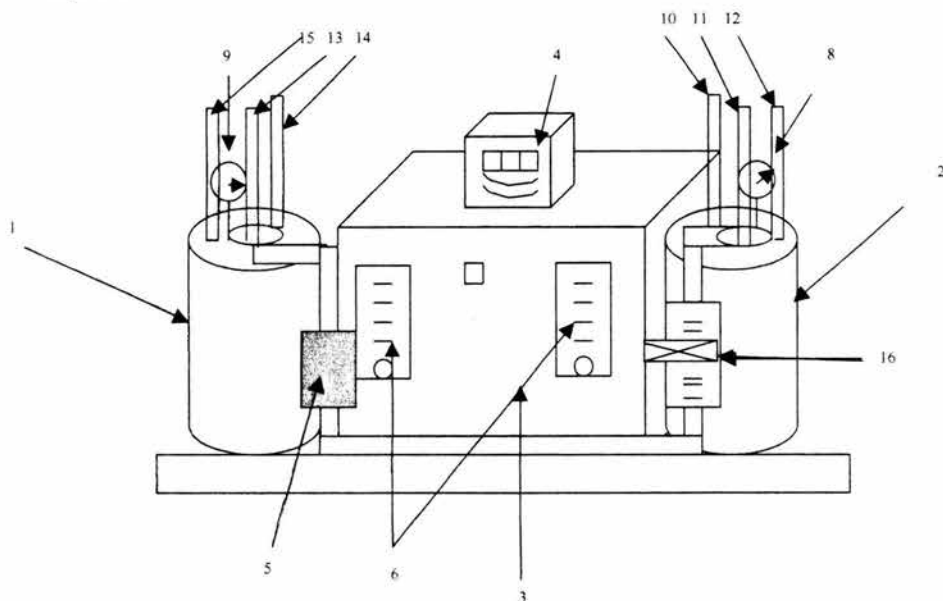


Figura 3.2 Nos muestra en un diagrama esquemático la bomba de calor instalada en el laboratorio de Máquinas Térmicas.

Llega al medidor de caudal (rotámetro) como líquido subenfriado a una presión P_2 y una temperatura T_4 . Pasa posteriormente por la válvula de expansión donde existe un descenso de presión y temperatura, efectuándose otro cambio de fase. Durante su paso por el serpentín del evaporador el refrigerante absorbe calor de evaporación del agua y regresa el refrigerante nuevamente al punto inicial completándose así el ciclo.

El proceso que realiza la bomba de calor con el refrigerante se muestra en el diagrama P-h de la figura 11 en forma ideal.

El refrigerante empleado es el diclorodifluorometano (R-12).

La fuente y sumidero de calor es el agua.

La fuente de energía es de 110V / 60 Hz para el motor del compresor.

3.3 Planta de vapor "GILKES".

En el laboratorio de Máquinas Térmicas también se cuenta con un equipo de planta de vapor marca "GILKES" para poder hacer la tercera, cuarta y quinta práctica propuesta.

3.3.1 Descripción y funcionamiento de la planta de vapor.

La figura No. 3.3, nos muestra la parte externa de la planta de vapor "GILKES" diseñada para fines didácticos, en ella se encuentran marcadas las partes principales del equipo.

1. TERMÓMETROS
2. CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO
3. CONDENSADOR
4. MOTOR DE VAPOR
5. VÁLVULA REGULADORA
6. CONTROLADOR DE RESISTENCIAS
7. MANÓMETRO DE LA CALDERA
8. MANÓMETRO DEL MOTOR
9. SWICHT

El método de funcionamiento esta mostrado en la figura 3.3, si tomamos un punto cualquiera del circuito, (por ejemplo a la entrada de la caldera), veremos que sale vapor sobrecalentado y seco que puede pasar al calorímetro o al motor de vapor.

Si el vapor entra al calorímetro de estrangulación podemos determinarlas propiedades termodinámicas del vapor de agua dentro de la caldera, ya que se realiza una expansión a entalpía constante.

Por lo contrario, si se pasa al motor de vapor, podemos determinar el beneficio que se obtiene al tener energía de vapor dentro de una máquina que genera potencia.

Después pasa a través del condensador, donde se logra el cambio de fase del vapor, una vez que ya hizo su trabajo sobre la máquina.

Adicionalmente se tiene la bomba de agua, pero como se tiene un ciclo abierto, el condensado no pasa a la bomba, sino que se tira a un

contenedor para determinar su temperatura y propiedades para su análisis termodinámico.

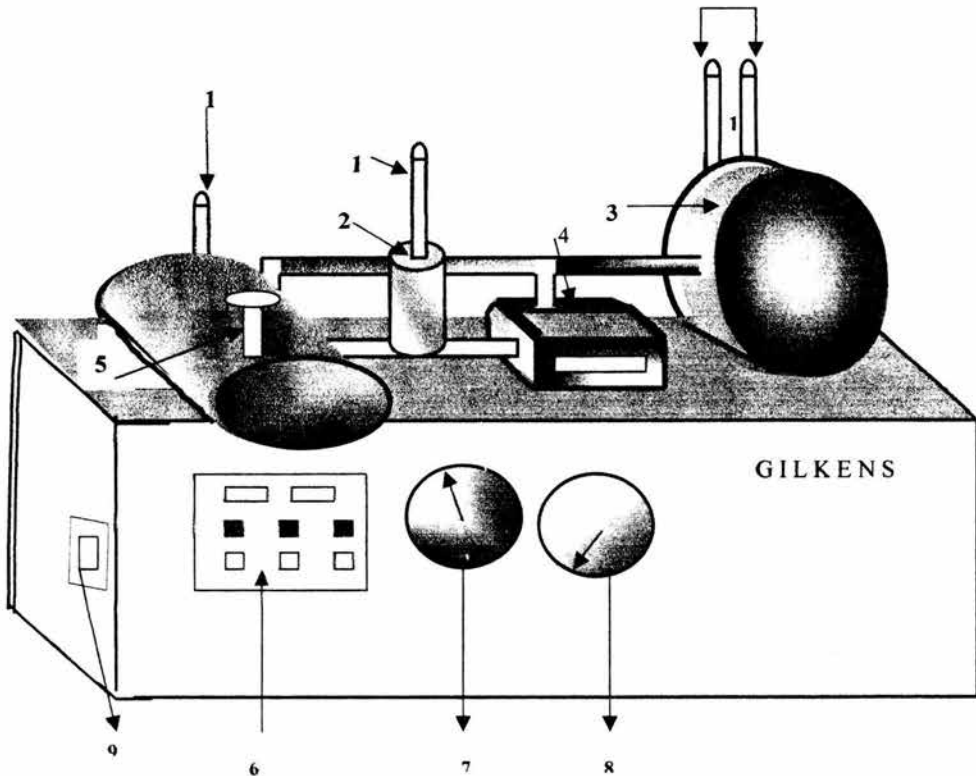


Figura 3.3 Nos muestra en un diagrama esquemático la planta de vapor instalada en el laboratorio de Máquinas Térmicas.

La caldera realiza un proceso a presión constante y tiene un manómetro conectado para ver su presión, así como un termómetro en la parte superior para poder observar su temperatura interior.

El calorímetro realiza un proceso de expansión a entalpía constante, consta de un orificio en la parte superior para poder introducir un termómetro y determinar la temperatura del vapor, se recomienda que

sea mayor a los cien grados para asegurarnos de tener vapor sobrecalentado.

El motor de vapor realiza un proceso a entropía constante, consta de una polea para poder adaptar un dinamómetro y determinar la potencia al freno o su trabajo que nos está proporcionando.

El condensador realiza un proceso a presión constante y tiene dos termómetros para poder determinar la diferencia de temperatura del sistema de agua de enfriamiento para un mejor análisis energético.

Los procesos termodinámicos del ciclo se pueden graficar dentro de un diagrama T-s para el vapor de agua y así poder realizar las prácticas correspondientes.

El fluido de trabajo es agua.

El sistema de enfriamiento es agua de la red normal.

La fuente y sumidero de calor son dos resistencias.

La fuente de energía es de 110V / 60 Hz para el motor del compresor.

3.3.2 Calorímetro de estrangulación.

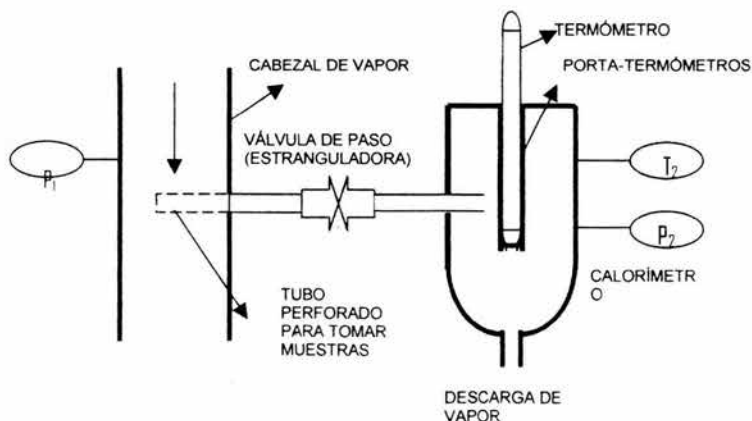


Figura 3.4 Nos muestra en un diagrama esquemático el calorímetro de estrangulación de la planta de vapor instalada en el laboratorio de Máquinas Térmicas.

Un calorímetro de estrangulación para vapor es un instrumento utilizado para determinar la calidad del vapor húmedo que fluye por un cabezal. Su funcionamiento se basa en el hecho de que cuando el vapor húmedo se estrangula suficientemente, se forma vapor sobrecalentado.

3.4 Unidad de demostración de refrigeración "HILTON".

En el laboratorio de Máquinas Térmicas también se cuenta con un equipo de refrigeración marca "HILTON" para poder hacer la sexta práctica propuesta.

3.4.1 Descripción y funcionamiento de la unidad de refrigeración.

La figura No. 3.5, nos muestra la parte externa de la unidad demostrativa de refrigeración "HILTON" diseñada para fines didácticos, en ella se encuentran marcadas las partes principales del equipo.

1. MEDIDOR DE CAUDAL DE AGUA DEL CONDENSADOR.
2. CONDENSADOR.
3. TERMÓMETRO PARA LA TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA AL CONDENSADOR.
4. TERMÓMETRO PARA LA TEMPERATURA DE SATURACIÓN DE EL CONDENSADOR.
5. TERMÓMETRO PARA LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA AL CONDENSADOR.
6. VÁLVULA DE EXPANSIÓN MANUAL.
7. COMPRESOR.
8. EVAPORADOR.
9. TERMÓMETRO PARA LA TEMPERATURA DEL AGUA A LA ENTRADA DEL EVAPORADOR.
10. TERMÓMETRO PARA LA TEMPERATURA DE SATURACIÓN DE EL EVAPORADOR.
11. TERMÓMETRO PARA LA TEMPERATURA DEL AGUA A LA SALIDA DEL EVAPORADOR.
12. MEDIDOR DA CAUDAL DE AGUA DEL EVAPORADOR.
13. INTERRUPTOR PRINCIPAL.
14. MANÓMETRO DE ALTA PRESIÓN.
15. MANÓMETRO DE BAJA PRESIÓN.

El método de funcionamiento esta mostrado en la figura 16, si tomamos un punto cualquiera del circuito, (por ejemplo a la salida del evaporador), veremos que el refrigerante (en fase de vapor) es

sobrecalentado (ya que absorbió calor del evaporador) y pasa al compresor donde aumenta su presión y temperatura.

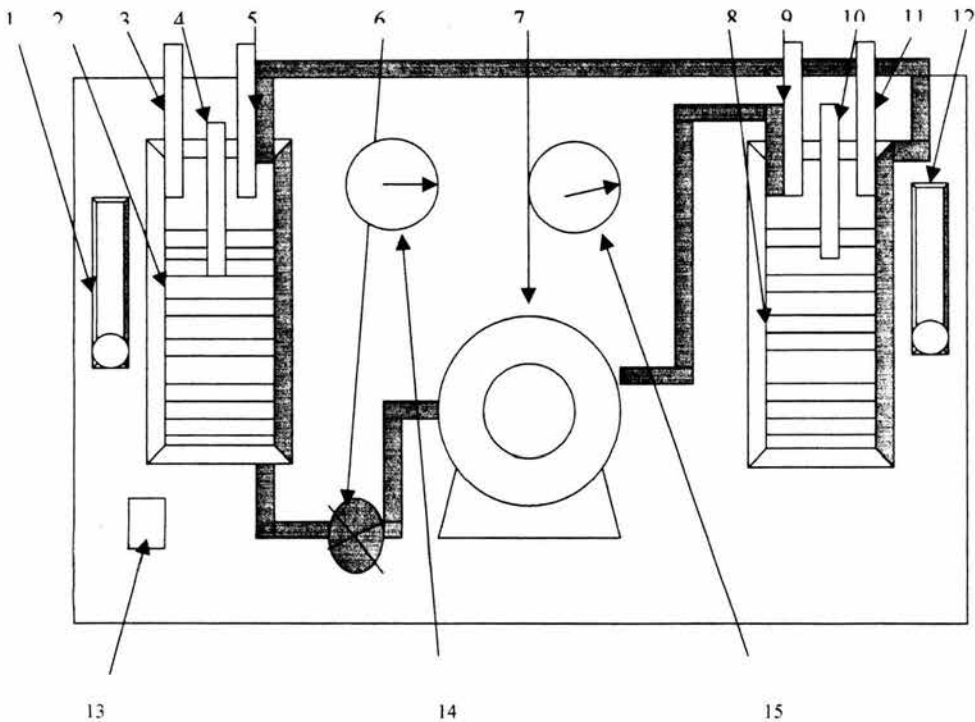


Figura 3.5 Nos muestra en un diagrama esquemático la unidad de refrigeración "HILTON" instalada en el laboratorio de Máquinas Térmicas.

Posteriormente pasa a través del compresor donde aumenta su presión y su temperatura, dándose un proceso a entropía constante.

Después pasa al condensador donde se realiza un cambio de vapor a líquido saturado, realizando se también a presión constante.

Tenemos una válvula de expansión manual, donde podemos calibrar el flujo de refrigerante y a la vez las presiones tanto de alta como de baja presión.

Se cuenta con un rotámetro para el agua en el condensador, donde se puede hacer un balance de energía para determinar el calor que esta rechazando este componente.

También se cuenta con un rotámetro para el agua en el evaporador, donde se puede hacer un balance de energía para determinar el calor que esta absorbiendo este componente básico de refrigeración.

El proceso que realiza en el equipo didáctico de refrigeración "HILTON" con el refrigerante se muestra en el diagrama P-h de la figura 11 en forma ideal.

El refrigerante empleado es el diclorodifluorometano (R-12).

La fuente y sumidero de calor es el agua.

La fuente de energía es de 110V / 60 Hz para el motor del compresor.

3.5 Unidad de demostración de refrigeración con intercambiador de calor "HILTON".

En el laboratorio de Máquinas Térmicas también se cuenta con un equipo de refrigeración marca "HILTON" para poder hacer la séptima práctica propuesta.

3.5.1 Descripción y funcionamiento de la unidad de refrigeración.

La figura No. 3.6, nos muestra la parte externa de la unidad de demostración de refrigeración con intercambiador de calor "HILTON", diseñada para fines didácticos, en ella se encuentran marcadas las partes principales del equipo.

1. COMPRESOR MECÁNICO.
2. MOTOR ELÉCTRICO.
3. CONDENSADOR.
4. SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO DEL CONDENSADOR.

5. MANÓMETRO DE ALTA PRESIÓN.
6. MEDIDOR DE CAUDAL DE AGUA DEL CONDENSADOR.
7. FILTRO DESHIDRATADOR.
8. VÁLVULA DESVIADORA.
9. CONTROL DE PRESIÓN DE RED.
10. ENTRADA DE AGUA.
11. LÍQUIDO SIN USAR EL INTERCAMBIADOR DE CALOR.
12. INTERCAMBIADOR DE CALOR.
13. AMPERÍMETRO.
14. MEDIDOR DE CAUDAL DEL REFRIGERANTE.
15. VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA.
16. EVAPORADOR CON UNA RESISTENCIA VARIABLE.
17. BULBO SENSOR DE TEMPERATURA.
18. MANOMETRO DE BAJA PRESIÓN.
19. VOLTÍMETRO.
20. INTERRUPTOR DE LA RED.
21. FUSIBLE.
22. INDICADOR DE TEMPERATURA.
23. CONTROL DE ENTRADA DE CALOR AL EVAPORADOR.
24. INTERRUPTOR PARA ALIMENTACIÓN DEL MOTOR.

El método de funcionamiento esta mostrado en la figura 3.6, si tomamos un punto cualquiera del circuito, (por ejemplo a la salida del evaporador), veremos que el refrigerante (en fase de vapor) es sobrecalentado (ya que absorbió calor del evaporador por medio de las resistencias) y pasa al intercambiador de calor, donde se le provoca un sobrecalentamiento o un subenfriamiento (en esta parte es el sobrecalentamiento), ya que este le ayudará al compresor a trabajar solo con vapor sobrecalentado, evitando que entren partículas líquidas.

Pasa al compresor que es del tipo abierto y es accionado por un motor eléctrico que se encuentra separado de este.

Después se va al condensador que es del tipo enfriado por agua, donde se le pueden tomar las temperaturas del agua tanto de entrada como de salida para hacer un buen balance de energía que está disipando (recordando que el agua se lleva todo el calor que se disipa en el condensador).

El refrigerante, una vez condensado, sigue su camino a través de la tubería hasta llegar a un filtro deshidratador (mejor conocido técnicamente como salchicha), donde retendrá todas las impurezas sólidas que se hayan podido meter al sistema, así como toda la humedad que pudiera estar en dicho sistema de refrigeración.

Posteriormente pasa a través del intercambiador de calor, donde en este caso se logra subenfriar el refrigerante, este proceso se realiza a presión constante.

Para nuestro caso, es necesario hacer un buen balance de energía, ya que se pretenderá determinar cual es el beneficio de usar el intercambiador de calor y precisamente el beneficio esta en subenfriar el refrigerante, ya que al ocurrir dicho proceso, se aumenta la capacidad de enfriamiento dentro del evaporador, logrando un mayor beneficio para el ciclo de refrigeración.

Se hace hincapié de las ventajas del intercambiador de calor, ya que al saber seleccionar y ubicar este componente dentro de la industria de la refrigeración y aire acondicionado, el egresado de la UNAM-ENEP Aragón podrá tener cierta ventaja con respecto a egresados de otras escuelas de educación superior.

A continuación pasa por un rotámetro donde se medirá el flujo de refrigerante, logrando hacer un mejor balance de energía y una práctica de mejor calidad.

Por último y para cerrar el ciclo, el refrigerante pasa a través de una válvula de expansión, en este caso se trata de una válvula de expansión termostática con igualador interno, que trabaja censando la temperatura del refrigerante a la salida del evaporador mediante el bulbo censor que se encuentra en su parte superior.

Además cuenta con un indicador de temperatura electrónico donde tendremos siete lecturas para nuestra práctica propuesta.

Un voltímetro y un amperímetro para determinar la carga térmica de la resistencia eléctrica en el evaporador.

Dos manómetros, uno en el evaporador y otro en el condensador.

El refrigerante empleado es el diclorodifluorometano (R-12).

La fuente y sumidero de calor es el agua.

La fuente de energía es de 110V / 60 Hz para el motor del compresor.

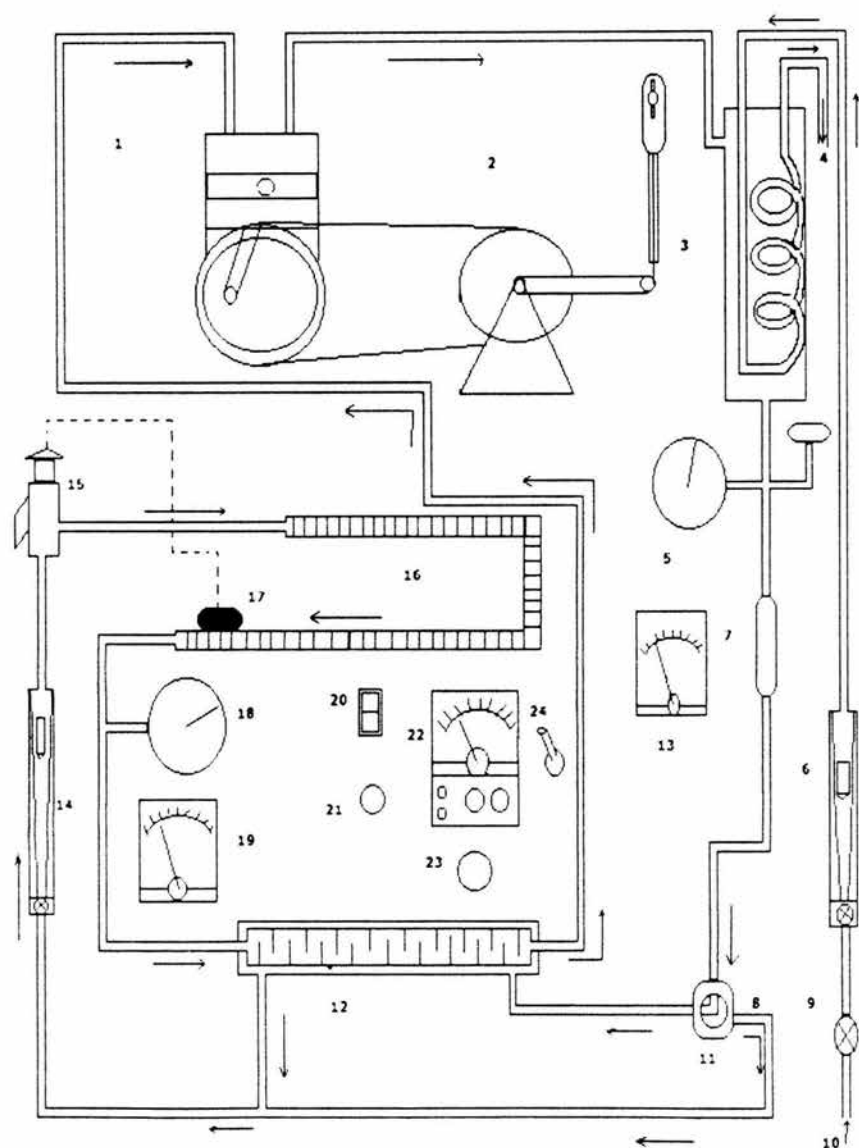


Figura 3.6 Nos muestra en un diagrama esquemático la unidad de refrigeración con intercambiador de calor "HILTON" instalada en el laboratorio de Máquinas Térmicas.

3.6 Unidad de demostración de aire acondicionado "HILTON".

En el laboratorio de Máquinas Térmicas también se cuenta con una unidad de demostración de aire acondicionado marca "HILTON" para poder hacer la octava práctica propuesta.

3.6.1 Descripción y funcionamiento de la unidad de demostración de aire acondicionado.

La figura No. 3.7, nos muestra la parte externa de la unidad de demostración de aire acondicionado "HILTON" diseñada para fines didácticos, en ella se encuentran marcadas las partes principales del equipo.

1. MANDO DE VELOCIDAD SOPLANTE.
2. VENTILADOR CENTRÍFUGO
3. PSICROMETRO A LA ENTRADA DEL DUCTO.
4. CALENTADOR DE AIRE DE 1 KW CADA RESISTENCIA.
5. RANURAS DE HUMIDIFICACIÓN.
6. FLOTADOR.
7. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE HUMIDIFICACIÓN.
8. ENTRADA DEL AGUA AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.
9. RESISTENCIAS DE INMERSIÓN.
10. PSICROMETRO INTERMEDIO.
11. TERMÓMETRO.
12. MANÓMETRO DE BAJA PRESIÓN.
13. EVAPORADOR.
14. CALENTADOR DE AIRE DE 500 W CADA RESISTENCIA.
15. VÁLVULA DE PRESIÓN CONSTANTE.
16. COMPRESOR MECÁNICO.
17. CONDENSADOR.
18. VENTILADOR AXIAL DE ENFRIAMIENTO DEL CONDENSADOR.
19. VÁLVULA SOLENOIDE.
20. FLITRO DESHIDRATADOR.
21. MANÓMETRO DE ALTA PRESIÓN.
22. MEDIDOR DE CAUDAL.
23. VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA.
24. TERMÓMETRO.
25. BULBO SENSOR.
26. MANÓMETRO INCLINADO.
27. PSICROMETRO DE SALIDA.
28. PLACA DE ORIFICIO.

El método de funcionamiento esta mostrado en la figura 3.7, tomando como referencia la entrada del aire, primero el aire es succionado o jalado por un ventilador del tipo centrífugo o jaula de ardilla.

En donde pasa a través de un psicrómetro de placa, el cual consta de dos termómetros, uno con un trapo de algodón húmedo al bulbo sensor y otro sin nada en el bulbo sensor.

El termómetro que tiene la franela húmeda, determinará la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada del equipo y el otro determinará la temperatura de bulbo seco del aire a la entrada del equipo.

Posteriormente pasa a través de unas resistencias de 1 kilowatt donde el aire recibe un calentamiento sensible, cabe aclarar que estas resistencias se activan desde un panel de control.

Después pasan a través de unos humidificadores que se encuentran dentro del ducto, estos humidificadores trabajan con tres resistencias de 2 kW, cabe aclarar que también se controlan desde el panel de control.

Pasa a través de otro psicrómetro para poder detectar las variaciones que el aire a tenido cada vez que a pasado por estos primeros procesos psicrométricos.

Pasando el segundo psicrómetro, pasa por un evaporador que esta conectado a un equipo de refrigeración, este se encarga de otorgarle al aire un enfriamiento sensible.

Si es necesario darle mas calor, adicionalmente cuenta con un calentador de aire equipado con un par de resistencias de 500 watts cada una.

También cuenta con un manómetro inclinado para ver las caídas de presión y una placa de orificio para determinar el caudal de aire, estos últimos elementos no se están considerando dentro de la práctica propuesta por lo que solo los menciono.

Al final se observa otro psicrómetro de placa para determinar las condiciones psicrométricas del aire cuando este es descargado al ambiente.

Dos manómetros, uno en el evaporador y otro en el condensador.

El refrigerante empleado es el diclorodifluorometano (R-12).

La fuente de energía es de 110V / 60 Hz para el motor del compresor y el motor del ventilador.

