

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

(CUAUTITLAN CAMPO 4)

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Laboratorio de máquinas térmicas

CUADERNO DE PRÁCTICAS

*Departamento de ingeniería*

*“Por mi raza hablara el espíritu”*

AUTORES:

ING. EMILIO JUÁREZ MARTÍNEZ

ING. AGAPITO RODRÍGUEZ NAVA

ING. DANIEL HERNÁNDEZ PECINA

ING. JUAN DE LA CRUZ HDEZ ZAMUDIO

ING. JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ GUTIÉRREZ

## P R E S E N T A C I Ó N

La base del desarrollo de un país está en la creatividad de sus habitantes, el sustento de esta creatividad tiene una estructura científica y de desarrollo tecnológico.

La facultad de estudios superiores Cuautitlán dependiente de la UNAM y en especial el departamento de ingeniería quieren contribuir modestamente con esta estructura editando cuadernos en las diferentes disciplinas, al alcance de los alumnos que concurren a cursar la carrera de ingeniero mecánico electricista, facilitándoles con este esfuerzo académico, las actividades contempladas en su formación profesional.

Este cuaderno pretende en primer término, dar un panorama general de las maquinas térmicas, así como su funcionamiento, operación y pruebas de las mismas, ya que cada uno de los temas son una especialidad.

En segundo término, se pretende iniciar a los alumnos en la búsqueda por si mismo de mayor información y despertar en ellos la curiosidad en la investigación.

Los conocimientos están organizados de manera sencilla, y lógica, de acuerdo al programa de la asignatura, enriquecidos con la experiencia y colaboración de los profesores, servicio social y personal que laboran en el laboratorio de termo fluidos.

Estas prácticas han venido sufriendo cambios y modificaciones desde el mismo nacimiento de la FESC (antes ENEP-C) y pretenden que el alumno cuente con los elementos necesarios para un mejor aprovechamiento en sus estudios profesionales y están sujetas a mejoras.

Queremos agradecer la participación de alumnos que impartieron su servicio social y nos apoyaron en la elaboración de dibujos, ecuaciones y tablas.

Seguros de dicho cuaderno será benéfico para el desarrollo profesional de los alumnos, agradecemos cualquier sugerencia para la mejora del mismo.

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO</b> <b>FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN</b> <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA</b>
	<b>REGLAMENTO DE LOS LABORATORIOS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA</b>

El presente Reglamento tiene por objeto establecer los lineamientos, requisitos y condiciones que deberán aplicar, profesores, alumnos y trabajadores de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), en el Departamento de Ingeniería, para la inscripción, la realización de las prácticas, la evaluación y la disciplina de los laboratorios. Este documento no excluye otra reglamentación que resulte aplicable.

#### DE LA INSCRIPCIÓN

1. Las inscripciones a los laboratorios se harán durante el periodo oficial que fijará la Unidad de Administración Escolar y bajo ninguna circunstancia se inscribirán alumnos fuera del periodo establecido.
2. El número máximo de alumnos por laboratorio será de 8 (ocho), con excepción de la Sección Eléctrica que será de 7 (siete).

#### DE LAS PRÁCTICAS

3. Es responsabilidad del profesor dar a conocer el cronograma de actividades del laboratorio, el reglamento de los laboratorios del departamento de Ingeniería y el reglamento interno de cada sección en la primera sesión.
4. El alumno solo tendrá derecho a realizar las prácticas si está inscrito en el grupo de laboratorio correspondiente.
5. Se desarrollarán las prácticas de laboratorio en 12 sesiones durante el semestre en base al cronograma de actividades (dependerá de las prácticas existentes para cada laboratorio).
6. Los alumnos y profesores tienen una tolerancia de 10 minutos para llegar a su práctica de laboratorio, en el horario establecido:
  - a. Si el alumno incumple en este punto, tendrá falta en la sesión correspondiente.
  - b. Si el profesor incumple en este punto, el alumno tiene el derecho y la obligación de reportarlo al Jefe de Sección correspondiente.
7. La realización de las prácticas de laboratorio y/o manipulación de los equipos deberá estar siempre supervisado por el profesor correspondiente.
8. Las sesiones de prácticas deberán iniciar y concluir dentro de su horario establecido del laboratorio.
9. Las prácticas se realizarán en el lugar y horario asignados. Por ningún motivo o razón injustificada podrán cambiarse salvo previa autorización del Jefe de Sección.
10. Los manuales de prácticas de laboratorio deberán contener los siguientes elementos: portada, índice, objetivo general de la asignatura, objetivo del curso experimental, introducción, criterios de evaluación del curso experimental, prácticas, anexos o apéndices (donde aplica) y bibliografía.
11. El contenido de cada práctica deberá incluir: nombre y número de la práctica, tema correspondiente, objetivos, introducción, actividades previas, material y/o equipo, desarrollo experimental, cuestionario, conclusiones y bibliografía.
12. Los reportes para ser evaluados deberán tener portada y basarse en el contenido de los manuales de prácticas de laboratorio y serán entregados en la siguiente sesión.