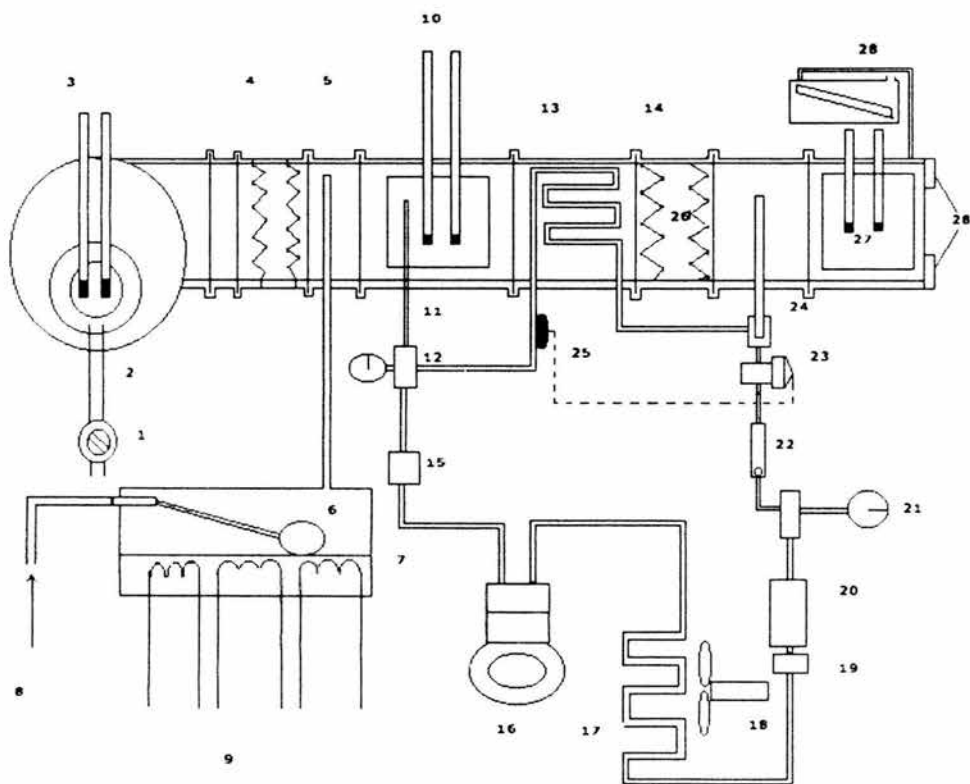


Figura 3.7 Nos muestra en un diagrama esquemático la unidad de aire acondicionado "HILTON" instalada en el laboratorio de Máquinas Térmicas.

CAPITULO 4.

"PRÁCTICAS PROPUESTAS"

PRÁCTICA NO. 1

"ANÁLISIS DE LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA"

OBJETIVO:

El alumno:

Analizará la primera ley de la termodinámica y la aplicará en un sistema abierto para determinar la potencia de una bomba.

ACTIVIDADES:

Determinar:

- 1) El fluido másico del agua en el sistema de bombeo del laboratorio.
- 2) La potencia de la bomba.

MATERIAL Y/O EQUIPO:

- ▶ 1 Flexómetro
- ▶ 1 Sistema de bombeo instalado en el laboratorio que consta de:
 - Bomba de $\frac{1}{4}$ de HP.
 - Tubería galvanizada de varios diámetros
 - 1 manómetro
 - 1 vacuómetro.
 - 1 recipiente

SUSTANCIAS:

- ▶ Agua
- ▶ Mercurio

ASPECTOS TEÓRICOS:

Se admite que las moléculas de los cuerpos se están moviendo continua y desordenadamente en todas direcciones, y aunque, en un instante dado las velocidades con que se mueven las moléculas de un cuerpo son distintas, el valor medio de todas esas velocidades no lo es, sino que permanece constante, a temperatura constante.

Entonces podemos deducir que el calor de un cuerpo consiste en la energía cinética del movimiento desordenado de sus moléculas y la temperatura de un cuerpo depende de la velocidad media de sus moléculas.

La idea de que el calor es una forma de energía, es relativamente moderna. Hasta mediados del siglo pasado se creía que el calor era un fluido indestructible, el calórico, que impregnaba todos los cuerpos y pasaba de unos a otros.

Al hacer el análisis del calor se descubrió que existe una transformación íntegra de trabajo en calor o viceversa, una cantidad de calor produce siempre la misma cantidad de trabajo.

Demostraron que existe una relación constante entre la cantidad de calor consumido y el trabajo obtenido o entre el trabajo empleado y el calor producido.

La palabra energía que empleamos bastante en física está estrechamente relacionada con el trabajo. Decimos que tiene energía todo aquello que es capaz de realizar un trabajo.

Los motores, los animales, las centrales eléctricas, etc. Son capaces de originar fuerzas y desplazarlas, efectuando un trabajo, son portadores de energía.

Medimos la energía de un cuerpo, por el trabajo que es capaz de realizar. Así las unidades de energía serán las mismas que las del trabajo: **Joule**.

Un motor eléctrico no funcionará si no recibe la energía eléctrica que lo pone en marcha, ni el motor de gasolina si no tiene el combustible que al quemarse en el interior le proporciona la energía necesaria. El hombre y los animales poseen la energía que le suministran los alimentos.

La energía se manifiesta de distintas formas aunque, en esencia, se trate siempre de la misma energía. Estas distintas manifestaciones de la energía se pueden convertir en otras con equivalencias recíprocas y también en trabajo. La energía se mide en unidades de trabajo.

Estas formas bajo las cuales aparece la energía son las siguientes:

a) Energía Cinética.- Es la energía que llevan los cuerpos en su movimiento. Ejemplo: Las turbinas.

b) **Energía Potencial.**- Esta forma de energía no se manifiesta, sino que está almacenada en los cuerpos. La llamada energía atómica es una forma de ésta energía que está almacenada en los átomos de la materia.

c) **Energía Calorífica.**- Es la que se manifiesta en los cuerpos con mayor temperatura.

d) **Energía Eléctrica.**- Es la energía que lleva la corriente eléctrica, los rayos y los cuerpos electrizados. Se da por el movimiento de electrones de las moléculas.

e) **Energía Luminosa.**- Es la energía que se manifiesta por la luz que despiden al pasar de un espacio a otro.

f) **Energía Sonora.**- Es la energía que se emite por los cuerpos vibrantes que producen sonidos.

g) **Energía Química.**- Es la producida en fenómenos químicos como las combustiones y las reacciones entre las distintas materias con formación en otras nuevas. Por ejemplo cuando reacciona un combustible con el oxígeno.

h) **Energía Atómica.**- Las investigaciones atómicas han demostrado que algunos elementos químicos, pueden transformar parte de su masa en energía, de acuerdo con la fórmula de Einstein. La energía que se obtiene de desmaterializar un solo gramo de materia sería:

90 000 000 000 000 de Joules, o sea noventa billones de Joules, que es el equivalente a 25 millones de kilowatt-hora.

La enorme energía que se desprende de las explosiones de las bombas atómicas tiene este origen: parte de la masa de algunos elementos, como el uranio y el plutonio, que se convierte en energía.

Concluyendo, la energía se pone de manifiesto de diversas formas como puede ser la luz, el calor, el movimiento, la electricidad, las explosiones, etc.

La variación de la energía potencial de un cuerpo equivale a la energía cinética que desarrolla. Este principio no es más que la explicación parcial de otro más general, que se aplica a cualquier forma de energía presente en el universo y que se enuncia así:

" En el universo la cantidad de energía es constante. Cuando desaparece una forma de energía, es por que sé a transformado íntegramente en otras ".

Esto da origen al postulado de "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma en otros tipos de energía".

Entonces, la termodinámica se ocupa del estudio de las transformaciones del calor en trabajo y viceversa, los medios que se emplean para efectuar dichas transformaciones y aquellas propiedades de las sustancias que guardan relación con la energía.

La primera ley de la termodinámica, establece el siguiente modelo matemático para su análisis energético y es el siguiente:

$$Q + W = \Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U + W_f$$

Donde:

Q = Calor que se genera o sale del sistema en estudio.

W = Trabajo que se desarrolla hacia o por el sistema.

ΔE_c = Energía cinética del sistema.

ΔE_p = Energía potencial del sistema.

ΔU = Energía interna del sistema.

W_f = Trabajo de flujo del sistema.

Podemos observar que involucra todas las energías pero no nos está diciendo la cantidad de energía que se está aprovechando pero está afirmando que la energía es una propiedad termodinámica.

Un proceso adiabático es aquel que no cede ni recibe calor, por lo que el calor se considera constante.

La energía interna es la suma de las energías cinética y potencial de las moléculas individuales que lo constituyen. En forma general, cuan mayor sea la temperatura de un sistema, mayor será su energía interna; como los valores absolutos de esta en las moléculas no se pueden precisar, se determina la variación que sufre la energía mediante:

$$\Delta U = U_f - U_i$$

La energía cinética Es la energía debida al movimiento molecular del sistema:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

La energía potencial es la energía debida a la posición del sistema:

$$E_p = mgh$$

el trabajo lo tenemos de dos formas:

- 1) De Compresión.- Al efectuarse un trabajo de compresión este se transforma íntegramente en calor del sistema, porque comunica al gas una energía adicional que aumenta la energía adicional que aumenta la energía interna de sus moléculas elevando la temperatura. En la compresión de un gas, el volumen final es menor al inicial, por tanto, el trabajo realizado es negativo y se dice que se efectuó un trabajo de los alrededores sobre el sistema.

$$\Delta U = Q - W$$

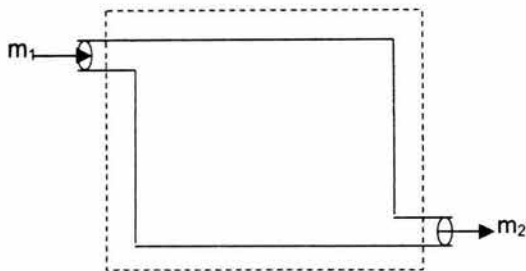
- 2) De expansión.- Es producido a la energía interna de las moléculas del gas, por lo que la temperatura del sistema disminuye. Al expandirse el gas el sistema final es mayor al inicial y, por tanto, el trabajo es positivo, por lo tanto el sistema realiza un trabajo sobre los alrededores.

$$\Delta U = Q + W$$

El trabajo de flujo .se refiere, a que en cierto sentido, al penetrar materia en el volumen, de control, este realiza un trabajo sobre la materia, ya que la empuja hacia la salida, y este es considerado como la energía debido a la combinación de, o bien, esta cantidad de trabajo es igual a *PAL*, donde: A es el área de la superficie de control a través de la cual entra el fluido, L= La distancia a lo largo de la cual debe actuar la fuerza, Pero el producto AL = volumen específico (ve) del fluido en el

punto de entrada, por lo tanto: $W = Pve$, donde: W es el trabajo de flujo en la carga y descarga.

Otra ecuación importante es la ecuación de la continuidad, que expresa la conservación de la masa en caso de un sistema abierto, en términos de propiedades fácilmente medibles:



En forma general la ecuación de la continuidad establece:

“Un líquido fluirá con mayor rapidez a través de una sección estrecha del tubo y más lentamente a través de secciones más amplias”, esto se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{A_1 V_1}{ve_1} = \frac{A_2 V_2}{ve_2}$$

Así la expresión para un flujo unidimensional y constante es el tiempo, por lo que la ecuación de la continuidad es:

$$m \dot{=} \frac{AV}{ve} = \rho AV$$

Donde:

m = masa (Kg, gr, lb).

A = Área transversal (m^2 , cm^2 , in^2).

V = velocidad (m/s, cm/s, in/s).

ρ = Densidad (kg/m^3 , gr/cm^3 , lb/in^3).

Entonces consideramos, que la energía de un fluido permanece constante al circular por un tubo de sección transversal, para este caso, las tres componentes de la energía son: a) La potencia gravitatoria que depende de la altura (h), b) La cinética que depende del cuadrado de la velocidad y c) la que depende de la presión hidrodinámica (p), y cuando aumenta una de las, debe disminuir las otras dos, y viceversa, de tal forma que su suma sea constante en todo el recorrido.

DESARROLLO:

ACTIVIDAD I DETERMINAR EL FLUJO MÁSSICO DEL AGUA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DEL LABORATORIO.

1. Investigar los diámetros de las tuberías del sistema de bombeo de entrada (A) y salida (B). Anótalas en la Tabla 1.1.
2. Poner en funcionamiento la bomba para determinar el volumen de control, es decir, la cantidad de fluido.
3. Medir con el flexómetro la altura vertical del mercurio en la tubería de entrada (A) y salida (B). Anótala en la Tabla 1.1.A.
4. Aplicando la 1era ley de la termodinámica en el volumen de control, se tiene:

$$Q + W = \Delta E = E_c + E_p + U + Pve$$

El cambio de energía (ΔE) como se mencionó anteriormente involucra la suma de otras energías por lo que la 1era. ley puede escribirse como:

$$Q + W = \dot{m} H_2 O \left[\frac{1}{2} (V_B^2 - V_A^2) + g(Z_B - Z_A) + (U_B - U_A) + ve(P_B - P_A) \right]$$

Donde:

Q = flujo de calor (cal).

W = potencia (watts).

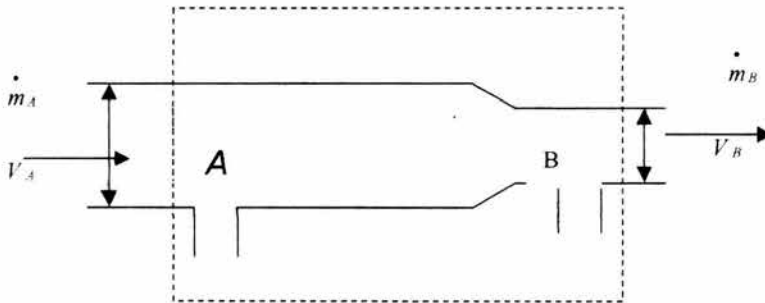
m = flujo de masa (kg./s).

V = velocidad de flujo (m/s).

- g = aceleración de la gravedad (m/s^2).
 Z = altura con respecto al nivel de referencia (m).
 U = energía interna específica (J/s).
 P = presión absoluta (N/m^2).
 ve = volumen específico. ($m^3/Kg.$).

Analizando los términos involucrados en la ecuación anterior, para el estado específico de los estados A y B (Fig. anterior), tenemos que:

- $Q = 0$, esto indica que no hay suministro de calor en el sistema.
 $W = 0$, significa que no hay ningún trabajo generado por el sistema.
 $Z_B = Z_A$, puesto que los puntos A y B se encuentran en el mismo plano.
 $U_B = U_A$, no existe cambio en la temperatura.



Volumen de control (**SISTEMA DE BOMBEO**)

Contado con estos resultado, la ecuación se reduce a:

$$0 = m_{H,0} \left[\frac{1}{2} (V_B^2 - V_A^2) \right] + ve(P_B - P_A)$$

Desarrollando tenemos:

$$\frac{1}{2} (V_B^2 - V_A^2) + ve(P_B - P_A) = 0$$

Despejando:

$$V_B^2 - V_A^2 = 2ve(P_A - P_B)$$

Como $\rho = \frac{I}{v_c}$

$$P_A - P_B = gh_{Hg}(\rho_{Hg} - \rho_A)$$

$$V_B^2 - V_A^2 = 2\left(\frac{I}{\rho}\right)gh_{Hg}\rho_{Hg} - \rho_a$$

$$V_B^2 - V_A^2 = 2gh_{Hg}\left(\frac{\rho_{Hg} - \rho_a}{\rho_a}\right) \dots\dots\dots 1$$

Empleando ahora la ecuación de continuidad

$$\dot{m}_A = \dot{m}_B = \rho AV$$

$$\rho = A_A * V_A = \rho_a * A_B * V_B$$

Se reduce a:

$$A_A * V_A = A_B * V_B$$

Donde:

$$V_A = \frac{A_B * V_B}{A_A} ,$$

y el área :

$$A_A = \frac{\pi(\phi_A)^2}{4}$$

$$V_B = \frac{A_A * V_A}{A_B} ,$$

y el área:

$$A_B = \frac{\pi(\phi_B)^2}{4}$$

Sustituyendo:

$$V_A = \left(\frac{\phi_B^2}{\phi_A^2}\right)V_B \dots\dots\dots 2$$

$$V_B = \left(\frac{\phi_A^2}{\phi_B^2}\right)V_A \dots\dots\dots 3$$

Sustituyendo 2 en 1

$$V_B^2 - \left(\frac{\phi_B^2}{\phi_A^2} V_B \right)^2 = \frac{2gh_{Hg}(\rho_{Hg} - \rho_a)}{\rho_a}$$

Factorizando:

$$V_B^2 \left(1 - \frac{\phi_B^4}{\phi_A^4} \right) = \frac{2gh_{Hg}(\rho_{Hg} - \rho_a)}{\rho_a}$$

Por lo tanto:

$$V_B = \frac{\sqrt{2gh_{Hg}(\rho_{Hg} - \rho_a)}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\phi_B}{\phi_A} \right)^4 \right] \rho_a}} \dots\dots\dots 4$$

Sustituyendo 3 en 1:

$$\left(\frac{\phi_A^2}{\phi_B^2} V_A \right)^2 - V_A^2 = \frac{2gh_{Hg}(\rho_{Hg} - \rho_a)}{\rho_a}$$

Factorizando:

$$V_A^2 \left(\frac{\phi_A^2}{\phi_B^2} - 1 \right) = \frac{2gh_{Hg}(\rho_{Hg} - \rho_a)}{\rho_a}$$

Por lo tanto:

$$V_A = \frac{\sqrt{2gh_{Hg}(\rho_{Hg} - \rho_a)}}{\sqrt{\left[\left(\frac{\phi_A}{\phi_B} \right)^2 - 1 \right] \rho_a}} \dots\dots\dots 5$$

Finalmente el flujo másico será:

$$m_A = \rho_a V_A A_A \quad \text{Y} \quad m_B = \rho_a V_B A_B$$

Donde:

\dot{m}_A = flujo másico en el punto A (kg./s).

\dot{m}_B = flujo másico en el punto B (kg./s).

ρ_a = densidad del agua (Kg/m³).

V_A = velocidad del flujo en el punto A (m/s).

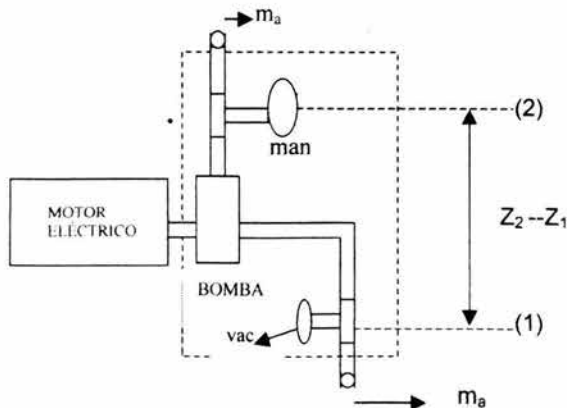
V_B = velocidad del flujo en le punto B (m/s).

A_A = área transversal del tubo en el punto A (m²).

A_B = área transversal del tubo en el punto B (m²).

ACTIVIDAD II DETERMINAR LA POTENCIA DE LA BOMBA.

1. Con el volumen de control elegido, medir la presión en el manómetro y en el vacuómetro. Anotar el valor en la Tabla 1.2A.
2. Apagar el sistema.
3. Determinar el diámetro de succión y descarga de la bomba. Anotar el valor en la Tabla 1.2A.
4. Mediante el siguiente desarrollo matemático, determinar la potencia de la bomba. Anotar el resultado en la Tabla 1.3B.



La ecuación para el sistema queda:

$$\dot{W} = \dot{m} a \left[\frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) + g(Z_2 - Z_1) + ve(\rho_2 - \rho_1) \right]$$

NOTA: EL FLUJO MÁSSICO DEL AGUA (\dot{m}_a) SE DETERMINÓ ANTERIORMENTE ($\dot{m}_a = m_A = m_B$).

Las velocidades de flujo se determinarán de la ecuación de continuidad:

$$m = V_A \rho$$

$$V = \frac{m}{A \rho}$$

$$V_1 = \frac{m}{A_1 \rho}$$

$$V_2 = \frac{m}{A_2 \rho}$$

Donde:

V_1 = velocidad del fluido a la succión (m/s).

V_2 = velocidad del fluido a la descarga (m/s).

A_1 = área transversal del tubo en la succión (m²).

A_2 = Área transversal del tubo en la descarga (m²).

\dot{m} = flujo másico del agua (Kg/s).

Las presiones se determinan de la siguiente forma:

$$P_2 = P_{atm} + P_{man}$$

$$P_1 = P_{atm} \pm P_{vac}$$

$$P_2 - P_1 = (P_{atm} + P_{man}) - (P_{atm} - P_{vac})$$

$$P_2 - P_1 = P_{atm} + P_{man} - P_{atm} + P_{vac}$$

$$P_2 - P_1 = P_{man} + P_{vac} \quad [N/m^2]$$

Entonces la potencia nos queda:

$$\dot{W} = \dot{m} a \left[\frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) + g(Z_2 - Z_1) + \left(\frac{P_{man} + P_{vac}}{\rho_a} \right) \right]$$

Donde:

\dot{W} = potencia desarrollada por la bomba (W).

\dot{m}_a = flujo másico del agua (determinado anteriormente) (kg/s).

V_1 = velocidad del fluido en la succión (m/s).

V_2 = velocidad del fluido en la descarga (m/s).

g = gravedad local (m/s²).

$Z_2 - Z_1$ = altura del vacuómetro hasta el manómetro (m).

P_{man} = presión leída en el manómetro (N/m²).

P_{vac} = presión leída en el vacuómetro (N/m²).

ρ_a = densidad del agua (Kg/m³).

NOTA: PARA HACER UN MEJOR ANÁLISIS, SE TOMARÁN TRES LECTURAS A DIFERENTE CAUDAL.

TABLA DE LECTURAS:

TABLA 1.1A.

CONCEPTO	SÍMBOLO	LECTURAS (m)		
		1	2	3
Diámetro inicial del sistema	ϕ_A			
Diámetro final del sistema	ϕ_B			
Altura de la columna de mercurio	h_{HG}			

TABLA 1.2A.

CONCEPTO	SÍMBOLO	UNIDAD	LECTURAS (m)		
			1	2	3
Diámetro en la succión de la bomba	ϕ_1	m			
Diámetro en la descarga de la bomba	ϕ_2	m			
Lectura en el manómetro	P_{man}	Kg./cm ²			
Lectura en el vacuómetro	P_{vac}	cmHg			
Diferencia de alturas.	$Z_2 - Z_1$	cm			

MEMORIA DE CÁLCULOS:

El alumno hará un desarrollo **DETALLADO** de acuerdo a lo que se pide en la tabla de resultados:

TABLAS DE RESULTADOS:

TABLA 1.1B.

CONCEPTO	VELOCIDAD DE FLUJO			ÁREA			FLUJO MÁSSICO			
	m/s	cm/s	in/s	m ²	cm ²	in ²	m ³ /s	Cm ³ /s	Lt/s	Kg/s
Punto A										
Punto B										

TABLA 1.2B.

CONCEPTO	VELOCIDAD DE FLUJO			ÁREA			PRESIÓN ABSOLUTA			
	m/s	cm/s	in/s	m ²	cm ²	in ²	N/m ²	Bar	Torr	Psia
Punto 1										
Punto 2										

TABLA 1.2C.

CONCEPTO	UNIDADES					
	W	KW	KCal/hr	HP	CV	BTU/hr
Potencia desarrollada por la bomba (\dot{W})						

NOTA: LAS TABLAS DE RESULTADOS SE DEBERÁN LLENAR PARA LAS TRES LECTURAS A DIFERENTE CAUDAL.

CONCLUSIONES:

El alumno deberá anotar sus comentarios de la realización de la práctica y recomendará el uso del equipo así como de sus componentes.

CUESTIONARIO No. 1:

1. Considera que el equipo que se utilizó en la práctica fue el apropiado. ¿Porqué?. Así mismo, identifique las pérdidas primarias y secundarias en el desarrollo de la práctica.
2. ¿Cuál fue el desarrollo de Bernoulli para determinar la Potencia de una Bomba? Y determine la potencia de la bomba usando el desarrollo de Bernoulli.
3. Determine en forma práctica, el valor de las pérdidas primarias y secundarias y determine el valor real de la potencia de la bomba.
4. Efectuar un análisis técnico y económico para seleccionar una bomba investigando, marcas, etc. Para sustituir la bomba del laboratorio. Traer al menos tres opciones diferentes escribiendo ventajas y desventajas de sus elecciones.
5. Hacer el diagrama eléctrico de la bomba del laboratorio y explicar como trabaja cada uno de estos componentes.

NOTA: La bomba usa un motor eléctrico de fase dividida.

SERIE No.1:

1. Llene los datos faltantes en cada uno de los siguientes procesos de un sistema cerrado entre los estados 1 y 2.(Todo esta dado en KJ).

	Q	W	E ₁	E ₂	ΔE
a		18	6		20
b	5		20		35
c	25	-10		40	
d	-9			12	-15

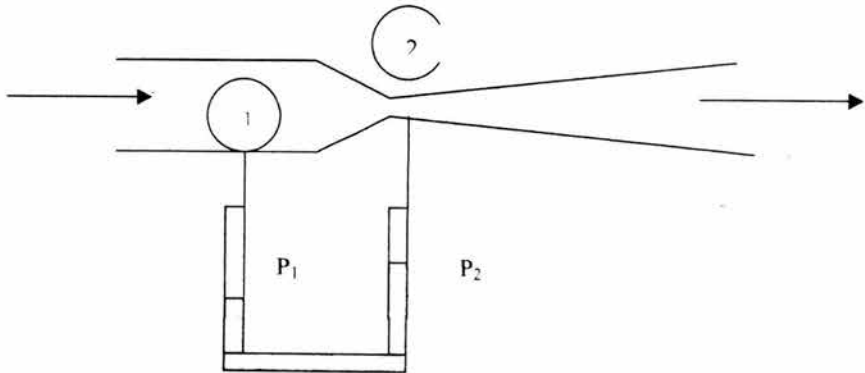
2. Un sistema cerrado se somete a un ciclo compuesto de dos procesos. Durante el primer proceso, 40 KJ de calor se transfieren al sistema, mientras que este realiza 60 KJ de trabajo. Durante el *segundo* proceso, 45 KJ de trabajo se efectúa sobre el sistema. Determinar:
- La transferencia de calor durante el segundo proceso.
 - El trabajo neto y la transferencia neta de calor para el ciclo.