*[Handwritten signature]*  
Jefe Depto.

*[Handwritten signature]*  
JEFE SECCION INDUSTRIAL

*[Handwritten signature]*  
Jefe sección mecánica

*[Handwritten signature]*  
Jefe de Sección Eléctrica

*[Handwritten signature]*  
JEFE DE SECCION ELÉCTRICA



## DE LA EVALUACION

13. El alumno que no asista a la sesión de la práctica correspondiente, no tiene derecho a ser evaluado en esa práctica y será considerada como falta.
14. El alumno que no traiga el material requerido para la práctica (cuando sea el caso), no podrá realizarla, ni se le permitirá que se incorpore con algún otro equipo de trabajo.
15. El alumno deberá cumplir con el 90% de asistencia como mínimo durante el semestre, para poder ser considerado en la evaluación aprobatoria.
16. La evaluación del curso es responsabilidad de cada profesor tomando en cuenta como base los puntos anteriores, el reglamento interno de la sección y los criterios de evaluación acordados.
17. La calificación final del curso del laboratorio tendrá una vigencia y validez solamente para el semestre en curso y será:
  - a. A (Aprobado), calificación entre 6.0 y 10.0
  - b. NA (No Aprobado); menor de 6
  - c. NP (No Presentó), no asistió a laboratorio.

## DE LA DISCIPLINA

18. No se permitirá la realización o iniciación de alguna práctica sin la presencia del profesor respectivo.
19. El profesor deberá usar la ropa de trabajo que para tal fin le proporciona la institución.
20. El equipo o material detectado en malas condiciones o dañado, deberá ser notificado inmediatamente por el alumno al profesor del laboratorio en turno y éste a su vez reportará al Encargado de Área (si lo hubiere) y/o al Jefe de Sección.
21. Dentro del laboratorio se deberán respetar las normas de seguridad e higiene indicadas en cada área.
22. Para cualquier persona, los siguientes eventos podrán originar que se turne el caso a la Unidad Jurídica:
  - a. Substraer o mover equipo y/o material de los cubículos, laboratorios e instalaciones sin la autorización por escrito del Jefe de Sección.
  - b. Dañar intencionalmente mobiliario, equipo e instalaciones y/o hacer uso indebido de las mismas.
  - c. Dar mantenimiento mayor al equipo sin la autorización del Jefe de Sección.
  - d. Atentar contra la seguridad e integridad de otra persona dentro del laboratorio.

## GENERALES

23. El Departamento de Ingeniería no se hace responsable por las faltas en que puedan incurrir alumnos, profesores y trabajadores dentro de los laboratorios, por omisión y desconocimiento de dicho reglamento.
24. El presente reglamento deberá permanecer visible en todas y cada una de las aulas donde se impartan prácticas de laboratorio.
25. Los casos no previstos en el presente reglamento serán resueltos por el jefe de la Sección y/o el jefe del Departamento.

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Cuautitlán Izcalli, Estado de Méx. a 20 de junio de 2022

*[Handwritten signature]*  
Jefe Depto.

*[Handwritten signature]*  
SECCION INDUSTRIAL  
JEFE

*[Handwritten signature]*  
Jefe sección  
MECANICA

*[Handwritten signature]*  
Jefe de Sección  
Electrónica

*[Handwritten signature]*  
Jefe de Sección  
S. MECANICA

# **C O N T E N I D O**

<b>PRACTICA No.:</b>	<b>NOMBRE:</b>
1	Generador de vapor
2	Relación entre la presión y temperatura del vapor de agua
3	Calidad de vapor
4	Eficiencia de aislante
5	Eyector
6	Torre de enfriamiento
7	Aire acondicionado
8	Compresor
9	Motor de combustión interna
10	Refrigeración por compresión

## 1.- OBJETIVO.

- a) Descripción de las partes constituyentes de los dos generadores de vapor instalado en el laboratorio de máquinas térmicas (Marca Clayton modelo EO-33 y Lukaut).
- b) Operar ambos generadores de vapor.
- c) Calculo de capacidad, eficiencia de una caldera y gastos de combustible y de vapor.

## 2.- INTRODUCCIÓN

En nuestra época moderna el vapor de agua se utiliza frecuentemente para calentamiento en procesos industriales o para producir trabajo (turbinas de vapor).

## 3. GENERALIDADES.

Un generador de vapor es una instalación electromecánica utilizada para transformar líquidos en vapor. Los componentes principales son:

0 Caldera. - Intercambiador de energía, que transmite el calor producto de la combustión al fluido, comúnmente agua, contenida dentro de un depósito a presión para obtener vapor. La transferencia de calor se realiza a través de una superficie llamada de calefacción es el área de una caldera que por un lado está en contacto con los gases y refractarios calientes y por el otro, con el agua que se desea calentar y evaporar; se mide por la cara de mayor temperatura.

1 Horno. - Lugar donde se realiza la combustión; generalmente se encuentra formado por paredes de refractario y banco de tubos por los que circula agua y vapor.

2 Quemadores. - Distribuidores tubulares donde se logra la adecuada mezcla aire-combustible cuando este último es líquido o gas; en el caso de que el combustible sea carbón se tiene un molino pulverizador adicional.

3 Chimenea. - Ducto a través del cual se descargan los gases producto de la combustión.

4 Ventiladores. - Tiro forzado; introducen aire al horno; tiro inducido; extraen los gases calientes del horno después de la combustión.

5 Bomba de agua de alimentación. - Incrementa la presión del agua para introducir a la caldera.

6 Sobrecalentador. - Cambiar de calor, en el que se da el sobrecalentamiento deseado al vapor.

7 Calentador de aire. - Cambiador de calor donde los gases producto de la combustión, después de haber cedido parte de la energía a la caldera calientan el aire para hacer más eficiente la combustión.

8 Economizador. - Cambiador de calor donde los gases de la combustión transmiten otra parte de su energía aumentando la temperatura del agua de alimentación que se alimenta a la caldera, mejorando la eficiencia del generador.

9 Precalentado de combustible. - Cuando se quema combustóleo o aceite combustible se disminuye la viscosidad por medio de un calentador previo al quemador; se usa serpentín de vapor o una resistencia eléctrica.

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de aire, combustible y agua, así como de los gases de la combustión a través de los elementos antes mencionados, y la disposición de unos respecto a otros.

#### 4. CLASIFICACION DE LAS CALDERAS.

Las calderas pueden clasificarse de la siguiente forma:

- a) Por posición de los gases calientes, el agua y el vapor:
  - Tubos de humo (pirotubulares)-Gases dentro de los tubos
  - Tubos de agua (acuotubulares)- Agua dentro de los tubos
- b) Por la posición de los tubos, puede ser de:
  - Tubos verticales
  - Tubos horizontales
  - Tubos inclinados
- c) Por la forma de los tubos, son de:
  - Tubos rectos
  - Tubos curvos
- d) Dependiendo del tipo de tiro:
  - Tiro forzado- Cuando solo tiene ventilador del tiro forzado.
  - Tiro inducido- Cuando solo tiene ventilador de tiro inducido.
  - Tiro balanceado- Con ventilador de tiro inducido y forzado.
  - Tiro natural- Sin ventilador.