Sol. -25 KJ, 15 KJ y 15KJ.

3. Un tanque rígido contiene 10 kg de aire a 200 kPas y 27 °C. El aire se calienta después hasta duplicar su presión. Determinar:
- El volumen del tanque.
 - La cantidad de calor transferida.

Sol. 4.303 m³, 2207 KJ.

4. El esquema de un medidor tipo venturi aparece en la siguiente figura. Si A_1 y A_2 son las áreas de la sección transversal en donde se registran las presiones p_1 y p_2 y ρ es la densidad del fluido incompresible, demuestre que, en ausencia de fricción, $m^2 = \frac{2(P_1 - P_2)\rho A_1^2}{(A_1/A_2)^2 - 1}$ donde m es el flujo másico.



BIBLIOGRAFÍA:

El alumno deberá de incluir toda aquella fuente de información a la que haya recorrido.

PRACTICA No. 2

"CICLO INVERSO DE CARNOT"

OBJETIVO:

El alumno:

Analizará los ciclos de refrigeración, es decir, con el ciclo de Carnot y el ciclo inverso de Carnot, así como determinar su coeficiente de funcionamiento y características de operación.

ACTIVIDADES:

Determinar:

- 1) El coeficiente de funcionamiento de una bomba de calor.

MATERIAL Y/O EQUIPO:

- ▶ Bomba de calor mecánica marca "Hilton".
- ▶ Siete termómetros de 0 a 100 °C.

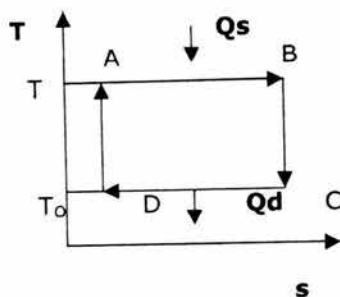
SUSTANCIAS:

- ▶ Agua.

ASPECTOS TEÓRICOS:

La bomba de calor es una máquina térmica cuya finalidad es mantener un sistema a una temperatura mayor que la del ambiente, esto se logra extrayendo calor del lugar frío y depositarlo en otro medio de mayor temperatura.

El ciclo reversible de Carnot es la teoría básica para cualquier sistema práctico de refrigeración. Este ciclo se muestra a continuación dentro de un diagrama temperatura-entropía (T-s).



Ciclo de Carnot en un diagrama T-s.

El ciclo de Carnot para un gas perfecto consiste en cuatro procesos básicos (ver figura anterior).

Proceso de A-B: Suministro de calor.
El calor se recibe desde un sumidero de alta temperatura.

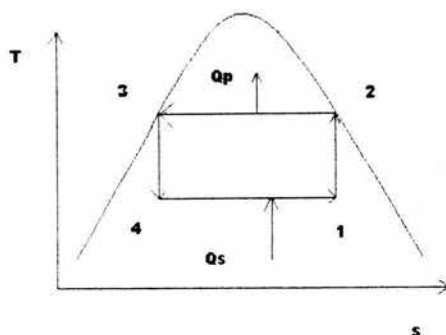
Proceso de B-C: Expansión adiabática.
La presión disminuye y la temperatura del fluido de trabajo baja hasta del valor de T_0 .

Proceso de C-D: Rechazo de calor.
El calor es cedido hacia un sumidero de baja temperatura T_0 . Cumpliendo así con la transferencia de calor por que se transmite de una alta temperatura hasta una baja temperatura.

Proceso de D-A: Compresión adiabática.
La presión aumenta y la temperatura del fluido de trabajo se incrementa de una temperatura T_0 hasta T.

Si el ciclo es reversible se presenta una máxima eficiencia entre las dos temperaturas de operación.

El ciclo invertido de Carnot (ver la siguiente figura) es la base fundamental del ciclo de refrigeración, se extrae calor de un depósito térmico de baja temperatura y se entrega a otro depósito de alta temperatura.



Ciclo inverso de Carnot en un diagrama T-s.

El índice de bondad de un ciclo invertido se expresa por el llamado coeficiente de operación (C.O.F), ó bien C.O.P (Coeficient of Performance), de manera similar que se expresa el rendimiento para las máquinas que operan en el ciclo normal de Carnot.

Para el caso de un refrigerante como sustancia de trabajo, el coeficiente de funcionamiento es:

$$\text{COF} = Q_e / W$$

ó

$$\text{COF} = T_c / (T_h - T_c)$$

Donde:

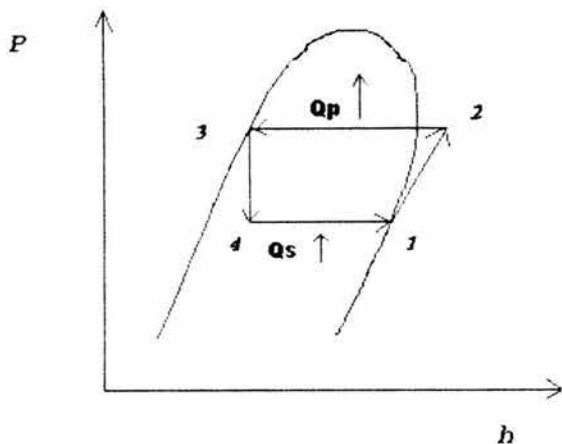
Q_e = Calor absorbido.

W = Trabajo suministrado a el compresor.

T_c = Temperatura absoluta fría.

T_h = Temperatura absoluta caliente.

El gas refrigerante al ganar energía del espacio frío hace descender la temperatura, posteriormente se aumenta la temperatura del refrigerante y se disipa la energía al medio condensante, indicando el ciclo de Carnot invertido en el diagrama P-h de la siguiente figura.



Ciclo invertido de Carnot en un diagrama T-s.

DESARROLLO:

1. Revisa Que haya suministro de agua.
2. Checa que el equipo este conectado a la toma de corriente.
3. Observa que estén bien colocados los diferentes termómetros.
4. Abre un poco el sistema de agua, hasta ajustar el flujo del caudal.
5. Tomar la lectura inicial que marca el contador del Watio-horas.
6. Prender eléctricamente el equipo.
7. ajustar el gasto del refrigerante.
8. Dejar que el equipo opere durante diez minutos para que se estabilice.
9. Cuando la unidad haya llegado al equilibrio, ábrase por completo la válvula de expansión para proporcionar un caudal máximo de 20 kg/s.

- De igual manera ajuste las válvulas reguladoras de agua, tratando de que el flujo para el condensador sea mayor que el flujo del evaporador.
- Tome las lecturas y llene la columna 1 de la tabla de lecturas.
- Reduzca el caudal del agua en pequeños decrementos hasta completar la tabla de lecturas.

ACTIVIDAD I DETERMINAR EL COEFICIENTE DE OPERACIÓN O DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR DEL LABORATORIO.

- 1.- Calor absorbido por el agua en el condensador.

$$Q_a = m_h C_p (T_5 - T_7) \quad (\text{KJ} / \text{s})$$

Donde:

$$\begin{aligned} m_h &= \text{gasto de agua en el condensador} \quad (\text{Kg} / \text{s}) \\ C_p &= 4.186 \text{ KJ} / \text{Kg} \text{ } ^\circ \text{C} \end{aligned}$$

- 2.- Calor suministrado por el agua en el evaporador.

$$Q_s = m_c C_p (T_7 - T_6) \quad (\text{KJ} / \text{s})$$

Donde:

$$\begin{aligned} m_c &= \text{gasto de agua en el evaporador} \quad (\text{Kg} / \text{s}) \\ C_p &= 4.186 \text{ KJ} / \text{Kg} \text{ } ^\circ \text{C} \end{aligned}$$

- 3.- Calor absorbido por el refrigerante en el evaporador.

$$Q_r = m_r (h_1 - h_2) \quad (\text{KJ} / \text{s})$$

Donde:

$$m_r = \text{gasto de refrigerante en el evaporador} \quad (\text{Kg} / \text{s})$$

4.- Calor disipado por el refrigerante en el condensador.

$$Q_d = m_r (h_2 - h_4) \quad (\text{KJ} / \text{s})$$

Donde:

$$m_r = \text{gasto de refrigerante en el evaporador} \quad (\text{Kg} / \text{s})$$

5.- Potencia suministrada (Ws).

La potencia se cuantifica con el wattohorímetro, donde:

$$166.66 (\text{ rev} / \text{ hora}) = 1\text{kw.}$$

6.- Coeficiente de funcionamiento.

$$\text{COF}_{\text{REAL}} = Q_r / W_s.$$

7.- Coeficiente de funcionamiento.

$$\text{COF}_{\text{IDEAL}} = Q_r / W_{s1}.$$

Donde:

$$W_s = Q_d - Q_r$$

NOTA: Determinar las entalpías con ayuda de las presiones y temperaturas del refrigerante y el diagrama P-h.

TABLA DE LECTURAS:

TABLA 2.1A.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	LECTURAS			
			1	2	3	4
Temperatura salida agua del condensador.	T_5	$^{\circ}\text{C}$				
Temperatura salida del agua del evaporador.	T_6	$^{\circ}\text{C}$				
Temperatura de entrada de agua del evaporador y condensador.	T_7	$^{\circ}\text{C}$				
Gasto de agua al evaporador.	mc	Kg/h				
Gasto de agua al condensador.	mh	Kg/h				
Gasto de refrigerante.	mr	Kg/h				
Contador de Watio-horas	s	S/rev				
Presión absoluta de refrigerante.	EVAPORADOR	Pe	KN/m^2			
Temperatura de entrada del refrigerante.		T_1	$^{\circ}\text{C}$			
Temperatura de salida del refrigerante.		T_2	$^{\circ}\text{C}$			
Presión absoluta de refrigerante	CONDENSADOR	Pc	KN/m^2			
Temperatura de entrada del refrigerante.		T_3	$^{\circ}\text{C}$			
Temperatura de salida del refrigerante.		T_4	$^{\circ}\text{C}$			

MEMORIA DE CÁLCULOS:

El alumno hará un desarrollo **DETALLADO** de acuerdo a las operaciones que se le piden a continuación.
o que se pide en la tabla de resultados:

TABLAS DE RESULTADOS:

TABLA 2.1B.

CONCEPTO	CALOR ABSORBIDO POR EL AGUA EN EL CONDENSADOR.	CALOR SUMINISTRADO POR EL AGUA EN EL EVAPORADOR.	CALOR ABSORBIDO POR EL REFRIGERANTE EN EL EVAPORADOR.	CALOR DISIPADO POR EL REFRIGERANTE EN EL CONDENSADOR.	POTENCIA SUMINISTRADA REAL.	POTENCIA SUMINISTRADA IDEAL.
SÍMBOLO	Q_a	Q_s	Q_r	Q_d	W_{SREAL}	W_{SIDEAL}
UNIDAD	KJ / s BTU / h	KJ / s BTU / h	KJ / s BTU / h	KJ / s BTU / h	KJ / s BTU / h	KJ / s BTU / h
LECTURA 1.						
LECTURA 2.						
LECTURA 3.						
LECTURA 4.						

TABLA 2.2B.

CONCEPTO	COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO REAL.	COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO IDEAL.
SÍMBOLO	COF	COF
UNIDAD	-----	-----
LECTURA 1.		
LECTURA 2.		
LECTURA 3.		
LECTURA 4.		

GRAFICAS:

Anexar los diagramas de presión - entalpía de las lecturas tomadas.

CONCLUSIONES:

El alumno deberá anotar sus comentarios de la realización de la práctica y recomendará el uso del equipo así como de sus componentes.

CUESTIONARIO No. 2:

1. Considera que el equipo que se utilizó en la práctica fue el apropiado. ¿Porqué?. Así mismo, identifique las partes de su refrigerador y haga una analogía con el equipo del laboratorio.
2. Determine el coeficiente aproximado ideal de su refrigerador, suponiendo que la temperatura de su congelador es la T_L y la temperatura de su condensador es T_H . NOTA: tomar estas temperaturas cuando el compresor este trabajando.
3. Investigar que es el coeficiente de calefacción y su semejanza con el coeficiente de operación. Así mismo determine sus diferencias.
4. Si su refrigerador se usa como bomba de calor ¿ Es factible que se use como una incubadora ? Explique que cambios técnicos se requieren para que haga esta función.
5. En equipos de aire acondicionado se usan como bombas de calor cuando es invierno, para llevar a cabo esta función se usa una válvula de doble vía. Explique el funcionamiento de esta válvula.

SERIE No. 2:

- 1.- Un refrigerador de Carnot opera entre límites de temperatura de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. La potencia requerida por el refrigerador la suministra una máquina de Carnot que opera entre los límites de temperatura de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Calcular:
- La eficiencia térmica de la máquina de Carnot.
 - El coeficiente de funcionamiento del refrigerador de Carnot.
 - El cociente de calor absorbido por el refrigerador al calor absorbido por la máquina térmica.
- 2.- Demuestre por segunda ley de la termodinámica, que la eficiencia térmica de un ciclo de Carnot que opera entre los límites de temperatura T_H y T_L es una función exclusiva de éstas dos temperaturas.

Sol. $\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} .$

- 3.- Demuestre por primera ley de la termodinámica, que la eficiencia térmica de un ciclo de Carnot que opera entre los límites de temperatura T_H y T_L es una función exclusiva de éstas dos temperaturas.

Sol. $\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} .$

4. Para calentar un edificio durante el invierno, se emplea una bomba térmica de Carnot. El aire exterior se encuentra a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se desea mantener el interior a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, mediante un análisis previo de transferencia de calor se estima que las pérdidas de calor del edificio hacia el exterior son aproximadamente de $50,000\text{ kcal/hr}$. Determinar:
- a) El flujo de calor absorbido por la bomba.
 - b) La potencia requerida para lograr el calentamiento.
 - c) Si los calentadores se hicieran por resistencias eléctricas, calcule la potencia que estas requerirán.

BIBLIOGRAFÍA:

El alumno deberá de incluir toda aquella fuente de información a la que haya recorrido.

PRACTICA No. 3

"MANEJO DE TABLAS DE VAPOR DE AGUA"

OBJETIVO:

El alumno:

Determinará la forma correcta del uso de tablas de vapor de propiedades termodinámicas, a partir de un calorímetro de estrangulamiento.

ACTIVIDADES:

- 1) Determinar la presión absoluta en la caldera y en el calorímetro.
- 2) Calcular las propiedades termodinámicas en el calorímetro.
- 3) Obtener la calidad de vapor en la caldera.
- 4) Calcular las propiedades termodinámicas del vapor de agua en la caldera.

EQUIPO Y MATERIAL:

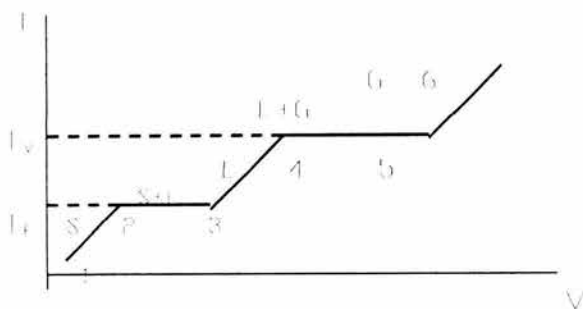
- ▶ Planta de vapor marca "GILKENS".
- ▶ Termómetro de 0 a 200 °C.

SUSTANCIAS:

- ▶ Agua.

ASPECTOS TEÓRICOS:

Los diagramas de fase, son diagramas que muestran el comportamiento de una sustancia simple compresible. Por ejemplo, la siguiente figura muestra el calentamiento de una sustancia a presión constante, donde la sustancia original esta en su fase sólida, es decir, en su estado 1.



Cuando al sólido se le suministra energía se calienta y consecuentemente aumenta su temperatura y volumen específico, esto ocurrirá mientras se siga suministrando energía, hasta que la sustancia alcance la temperatura de fusión (T_f) correspondiente a la presión a la que se realiza el experimento, hasta el punto donde la temperatura ya no aumenta, es decir, permanece constante, caso contrario a lo que le sucede al volumen específico, es decir, continúa aumentando, esto se debe a que cuando la sustancia alcanza la temperatura de fusión (T_f) empieza a cambiar de fase, de sólido a líquido (fusión), y mientras el cambio de fase no concluya la temperatura permanece constante ($T_2=T_3$).

El punto 2, donde empieza el sólido a cambiar de fase se conoce como "sólido saturado", y el punto 3 como "líquido saturado".

Sí se continúa suministrando energía a la sustancia en el punto 3, donde ya toda la sustancia es líquido, volverá a incrementarse su temperatura y su volumen específico hasta alcanzar la temperatura de ebullición o de vaporización (T_v).

Al alcanzar dicha temperatura, la sustancia vuelve a cambiar de fase, de líquido a gas o vapor, y durante todo el cambio de fase la temperatura del vapor permanece constante, es decir, $T_4=T_5=T_v$.

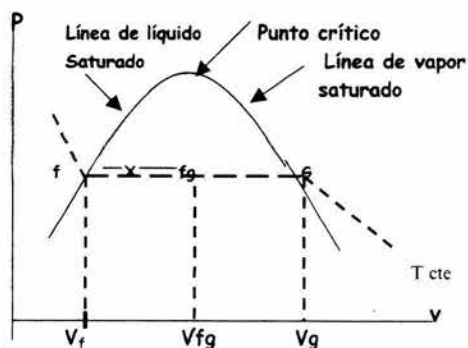
Al líquido en el punto 4 también se le llama "líquido saturado", la diferencia entre los puntos 3 y 4, es que se encuentra uno saturado con respecto al sólido y el otro con respecto al vapor, además $T_4>T_3$, eso es porque siempre $T_v>T_f$.

Al vapor en el punto 5 se le llama "vapor saturado", si se le suministra más energía, su temperatura sigue incrementándose al igual que su volumen específico. Si la sustancia se encuentra a una temperatura mayor que la de vaporización, correspondiente a la presión existente, se dice que la sustancia se encuentra como "Vapor sobrecalentado".

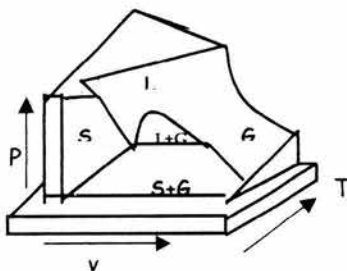
El diagrama presión-volumen es muy utilizado para el análisis de cambio de fase de líquido a vapor y viceversa. Se acostumbra a utilizar los subíndices "f" y "g" para señalar los estado de saturación del líquido y vapor respectivamente.

Por ejemplo a la temperatura T , marcada en el diagrama, el líquido saturado tendrá un volumen específico v_f y el vapor saturado un volumen específico v_g . Para señalar la diferencia

de una misma propiedad entre el vapor y el líquido saturado se utiliza el subíndice "fg".



Cuando se conjuntan los diagramas T-v, T-p y p-v en uno sólo, se obtiene un diagrama tridimensional conocido como "superficie p-v-T" de la sustancia en cuestión.



Los valores de p, v, T, u, h y otras propiedades se determinan mediante el uso de ecuaciones de estado, y la experimentación, estos valores se han tabulado y graficado en las "tablas y gráficas Termodinámicas". Estas facilitan el análisis y resolución de muchos problemas de Termodinámica.

Son de particular interés las tablas de vapor saturado y sobrecalentado, así como los diagramas que comprenden los domos de vapor.

Esto se debe a que el vapor de algunas sustancias, como el agua, el freón y el mercurio, son muy utilizadas como sustancias de trabajo en muchos dispositivos y máquinas térmicas.

El vapor es el gas que resulta de la vaporización de un líquido o de la sublimación de un sólido. La aplicación de calor a un líquido sujeto presión, da lugar a un cambio de estado físico, es decir, el líquido se convierte en vapor.

Si se continúa aplicando calor hasta la que la última partícula del líquido se haya evaporado, resulta vapor saturado y seco.

El vapor puede adquirir tres formas:

- Vapor saturado.**- Se obtiene cuando la presión del vapor depende únicamente de la temperatura, y en condiciones especiales, el vapor se puede encontrar en equilibrio con la fase líquida.
- Vapor seco.**-Se obtiene cuando la fase líquida ha desaparecido totalmente. Esto se logra cuando incrementamos la temperatura al vapor saturado, sin que este llegue a alcanzar la temperatura crítica.

- c) **Vapor recalentado.**- Es el vapor de agua empleado como fuerza electromotriz, este se obtiene, al calentar el vapor seco, siempre por debajo de la temperatura crítica.

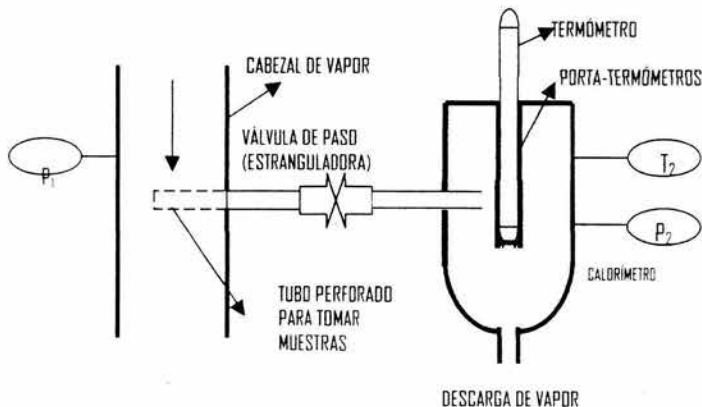
La calidad de vapor representa la cantidad de vapor que se encuentra en la mezcla saturada; es decir, la razón de la masa de vapor a la masa de la mezcla:

$$X = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{mezcla}}}$$

Los calorímetros, son los aparatos que miden experimentalmente la calidad de los vapores húmedos.

Calorímetro de estrangulación.

Un calorímetro de estrangulación para vapor es un instrumento utilizado para determinar la calidad del vapor húmedo que fluye por un cabezal. Su funcionamiento se basa en el hecho de que cuando el vapor húmedo se estrangula suficientemente, se forma vapor sobrecalentado.



DESARROLLO:

1. Revise que haya suministro de agua.
2. Asegúrese que el nivel de agua en la caldera sea el adecuado, verificando en el indicador de nivel que sea su máximo permisible.
3. Compruebe que el equipo se encuentre conectado a la toma de corriente.
4. Abra muy poco el sistema de agua de enfriamiento.

NOTA: VIGILE DURANTE EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA QUE NO FALTE EL SUMINISTRO DE AGUA PARA EL CONDENSADOR.

5. Accione los interruptores de las resistencias eléctricas, estos se encuentran en el panel del equipo.
6. Espere a que la temperatura y la presión empiecen a incrementarse, cuando esto suceda, abra la válvula de control de flujo de vapor para purgar el aire que se encuentra dentro de la caldera.
7. Cierre la válvula de control del flujo de vapor y espere a que la presión en el manómetro se incremente hasta 300 KN/m^2 . Anote las lecturas de la presión y la temperatura en la caldera y del calorímetro en la tabla 3.1A.

NOTA: LA PRESIÓN EN LA CALDERA SE CONTROLA INCREMENTANDO O DISMINUYENDO LA ENERGÍA SUMINISTRADA, POR LO QUE SI LA PRESIÓN EXCEDE A MÁS DE 300 KN/m^2 , DESACTIVE UNA DE LAS RESISTENCIAS, CUANDO LA PRESIÓN EMPIECE A DISMINUIR, ACTIVE NUEVAMENTE LA RESISTENCIA.

Una vez tomadas las lecturas:

8. Apague las resistencias.

9. Abra las válvulas de control de la caldera y el calorímetro para que el vapor escape.
10. Una vez que ya no salga vapor, cierre la válvula de enfriamiento.
11. Desconecte el equipo del suministro eléctrico.
12. Mida la presión atmosférica en el barómetro del laboratorio.

ACTIVIDAD I: PRESIÓN ABSOLUTA DEL SISTEMA.

Con el dato obtenido de la presión atmosférica del laboratorio, calcula la presión absoluta en Bar, en la caldera. Anotar su valor en la tabla 3.1A.

$$P_{abs-cald} = P_{atm} + P_{man}$$

ACTIVIDAD II: PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL VAPOR SOBREALENTADO.

Realizando el estudio en el calorímetro de estrangulamiento y aplicando la Primera Ley de la Termodinámica, se concluye que el proceso interno que se lleva a cabo en el calorímetro, es Isoentálpico, es decir que: $h_1 = h_2$

Aplicando la Primera Ley de la Termodinámica.

$$Q + W = \Delta E$$
$$Q + W = \Delta E_p + \Delta E_U + \Delta E_c + W_f$$

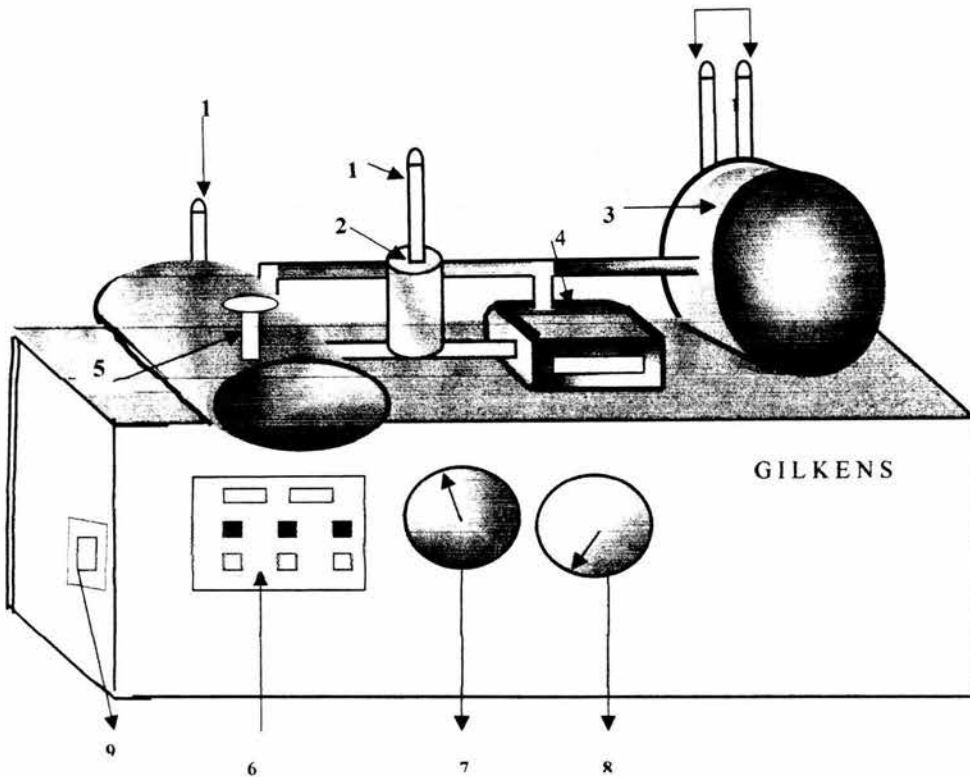
Haciendo el análisis correspondiente, se concluye que:

$Q = 0$, debido a que no se suministra calor al sistema.