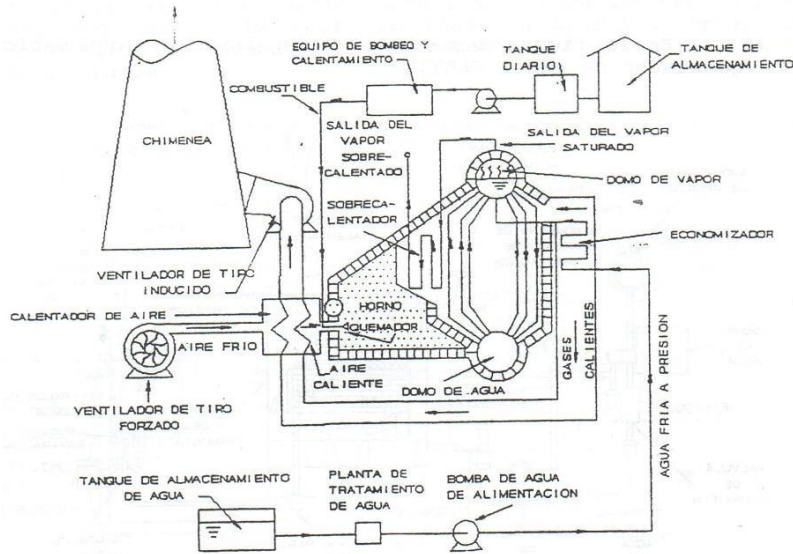


Figura # 1

**5. CALDERA TUBOS DE AGUA (MARCA CLAYTON MODELO EO-33).**  
Caldera tipo paquete de tubos de agua, serpentín de calentamiento monotubular en forma de espiral de tiro forzado.

El agua es bombeada directamente al serpentín de calentamiento en dirección contraria a la de los gases de la combustión.

Al salir de la sección espiral generadora, el líquido o vapor fluye a través de un tubo termostático circular de donde es enviado a la boquilla separada de vapor. El generador de vapor Clayton suministra vapor de 99% de calidad de vapor a su capacidad nominal su respuesta es rápida, proporciona vapor a los cinco minutos de el arranque en frío.

El generador tiene dispositivos de seguridad para protección contra falta de agua, fallas del quemador, presión excesiva y sobrecarga eléctrica. Controles automáticos regulan la entrada de agua de alimentación y suspenden e inician la operación del quemador de acuerdo a la demanda del vapor.



En la figura 2 se muestra un diagrama esquemático del generador de vapor CLAYTON.

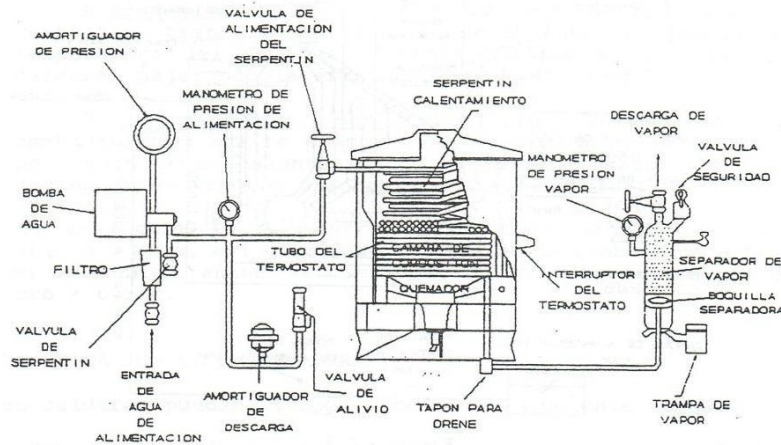


Figura # 2

## 5.1 SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE.

Se dispone de un tanque de gran capacidad donde se recibe aceite diesel, de este tanque se suministra el combustible a dos tanques de uso diario de 200 litros cada uno, y de estos se suministra el combustible a la bomba del generador.

En la figura 3 se muestra un esquema del circuito de combustible.

Su funcionamiento es el siguiente: la bomba de alimentación de combustible es de engranes, la presión máxima del combustible está controlada por un regulador ajustable de presión situado en la bomba de combustible. Con la válvula de control del quemador abierta (figura 3) todo el combustible es derivado y retornado hacia el tanque del combustible y la presión del combustible es mínima. Cerrando la válvula de control del quemador la presión del combustible aumentara y accionara los controles para encender el quemador. Después del arranque manual la operación es completamente automática y todos los controles están arreglados para proveer un paro por seguridad. La falla de flama originara interrupción automática del quemador aproximadamente 12 segundos después de dicha falla.

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Departamento de Ingeniería  
Sección Mecánica

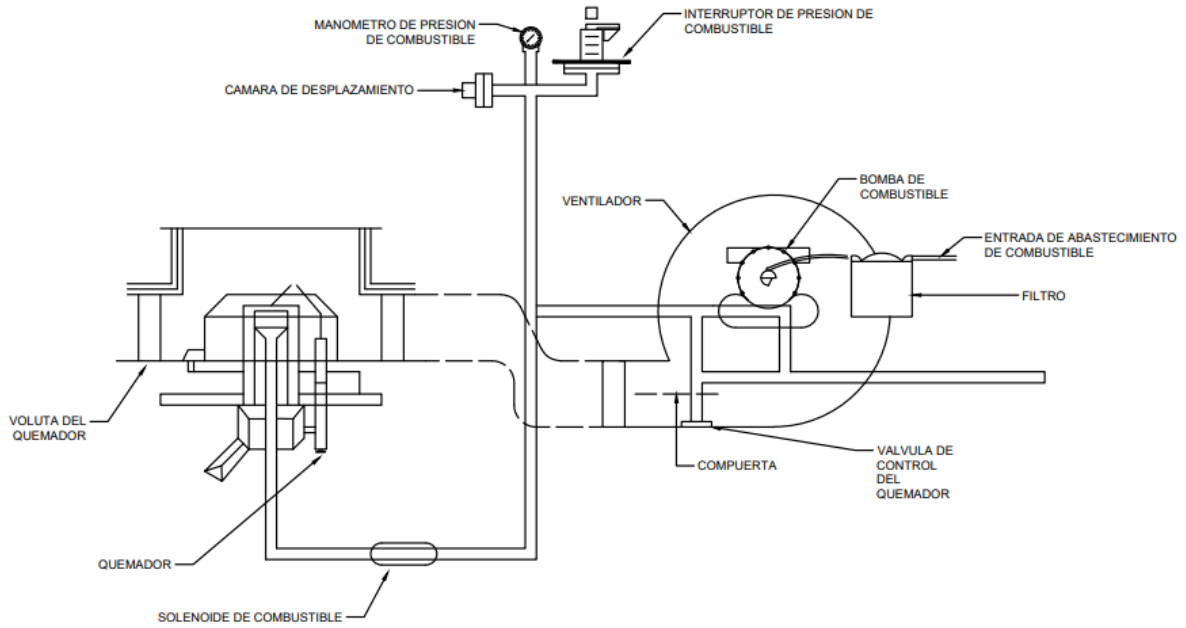


Figura # 3

Por otra parte, en caso de falta de agua el control del termostato parara el quemador y pondrá a salvo la unidad de calentamiento (serpentín). El del termostato forma parte del serpentín de calentamiento y está situado en la zona de rígidamente asegurado a un anillo mecánico exterior (fig. 4) en un punto diametral opuesto al interruptor del termostato.

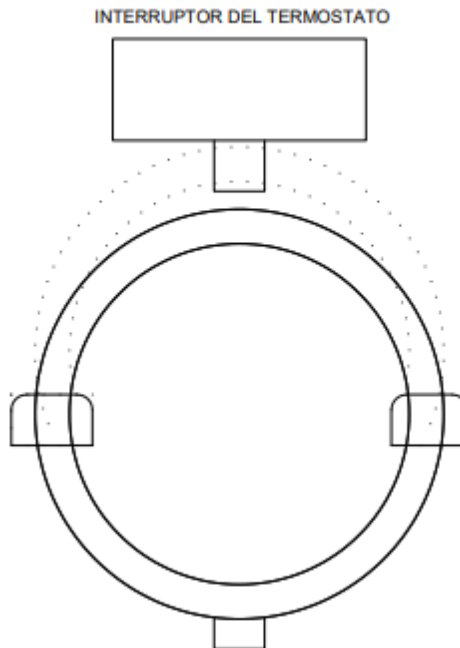


Figura # 4

A medida que el tubo se expande adquiere una posición excéntrica en relación al arillo exterior, esto origina una expansión considerable en línea con el control del termostato y provee un control directo del quemador. El interruptor del termostato está sujeto para suspender la operación del quemador cuando la expansión exceda los límites normales.

El aire de entrada a la voluta del quemador procedente del ventilador es dirigido centrífugamente a alta velocidad hacia el múltiple del quemador, ahí se mezcla con el combustible atomizado por las boquillas del quemador. El combustible es encendido automáticamente por una chispa eléctrica de alta potencia. Una celda fotoeléctrica está colocada bajo la seguridad en la operación del quemador, si no hay flama la foto celda suspende la operación del quemador.