$W = 0$, ya que el sistema no entrega trabajo.

$\Delta E_p = 0$, ya que tanto en la caldera como en el calorímetro se encuentran prácticamente a la misma temperatura y presión.

$\Delta E_i = 0$, debido a que no hay variación de la velocidad del fluido a la entrada y a la salida del mismo.



1. TERMÓMETROS
2. CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO
3. CONDENSADOR
4. MOTOR DE VAPOR
5. VÁLVULA REGULADORA
6. CONTROLADOR DE RESISTENCIAS
7. MANÓMETRO DE LA CALDERA
8. MANÓMETRO DEL MOTOR
9. SWICHT

Por lo tanto:

$$\Delta EU + W_f = 0$$

Donde:

ΔEU = incremento de energía interna (Joules, ergios).

W_f = trabajo de flujo (Joules, ergios).

Aplicada a la entrada y salida del calorímetro:

$$U_2 - U_1 = 0$$

y la energía térmica específica:

$$u_2 - u_1 = 0$$

Empleando la definición de entalpía, tenemos:

$$h = Pv + u$$

$$u_2 = h_2 - P_2 v_2$$

$$u_1 = h_1 - P_1 v_1$$

Por lo tanto:

$$(h_2 - P_2 v_2) - (h_1 - P_1 v_1) = 0$$

$$h_2 - P_2 v_2 - h_1 + P_1 v_1 = 0$$

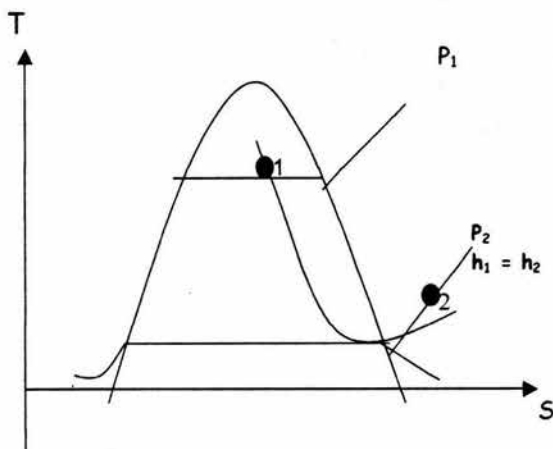
Esto implica que el proceso si es isoentálpico, es decir:

$$h_2 - h_1 = 0$$

O bien:

$$h_2 = h_1$$

Esto queda representado en un diagrama T-s como:



Lo cual indica que en el punto 2 el vapor se encuentra sobrecalentado y la entalpía se puede determinar en tablas de vapor sobrecalentado con la Presión atmosférica (P_2) y la Temperatura en el calorímetro (T_2).

Determinar con la P_2 y T_2 : La entropía (s), entalpía (h), (el volumen específico (v) y la energía interna (u).

ACTIVIDAD III: DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE VAPOR EN LA CALDERA.

Para determinar la calidad de vapor en la caldera, consideremos:

$$h_1 = h_{L1} + X_1(h_G - h_L)$$

Despejando x_1 , nos queda:

$$X_1 = \frac{h_1 - h_{L1}}{(h_G - h_L)_1}$$

Consideramos: $h_1 = h_2$

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

$\left. \begin{array}{l} h_{L1} \\ h_G \text{ y } h_L \end{array} \right\}$ SE DETERMINAN DE TABLAS DE VAPOR SATURADO CON LA P_1

ACTIVIDAD IV: OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS EN LA CALDERA.

$$h_1 = h_{L1} + X_1(h_G - h_L)_1$$

$$v_1 = v_{L1} + X_1(v_G - v_L)_1$$

$$S_1 = S_{L1} + X_1(s_G - s_L)_1$$

$$u = h_1 - P_1 u_1$$

Donde la calidad del vapor se determinó en la actividad No. III y las otras variables se obtienen de tablas de vapor saturado con la P_1 . Anotar los datos obtenidos en la tabla 3.3B.

Con los datos de la tabla 7.3A. calcular: h, v, s, u ; anotar los resultados en la tabla 3.4B.

TABLAS DE LECTURAS:

TABLA 3.1A.

CONCEPTO	CALDERA		CALORÍMETRO		ATMÓSFERA
UNIDAD	Presión (mmHg)	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)
LECTURA					

MEMORIA DE CÁLCULOS:

El alumno hará un desarrollo **DETALLADO** de acuerdo a lo que se pide en la tabla de resultados:

TABLAS DE RESULTADOS:

TABLA 3.1B.

CONCEPTO	SÍMBOLO	UNIDAD	PRESIÓN ABSOLUTA
CALDERA	P_{calde}	bar	

TABLA 3.2B.

CONCEPTO	h_2	v_2	s_2	u_2
(UNIDADES)	KJ/kg	m ³ /kg	KJ/kg°C	KJ/kg
CALORÍMETRO				

TABLA 3.3B.

CONCEPTO	v_{L1}	v_{G1}	v_{GL1}	h_{L1}	h_{GL1}	s_{L1}	s_{GL1}	x_1
UNIDADES	m ³ /kg	m ³ /kg	m ³ /kg	KJ/kg	KJ/kg	KJ/kg°C	KJ/kg°C	KJ/kg°C
CALDERA								

TABLA 3.4B.

CONCEPTO	s_j	v_j	u_j	h_j
UNIDADES	$\text{kJ/kg}^\circ\text{k}$	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg
CALDERA				

CONCLUSIONES:

El alumno deberá anotar sus comentarios de la realización de la práctica y recomendará el uso del equipo así como de sus componentes.

CUESTIONARIO No.3:

1. ¿Cuáles son los problemas que se pueden presentar en la operación de una caldera?
2. ¿Qué precauciones deben tomarse al encender una caldera?
3. ¿Cómo se mide la presión absoluta en una caldera?
4. ¿Que relación existe entre la variación del peso del agua con el aumento de temperatura en una caldera para su buen funcionamiento?
5. ¿Qué sucede cuando la vaporización del agua tiene lugar en un recipiente cerrado y se le aumenta su temperatura?.
6. ¿A qué se debe la circulación térmica del agua? De un ejemplo.
7. En cuantas formas se transmite el calor en una caldera.
8. ¿Cómo pueden clasificarse las calderas?
9. ¿Cuáles son las bombas que se usan para alimentar de agua calderas y generadores de vapor? ¿Cuál es el tipo más usado?
10. ¿Qué es una máquina de vapor?

SERIE No. 3:

1. Por debajo de su punto de ebullición la variación de la presión de vapor del benceno viene dada por:
$$\text{Log } P(\text{mm Hg}) = 7,2621 - 1402,46/T - 51387,5/T^2$$
a partir de la cual se ha encontrado para el punto de ebullición del benceno el valor de 80,2 °C. El volumen específico del vapor en su punto de ebullición a una atm es 356 cm³/g y el del líquido 1,2 cm³/g. Calcular el calor de vaporización a esa temperatura.
2. Inicialmente se tiene vapor de agua en una ampolla de volumen de 1 lt. a una Temperatura 50 °C y a una Presión de 0,7 atm. Calcular la Presión del sistema cuando la Temperatura baja a 90 °C y 80 °C.
3. Se tiene agua en forma de vapor, sólido, líquido en equilibrio a cierta T. Si se aumenta la T. ¿Qué composición tendrá el nuevo estado?
4. Una turbina de vapor, toma vapor de la caldera a una presión de 35 bar y una temperatura de 400 °C. Si la presión de operación del condensador es de 0.05 bar. Calcúlese:
 - a) El trabajo neto.
 - b) El calor suministrado.
 - c) El calor rechazado.
 - d) La eficiencia térmica del ciclo.

BIBLIOGRAFÍA:

El alumno deberá de incluir toda aquella fuente de información a la que haya recorrido.

PRACTICA No. 4

"EFICIENCIA DEL CICLO RANKINE"

OBJETIVO:

El alumno:

Determinará la eficiencia del ciclo Rankine de la planta de vapor del laboratorio.

ACTIVIDADES:

- 1) Determinar la eficiencia teórica del ciclo de Carnot.
- 2) Determinar la eficiencia teórica del ciclo Rankine.
- 3) Determinar la eficiencia real del ciclo Rankine (formulada por el fabricante).

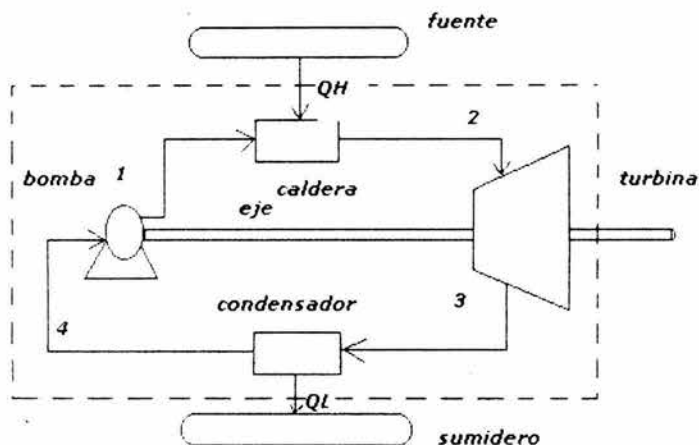
MATERIAL Y/O EQUIPO:

- ▶ 1 Planta de vapor "Gilkes".
- ▶ 1 termómetro de 0 °C a 200 °C.
- ▶ 1 tacómetro.
- ▶ 1 cronómetro.
- ▶ 1 matraz.

ASPECTOS TEÓRICOS:

El ciclo de Carnot es un ciclo hipotético desarrollado por Carnot para una máquina de calor ó para una máquina de calor invertida. Todos los procesos del ciclo de Carnot son reversibles, proporcionando así el mejor dispositivo posible que se podría construir. Los resultados del análisis del ciclo se pueden usar para determinar la eficiencia máxima del rendimiento posible de una máquina de calor ó de una máquina de calor inversa.

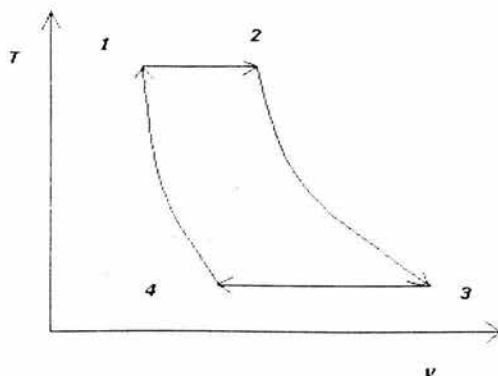
La siguiente figura muestra una planta generadora de vapor que puede servir como modelo para el análisis de las características importantes de una máquina Carnot de calor.



Dispositivo de una planta de vapor de Carnot.

El fluido de trabajo es inicialmente un líquido saturado, éste circula a través del ciclo de un punto 1 a un punto 2, pasando por la caldera, luego del punto 2 al punto 3 pasando a través de la turbina, luego del punto 3 al punto 4 pasando por el condensador y termina del punto 4 al punto 1 donde pasa a través de la bomba, cerrando se así el ciclo.

Los estados termodinámicos para el fluido de trabajo del ciclo de la máquina de Carnot se ilustran a través de la siguiente figura.



Estados termodinámicos para el fluido de trabajo en un ciclo Carnot.

Proceso 1-2 *Proceso isotérmico reversible*, en el cual el calor fluye de una fuente de alta temperatura al fluido de trabajo, que se encuentra a temperatura constante y solo infinitesimalmente inferior a la temperatura de la fuente.

Proceso 2-3 *Proceso adiabático reversible*, durante el cual el fluido de trabajo se expande a través de una turbina para producir una salida de trabajo positivo.

Proceso 3-4 *Proceso isotérmico reversible*, en el cual el calor fluye hacia un sumidero de baja temperatura desde el fluido de trabajo (durante su paso a través del condensador). Tanto el fluido de trabajo como el sumidero se hallan a temperaturas constantes, que difieren solo una cantidad infinitesimal.

Las plantas de vapor normalmente son máquinas de combustión externa. La siguiente figura nos muestra una planta de energía de vapor.

El vapor de agua es el fluido de trabajo más usado en la mayoría de las plantas convencionales de energía térmica.

Aunque de ninguna manera se trata de un fluido de trabajo perfecto, el vapor de agua sin embargo tiene ciertas ventajas sobre otros fluidos.

- 1.-** El agua es relativamente barata y fácil de obtener.
- 2.-** Es químicamente estable en el intervalo normal de presiones y temperaturas encontradas en el funcionamiento de tales plantas.
- 3.-** Es razonablemente no corrosiva, en particular cuando se le trata en forma apropiada.
- 4.-** Tiene un valor grande para la entalpía de vaporización. Permitiendo por ello grandes diferencias de energía mediante el uso de unidades relativamente compactas.
- 5.-** Se logran con facilidad altas velocidades de transferencia de calor al fluido de trabajo, minimizando así los problemas de transferencia de calor con el agua.

El ciclo termodinámico que rige este ciclo de energía de vapor es el ciclo **Rankine**.

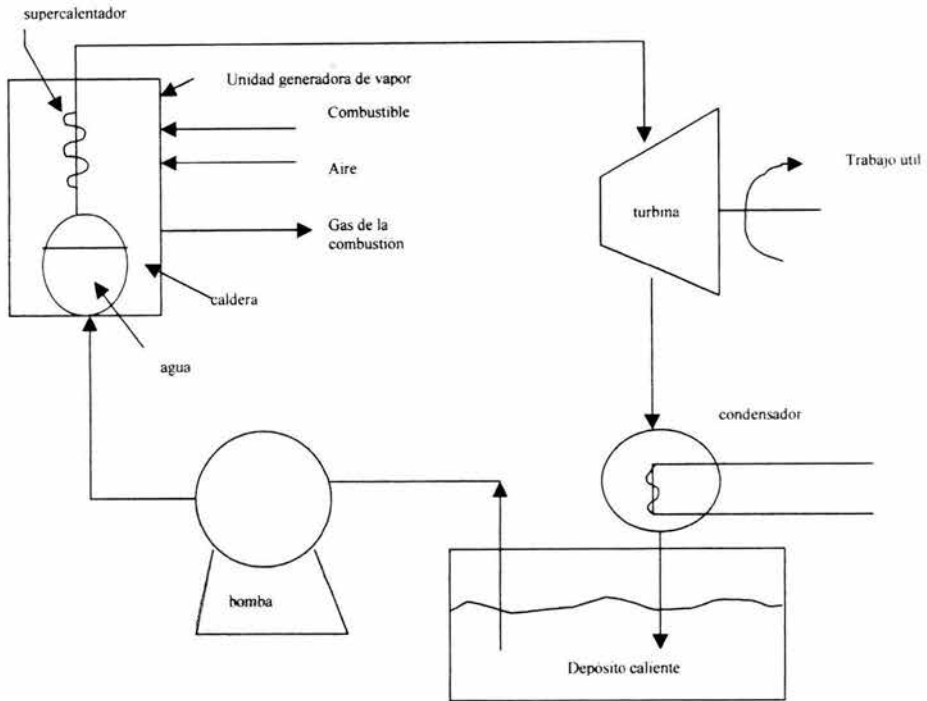


Diagrama esquemático de una planta generadora de vapor de agua.

El ciclo Rankine básico usa vapor de agua seco saturado en la entrada de la turbina.

Para producir la irreversibilidad térmica en la fase de generación de vapor del ciclo, se hace una serie de modificaciones al ciclo Rankine básico:

Estas modificaciones incluyen supercalentamientos y recalentamientos, conceptos se analizarán con más detalle más adelante.

Las modificaciones tienen también la importante función de garantizar una calidad aceptable del vapor de agua a la salida de la turbina. Si se tienen abundantes gotas de agua en el vapor de agua que pasa por la turbina, puede ocurrir una erosión considerable en las paletas de la turbina.

El recalentamiento y el supercalentamiento del vapor de agua tienen efecto benéfico de mejorar la calidad del vapor de agua que sale de la turbina.

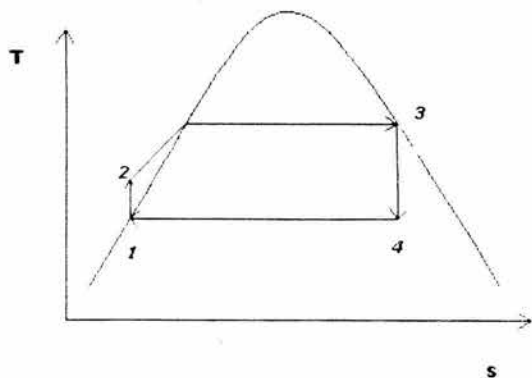
El ciclo Rankine ideal simple consta de los siguientes procesos termodinámicos:

- 1.- Trabajo isentrópico de la bombas de alimentación.
- 2.- Generación de vapor de agua a presión constante en la caldera.
- 3.- Expansión isentrópica del vapor de agua a través de la turbina.
- 4.- Condensación del vapor de agua a la presión del condensador.

Para hacer un análisis completo se requiere considerar la primera ley de la termodinámica así como un análisis de exergía.

Para la consideración de la primera ley se usa la ecuación de la energía con flujo estable para cada componente de la máquina de vapor tratada como un volumen de control a través del cual pasa una corriente estable de fluido de trabajo.

De manera similar se usan las ecuaciones del flujo de exergía a fin de obtener una evaluación del rendimiento del ciclo con base a la segunda ley de la termodinámica.



El diagrama T-s muestra los procesos termodinámicos del ciclo Rankine simple.

DESARROLLO DE LA PRACTICA:

- 1.- El alumno observará y comprenderá como están interconectados cada uno de los componentes del ciclo Rankine.
- 2.- El instructor hará una breve explicación de los componentes, identificando cada uno de éstos, haciéndole cuestionamientos al alumno para que el conocimiento sea más significativo.
- 3.- El alumno que no conteste los cuestionamientos no podrá realizar la práctica, ya que esto indica que no leyó el formato y no va a saber de que se trata la práctica.
- 4.- Se debe de checar la conexión eléctrica, y que todos los controles eléctricos estén apagados.
- 5.- Observar que todos los instrumentos de medición se encuentren colocados y que funcionen.
- 6.- Asegurarse de que el suministro hidráulico se encuentre con gasto y en buenas condiciones.
- 7.- Se deja circular agua a través del condensador para evitar un sobrecalentamiento.
- 8.- De acuerdo a la tabla de lecturas, el instructor le dará la responsabilidad a cada uno de los alumnos para que se hagan cargo de manipular una de las variables.
- 9.- Se conecta la clavija a la red eléctrica.
- 10.- Accione los interruptores de las resistencias eléctricas, estos se encuentran en el panel del equipo.

NOTA: VIGILE DURANTE EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA QUE NO FALTE EL SUMINISTRO DE AGUA PARA EL CONDENSADOR.

- 11.- Cuando la unidad a llegado a su equilibrio, se purgará la caldera para que deje salir todo el aire contenido en ésta.
- 12.- Para obtener una buena lectura, la unidad tendrá que dejarse operando alrededor de 10 minutos al inicio de la práctica.

- 13.- Espere a que la temperatura y la presión empiecen a incrementarse, cuando esto suceda, abra la válvula de control de flujo de vapor para purgar el aire que se encuentra dentro de la caldera.
- 14.- Cierre la válvula de control del flujo de vapor y espere a que la presión en el manómetro se incremente hasta 300 KN/m^2 . Anote las lecturas de la presión y la temperatura en la caldera y del calorímetro en la tabla 4.1A.

NOTA: LA PRESIÓN EN LA CALDERA SE CONTROLA INCREMENTANDO O DISMINUYENDO LA ENERGÍA SUMINISTRADA, POR LO QUE SÍ LA PRESIÓN EXCEDE A MÁS DE 300 KN/m^2 , DESACTIVE UNA DE LAS RESISTENCIAS, CUANDO LA PRESIÓN EMPIECE A DISMINUIR, ACTIVE NUEVAMENTE LA RESISTENCIA.

- 15.- Para asegurarnos de que el calorímetro tiene vapor sobrecalentado, la temperatura manejada será arriba de los 100°C .
- 16.- Al cumplirse las condiciones anteriores, el instructor cerrará la válvula que desvía el vapor hacia el calorímetro, esto provocará que el vapor pase al motor de vapor.
- 17.- El instructor deberá controlar la válvula de paso a la salida de la caldera para que controle el número de revoluciones del motor de vapor.
- 18.- Se tomarán las lecturas en ese mismo momento entre todo el grupo, para que las condiciones sean las mismas en el momento de la lectura.

Una vez tomada las lecturas, se desconecta la energía eléctrica.

- 19.- Apague las resistencias.
- 20.- El gasto del agua se deja circular por un rato hasta que las presiones se equilibren y el vapor se dejará escapar totalmente de la caldera, esto indicará que el sistema ya esta en equilibrio total.

- 21.- Una vez que ya no salga vapor, cierre la válvula de enfriamiento.
- 22.- Desconecte el equipo del suministro eléctrico.
- 23.- Mida la presión atmosférica en el barómetro del laboratorio.

ACTIVIDAD I: DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA IDEAL MÁXIMA COMO CICLO DE CARNOT.

El alumno determinará la máxima eficiencia del ciclo, considerándolo un ciclo de Carnot.

$$\eta = 1 - (T_B / T_A) \quad (\%).$$

Donde:

$$T_A = \text{Temperatura absoluta de la caldera } (^{\circ} \text{K}).$$

$$T_B = \text{Temperatura absoluta en el condensador } (^{\circ} \text{K}).$$

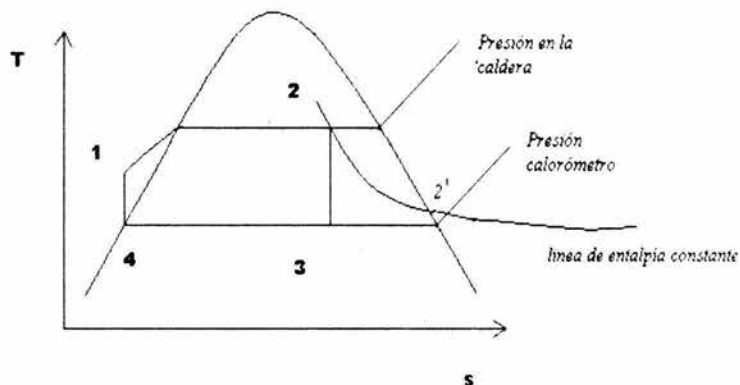
T_B Se determina en tablas de vapor saturado de vapor de agua con la presión atmosférica del lugar.

ACTIVIDAD II: DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA IDEAL MÁXIMA, COMO CICLO RANKINE.

El alumno con ayuda del diagrama T-s del vapor de agua determinará y dibujará en el mencionado diagrama lo siguiente:

Dibujará el ciclo Rankine que se obtuvo en la planta de vapor.

Para conocer la calidad del vapor , es necesario determinar la entalpía en la región del vapor sobrecalentado (2'), con la temperatura del calorímetro y la presión atmosférica para obtener la calidad en el punto 2 (X_2 de la gráfica).



El trabajo realizado por el motor de vapor, lo consideramos a entropía constante:

$$W = h_2 - h_3 \quad (\text{Kj/Kg}).$$

El calor suministrado:

$$Q_s = h_2 - h_1 \quad (\text{Kj/Kg}).$$

El calor rechazado:

$$Q_r = h_3 - h_4 \quad (\text{Kj/Kg}).$$

La eficiencia del ciclo Rankine la calculamos de la siguiente expresión:

$$\eta = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_1) \quad (\%)$$

Donde:

h_2 , h_3 y h_1 son valores obtenidos del diagrama T-s.

Determinará la entropía teórica en el condensador y en la caldera:

$$S_{\text{cond}} = Q_r / T_B \quad (\text{Kj} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}).$$

$$S_{\text{caldera}} = Q_s / T_A \quad (\text{Kj} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}).$$

ACTIVIDAD III: DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA REAL COMO UN CICLO RANKINE.

Con la ayuda de las tablas de propiedades termodinámicas de gases y vapores, el alumno calculará lo siguiente:

El trabajo realizado por el motor:

$$W = 0.00595 (\Delta F) N \quad (\text{watts})$$
$$N = \text{rev} / \text{min}$$
$$\Delta F = \text{Newton}$$

El calor transmitido al agua:

$$Q_s = mv (h_2 - h_w) \quad (\text{watts})$$
$$mv = v \rho / t_c \quad (\text{kg/seg})$$
$$v = \text{volumen de condensado} \quad (\text{m}^3)$$
$$\rho = \text{densidad del agua} \quad (\text{kg} / \text{m}^3)$$
$$t_c = \text{tiempo de condensado} \quad (\text{seg})$$
$$h_w = C_p T_w$$
$$C_p = 4.186 \quad (\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C})$$
$$T_w = \text{temperatura inicial del agua} \quad (^\circ\text{C})$$

$$h_2 = \text{entalpía a la entrada del motor de vapor} \quad (\text{kJ/kg})$$

El calor disipado del agua:

$$W = Q_s - Q_d$$

Por lo tanto,

$$Q_d = Q_s - W. \quad (\text{watts})$$

La eficiencia real del ciclo Rankine:

$$\eta = W / Q_s \quad (\%)$$

O

$$\eta = 1 - (Q_d / Q_s) \quad (\%)$$

TABLAS DE LECTURAS:

TABLA 4.1A.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	LECTURA
Presión en la caldera.	P_2	bars	
Presión en el calorímetro.	P_2	bars	
Presión atmosférica.	P_{ATMS}	mmHg	
Temperatura en la caldera.	T_2	° C.	
Temperatura en el calorímetro.	T_2	° C.	
Temperatura inicial del agua en la caldera.	T_w	° C.	
Velocidad del motor de vapor.	N	rev/min	
Lectura en el dinamómetro.	ΔF	Newton	
Volumen de condensado.	v	m	
Tiempo de condensado en el matraz.	t_c	segundos	

MEMORIA DE CÁLCULOS:

El alumno hará un desarrollo **DETALLADO** de acuerdo a lo que se pide en la tabla de resultados:

TABLA DE RESULTADOS:

TABLA 4.1B. Como una máquina de Carnot.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	LECTURA
Eficiencia térmica.	η	(%)	

TABLA 4.2B. Como un ciclo Rankine ideal, del diagrama T-s.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	LECTURA
Calor suministrado.	Q_s	kJ / kg	
Calor rechazado.	Q_r	kJ / kg	
Trabajo suministrado.	W	kJ / kg	
Eficiencia térmica ideal.	η	%	
Entropía en el condensador.	S_c	$\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ \text{C}$	
Entropía en la caldera.	S_e	$\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ \text{C}$	

TABLA 4.3B. Como un ciclo Rankine y con datos del fabricante.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	LECTURA
Calor suministrado	Q_s	watts	
Trabajo suministrado	W	watts	
Calor disipado.	Q_d	watts	
Eficiencia térmica real.	η	%	

GRAFICAS:

Anexar los diagramas de presión - entalpía de las lecturas tomadas.

CONCLUSIONES:

El alumno deberá anotar sus comentarios de la realización de la práctica y recomendará el uso del equipo así como de sus componentes.

CUESTIONARIO No. 4:

1.- Defina lo siguiente:

- A) Depósito térmico. B) Entalpía. C) Entropía.
D) Ciclo termodinámico. E) Máquina térmica. F) Trabajo neto.
G) Trabajo máximo. H) Trabajo máximo útil. I) Eficiencia térmica.

2.-¿Por qué la eficiencia térmica sale muy baja?

3.-¿Cuál es la máxima eficiencia térmica a la que podría aspirar éste equipo?

4.- De acuerdo a su respuesta anterior, si es positiva, ¿Cómo lograríamos aumentar dicha eficiencia?.

5.-¿Cómo cumple la práctica la desigualdad de Clausius? Haga todos los cálculos necesarios para justificar su respuesta.

SERIE No. 4:

1. Una planta de potencia de vapor opera en un ciclo ideal Rankine. El vapor entra a la turbina a 10 MPa y 600 °C y escapa hacia el condensador a 5 KPa. La relación de flujo de masa del vapor a través de la caldera es de 18 kg/s. Determinar:
 - a) La salida neta de potencia de la planta. (MW).
 - b) La eficiencia térmica del ciclo. (%).

2. Una planta de potencia de vapor opera en un ciclo Rankine y tiene una salida de potencia neta de 120 MW. El vapor entra a la turbina de alta presión a 10 MPas. y 550 °C, y sale a 0.8 MPas.. El resto del vapor se recalienta hasta 500 °C y se expande en la turbina de baja presión hasta la presión del condensador de 10 kPas.
 - a) Hacer un croquis físico de la planta de potencia de vapor.
 - b) Hacer en diagrama T-s del ciclo termodinámico.
 - c) Determinar cada una de las entalpías en cada estado.
 - d) Determinar el trabajo neto de la planta.
 - e) Determinar el flujo másico de vapor.
 - f) Determinar el flujo de calor suministrado.
 - g) Determinar el flujo de calor rechazado.
 - h) Determinar la eficiencia térmica mediante dos formas:
 - 1) Por medio del trabajo neto.
 - 2) Por medio de los calores.

3. Una turbina de vapor cuya eficiencia es del 90% toma vapor de la caldera a una presión de 35 bar y una temperatura de 400 °C. Si la presión de operación del condensador es de 0.05 bar. Calcúlese:
 - a) El trabajo neto.
 - b) El calor suministrado.
 - c) El calor rechazado.
 - d) La eficiencia térmica del ciclo.

4. Una planta de energía de vapor de agua recibe calor de una fuente de calor a razón de 100 MW. La planta opera con una presión de 40 bar en la caldera y una presión de 0.075 bar en el condensador. Si la planta esta diseñada para funcionar idealmente en el ciclo Rankine con supercalentamiento a 500 °C. Calcúlese:
- a) La eficiencia térmica del ciclo.
 - b) La razón de trabajo ($r = \text{trabajo neto} / \text{trabajo positivo}$).
 - c) La salida de potencia de la planta (MW).
 - d) La velocidad requerida del flujo másico del fluido de trabajo (kg / h).

Resp. A) 37.6%. B) 0.997. C) 37.6 MW D) 110000 kg / h. E) 2.93 kg / Kwh.

BIBLIOGRAFÍA:

El alumno deberá de incluir toda aquella fuente de información a la que haya recorrido.

PRACTICA No. 5

"ANÁLISIS ENERGETICO DEL CICLO RANKINE"

OBJETIVO:

El alumno:

Realizará un análisis termodinámico completo cada uno de los componentes del ciclo Rankine de la planta de vapor del laboratorio.

ACTIVIDADES:

- 1) Hacer el balance de energía en el motor de vapor.
- 2) Hacer el balance de energía en el condensador.
- 3) Hacer el balance de energía en la caldera.
- 4) Hacer un balance de energía en el ciclo termodinámico, para obtener las pérdidas de energía totales cuando el equipo se encuentra en estado y flujo estable (condiciones ideales).

MATERIAL Y/O EQUIPO:

- ▶ 1 Planta de vapor "Gilkes".
- ▶ 1 termómetro de 0 °C a 200 °C.
- ▶ 1 tacómetro.
- ▶ 1 cronómetro.
- ▶ 1 matraz.

ASPECTOS TEÓRICOS:

Puesto que la rapidez con que se produce trabajo recibe el nombre científico de potencia, a un ciclo termodinámico que permita la continua conversión de calor en trabajo se le conoce como ciclo de potencia.

Los ciclo de potencia se pueden en dos tipos, atendiendo a la fase en que se encuentre la sustancia de trabajo durante el ciclo mismo. Así se tienen los ciclos de potencia de vapor, en los cuales las sustancias de trabajo efectúa un cambio de fase como en el caso de vapor de agua ampliamente utilizado en nuestra tecnología, y los ciclos de potencia de

gas, en los cuales las sustancias de trabajo permanecen en estado gaseoso todo el tiempo durante el ciclo.

Cada uno de ellos tienen sus ventajas y desventajas y obviamente al decir la clase de ciclo a emplear, debe tenerse en cuenta la naturaleza de la sustancia de trabajo.

Una vez seleccionado el ciclo termodinámico y la sustancia de trabajo, se debe pasar del diseño conceptual de la planta generadora al diseño formal de los diversos elementos que constituirán la planta.

Se trata de seleccionar ahora los elementos físicos que permitirán llevar a cabo los diversos procesos que forman parte del ciclo. Se determinarán así los parámetros importantes como las temperaturas, presiones, gastos, etc.

Necesarios para el diseño de cada uno de los equipos. Estos parámetros de diseño, permitirán que el ingeniero encargado del proyecto determine la factibilidad económica del proyecto.

La tercera ley de la termodinámica puede escribirse de la siguiente manera:

La entropía de una sustancia pura en equilibrio termodinámico tiende a cero cuando la temperatura de la sustancia se acerca al cero absoluto.

De aquí se puede suponer que la entropía proporciona una medida de estructura, de caos y de desorden, el valor de la entropía aumenta conforme aumenta la temperatura; el caos crece, mientras que la estructura disminuye.

La entropía se define a veces desde el punto de vista macroscópico como la medida de desorden dentro del sistema. Así los valores de la entropía indican altos niveles de desorden, mientras que los valores bajos representan bajos niveles de desorden.

La segunda ley de la termodinámica establece que el trabajo es una forma de energía mucho más importante que el calor, ya que todo el trabajo se puede convertir en calor, pero no todo el calor se puede convertir en trabajo.

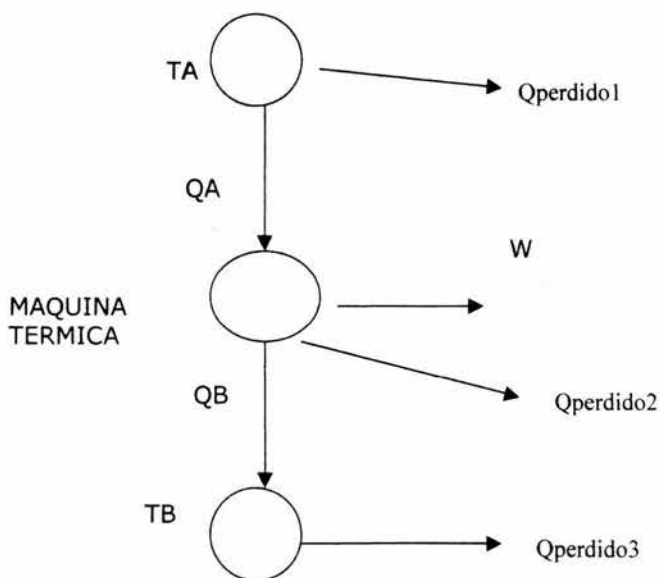
El clásico ejemplo se puede encontrar en las balatas de un carro, donde al ser usadas todo el movimiento de la rueda se pierde provocando el

calentamiento de las balatas, pero ese calor no puede convertirse totalmente en calor.

Al suministrarle calor a una máquina térmica, el ciclo de Carnot establece el límite máximo de eficiencia de esa máquina por lo que podemos observar que siempre habrá una energía que jamás se podrá recuperar (muchos le dicen energía no disponible), así que la segunda ley analiza a las energías de una manera cuantitativa.

La primera ley de la termodinámica establece los principios de los balances de energía, esto es, hacer un análisis completo dentro de un sistema (ya sea abierto ó cerrado) de todas las energías que están interactuando dentro de dicho sistema. Por lo que decimos que la primera ley analiza las energías de una manera cuantitativa.

Por ejemplo de la figura que nos representa una máquina térmica convencional podemos observar todas las energías que entran y también todas las que salen. La primera ley nos va a decir todas las energías que interactúan, la segunda ley la calidad de esas energías y la tercera ley la cantidad de energía que no puede utilizarse a pesar de estar ahí presente.



Tomando como referencia el motor, tenemos:

Toda la energía que entra = Toda la energía que sale

$$Q_A = W + Q_B + Q_{\text{perdido}}$$

Al hacer el primer análisis, no se considera el calor perdido por que se suponen condiciones cuasiestáticas, pero ¿ Qué pasa en condiciones reales?

De aquí podemos concluir que un buen análisis energético debe de considerar todas las energías que podrían tener una gran influencia dentro del ciclo termodinámico. Por lo que hacemos una invitación al alumno a que reflexione esta práctica para su buena formación como ingeniero térmico.

DESARROLLO DE LA PRACTICA:

- 1.- El alumno observará y comprenderá como están interconectados cada uno de los componentes del ciclo Rankine.
- 2.- El instructor hará una breve explicación de los componentes, identificando cada uno de éstos, haciéndole cuestionamientos al alumno para que el conocimiento sea más significativo.
- 3.- El alumno que no conteste los cuestionamientos no podrá realizar la práctica, ya que esto indica que no leyó el formato y no va a saber de que se trata la práctica.
- 4.- Se debe de checar la conexión eléctrica, y que todos los controles eléctricos estén apagados.
- 5.- Observar que todos los instrumentos de medición se encuentren colocados y que funcionen.
- 6.- Asegurarse de que el suministro hidráulico se encuentre con gasto y en buenas condiciones.
- 7.- Se deja circular agua a través del condensador para evitar un sobrecalentamiento.
- 8.- De acuerdo a la tabla de lecturas, el instructor le dará la responsabilidad a cada uno de los alumnos para que se hagan cargo de manipular una de las variables.
- 9.- Se conecta la clavija a la red eléctrica.

- 10.- Accione los interruptores de las resistencias eléctricas; estos se encuentran en el panel del equipo.

NOTA: VIGILE DURANTE EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA QUE NO FALTE EL SUMINISTRO DE AGUA PARA EL CONDENSADOR.

- 11.- Cuando la unidad a llegado a su equilibrio, se purgará la caldera para que deje salir todo el aire contenido en ésta.
- 12.- Para obtener una buena lectura, la unidad tendrá que dejarse operando alrededor de 10 minutos al inicio de la práctica.
- 13.- Espere a que la temperatura y la presión empiecen a incrementarse, cuando esto suceda, abra la válvula de control de flujo de vapor para purgar el aire que se encuentra dentro de la caldera.
- 14.- Cierre la válvula de control del flujo de vapor y espere a que la presión en el manómetro se incremente hasta 300 KN/m^2 . Anote las lecturas de la presión y la temperatura en la caldera y del calorímetro en la tabla 4.1A.

NOTA: LA PRESIÓN EN LA CALDERA SE CONTROLA INCREMENTANDO O DISMINUYENDO LA ENERGÍA SUMINISTRADA, POR LO QUE SÍ LA PRESIÓN EXCEDE A MÁS DE 300 KN/m^2 , DESACTIVE UNA DE LAS RESISTENCIAS, CUANDO LA PRESIÓN EMPIECE A DISMINUIR, ACTIVE NUEVAMENTE LA RESISTENCIA.

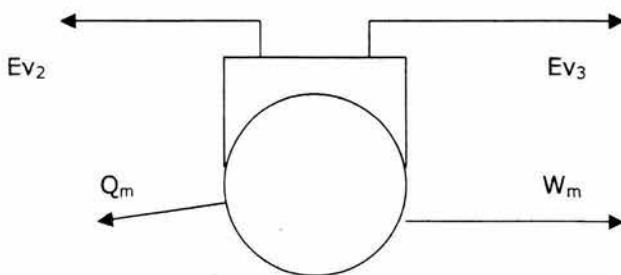
- 15.- Para asegurarnos de que el calorímetro tiene vapor sobrecalentado, la temperatura manejada será arriba de los 100° C .
- 16.- Al cumplirse las condiciones anteriores, el instructor cerrará la válvula que desvía el vapor hacia el calorímetro, esto provocará que el vapor pase al motor de vapor.

- 17.- El instructor deberá controlar la válvula de paso a la salida de la caldera para que controle el número de revoluciones del motor de vapor.
- 18.- Se tomarán las lecturas en ese mismo momento entre todo el grupo, para que las condiciones sean las mismas en el momento de la lectura.

Una vez tomada las lecturas, se desconecta la energía eléctrica.
- 19.- Apague las resistencias.
- 20.- El gasto del agua se deja circular por un rato hasta que las presiones se equilibren y el vapor se dejará escapar totalmente de la caldera, esto indicará que el sistema ya esta en equilibrio total.
- 21.- Una vez que ya no salga vapor, cierre la válvula de enfriamiento.
- 22.- Desconecte el equipo del suministro eléctrico.
- 23.- Mida la presión atmosférica en el barómetro del laboratorio.

ACTIVIDAD I: BALANCE DE ENERGÍA EN EL MOTOR DE VAPOR.

El alumno hará el balance de energía en el motor de vapor.



Observando todas las energías que entran con las que salen en el motor de vapor se tiene:

$$Ev_2 = Ev_3 + W_m + Q_m \quad \text{—————} \quad (1)$$

Donde:

Ev_2 = Energía del vapor en (2)
 Ev_3 = Energía de vapor en (3)
 W_m = Trabajo del motor de vapor.
 Q_m = Calor perdido en el motor de vapor.

$$Ev_2 = mv hv_2 \quad (\text{kw}).$$
$$Ev_3 = mv hv_3 \quad (\text{kw}).$$

Sustituyendo éstos valores en la ecuación (1)

$$mv hv_2 = mv hv_3 + W_m + Q_m$$

Donde:

$hv_2 = hv_2$ = entalpía del vapor a la salida de la caldera. Se calcula en las tablas de vapor sobrecalentado con T_2 y P_2 .

El calor perdido en el motor será:

$$Q_m = mv (hv_2 - hv_3) - W_m \quad (\text{watts}).$$

Donde:

$$W = 0.00595 (\Delta F) N \quad (\text{watts}).$$

$$N = \text{rev} / \text{min}$$

$$\Delta F = \text{Newton}$$

y

$$mv = v_c \rho / tc \quad (\text{kg/s}).$$

$$v_c = \text{volumen de condensado} \quad (\text{m}^3).$$

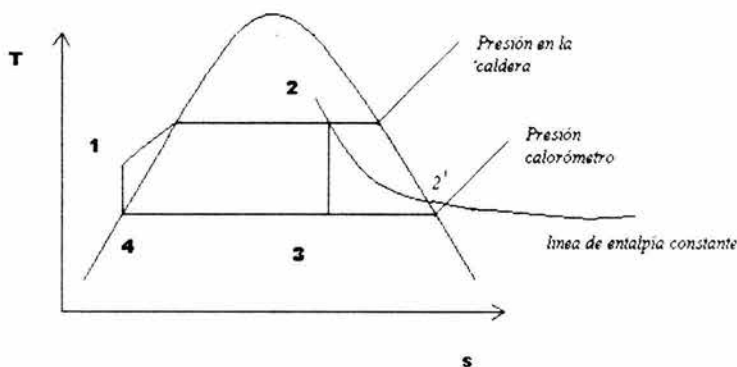
$$\rho = \text{densidad del agua} \quad (\text{kg/m}^3).$$

$$tc = \text{tiempo de condensado en el matraz} \quad (\text{seg}).$$

hv_3 se determina en tablas de vapor saturado del vapor de agua en el punto (2).

Para conocer la calidad del vapor, es necesario determinar la entalpía en la región del vapor sobrecalentado (2'), con la

temperatura del calorímetro y la presión atmosférica para obtener la calidad en el punto 2 (X_2 de la gráfica).



$$hv_{2'} = hv_2 = h_2 = hf_2 + X_2 (hfg_2)$$

Entonces:

$$X_2 = (hv_2 - hf_2) / hfg_2$$

Donde:

hf_2 y hfg_2 se encuentran en tablas de vapor saturado entrando con la presión absoluta de la caldera.

Conociendo la calidad del vapor, se calcula la entropía específica.

$$s_2 = sf_2 + X_2 sfg_2$$

Donde:

sf_2 y sfg_2 se encuentran en tablas de vapor saturado entrando con la presión absoluta de la caldera.

En el diagrama se observa que $s_2 = s_3$

Entonces:

$$s_3 = sf_3 + X_3 sfg_3$$

Despejando:

$$X_3 = (s_3 - sf_3) / sfg_3$$

Donde:

sf_3 y sfg_3 se encuentran en tablas de vapor saturado entrando con la presión absoluta del condensador.

La entalpía hv_3 será:

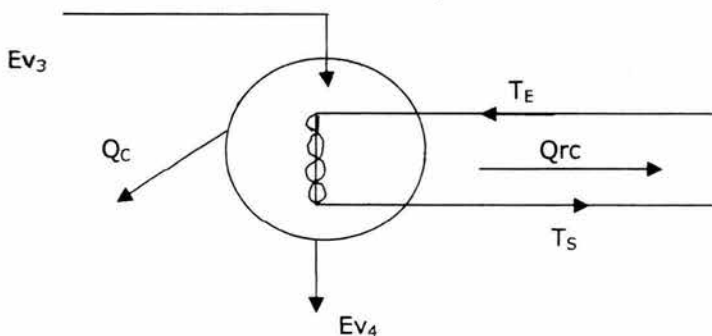
$$hv_3 = h_3 = hf_3 + X_3 (hfg_3)$$

Donde:

hf_3 y hfg_3 se encuentran en tablas de vapor saturado entrando con la presión absoluta del condensador.

ACTIVIDAD II: BALANCE DE ENERGÍA EN EL CONDENSADOR.

El alumno hará el balance de energía en el condensador.



Observando todas las energías que entran con las que salen en el condensador se tiene:

$$Ev_3 = Ev_4 + Q_{rc} + Q_c \quad \text{—————} \quad (2)$$

Donde:

Ev_3 = Energía del vapor en (3)

Ev_4 = Energía de vapor en (4)

Q_{rc} = Tcalor rechazado en el condensador.

Q_c = Calor perdido en el condensador.

$$Ev_4 = mv hv_4 \quad (\text{kw}).$$

$$Ev_3 = mv hv_3 \quad (\text{kw}).$$

Sustituyendo éstos valores en la ecuación (2)

$$mv hv_3 = mv hv_4 + Q_{rc} + Q_c$$

El calor perdido en el condensador será:

$$Q_c = mv (hv_3 - hv_4) - Q_{rc} \quad (\text{watts}).$$

Donde:

$$hv_4 = Cp (T_c) \quad (\text{KJ /Kg}).$$

$$Q_{rc} = mw Cp (T_s - T_E) \quad (\text{Kw}).$$

Cp = Calor específico a presión constante (4.186 KJ/Kg °C).

T_c = Temperatura del condensado (°C).

$$mw = v_w \rho / tw \quad (\text{kg/s}).$$

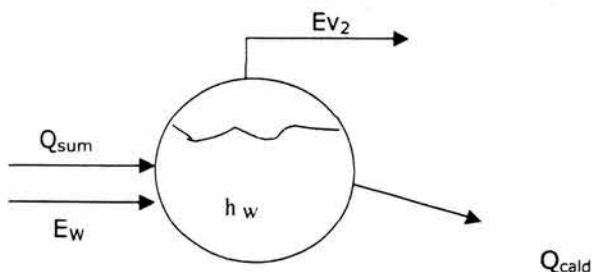
v_w = volumen del agua de enfriamiento. (m³).

ρ = densidad del agua (kg/m³).

tw = tiempo del agua en el matraz (seg).

ACTIVIDAD III: BALANCE DE ENERGÍA EN LA CALDERA.

El alumno hará el balance de energía en la caldera.



Observando todas las energías que entran con las que salen en la caldera se tiene:

$$E_w + Q_{sum} = E_{v_2} + Q_{cald} \quad (3)$$

Donde:

E_w = Energía propia del agua.
 E_{v_2} = Energía de vapor en (2).
 Q_{sum} = Calor suministrado a la caldera.
 Q_{cald} = Calor perdido en la caldera.

$E_{v_2} = mv hv_2$ (kw).
 $E_w = mv h_w$ (kw).
 $h_w = C_p T_w$ (Kj/Kg).
 T_w = Temperatura inicial del agua. ($^{\circ}$ C).

Sustituyendo éstos valores en la ecuación (3)

$$Q_{sum} + mv h_w = mv hv_2 + Q_{cald}$$

El calor perdido en la caldera será:

$$Q_{cald} = mv (h_w - hv_2) + Q_{sum} \quad (\text{watts}).$$

Donde:

$$Q_{sum} = Wt_0 / t \quad (\text{kw}).$$

Wt_0 = Cantidad de kilowatts-horas consumidas.
 t = tiempo total de duración del experimento (seg).

ACTIVIDAD IV: BALANCE DE ENERGÍA EN EL CICLO TERMODINÁMICO.

El alumno hará el balance de energía en el ciclo termodinámico, para obtener las pérdidas de energía totales cuando el equipo se encuentra en estado y flujo estable (condiciones ideales).

La pérdida total de calor en el ciclo es la cantidad total de calor perdido en el sistema y será la suma de todas las pérdidas de energía, o sea:

$$Q_T = Q_{cald} + Q_C + Q_m \quad (\text{watts}).$$

Donde: Q_{cald} = Calor perdido en la caldera (watts).

Q_C = Calor perdido en el condensador (watts).

Q_m = Calor perdido en el motor (watts).

TABLAS DE LECTURAS:

TABLA 5.1A.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	LECTURA
Presión en la caldera.	P_2	bars	
Presión en el calorímetro.	P_2'	bars	
Presión en el condensador	P_3	bars	
Temperatura en la caldera.	T_2	° C.	
Temperatura en el calorímetro.	T_2'	° C.	
Temperatura inicial del agua en la caldera.	T_w	° C.	
Temperatura del agua en la entrada del condensador.	T_E	° C.	
Temperatura del agua en la salida del condensador.	T_S	° C.	
Temperatura del condensado.	T_C	° C.	
Velocidad del motor de vapor.	N	rev/min	
Lectura en el dinamómetro.	ΔF	Newton	
Volumen de condensado.	V_C	ml	
Tiempo de condensado en el matraz.	t_c	segundos	
Volumen del agua de enfriamiento	v_w	ml	
Tiempo del agua de enfriamiento	t_w	seg	
Tiempo total del experimento	t	min	
Lectura inicial del waththorimetro.	L_1	Kw-hr	
Lectura final del waththorimetro.	L_2	Kw-hr	

MEMORIA DE CÁLCULOS:

El alumno hará un desarrollo **DETALLADO** de acuerdo a lo que se pide en la tabla de resultados:

TABLA DE RESULTADOS:

TABLA 5.1B.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	LECTURA
Calor perdido en el motor de vapor	Q_m	watts Btu/hr	
Calor perdido en el condensador.	Q_c	kJ / kg	
Calor perdido en la caldera.	Q_{cald}	kJ / kg	
Calor total perdido.	Q_T	%	

GRAFICAS:

Anexar los diagramas de temperatura-entropía donde se visualiza el ciclo Rankine.

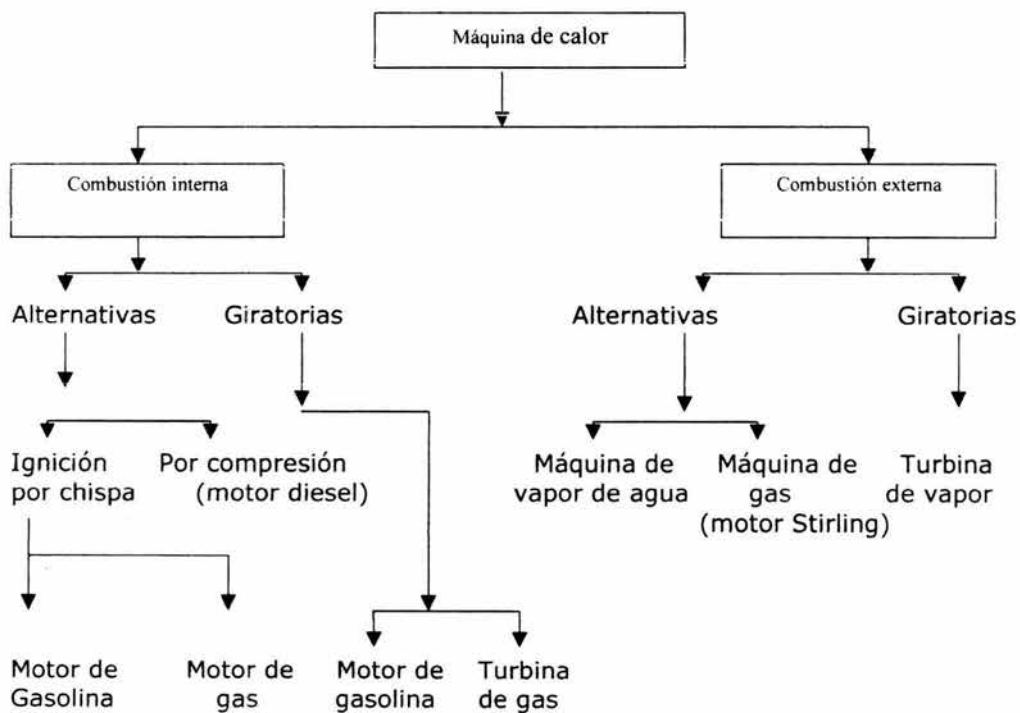
CONCLUSIONES:

El alumno deberá anotar sus comentarios de la realización de la práctica y recomendará el uso del equipo así como de sus componentes.