## 5.2 SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA.

En la figura 5 se muestra el arreglo del sistema de agua, para el generador de vapor CLAYTON. El suavizador recibe agua de la red (dura), y en se le da un tratamiento en base a salmuera para desmineralizarla, es decir, quitarle las sales minerales (Mg, Ca, etc.), de este se manda el tanque de condensación el aguatenga el ph adecuado.

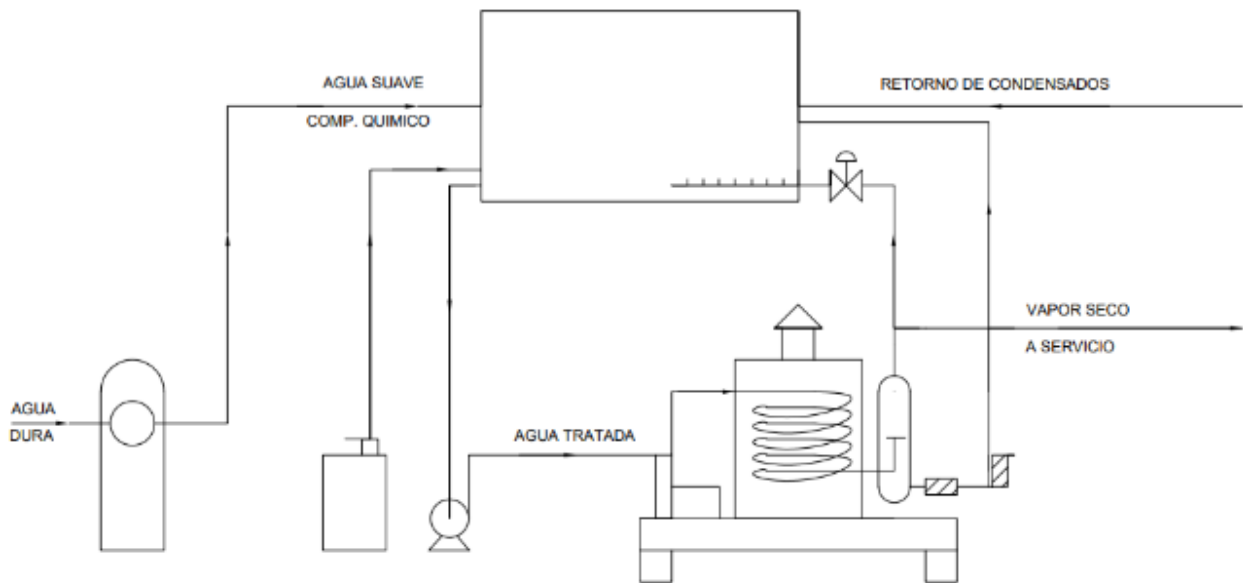


Figura # 5

Cuando el agua está completamente tratada (desmineralizada y con el ph adecuado) se mandaa las bombas de refuerzo introduce el agua a presión al serpentín de calentamiento, donde el agua transforma en vapor y se mandara a servicio.

### 5.3 OPERACIÓN.

Cuando la presión de vapor se eleva y alcanza el punto de ajuste del interruptor modular de presión, cerrar la válvula de aceite para fuego alto y el generador operara a medio fuego (fig. 3).

Al mismo tiempo la compuerta de aire variara automáticamente su posición para reducir la cantidad de aire que entra al quemador (la compuerta de aire está controlada por una válvula solenoide de aire a través del interruptor modular de presión). La válvula de derivación de agua abrirá y derivara el agua bombeada por una de las cabezas de la bomba para reducir aproximadamente a la mitad del volumen de agua que entrara al serpentín. Si la demanda de vapor es mínima o si no hay demanda de vapor, la presión continuara elevándose hasta alcanzar el punto de ajuste del interruptor de presión de vapor y cerrando la válvula de aceite para fuego bajo. El circuito del motor se interrumpirá y parar la bomba y el ventilador. Cuando la demanda de vapor aumenta, el descenso de la presión hará que vuelva a cerrar el interruptor de presión de vapor, poniendo en operación el motor y por lo tanto a la bomba y al ventilador, y también abrirá la válvula de aceite para fuego bajo. Si la presión continua bajando, el interruptor modular de presión abrirá la válvula de aceite para fuego alto y colocara la compuerta de ir a capacidad total. La válvula de derivación de agua cerrara para permitir el bombeo de agua a plena capacidad hacia el serpentín de calentamiento.