CUESTIONARIO No. 5:

- 1.- ¿Cuál es el depósito térmico de la práctica?
- 2.- Calcule el valor de entropía en la caldera, en el motor y en el condensador.
- 3.- De acuerdo a los valores de entropía ¿Estamos ante un proceso reversible? Justifique su respuesta.
- 4.-¿Cuál es la disponibilidad en la planta del laboratorio?
- 5.-Hacer al menos tres consideraciones para aumentar la eficiencia de la planta.
- 6.-Describa como funciona una planta termoeléctrica de acuerdo a los siguientes ciclos.
 - a) Ciclo Rankine simple.
 - b) Ciclo Rankine con recalentadores.
 - c) Ciclo Rankine regenerativo.
 - d) Ciclo combinado.

7.-El siguiente esquema nos muestra como se dividen las máquinas de calor:



Describe el funcionamiento de cada motor.

SERIE No. 5:

- 1.- El compresor de una turbina de gas aspira aire ambiente a una presión absoluta de 1 bar y una temperatura de 25°C . La presión del aire a la descarga es de 4 bar y su temperatura es de 200°C . La velocidad del aire en la succión del compresor es prácticamente despreciable, mientras la velocidad de descarga es de 900 m/s. El flujo de masa de aire que se hace pasar a través del compresor es de 1000 kg/min. La entalpía específica del aire es directamente proporcional a su temperatura. calcule la potencia requerida por el compresor.

Sol. -2984.17 Kw.

- 2.- Se expande aire en una turbina desde una presión de 5 bar y una temperatura de 600°C , hasta una presión de 1 bar. El volumen específico del aire a la entrada de la turbina es de $501.1\text{ cm}^3/\text{g}$. Al pasar por la turbina el aire disminuye su entalpía en 342.9 J/g . Suponiendo que el proceso de expansión se desarrolla sin fricción y es de la forma $p v^n = C$, donde C es una constante y $n=1.45$, calcule el calor por unidad de masa que disipa la turbina. Suponga que los cambios de energía cinética y potencial son despreciables.

Sol. -25.77 J/g.

- 3.- Una planta de potencia de vapor opera en un ciclo ideal Rankine regenerativo con dos calentadores de agua de alimentación abiertos. El vapor entra a la turbina a 10 MPa y 600°C y escapa hacia el condensador a 5 KPa. El vapor se extrae de la turbina a 0.6 y 0.2 MPa. El agua sale de ambos calentadores de agua de alimentación como líquido saturado. La relación de flujo de masa del vapor a través de la caldera es de 18 kg/s. Determinar:

- a) La salida neta de potencia de la planta. (24.5 MW).
- b) La eficiencia térmica del ciclo. (46.3%).

4. Considere una central eléctrica de vapor que opera en un ciclo Rankine ideal regenerativo con un calentador de agua de alimentación abierto. El vapor entra a la turbina a 15 MPas y 600 °C, y se condensa a una presión de 10 kPas. Sale un poco de vapor de la turbina a una presión de 1.2 MPas, y entra al calentador de agua abierto. Determine la eficiencia térmica del ciclo bajo las siguientes condiciones:
- a) Como un ciclo Rankine simple.
 - b) Como un ciclo Rankine con sobrecalentamiento.
 - c) Como un ciclo Rankine regenerativo.

NOTA: Hacer sus observaciones de este último problema y anotarlas.

BIBLIOGRAFÍA:

El alumno deberá de incluir toda aquella fuente de información a la que haya recorrido.

PRACTICA No. 6

"REFRIGERACION"

OBJETIVO:

El alumno:

Obtendrá el coeficiente de operación ideal y real de un equipo de refrigeración del laboratorio.

ACTIVIDADES:

- 1) Determinar el coeficiente de operación ideal como un ciclo inverso de Carnot.
- 2) Determinar el coeficiente de operación ideal por medio del diagrama P-h del fluido de trabajo.
- 3) Determinar el coeficiente de operación real por medio de fórmulas proporcionadas por el fabricante.

MATERIAL Y EQUIPO:

- ▶ 1 Unidad de demostración de refrigeración "Hilton" .
- ▶ Dos termómetros de 0 °C a 100 °C.

ASPECTOS TEÓRICOS:

Existen una gran variedad de definiciones de refrigeración y todas son correctas, pero una de las más comunes dice que es la remoción de calor no deseado desde espacios u objetos seleccionados y su transferencia hacia otros espacios u objetos. La remoción de calor de baja temperatura puede ser llevada a cabo mediante el uso del hielo, agua fría ó refrigeración mecánica. Entonces podemos concluir que si existe una temperatura menor a la del medio ambiente, estamos hablando de refrigeración.

Los refrigerantes son compuestos químicos que son alternativamente comprimidos y forzados a circular continuamente a través de un sistema

de refrigeración para que puedan absorber la carga térmica que se genera debido a las ganancias de calor de una serie de factores y que dicha carga térmica pueda ser desechada en el condensador. Actualmente se está tratando de hacer un gran cambio para sustituir a refrigerantes que destruyen la capa de ozono, por otros alternativos que no destruyan dicha capa.

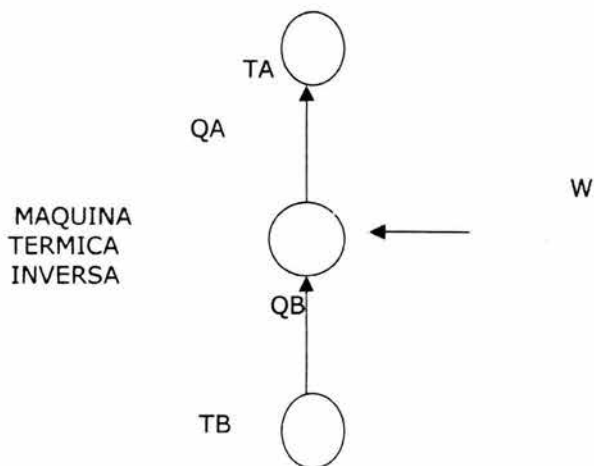
CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA.

Es la utilización de los componentes mecánicos arreglados en un sistema de refrigeración con el propósito de transferir calor.

El ciclo de refrigeración se basa en un principio conocido desde tiempo atrás, de que un líquido al expandirse a gas, extrae calor del área de su alrededor (esto se puede comprobar al humedecerse un dedo, inmediatamente se empieza a sentir más frío que los otros, particularmente si se expone a una corriente de aire. Esto es a causa de que el dedo le cede calor al líquido provocando que se evapore).

Los refrigerantes se evaporan o hierven a una temperatura mucho más baja que la del agua, lo cual le permite extraer calor de una forma mucho más rápida que la del agua sobre el dedo.

El ciclo de refrigeración por compresión mecánica se basa en el ciclo inverso de Carnot de una máquina térmica.



La figura arriba mostrada es la figura típica de una máquina inversa de Carnot en donde se extrae calor de una temperatura baja (Q_B y T_B en refrigeración es el evaporador) y con una máquina (un compresor) se expulsa en una región de alta temperatura (T_A y Q_A en refrigeración es el condensador)

COMPONENTES BÁSICOS DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA.

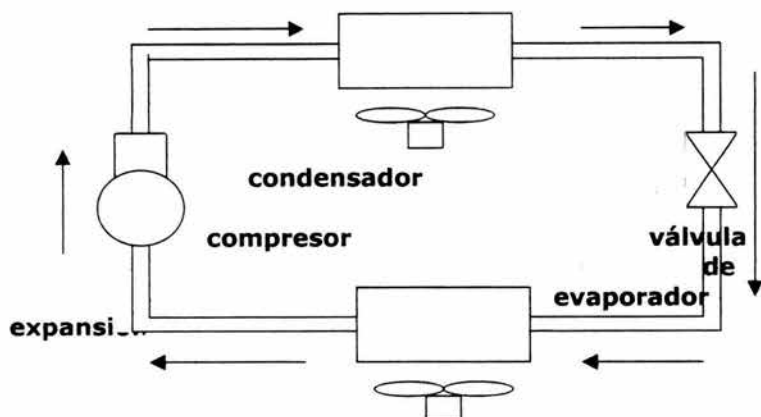
Una vez definido y entendido el concepto de refrigeración, pasaremos a analizar como se puede conseguir bajar la temperatura de un espacio con respecto a la temperatura ambiente.

El ciclo de refrigeración por compresión mecánica lleva este nombre por que usa un elemento mecánico para lograr la compresión, dicho elemento es el compresor.

Este ciclo consta de cuatro componentes básicos que son:

- a) **Compresor.**- Se le conoce como el corazón del sistema ya que se encarga de bombear todo el refrigerante a través del sistema. En términos más estrictos es una máquina térmica que se encarga de aumentar la presión y por lo tanto también la temperatura del fluido en cuestión.
- b) **Condensador.**- Es el componente que se encarga de cambiar de fase de vapor a fase líquida el refrigerante (como su nombre lo indica condensa el refrigerante), ó también es un intercambiador de calor por que cede calor al medio que lo envuelve provocando la condensación.
- c) **Válvula de expansión.**- Es el componente que se encarga de regular el flujo de refrigerante, así como de determinar la presión del lado de baja.
- d) **Evaporador.**- Es el componente que se encarga de cambiar de fase líquida a fase de vapor el refrigerante (como su nombre lo indica evapora el refrigerante), ó también es un intercambiador de calor por que absorbe calor al medio que lo envuelve provocando la evaporación.

La interconexión de todos los componentes arriba descritos se puede observar en el siguiente diagrama:



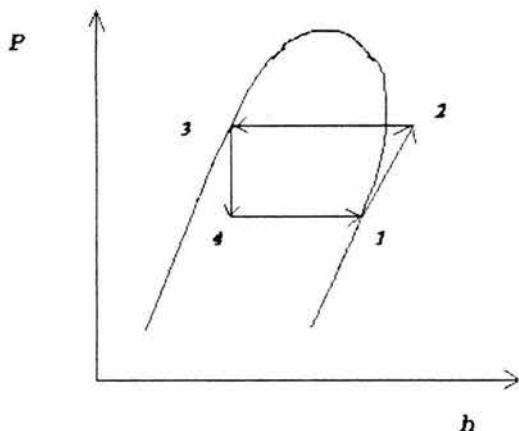
Ciclo de refrigeración por compresión mecánica con sus cuatro componentes básicos, las flechas indican la dirección del refrigerante.

Tomando como referencia el compresor, el refrigerante es comprimido aumentando su presión y su temperatura, logrando que entre refrigerante sobrecalentado al condensador, una vez en el condensador, el refrigerante cede calor al medio ambiente provocando que cambie de estado gaseoso a estado líquido. Al entrar a la válvula de expansión el refrigerante se expande convirtiéndose una parte en vapor, entra al evaporador donde empieza a hervir cambiando de fase a vapor saturado.

PROCESOS TERMODINÁMICOS DE CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA.

Para su análisis vamos a observar el diagrama presión-entalpía del ciclo de refrigeración por compresión mecánica.

Proceso		Componente
1-2	Compresión isentrópica	Compresor
2-3	Calor rechazado	Condensador
3-4	Expansión isoentálpica	Válvula de expansión
4-1	Calor suministrado	Evaporador



Ciclo de refrigeración en un diagrama P-h con sus cuatro componentes básicos.

DESARROLLO DE LA PRACTICA:

1. El alumno observará y comprenderá como están interconectados cada uno de los componentes del ciclo de refrigeración.
2. El instructor hará una breve explicación de los componentes, identificando cada uno de éstos, haciéndole cuestionamientos al alumno para que el conocimiento sea más significativo.
3. El alumno que no conteste los cuestionamientos no podrá realizar la práctica, ya que esto indica que no leyó el formato y no va a saber de que se trata la práctica.
4. Se debe de checar la conexión eléctrica, y que todos los controles eléctricos estén apagados.
5. Observar que todos los instrumentos de medición se encuentren colocados y que funcionen.

6. Asegurarse de que el suministro hidráulico se encuentre con gasto y en buenas condiciones.
7. Se deja circular agua a través del condensador y del evaporador para iniciar la práctica.
8. De acuerdo a la tabla de lecturas, el instructor le dará la responsabilidad a cada uno de los alumnos para que se hagan cargo de leer en los instrumentos cada una de las variables.
9. Se conecta la clavija a la red eléctrica y se prende el contactor que conecta al compresor.
10. Para obtener una buena lectura, la unidad tendrá que dejarse operando alrededor de 10 minutos al inicio de la práctica.
11. La lectura conveniente se hará cuando no exista mucha variación de las temperaturas y las presiones.
12. Se tomarán las lecturas en ese mismo momento entre todo el grupo, para que las condiciones sean las mismas en el momento de la lectura.
13. Una vez tomada las lecturas, se desconecta la energía eléctrica.
14. El gasto del agua se deja circular por un rato hasta que las presiones se equilibren y estemos seguros de que el sistema ya esta en equilibrio total.

ACTIVIDAD I: COEFICIENTE DE OPERACIÓN IDEAL DEL CICLO INVERSO DE CARNOT.

El alumno determinará el coeficiente de operación como si fuera una máquina inversa de Carnot.

El coeficiente ideal de realización:

$$\beta = Q_e / W$$

$$\beta = Q_e / (Q_c - Q_e)$$

$$\beta = 1 / ((Q_c / Q_e) - 1)$$

Pero el ciclo ideal cumple que la relación de calores es igual a la relación de temperaturas. Por lo tanto:

$$\beta = 1 / ((T_c/T_e) - 1) \quad (---).$$

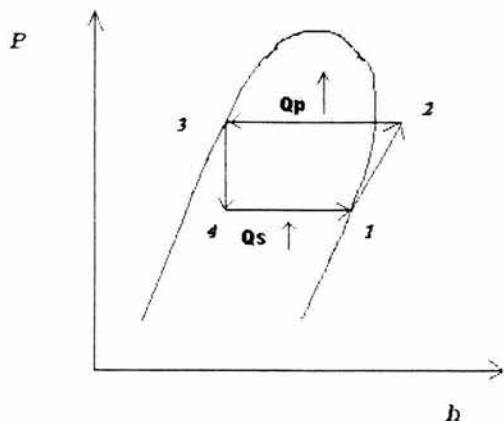
Donde:

T_c = Temperatura absoluta de saturación del refrigerante en el condensador. ($^{\circ}K$).

T_e = Temperatura absoluta de saturación del refrigerante en el evaporador. ($^{\circ}K$).

ACTIVIDAD II: COEFICIENTE DE OPERACIÓN IDEAL DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN CON AYUDA DEL DIAGRAMA P-h, EN FUNCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE SATURACIÓN.

Con la ayuda del diagrama P-h el alumno graficará el ciclo de refrigeración **en función de las temperaturas** de saturación.



Determinar las entalpías en cada uno de los puntos como se marca en el diagrama P-h.

El calor suministrado:

$$Q_e = (h_1 - h_4) \quad (\text{Kj/kg}).$$

El calor rechazado:

$$Q_c = (h_2 - h_3) \quad (\text{Kj/kg}).$$

El trabajo suministrado:

$$W = (h_2 - h_1) \quad (\text{Kj/kg}).$$

Demostrar si se cumple que:

$$W = Q_c - Q_e \quad (\text{Kj/kg}).$$

El coeficiente de realización ideal:

$$\beta = Q_e / W \quad (---).$$

Calcular la entropía en el condensador:

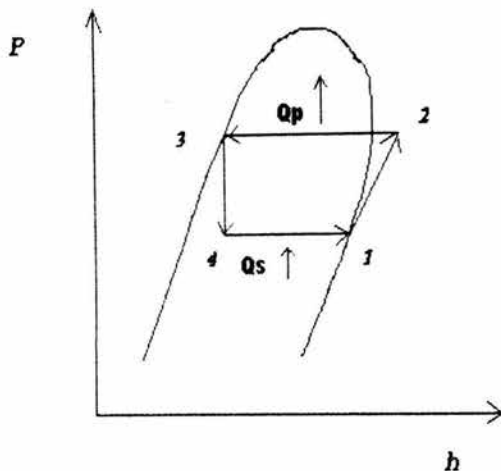
$$S_c = Q_c / T_c \quad (\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}).$$

Calcular la entropía en el evaporador:

$$S_e = Q_e / T_e \quad (\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}).$$

ACTIVIDAD III: COEFICIENTE DE OPERACIÓN IDEAL DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN CON AYUDA DEL DIAGRAMA P-h, EN FUNCIÓN DE LAS PRESIONES.

Con la ayuda del diagrama P-h el alumno graficará el ciclo de refrigeración en **función de las presiones** de saturación.



Determinar las entalpías en cada uno de los puntos como se marca en el diagrama P-h.

El calor suministrado:

$$Q_e = (h_1 - h_4) \quad (\text{Kj/kg}).$$

El calor rechazado:

$$Q_c = (h_2 - h_3) \quad (\text{Kj/kg}).$$

El trabajo suministrado:

$$W = (h_2 - h_1) \quad (\text{Kj/kg}).$$

Demostrar si se cumple que:

$$W = Q_c - Q_e \quad (\text{Kj/kg}).$$

El coeficiente de realización ideal:

$$\beta = Q_e / W \quad (---).$$

Calcular la entropía en el condensador:

$$S_c = Q_c / T_c \quad ((\text{kJ} / \text{kg } ^\circ\text{C})).$$

Calcular la entropía en el evaporador:

$$S_e = Q_e / T_e \quad ((\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}).$$

ACTIVIDAD IV: COEFICIENTE DE OPERACIÓN REAL DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN CON DATOS DEL FABRICANTE.

Con la ayuda de los datos del fabricante, para determinar el coeficiente real de operación.

Índice de transferencia de calor (agua mas atmósfera) en el condensador:

$$Q_c = m_c C_p (T_x - T_w) + 0.8 (T_c - T_a) \quad (\text{watts}).$$

Donde:

$$T_a = \text{Temperatura de la atmósfera} \quad (^\circ\text{C}).$$

$$T_c = \text{Temperatura en el condensador} \quad (^\circ\text{C}).$$

Se ha visto experimentalmente que el índice de transferencia de calor entre el condensador y la atmósfera es de 0.8 watt por $^\circ\text{C}$ de diferencia entre la temperatura de saturación y la temperatura ambiente.

Índice de transferencia de calor (agua mas atmósfera) en el evaporador:

$$Q_e = m_e C_p (T_u - T_v) + 0.8 (T_a - T_e) \quad (\text{watts}).$$

Donde:

$$T_a = \text{Temperatura de la atmósfera} \quad (^\circ\text{C}).$$

$$T_e = \text{Temperatura en el condensador} \quad (^\circ\text{C}).$$

Se ha visto experimentalmente que el índice de transferencia de calor entre el evaporador y la atmósfera es de 0.8 watt por $^\circ\text{C}$ de diferencia entre la temperatura de saturación y la temperatura ambiente.

El trabajo suministrado al refrigerador.

$$W = Q_c - Q_e \quad (\text{watts}).$$

El coeficiente real de realización:

$$\beta_R = Q_e / W \quad (---).$$

LECTURAS EN EL EQUIPO:

Tabla 6.1A.

EVAPORADOR			
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	LECTURA
Presión de saturación del refrigerante.	Pe	bar	
Temperatura de saturación del refrigerante.	Te	° C	
Temperatura de entrada del agua.	Tu	° C	
Temperatura de salida del agua.	Tv	° C	
Caudal del agua.	me	Kg/hr	
CONDENSADOR			
CONCEPTO	CONCEPTO	CONCEPTO	CONCEPTO
Presión de saturación del refrigerante.	Pc	bar	
Temperatura de saturación del refrigerante.	Tc	° C	
Temperatura de entrada del agua.	Tw	° C	
Temperatura de salida del agua.	Tx	° C	
Caudal del agua.	mc	Kg/hr	

Temperatura ambiente.	Ta	° C	
Calor específico del agua a presión constante.	Cp	KJ/kg ° C	4.146

MEMORIA DE CÁLCULOS:

El alumno hará un desarrollo **DETALLADO** de acuerdo a lo que se pide en la tabla de resultados:

TABLAS DE RESULTADOS:

Tabla 6.1B Como una máquina de Carnot.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	LECTURA
Coficiente ideal de realización.	β	(----)	

Tabla 6.2B Del diagrama P-h con temperatura.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	LECTURA
Calor suministrado	Q_e	kJ / kg	
Calor rechazado	Q_c	kJ / kg	
Trabajo suministrado	W	kJ / kg	
Coficiente Ideal de Realización.	β	-----	
Entropía en el condensador	S_c	$\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ \text{C}$	
Entropía en el evaporador	S_e	$\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ \text{C}$	

Tabla 6.3B Del diagrama P-h con presión.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	LECTURA
Calor suministrado	Qe	kJ / kg	
Calor rechazado	Qc	kJ / kg	
Trabajo suministrado	W	kJ / kg	
Coefficiente Ideal de Realización.	β	-----	
Entropía en el condensador	Sc	kJ / kg ° C	
Entropía en el evaporador	Se	kJ / kg ° C	

Tabla 6.4B De los datos que ofrece el fabricante.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	LECTURA
Transferencia de calor en el evaporador	Qe	watts	
Transferencia de calor en el condensador	Qc	watts	
Trabajo suministrado al refrigerador	W	watts	
Coefficiente Reall de Realización.	β_R	-----	

GRAFICAS:

Anexar los diagramas de presión – entalpía de las lecturas tomadas.

CONCLUSIONES:

El alumno deberá anotar sus comentarios de la realización de la práctica y recomendará el uso del equipo así como de sus componentes.

CUESTIONARIO No. 6:

- 1.- ¿Cuál es el depósito térmico de la práctica?
- 2.- ¿Por qué el ciclo de refrigeración no tiene eficiencia térmica?
- 3.- En el coeficiente de realización ideal, ¿Realmente es un ciclo ideal?. Compruébelo con las entropías (esto es demostrar la igualdad de Clausius).
- 4.- ¿Cuál es el valor mínimo y el valor máximo que nos puede ofrecer el coeficiente de realización?
- 5.- Investigar los siguientes sistemas de refrigeración y haga una comparación con el ciclo por compresión mecánica.
 - a) Ciclo de refrigeración por absorción amoníaco-agua.
 - b) Ciclo de refrigeración por absorción bromuro-litio-agua.
 - c) Ciclo de refrigeración por chorro de vapor.
- 6.- Explique donde se aplican los ciclos de refrigeración descritos anteriormente.
- 7.- ¿Qué pasaría si no hubiera el hombre descubierto la refrigeración?
- 8.- ¿Cuales son los parámetros de diseño para el cálculo de la carga térmica en refrigeración?
- 9.- ¿Qué avance tecnológico propicio el auge de la refrigeración por compresión mecánica?

SERIE No. 6:

1. Un refrigerador usa refrigerante 12 como fluido de trabajo y opera en un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor entre 0.14 y 0.8 MPa. Si la relación de flujo de masa de refrigerante es de 0.05 kg/s, determinar:
 - a) La capacidad de enfriamiento del refrigerador (kw).
 - b) La potencia del compresor (kw).
 - c) El calor rechazado por unidad de tiempo (kw).
 - d) Las Toneladas de Refrigeración.
 - e) El coeficiente de operación .

2. Un refrigerador usa refrigerante 12 como fluido de trabajo y opera en un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor entre 0.12MPa y 35 °C, su relación de flujo de masa de refrigerante es de 0.06 kg/s, determinar:
 - a) La capacidad de enfriamiento del refrigerador (kw).
 - b) La potencia del compresor (kw).
 - c) El calor rechazado por unidad de tiempo (kw).
 - d) Las Toneladas de Refrigeración.
 - e) El coeficiente de operación .

3. Un refrigerador usa refrigerante 12 como fluido de trabajo y opera en un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor entre 0 °C y 28 °C, si la relación de flujo de masa de refrigerante es de 0.075 kg/s, determinar:
 - a) La capacidad de enfriamiento del refrigerador (kw).
 - b) La potencia del compresor (kw).
 - c) El calor rechazado por unidad de tiempo (kw).
 - d) Las Toneladas de Refrigeración.
 - e) El coeficiente de operación .

4. Un sistema de refrigeración con 10 T.R de capacidad de enfriamiento requiere de 12 hp para su operación, determínese el coeficiente de operación del sistema.

BIBLIOGRAFÍA:

El alumno deberá de incluir toda aquella fuente de información a la que haya recurrido.

PRACTICA No. 7.

"BALANCES DE ENERGÍA DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN"

OBJETIVO:

El alumno:

Realizará un análisis completo de cada uno de los componentes del ciclo de refrigeración del laboratorio.

ACTIVIDADES:

- 1) Hacer el balance de energía en el compresor.
- 2) Hacer el balance de energía en el condensador.
- 3) Hacer el balance de energía en el evaporador.
- 4) Hacer el balance de energía en el intercambiador de calor.
- 5) Determinar el coeficiente de operación de un refrigerador, en base a un ciclo ideal por compresión mecánica.
- 6) Hacer el balance de energía en todo el ciclo.

MATERIAL Y EQUIPO:

- ▶ 1 Unidad de demostración de refrigeración "Hilton" .
- ▶ 1 Tacómetro.

ASPECTOS TEÓRICOS:

Se emplea el término refrigeración para indicar el mantenimiento de un cuerpo a una temperatura menor con respecto a sus alrededores. Para mantener ó producir ésta temperatura baja, es necesario transferir calor desde el cuerpo ó espacio a enfriar.

La remoción de calor de baja temperatura puede ser llevada a cabo mediante el uso del hielo, agua fría ó refrigeración mecánica.

Entonces podemos concluir que si existe una temperatura menor a la del medio ambiente, estamos hablando de refrigeración.

La refrigeración a acompañado al hombre desde que éste apareció en la faz de la tierra, ya que para poder sobrevivir, tuvo que almacenar las piezas de carne que cazaba, así como observo que dentro de las cuevas se protegía contra las inclemencias del tiempo y que cubriendo sus piezas cazadas en un lugar más fresco se mantenían por más tiempo comestibles.

Actualmente existe una gran variedad de sistemas de refrigeración que el ser humano a diseñado para casos específicos.

Estos son los siguientes:

- a) Ciclo de refrigeración por compresión mecánica.
- b) Ciclo de refrigeración por absorción.
- c) Ciclo de refrigeración por chorro de vapor.
- d) Sistemas de refrigeración especiales.

El más comercial y común es el ciclo de refrigeración por compresión mecánica, ya que se puede tener desde los hogares hasta las industrias que tengan procesos de producción muy complejos.

El sistema de absorción es el segundo de importancia, pero el refrigerante más común usado es muy tóxico, a cambio de esto sirve para grandes cargas térmicas.

El sistema por chorro de vapor, como su nombre lo dice, se usa en instalaciones donde se disponga de una caldera que nos proporcione el vapor, pero que a la vez no altere el proceso de la caldera.

Dentro de los sistemas especiales, tenemos el electromagnético, se dice que puede llegar casi al cero absoluto.

COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO.

Podemos considerar a los refrigeradores como máquinas de calor, que trabajan en sentido inverso.

Existen muchas maneras de producir el efecto de refrigeración. Como consecuencia de la primera y segunda ley de la termodinámica, se deduce que el funcionamiento de un refrigerador se puede medir mediante el coeficiente de funcionamiento, β_R el cual se define como:

$$\beta_R = \frac{\text{Calor extraído del cuerpo frío}}{\text{trabajo utilizado}}$$

Donde el calor sustraído del cuerpo frío se conoce como efecto de refrigeración.

La capacidad de enfriamiento de un sistema de refrigeración muchas veces se mide en toneladas de refrigeración. Una tonelada de refrigeración es la capacidad para eliminar el calor del cuerpo frío con una rapidez de 200 Btu/min. Se tiene entonces:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ton de refrigeración} &= 288,000 \text{ Btu de refrigeración/día} \\ &= 12,000 \text{ Btu de refrigeración/hora} \\ &= 200 \text{ Btu de refrigeración/min} \end{aligned}$$

El término "tonelada" se deriva del hecho de que para fundir una tonelada de hielo a 32 °F en 24 horas se necesitan aproximadamente 288,000 Btu.

En el sistema internacional, SI.

$$\begin{aligned} 1 \text{ tonelada de refrigeración} &= 211 \text{ Kj/min} \\ &= 3.516 \text{ Kw} \end{aligned}$$

El funcionamiento de un sistema de refrigeración también se puede expresar en función de la potencia requerida para producir 1 ton. de ref.

La cual se relaciona de una manera muy sencilla con el coeficiente de funcionamiento, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\beta_R = \frac{\text{(toneladas de refrigeración) (12,000 Btu/h)}}{\text{(potencia empleada en hp) (2545 Btu/h)}}$$

$$\beta_R = \frac{4.175}{\text{hp/ton}}$$

ó bien

$$\text{hp/ton} = \frac{4.175}{\beta_R}$$

En el sistema internacional, SI.

$$\text{kW/ton} = \frac{3.516}{\beta_R}$$

TOMA DE DECISIONES EN LA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE UN CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA.

Las aplicaciones de la refrigeración son numerosas y variadas. Además de las más comunes en relación con la fabricación de hielo, conservación de los alimentos, acondicionamiento de aire y construcción de pistas de patinaje sobre hielo, la refrigeración se emplea también en la conservación del plasma sanguíneo, en el tratamiento de bajas temperaturas de los metales y en la licuefacción de gases.

Cada uno requiere de una temperatura diferente para el espacio por refrigerar, la determinación de esta temperatura constituye la primera decisión que el ingeniero y su equipo técnico debe tomar para el diseño de un equipo de refrigeración. Primero se debe de plantear la necesidad de una planta de refrigeración de determinada capacidad para una aplicación dada, debemos decidir que tipo de energía alimentará nuestro sistema de refrigeración. A veces se necesita de un motor de combustión interna como medio externo de energía para hacer trabajar el compresor (como en el caso del aire acondicionado automotriz).

Después se debe de seleccionar el tipo de sumidero en donde se debe de rechazar el calor. Si se trata de la atmósfera, que constituye un sumidero natural, estaremos restringidos a operar entre la temperatura ambiente y la temperatura del espacio refrigerado.

Otro sumidero común es el agua, donde el agua absorbe el calor (como en el caso de ciertos condensadores) ó a veces cede el calor (como en los casos de las unidades manejadoras de agua). También es necesario determinar el ciclo de refrigeración que nos va a regir, así como también la sustancia de trabajo que se utilizará.

Pero lo más importante es buscar la combinación más óptima que de cómo resultado el empleo de la mínima potencia por unidad de refrigeración obtenida. Una vez ya hecho lo anterior procedemos a seleccionar el equipo de refrigeración que el fabricante nos pueda ofrecer. Por lo regular se debe de consultar todos los catálogos posibles para que entre una gran variedad de productos se seleccione el componente más adecuado.

En caso de que el componente no sea el más óptimo se puede mandar a construir con ciertas características de acuerdo a nuestras necesidades, pero en este caso el costo se elevaría y el cliente podría acudir a otra opción.

Esta práctica también tiene algo en común con la número cuatro. De aquí podemos concluir que un buen análisis energético debe de considerar todas las energías que podrían tener una gran influencia dentro del ciclo termodinámico.

Por lo que reiteramos al hacer una invitación al alumno a que reflexione esta práctica para su buena formación como ingeniero térmico.

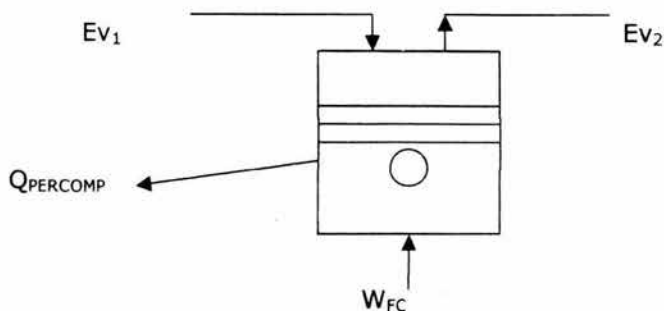
DESARROLLO DE LA PRACTICA:

1. El alumno observará y comprenderá como están interconectados cada uno de los componentes del ciclo de refrigeración por compresión mecánica.
2. El instructor hará una breve explicación de los componentes, identificando cada uno de éstos, haciéndole cuestionamientos al alumno para que el conocimiento sea más significativo.
3. El alumno que no conteste los cuestionamientos no podrá realizar la práctica, ya que esto indica que no leyó el formato y no va a saber de que se trata la práctica.
4. Se debe de checar la conexión eléctrica, y que todos los controles eléctricos estén apagados. Observar que todos los instrumentos de medición se encuentren colocados y que funcionen.
5. Asegurarse de que el suministro hidráulico se encuentre con gasto y en buenas condiciones. Se deja circular agua a través del condensador para evitar un sobrecalentamiento.
6. De acuerdo a la tabla de lecturas, el instructor le dará la responsabilidad a cada uno de los alumnos para que se hagan cargo de manipular una de las variables.
7. Se conecta la clavija a la red eléctrica y se prende el contactor de la unidad de refrigeración.
8. Para obtener una buena lectura, la unidad tendrá que dejarse operando alrededor de 10 minutos al inicio de la práctica.
9. La lectura conveniente se hará cuando la presión en el condensador sea la conveniente (el instructor se los hará saber).

10. Al cumplirse las condiciones anteriores, el alumno tomará la primera lectura.
11. Sin apagar el compresor, se manipulará la válvula desviadora para que entre a trabajar el intercambiador de calor.
12. Para obtener una buena lectura, la unidad tendrá que dejarse operando alrededor de 10 minutos para lograr el equilibrio con el intercambiador de calor.
13. La lectura conveniente se hará cuando la presión en el condensador sea la conveniente (el instructor se los hará saber).
14. Al cumplirse las condiciones anteriores, el alumno tomará la segunda lectura.
15. Se tomarán las lecturas en un mismo momento entre todo el grupo, para que las condiciones sean las mismas en el momento de la lectura.
16. Una vez tomada las lecturas, se desconecta la energía eléctrica.
17. El gasto del agua se deja circular por un rato hasta que las presiones se equilibren, esto indicará que el sistema ya esta en equilibrio total.

ACTIVIDAD I: BALANCE DE ENERGÍA EN EL COMPRESOR.

Analizando Al compresor.



Observando todas las energías que entran con las que salen en el motor de vapor se tiene:

$$EV_1 + W_{FC} = EV_2 + Q_{PERCOMP} \quad (1)$$

Donde:

EV_1 = Energía del refrigerante en (1)

EV_2 = Energía del refrigerante en (2)

W_{FC} = Potencia al freno del compresor

$Q_{PERCOMP}$ = Calor perdido en el compresor

$$EV_1 = mv h_1 \quad (\text{kw}).$$

$$EV_2 = mv h_2 \quad (\text{kw}).$$

Sustituyendo éstos valores en la ecuación (1)

$$mr hv_1 + W_{FC} = mr hv_2 + Q_{PERCOMP}$$

El calor perdido en el compresor será:

$$Q_{PERCOMP} = mr (h_1 - h_2) + W_{FC}$$

Donde:

h_1 y h_2 = entalpía del refrigerante a la entrada y a la salida del compresor. Se calcula en la gráfica P-h del refrigerante correspondiente.

$$mr = \text{flujo de refrigerante} \quad (\text{kg/s}).$$

$$W_{FC} = 0.15 (F) ((2\pi)(Nm)/60)) \quad (\text{watts}).$$

$$F = \text{Fuerza en el dinamometro} \quad (\text{Nw}).$$

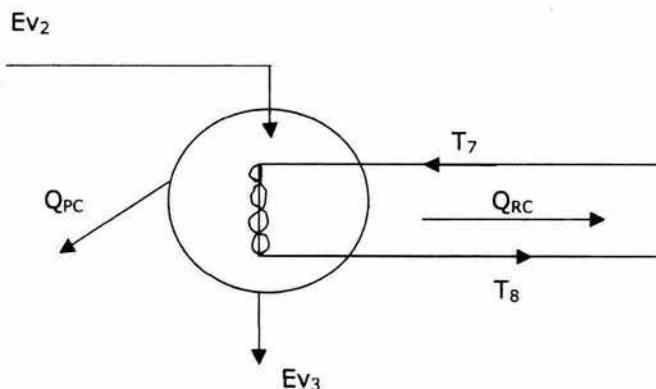
$$Nm = 3.5 Nc.$$

$$Nm = \text{Velocidad del motor} \quad (\text{rev/min}).$$

$$Nc = \text{Velocidad del compresor} \quad (\text{rev/min}).$$

ACTIVIDAD II: BALANCE DE ENERGÍA EN EL CONDENSADOR.

Analizando el condensador, tenemos lo siguiente:



Observando todas las energías que entran con las que salen en el condensador se tiene:

$$Ev_2 = Ev_3 + Q_{RC} + Q_{PC} \quad \text{—————} \quad (2)$$

Donde:

Ev_2 = Energía del refrigerante en (2)

Ev_3 = Energía del refrigerante en (3)

Q_{RC} = Calor rechazado en el condensador.

Q_{PC} = Calor perdido en el condensador.

$$Ev_2 = mr h_2 \quad \text{(kw).}$$

$$Ev_3 = mr h_3 \quad \text{(kw).}$$

Sustituyendo éstos valores en la ecuación (2)

$$mr h_2 = mr h_3 + Q_{RC} + Q_{PC}$$

El calor perdido en el condensador será:

$$Q_{PC} = mr (h_2 - h_3) + Q_{RC} \quad \text{(watts).}$$

Donde:

h_2 y h_3 = entalpía del refrigerante a la entrada y a la salida del condensador. Se calcula en la gráfica P-h del refrigerante correspondiente.

m_r = flujo de refrigerante (kg/s).

$Q_{RC} = m_w C_p (T_8 - T_7)$ (Kw).

C_p = Calor específico a presión constante (4.186 KJ/Kg °C).

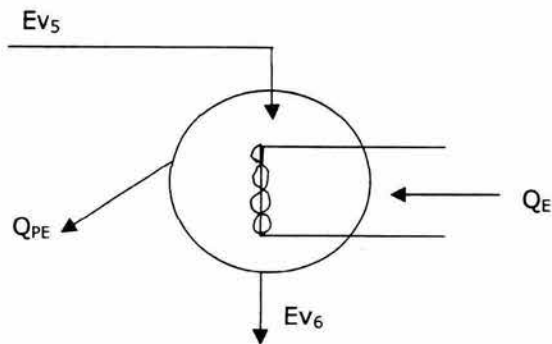
T_8 = Temperatura a la salida del condensador (°C).

T_7 = Temperatura a la entrada del condensador (°C).

m_w = flujo de agua (kg/s).

ACTIVIDAD III: BALANCE DE ENERGÍA EN EL EVAPORADOR.

Analizando al evaporador tenemos lo siguiente:



Observando todas las energías que entran con las que salen en el evaporador se tiene:

$$EV_5 + Q_E = EV_6 + Q_{PE} \quad \text{—————} \quad (3)$$

Donde:

Ev_5 = Energía del refrigerante en (5)

Ev_6 = Energía del refrigerante en (6)

Q_{PE} = Calor perdido en el evaporador.

Q_E = Calor cedido al evaporador.

$$Ev_5 = m_r h_5 \quad (\text{kw}).$$

$$Ev_6 = m_r h_6 \quad (\text{kw}).$$

Sustituyendo éstos valores en la ecuación (3)

$$m_r h_5 + Q_E = m_r h_6 + Q_{PE}$$

El calor perdido en el evaporador será:

$$Q_{PE} = m_r (h_5 - h_6) + Q_E \quad (\text{watts}).$$

Donde:

h_5 y h_6 = entalpía del refrigerante a la entrada y a la salida del evaporador. Se calcula en la gráfica P-h del refrigerante correspondiente.

$$m_r = \text{flujo de refrigerante} \quad (\text{kg/s}).$$

$$Q_E = V_e I_e \quad (\text{watts}).$$

ACTIVIDAD IV: BALANCE DE ENERGÍA EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

Analizando al intercambiador de calor, se tiene lo siguiente:

NOTA: ESTE BALANCE SOLO SE HARÁ PARA LA PRUEBA CON INTERCAMBIADOR DE CALOR.

Observando todas las energías que entran con las que salen en el evaporador se tiene:

$$Ev_3 + Ev_6 = Ev_4 + Q_{P1} + Ev_1 \text{ ————— (4)}$$

Donde:

Ev_1 = Energía del refrigerante en (1)

Ev_3 = Energía del refrigerante en (3)

Ev_4 = Energía del refrigerante en (4)

Ev_6 = Energía del refrigerante en (6)

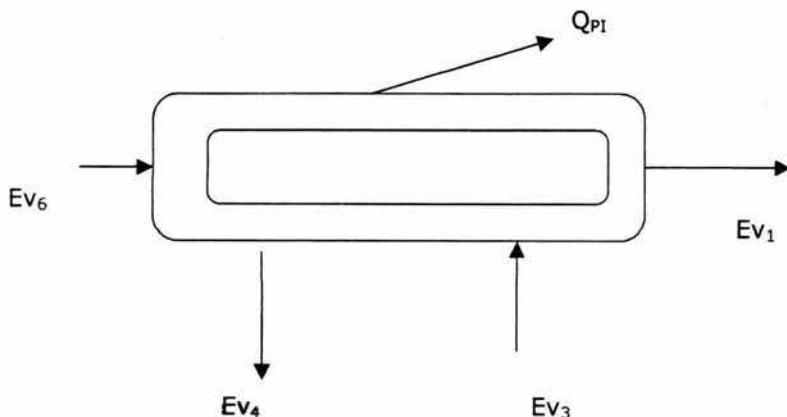
Q_{PI} = Calor perdido en el intercambiador.

$$Ev_1 = mr h_1 \quad (kw).$$

$$Ev_3 = mr h_3 \quad (kw).$$

$$Ev_4 = mr h_4 \quad (kw).$$

$$Ev_6 = mr h_6 \quad (kw).$$



Sustituyendo éstos valores en la ecuación (4)

$$mr h_3 + mr h_6 = mr h_1 + mr h_4 + Q_{PI}$$

El calor perdido en el intercambiador de calor será:

$$Q_{PI} = mr h_3 + mr h_6 - mr h_1 - mr h_4$$

$$Q_{PI} = mr ((h_3 + h_4) + (h_6 - h_1)) \quad (watts).$$

Donde:

h_1, h_3, h_4 y h_6 = entalpía del refrigerante en sus respectivos puntos. Se calcula en la gráfica P-h del refrigerante correspondiente.

$$mr = \text{flujo de refrigerante} \quad (kg/s).$$

ACTIVIDAD V: COEFICIENTE DE OPERACIÓN DEL REFRIGERADOR.

$$\text{COP} = (h_6 - h_5) / (h_{2s} - h_1) \quad (---).$$

Donde:

El punto 2s se determina con la presión del punto 2 y la entropía en el punto 1.

NOTA: En el diagramas Temperatura-entropía y Presión-entalpía, el alumno dibujará el ciclo de refrigeración y obtendrá las entalpías específicas para cada uno de los experimentos realizados, utilizando un diagrama para cada uno de ellos.

En ambos diagramas se dibujará el ciclo real y el ideal. El proceso en la válvula se considerará a entalpía constante ($h_4 = h_5$).

ACTIVIDAD VI: BALANCE DE ENERGÍA EN EL CICLO.

La pérdida total de calor en el ciclo es la cantidad total de calor perdido en el sistema y será la suma de todas las pérdidas de energía, o sea:

$$Q_T = Q_{\text{PERCOMP}} + Q_{\text{PC}} + Q_{\text{PE}} + Q_{\text{PI}} \quad (\text{watts}).$$

Donde:

Q_{PERCOMP} = Calor perdido en el compresor (watts).

Q_{PC} = Calor perdido en el condensador (watts).

Q_{PE} = Calor perdido en el evaporador (watts).

Q_{PI} = Calor perdido en el intercambiador. (watts).

LECTURAS EN EL EQUIPO:

Tabla 7.1A.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	INTERCAMBIADOR DE CALOR	
			NO SE UTILIZO	SI SE UTILIZO
Temperatura a la entrada del compresor.	T_1	bars		
Temperatura a la salida del compresor.	T_2	bars		
Temperatura a la salida del condensador.	T_3	bars		
Temperatura a la entrada de la válvula de expansión.	T_4	° C.		
Temperatura a la entrada del evaporador.	T_5	° C.		
Temperatura a la salida del evaporador..	T_6	° C.		
Temperatura del agua en la entrada del condensador.	T_7	° C.		
Temperatura del agua en la salida del condensador.	T_8	° C.		
Presión en el condensador.	P_c	bar.		
Presión en el evaporador.	P_e	bar.		
Flujo de refrigerante.	m_r	Kg/seg.		
Flujo de agua.	m_w	Kg/seg.		
Voltaje del evaporador.	V_e	Volt.		
Corriente del evaporador.	I_e	Amperes.		
Fuerza en el dinamómetro.	F	Nw.		
Velocidad del compresor.	N_c	rev/min.		

MEMORIA DE CÁLCULOS:

El alumno hará un desarrollo **DETALLADO** de acuerdo a lo que se pide en la tabla de resultados:

TABLA DE RESULTADOS:

Tabla 7.1B.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	INTERCAMBIADOR DE CALOR			
			NO UTILIZO	SE	SI UTILIZO	SE
Entalpía a la entrada del compresor.	h_1	KJ/kg				
Entalpía a la salida del compresor.	h_2	KJ/kg				
Entalpía a la salida del condensador.	h_3	KJ/kg				
Entalpía a la entrada de la válvula de expansión.	h_4	KJ/kg				
Entalpía a la entrada del evaporador.	h_5	KJ/kg				
Entalpía a la salida del evaporador..	h_6	KJ/kg				
Potencia al freno del compresor.	W_{FC}	watts				
Calor rechazado en el condensador.	Q_{RC}	watts				
Calor suministrado al evaporador.	Q_e	watts				

Tabla 7.2B.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDAD	INTERCAMBIADOR DE CALOR	
			NO SE UTILIZO	SI SE UTILIZO
Calor perdido en el compresor.	$Q_{PERCOMP}$	watts		
Calor perdido en el condensador.	Q_{PC}	Watts		
Calor perdido en el evaporador.	Q_{PE}	Watts		
Calor perdido en el intercambiador de calor.	Q_{PI}	watts		
Calor total perdido	Q_T	watts		

GRAFICAS:

Anexar los diagramas de temperatura-entropía y Presión-entalpía donde se visualiza el ciclo de refrigeración ideal y real.

CONCLUSIONES:

El alumno deberá anotar sus comentarios de la realización de la práctica y recomendará el uso del equipo así como de sus componentes.

CUESTIONARIO No. 7:

- 1.- ¿Cuál es el depósito térmico de la práctica?
- 2.- Calcule el valor de entropía en el compresor, en el condensador y el evaporador.
- 3.- De acuerdo a los valores de entropía ¿Estamos ante un proceso reversible? Justifique su respuesta.
- 4.- La refrigeración en forma general se divide en:
doméstica
comercial
industrial

Explique las características de cada una y sus aplicaciones.

- 5.- De que otra forma se podría aumentar el coeficiente de operación.
- 6.- Describa como funciona cada uno de los siguientes componentes los del ciclo de refrigeración por compresión mecánica.

Compresor antivibradores separador de aceite condensador
Receptor de líquidos mirilla filtro deshidratador
Intercambiador de calor válvula solenoide evaporador
Válvula de expansión termostática
Válvula de expansión automática
Válvula de expansión manual
Tubo capilar acumulador de succión

- 7.- ¿Para que me sirve determinar la carga térmica en refrigeración?

SERIE No. 7:

1. Al compresor de un refrigerador entra refrigerante 12 como vapor sobrecalentado a 0.14 MPas y -20°C a una relación de 0.05 kg/s y sale a 0.8 MPas y 50°C , el refrigerante se enfría en el condensador a 26°C y 0.72 MPas y se estrangula hasta 0.15 MPas determinar:
 - a) La capacidad de enfriamiento del refrigerador (5.92 kw).
 - b) La potencia del compresor (1.72 kw).
 - c) El calor rechazado por unidad de tiempo (kw).
 - d) Las Toneladas de Refrigeración.
 - e) El coeficiente de operación (3.44).
 - f) La eficiencia adiabática del compresor.

2. Al compresor de un refrigerador entra refrigerante 12 como vapor sobrecalentado a 0.14 MPas y -20°C a una relación de 0.04 kg/s y sale a 0.7 MPas y 50°C , el refrigerante se enfría en el condensador a 24°C y 0.65 MPas y se estrangula hasta 0.15 MPas determinar:
 - a) La capacidad de enfriamiento del refrigerador (4.81 kw).
 - b) La potencia del compresor (1.44 kw).
 - c) El calor rechazado por unidad de tiempo (kw).
 - d) Las Toneladas de Refrigeración.
 - e) El coeficiente de operación (3.34).
 - f) La eficiencia adiabática del compresor (79.4%).

3. Una máquina que produce hielo opera en base a un ciclo ideal de refrigeración y usa refrigerante 12 como fluido de trabajo. El refrigerante entra al compresor como vapor saturado seco a 160 kPas. y sale del condensador como líquido saturado a 700 kPas. El agua entra a la máquina de hielo a 15°C y sale como hielo a -5°C . Para una relación de producción de hielo de 12 kg/h determine la entrada de potencia a la máquina de hielo (384 kJ de calor se necesitan extraerse de cada kilogramo de agua a 15°C para convertirlo en hielo a -5°C).

Sol. 0.284 Kw.

4. Al compresor de un refrigerador entra refrigerante 12 como vapor sobrecalentado a 140 kPas y -10°C a una relación de $0.2\text{ m}^3/\text{min}$. La eficiencia adiabática del compresor es del 78 %. El refrigerante entra a la válvula de estrangulación a 0.95 MPas y 30°C , y sale del evaporador como vapor saturado a -18.5°C . determinar:
- La capacidad de enfriamiento del refrigerador (3.10 kw).
 - La potencia del compresor (1.28 kw).
 - El calor rechazado por unidad de tiempo (kw).
 - Las Toneladas de Refrigeración.
 - El coeficiente de operación .

BIBLIOGRAFÍA:

El alumno deberá de incluir toda aquella fuente de información a la que haya recurrido.

PRACTICA No. 8

"PROCESOS PSICROMÉTRICOS DEL AIRE"

OBJETIVO:

El alumno:

Obtendrá en el equipo de laboratorio, algunos procesos psicrométricos utilizados en el acondicionamiento del aire.

ACTIVIDADES:

- 1) Determinar las propiedades psicrométricas del aire para el proceso de calentamiento sensible.
- 2) Determinar las propiedades psicrométricas del aire para el proceso de calentamiento y humidificación.
- 3) Determinar las propiedades psicrométricas del aire para el proceso de enfriamiento sensible.
- 4) Determinar las propiedades psicrométricas del aire para el proceso de enfriamiento y humidificación.

MATERIAL Y EQUIPO:

- ▶ 1 Unidad de aire acondicionado "Hilton".
- ▶ Tres termómetros de bulbo seco.
- ▶ Tres termómetros de bulbo húmedo.

ASPECTOS TEÓRICOS:

Se emplea el término de aire acondicionado al control simultaneo de los factores que afectan las condiciones químicas y físicas de la atmósfera o medio ambiente que son:

Temperatura.
Humedad.
Movimiento de aire.
Limpieza.
Bacterias.

Olores y gases tóxicos.

El aire acondicionado se aplica principalmente hacia dos grupos que son:

Comodidad y bienestar humano.
Procesos industriales.

La carta psicrométrica es la representación gráfica de las propiedades de la mezcla de aire-vapor. La mayoría de las cartas psicrométricas se han diseñado para la presión barométrica a nivel del mar (760 mm hg) pero también existen cartas especiales que se encuentran a diferentes altitudes por ejemplo al nivel de la Ciudad de México, que se encuentra a 7000 ft, a 2133.6 m con una presión barométrica de 0.7823 bars.

A continuación se explican las propiedades que se pueden leer en la carta psicrométrica:

Temperatura de bulbo húmedo: Indica la cantidad de calor contenido en el aire. Se determina cubriendo el bulbo sensor de un termómetro con una franela húmeda (de seda ó algodón) y haciendo pasar aire rápidamente. Si está muy seco el aire del medio ambiente, la evaporación es rápida y el descenso de temperatura es muy grande, pero por lo contrario, si el aire está muy húmedo, la evaporación es lenta y por lo tanto la diferencia de temperatura entre el bulbo seco y bulbo húmedo es muy pequeña.

Temperatura de bulbo seco: Es la medida del calor sensible contenido en el aire y se mide con un termómetro ordinario.

Temperatura de rocío: Indica la cantidad de humedad contenida en el aire, es la temperatura en la cual se condensa la humedad contenida en el aire.

Humedad relativa: Es la relación de la densidad del vapor de agua en el aire con la densidad del aire a una temperatura determinada.

Humedad específica: Es el peso del vapor de agua contenido en el aire y está expresado en libras de agua sobre libras de aire seco ó kilogramo de agua entre kilogramo de aire seco.

Entalpía: Es la cantidad de energía del aire que depende de la temperatura. la entalpía total del aire húmedo es igual a la suma de las entalpías del aire seco más la del vapor de agua contenido en la mezcla.

$$h_t = h_s + h_v$$

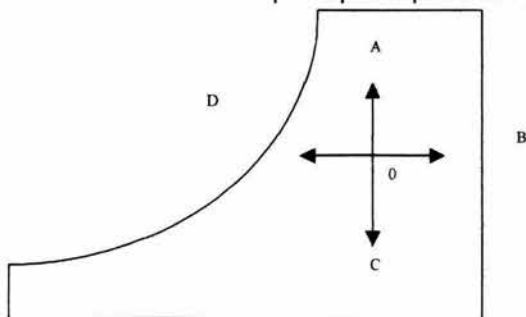
Volumen específico: Es el recíproco del peso específico. En donde el peso específico es el peso del aire seco contenido en volumen de aire saturado.

Factor de calor sensible: es la relación del calor latente entre el calor sensible del aire.

PROCESOS PSICROMÉTRICOS.

Son los procesos termodinámicos realizados por el aire y pueden representarse gráficamente en una carta psicrométrica para una interpretación rápida y precisa. La carta psicrométrica se utiliza también para determinar en los procesos, las variaciones de las propiedades significativas tales como la temperatura, relación de humedad, entalpía, etc.

A continuación se describen los principales procesos psicrométricos:



Carta psicrométrica representando los cuatro procesos básicos.

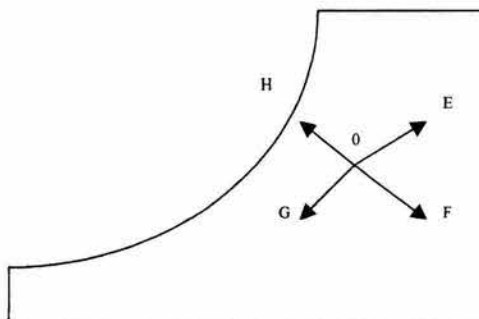
Proceso de 0-A. **Humidificación:** Es el proceso mediante el cual aumenta la humedad específica y la entalpía del aire. Manteniendo constante la temperatura de bulbo seco.

Proceso de 0-D. **Enfriamiento sensible:** Es el proceso mediante el cual disminuye la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo y la entalpía del aire.

Proceso de 0-C. **Deshumidificación:** Es el proceso mediante el cual disminuye la humedad específica y la entalpía del aire. Manteniendo constante la temperatura de bulbo seco.

Proceso de 0-B. **Calentamiento sensible:** Es el proceso mediante el cual aumenta la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo y la entalpía del aire.

A continuación se describen los procesos psicrométricos secundarios:



Carta psicrométrica representando los cuatro procesos básicos.

Proceso de 0-E. **Calentamiento y humidificación:** Es el proceso mediante el cual aumenta la humedad específica, la entalpía del aire, la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo.

Proceso de 0-F. **Calentamiento y deshumidificación:** Es el proceso mediante el cual disminuye la humedad específica, la entalpía del aire y la temperatura de bulbo húmedo permanecen constantes y la temperatura de bulbo seco aumenta.

Proceso de O-G. **Enfriamiento y deshumidificación:** Es el proceso mediante el cual disminuye la humedad específica y la temperatura de bulbo seco del aire.

Proceso de O-H. **Enfriamiento y humidificación:** Es el proceso mediante el cual aumenta la humedad específica y disminuye la temperatura de bulbo seco.

Actualmente existe una gran variedad de sistemas de aire acondicionado que el ser humano a diseñado para casos específicos.

Estos son los siguientes:

- a) Unidades tipo ventana.
- b) Unidades mini split.
- c) Unidades tipo paquete.
- d) Sistemas de agua helada.
- e) Unidades lavadoras de aire.

El más comercial y común en la actualidad para pequeñas cargas térmicas es el mini split, anteriormente eran los sistemas de aire acondicionado tipo ventana, ya que se puede tener desde los hogares hasta las oficinas donde se requiera un confort.

Para niveles de producción como en la industria textil, chocolatera entre otras, se usan con mucha frecuencia las unidades manejadoras de agua helada.

DESARROLLO DE LA PRACTICA:

1. El alumno observará y comprenderá como están interconectados cada uno de los componentes del ciclo de refrigeración por compresión mecánica, del sistema de ventilación y del sistema de calefacción del equipo del laboratorio.
2. El instructor hará una breve explicación de los componentes, identificando cada uno de éstos, haciéndole cuestionamientos al alumno para que el conocimiento sea más significativo.
3. El alumno que no conteste los cuestionamientos no podrá realizar la práctica, ya que esto indica que no leyó el formato y no va a saber de que se trata la práctica.

4. Se debe de checar la conexión eléctrica, y que todos los controles eléctricos estén apagados. Observar que todos los instrumentos de medición se encuentren colocados y que funcionen.
5. De acuerdo a la tabla de lecturas, el instructor le dará la responsabilidad a cada uno de los alumnos para que se hagan cargo de manipular una de las variables.
6. Se conecta la clavija a la red eléctrica y se prende el contactor del ventilador.
7. Se observa como circula el aire por la ductería.
8. Se conectan las resistencias del banco que están conectadas en la ductería para propiciar el calentamiento sensible.
9. Se conectan las resistencias de inmersión para saturar de vapor el ducto y propiciar la humidificación y calentamiento sensible.
10. Se desconectan las resistencias del banco que están conectadas al ducto y se conecta el sistema de refrigeración para propiciar el enfriamiento y humidificación.
11. Se desconectan las resistencias de inmersión y se deja trabajando el sistema de refrigeración para propiciar el enfriamiento sensible.
12. Una vez tomada las lecturas, se desconecta el sistema de refrigeración.
13. Para obtener una buena lectura, la unidad tendrá que dejarse operando hasta que se establezcan las condiciones descritas anteriormente.
14. Al cumplirse las condiciones anteriores, el alumno tomará las lecturas correspondientes a cada proceso psicrométrico.
15. Al último se deja funcionando el sistema de ventilación por un buen rato para que la unidad de aire acondicionado se equilibre.

LECTURAS EN EL EQUIPO:

Tabla 8.1A.

PROCESO	PUNTO INICIAL		PUNTO FINAL	
	CONCEPTO Y UNIDADES			
	Temperatura de bulbo seco. ($^{\circ}\text{C}$).	Temperatura de bulbo húmedo. ($^{\circ}\text{C}$).	Temperatura de bulbo seco. ($^{\circ}\text{C}$).	Temperatura de bulbo húmedo. ($^{\circ}\text{C}$).
	T_{bs_1}	T_{bh_1}	T_{bs_2}	T_{bh_2}
Calentamiento sensible.				
Calentamiento y humidificación.				
Enfriamiento sensible.				
Enfriamiento y humidificación.				

ACTIVIDAD I: CALENTAMIENTO SENSIBLE.

El alumno graficará en una carta psicrométrica, el proceso de calentamiento sensible y vaciara las lecturas dentro de la tabla 8.1B.

ACTIVIDAD II: CALENTAMIENTO Y HUMIDIFICACIÓN.

El alumno graficará en una carta psicrométrica, el proceso de calentamiento y humidificación, y vaciara las lecturas dentro de la tabla 8.2B.

ACTIVIDAD II: ENFRIAMIENTO SENSIBLE.

El alumno graficará en una carta psicrométrica, el proceso de enfriamiento sensible y vaciara las lecturas dentro de la tabla 8.3B.

ACTIVIDAD IV: ENFRIAMIENTO Y HUMIDIFICACIÓN.

El alumno graficará en una carta psicrométrica, el proceso de enfriamiento y humidificación, y vaciara las lecturas dentro de la tabla 8.4B.

TABLAS DE RESULTADOS:

Tabla 8.1B Calentamiento sensible.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	LECTURA
Entalpía inicial.	h_1	KJ/kg	
Entalpía final.	h_2	KJ/kg	
Temperatura de bulbo seco inicial.	T_{bs_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo seco final.	T_{bs_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo húmedo inicial.	T_{bh_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo húmedo final.	T_{bh_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de rocío inicial.	T_{r_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de rocío final.	T_{r_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Humedad relativa inicial.	Φ_1	%	
Humedad relativa final.	Φ_2	%	
Humedad específica inicial.	ω_1	Kgagua/kgaire	
Humedad específica final.	ω_2	Kgagua/kgaire	
Volumen específico inicial.	v_1	m^3/kg	
Volumen específico final.	v_2	m^3/kg	
Calor suministrado.	Δh	KJ/kg	
Cantidad de agua suministrada.	$\Delta \omega$	Kgagua/kgaire	

Tabla 8.2B Calentamiento y humidificación.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	LECTURA
Entalpía inicial.	h_1	KJ/kg	
Entalpía final.	h_2	KJ/kg	
Temperatura de bulbo seco inicial.	T_{bs_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo seco final.	T_{bs_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo húmedo inicial.	T_{bh_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo húmedo final.	T_{bh_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de rocío inicial.	Tr_1	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de rocío final.	Tr_2	$^{\circ}\text{C}$	
Humedad relativa inicial.	Φ_1	%	
Humedad relativa final.	Φ_2	%	
Humedad específica inicial.	ω_1	Kgagua/kgaire	
Humedad específica final.	ω_2	Kgagua/kgaire	
Volumen específico inicial.	v_1	m^3/kg	
Volumen específico final.	v_2^*	m^3/kg	
Calor suministrado.	Δh	KJ/kg	
Cantidad de agua suministrada.	$\Delta\omega$	Kgagua/kgaire	

Tabla 8.3B Enfriamiento sensible.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	LECTURA
Entalpía inicial.	h_1	KJ/kg	
Entalpía final.	h_2	KJ/kg	
Temperatura de bulbo seco inicial.	T_{bs_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo seco final.	T_{bs_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo húmedo inicial.	T_{bh_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo húmedo final.	T_{bh_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de rocío inicial.	Tr_1	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de rocío final.	Tr_2	$^{\circ}\text{C}$	
Humedad relativa inicial.	Φ_1	%	
Humedad relativa final.	Φ_2	%	
Humedad específica inicial.	ω_1	Kgagua/kgaire	
Humedad específica final.	ω_2	Kgagua/kgaire	
Volumen específico inicial.	v_1	m^3/kg	
Volumen específico final.	v_2	m^3/kg	
Calor rechazado.	Δh	KJ/kg	
Cantidad de agua suministrada.	$\Delta\omega$	Kgagua/kgaire	

Tabla 8.4B Enfriamiento y humidificación.

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	LECTURA
Entalpía inicial.	h_1	KJ/kg	
Entalpía final.	h_2	KJ/kg	
Temperatura de bulbo seco inicial.	T_{bs_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo seco final.	T_{bs_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo húmedo inicial.	T_{bh_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de bulbo húmedo final.	T_{bh_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de rocío inicial.	T_{r_1}	$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de rocío final.	T_{r_2}	$^{\circ}\text{C}$	
Humedad relativa inicial.	Φ_1	%	
Humedad relativa final.	Φ_2	%	
Humedad específica inicial.	ω_1	Kgagua/kgaire	
Humedad específica final.	ω_2	Kgagua/kgaire	
Volumen específico inicial.	v_1	m^3/kg	
Volumen específico final.	v_2	m^3/kg	
Calor rechazado.	Δh	KJ/kg	
Cantidad de agua suministrada.	$\Delta\omega$	Kgagua/kgaire	

GRAFICAS:

Anexar las cartas psicrométricas donde se visualizan los procesos psicrométricos del aire.

CONCLUSIONES:

El alumno deberá anotar sus comentarios de la realización de la práctica y recomendará el uso del equipo así como de sus componentes.

CUESTIONARIO No. 8:

- 1.- ¿Cuál es el depósito térmico de la práctica?
- 2.- ¿Qué es una sustancia higroscópica?
- 3.- Haga un croquis de cada una de las secciones del equipo y explique como funciona cada una de ellas.
- 4.-El aire acondicionado en forma general se divide en:
doméstica
comercial
industrial

Explique las características de cada una y sus aplicaciones.
- 5.-Explique al menos cinco aplicaciones del aire acondicionado.
- 6-Describa como funciona una unidad de ventana y un minisplit explicando semejanzas y diferencias entre estos sistemas de aire acondicionado.
- 7.- ¿Cuáles son los parámetros de diseño para calcular la carga térmica de un sistema de aire acondicionado?
- 8.-¿Cuál fue el legado de W. Carrier en el aire acondicionado?
- 9.- De donde podemos determinar los valores de entropía en esta práctica.¿Estamos ante un proceso reversible? Justifique su respuesta.
- 10.- ¿Para que me sirve determinar la carga térmica en aire acondicionado?

SERIE No. 8:

1.- Una mezcla de aire-vapor a una presión de 1 bar tiene una temperatura de bulbo seco de 30 °C y una temperatura de bulbo húmedo de 25 °C . calcule las siguientes propiedades:

1. humedad específica.
2. humedad relativa.
3. temperatura del punto de rocío.

Solución:

$$\omega_1 = 0.0183 \text{ kg}_v / \text{kg}_A.$$

$$\Phi = 0.6736.$$

$$T_R = 23.24 \text{ }^\circ\text{C}.$$

2.- El aire ambiente bajo ciertas condiciones metereológicas, tiene una humedad relativa del 70% cuando la presión absoluta es igual a 1 bar y la temperatura igual a 35 °C.

1. Calcule la humedad específica.
2. Calcule la masa de aire seco y de vapor de agua de 1 m³ de la mezcla.
3. Determine la cantidad de vapor de agua por kilogramo de aire seco que se condensa, si la mezcla aire-vapor se procesa en un acondicionador de aire hasta las condiciones de 25 °C y 60% de humedad relativa.

Solución:

$$\omega_1 = (0.025) \text{ kg vapor / kg aire.}$$

$$m_1 = 1.087 + 0.027 = 1,114 \text{ kg.}$$

$$\omega_2 = (0.012) \text{ kg vapor / kg aire.}$$

$$\omega_1 - \omega_2 = 0.013 \text{ kg de agua / kg de aire}$$

3.- Suponiendo que el aire es una mezcla de fracciones molales aproximadamente de 0.79 N₂ Y 0.21 O₂, determínese:

- El peso molecular promedio.
- El análisis gravimétrico.
- la constante promedio del gas.

Solución:

$$M = 0.79 (28.02) + 0.21 (32) = 28.8558 \text{ Kg / Kg mol } \text{ ó } \text{ lb / lb mol.}$$
$$R = 0.227622508 + 0.054562594 = 0.282185102 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K.}$$

4.- De un análisis volumétrico de un gas extraído se tiene:

CH₄ 85.8%
C₂H₆ 13.2%
CO₂ 0.9%
N₂ 0.1 % ,

determínese:

- El peso molecular promedio.
- El análisis gravimétrico.
- La constante promedio del gas.
- Las presiones parciales.

Solución:

$$M = 18.112 \text{ Kg / Kg mol } \text{ ó } \text{ lb / lb mol.}$$

$$\text{Para el CH}_4 = (16/18.112) (0.858) = 0.75795053$$
$$\text{Para el C}_2\text{H}_6 = (30/18.112) (0.132) = 0.218639576$$
$$\text{Para el CO}_2 = (44/18.112) (0.009) = 0.021863958$$
$$\text{Para el N}_2 = (28/18.112) (0.001) = 0.001545936$$

$$R = 0.459025745 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K.}$$

$$P \text{ del CH}_4 = (0.858) 1.033 \text{ kg/cm}^2 = 0.886314 \text{ kg/cm}^2.$$
$$P \text{ del C}_2\text{H}_6 = (0.132) 1.033 \text{ kg/cm}^2 = 0.136356 \text{ kg/cm}^2.$$
$$P \text{ del CO}_2 = (0.009) 1.033 \text{ kg/cm}^2 = 0.009297 \text{ kg/cm}^2.$$
$$P \text{ del N}_2 = (0.001) 1.033 \text{ kg/cm}^2 = 0.001033 \text{ kg/cm}^2.$$

BIBLIOGRAFÍA:

El alumno deberá de incluir toda aquella fuente de información a la que haya recurrido.

PRACTICA No. 9

"PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CICLO RANKINE, CICLO BRAYTON O CICLO DE REFRIGERACIÓN"

OBJETIVO:

El alumno:

Desarrollará un prototipo de un ciclo termodinámico, aplicando los conocimientos teóricos prácticos, aprendidos.

ACTIVIDADES:

- 1) Plantear con respecto al prototipo de proyecto el objetivo a seguir.
- 2) Fórmula la(s) hipótesis.
- 3) Describir los materiales, sustancias y equipo a utilizar.
- 4) Investiga, los conceptos teóricos necesarios para la realización del prototipo.
- 5) Describe en forma clara y ordenada el diseño del prototipo.
- 6) Efectúa pruebas de su funcionamiento.
- 7) Se registrarán las modificaciones necesarias en el ajuste del prototipo.
- 8) Efectúa una memoria de cálculos.
- 9) Emitir sus conclusiones, no olvidando comparar la hipótesis con los resultados.
- 10) Se entregará un reporte dando seguimiento a los puntos antes citados.
- 11) Anota la bibliografía.

ASPECTOS TEÓRICOS:

Algunas consideraciones prácticas sobre el proceso real de redacción de informes.

EL TÍTULO:

Sin ser muy extenso, deberá especificar con toda claridad el tema del informe. Se sugiere evitar el uso de "él" o "la" como primera palabra del título.

EL FORMATO:

Las secciones esenciales para la presentación de un informe de laboratorio son:

- a) Introducción
- b) Especificación del problema
- c) Diseño
- d) Resultados y conclusiones
- e) Bibliografía.

Y éstas deberán emplearse como punto de partida. Los encabezados de sección deben ser claros, sencillos, y estar escritos en mayúsculas de imprenta. Las sub.-secciones en cada una de estas secciones principales se incluirán sólo si la extensión o complejidad del informe las hace indispensables para la comprensión del tema.

INTRODUCCIÓN:

- a) Indicación del tema.- Se debe orientar hacia nuestra particular área de estudio.
 - b) Revisión de la información existente.- Es un breve resumen del estado del conocimiento actual relativo a nuestro experimento. Puede incluir algunos aspectos de la historia sobre el tema o un resumen del trabajo experimental. Habrá que señalar el comportamiento del modelo, simbolizado por las ecuaciones fundamentales que hayamos empleado. En esta etapa es importante mencionar cualesquiera suposiciones consideradas en el modelo que pudiesen limitar la validez de las ecuaciones
 - c) Resumen de la intención del experimento.- Breve resumen del desarrollo total del experimento.
 - d) Enunciado del propósito del experimento.- Indicación en forma general del objetivo que queremos alcanzar en el desarrollo de nuestro experimento.
-
- **ESPECIFICACIÓN DEL PROBLEMA.** Se deberá presentar un análisis del problema a resolver. Aquí se entiende por análisis la actividad orientada a desmenuzar la problemática que se aborda.
 - **DISEÑO.** Se presentará la metodología llevada para la elaboración del prototipo, considerando: las leyes naturales en que se funda la propuesta y, otras consideraciones teóricas que se están aplicando a la solución. Los cálculos y todo el procesamiento de datos para el desarrollo del prototipo, así como su justificación.

- **RESULTADOS Y CONCLUSIONES.** Aquí se hará un análisis de las mediciones en forma tabular y gráfica, cálculos realizados y las observaciones que se requieran así como las consideraciones pertinentes para apoyar las conclusiones, siendo las más importantes las que se refieren a la solución del problema y a la consideración de la metodología empleada. Las conclusiones representan lo que cada equipo ha logrado reconocer de la teoría, modificar de sus conocimientos anteriores e incluir como conocimiento adquirido nuevo, por ello es indispensable que tales enunciados concluyentes sean bien fundamentados y coherentes con el trabajo realizado. No deben hacer referencia a juicios de valor tales como: he aprendido a manejar el equipo utilizado en la práctica, he comprendido la ley tal o cual, etc.
- **BIBLIOGRAFÍA.** Es importante mencionar las fuentes utilizadas en la adquisición de los conocimientos teóricos y experimentales consultadas, pues todo el conocimiento humano se funda siempre en conocimientos anteriores.

CONCLUSIONES.

Haciendo un análisis de lo que se propuso desde el inicio de este trabajo hasta el momento, podemos concluir que se cumplió satisfactoriamente el objetivo planteado desde un principio.

Se hizo un análisis de la materia de Termodinámica Aplicada y podemos deducir que si es necesario que se proponga un laboratorio, ya que existe el personal y equipo adecuado para llevar a cabo dicho laboratorio.

Deseo el punto de vista estudiantil esta propuesta de laboratorio reforzaría aún mas el conocimiento adquirido hasta este momento, además de desarrollar un conocimiento crítico, constructivismo y significativo.

Pero desgraciadamente no se sabe por que se toma como optativo ya que esta materia es base para varias materias del área de Térmica y Fluidos, por lo que es necesario que el alumno salga con una excelencia de conocimientos con esta materia.

Ahora enfocándonos a las prácticas llegamos a as siguientes conclusiones:

En la práctica No. 1 se pretende que el alumno recuerde el concepto de la primera ley de la termodinámica, que esta ley es fundamental en el área de Térmica y Fluidos, y si no la recuerda, el curso puede ser muy pesado para dicho alumno.

Tal vez se parezca a una copia de la práctica seis del laboratorio de Termodinámica, pero trataremos de darle una aplicación mas real y que el alumno recuerde siempre esta primera ley de la termodinámica.

En la práctica No. 2 se pretende que el alumno recuerde el ciclo de Carnot; recordando que este ciclo es el básico para el análisis de cualquier ciclo termodinámico, por lo que si no recuerda este ciclo, no podrá entender el funcionamiento teórico de los ciclos generadores de energía que se pretenden analizar como objetivo principal en la materia de Termodinámica Aplicada.

En la práctica No. 3 se pretende que el alumno recuerde el uso y manejo de las tablas de vapor, ya que este es el fluido de trabajo de toda planta generadora de energía basada en el Ciclo Rankine.

Cabe destacar que esta práctica se desarrolla dentro de la materia de Termodinámica, pero desgraciadamente la mayoría de los alumnos no la alcanzan a asimilar por ser uno de los últimos temas, además de que a veces no se alcanza a ver en su teoría.

En la práctica No. 4 se pretende que el alumno logre determinar la eficiencia del ciclo Rankine desde el punto de vista teórico, esto es, solo con entalpías. Además de cotejar con una eficiencia real, esta vez por la que propone el fabricante del equipo de acuerdo a los criterios que tuvo para la construcción de dicho equipo, se pudo observar que si existe realmente una gran diferencia.

En la práctica No. 5 se pretende que el alumno realice un balance de energía bajo condiciones reales del equipo del ciclo Rankine, esto es para que se ejercite en el tema de balances de energía y determine de manera real la cantidad de energía que se pierde a través de cada componente.

Personalmente creo que esta práctica es la culminación del tema del ciclo Rankine y el alumno que realmente realice esta práctica tendrá una gran asimilación de este tema.

En la práctica No. 6 se pretende que el alumno determine el coeficiente de operación del ciclo de Refrigeración que en realidad es el ciclo inverso de Carnot, se hará el análisis teórico a partir de la obtención de las entalpías y también a partir de datos propuestos por el fabricante.

Se puede observar que esta práctica es muy similar a la de eficiencia del ciclo Rankine, solo que esta vez se aplica a un ciclo de Refrigeración.

En la práctica No. 7 se pretende que el alumno realice un balance de energía bajo condiciones reales del equipo del ciclo Refrigeración, esto es para que se ejercite en el tema de balances de energía y determine de manera real la cantidad de energía que se pierde a través de cada componente.

Personalmente también creo que esta práctica es la culminación del tema del ciclo de Refrigeración y el alumno que realmente realice esta práctica tendrá una gran asimilación de este tema.

En la práctica No. 8 se pretende que el alumno determine las propiedades psicrométricas del aire desde el punto de vista gráfico, ya que por ser el último tema de la materia, a veces no se alcanza a cubrir en la teoría, por lo que incluimos una teoría básica muy detallada y la

solución de los problemas para que el lector de este tema no tenga grandes dificultades al realizar esta práctica.

En la práctica No. 9 se pretende que el alumno realice un proyecto prototipo semejante al realizado en la materia de Termodinámica, con el fin de despertar su creatividad y que se de cuenta de las grandes dificultades que se tienen al poner en marcha un sistema de los que se proponen como proyecto. Con la condicionante de que no sea muy costoso y de preferencia se use material reciclado para su funcionamiento.

Por último se desarrollo una serie de preguntas que se sacaron de diferentes libros con que cuenta la biblioteca de la ENEP-Aragón para que el alumno realice su investigación en al menos tres libros diferentes que si existen en la escuela. Esto se hace con la finalidad de obligar al alumno a consultar los diferentes materiales de apoyo con que cuenta la escuela.

BIBLIOGRAFÍA.

TEXTO	TEMA
Van Wylen y Sonntag. Fundamentos de Termodinámica. Ed. Limusa. 1973.	I, II, III, IV, V.
Huang Francis. Ingeniería Termodinámica fundamentos y aplicación. Ed. CECSA. 1994.	I, II, III, IV, V.
Manrique y Cárdenas. Termodinámica. Ed. Limusa. 1994.	I, II, III, IV, V.
Russell y Adebisi. Termodinámica Clásica. Ed. Addison Wesley Iberoamericana 1997.	I, II, III, IV, V.
Cengel y Boles. Termodinámica Tomo II. Ed. Mc. Graw Hill. 1996.	I, II, III, IV, V.
Faires, Virgil M. Termodinámica. UTHEA, México, 1991.	I, II, III, IV, V.
Burghardt M.D. Ingeniería Termodinámica. Ed. Harla. 1984.	I, II, III, IV, V.
Apuntes de prácticas de Termodinámica. Coordinación de Ingeniería ,Mecánica-Eléctrica UNAM-ENEP-Aragón, 2003.	