## 6. INSTRUCCIONES PARA PONER EN MARCHA.

1. Abra la válvula de abastecimiento de agua al tanque de condensados.
2. Abra la válvula situada entre la trampa de vapor y el tanque de condensados.
3. Cierre la válvula de descarga de (B), la válvula de drene del serpentín (G) y la válvula sopladora de hollín (A), cierre los grifos de la base de la bomba.
4. Abra la válvula de control del serpentín (J) y la válvula de entrada de agua de alimentación (D) y la válvula de la trampa de vapor.
5. Abra totalmente la válvula de control del quemador (E) de esta forma el combustible será derivado y se evitara la operación del quemador durante el arranque inicial.

6. Al arrancar uncialmente, presione el interruptor del termostato (H).

7. Colocar el interruptor manual para fuego bajo en la posición de “Alto- Bajo Automático”. En las unidades combinadas gas-aceite, coloque el interruptor en posición “aceite” y el interruptor “operación-llenado” en posición llenado.

### PRECAUCIONES

Asegurarse que las líneas de abastecimiento de combustible estén abiertas y que el combustible este circulando a través del sistema. Si operan sin combustible, l bomba d combustible se rayar de inmediato.

Cebar el cabezal de la bomba del agua de alimentación (E) para expulsar el aceite. Cerciorarse de que la bomba este completamente cebada estrangulando la válvula de alimentación del serpentín (J) después de esta prueba, si la bomba esta cebada, continúe la operación.

### 7 DATOS TECNICOS.

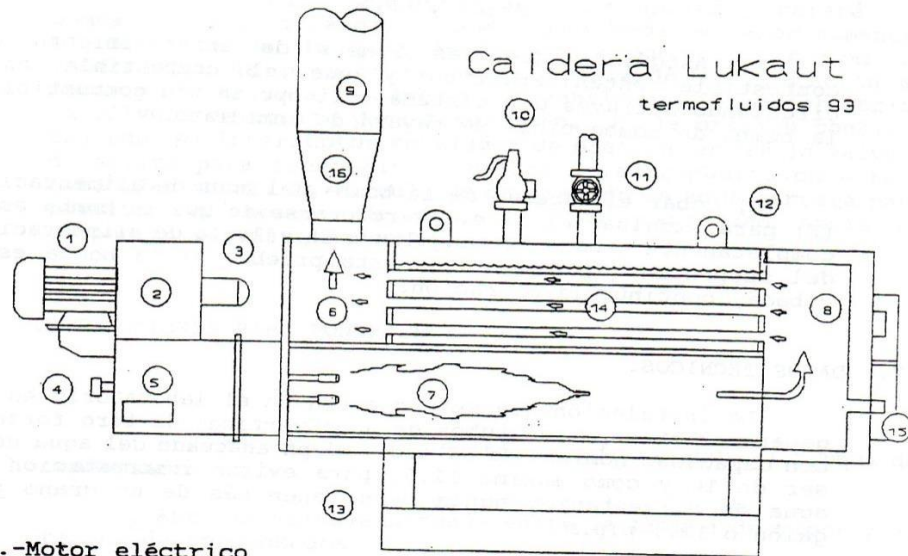
La instalación que se encuentra en el laboratorio es un generador de vapor de tubos de agua vertical de tiro forzado con capacidad nominal de 33 c. c. el ph adecuado del agua debe ser de 10 y como máximo 11.5, para evitar incrustaciones el agua alimentación nunca debe tener más de un grano por galón o 17.1 p.p.m.

Vaporización equivalente	518 Kg/hr
Suministro de calor	278388 kcal/hr
Presión de operación de vapor	3 a 7 Kg/cm <sup>2</sup>
Presión normal de combustible	20.4 Kg/cm <sup>2</sup>
Consumo de combustible	37.5 l/hr
Superficie de calefacción	7.2 m <sup>2</sup>

### 8. CALDERAS TUBOS DE HUMO (MARCA LUKAUT).

#### DESCRIPCION GENERAL.

Características: La caldera Lukaut es una caldera tipo escoses marina horizontal de tubos de humo, tiro forzado donde el agua está contenida dentro de un tambor, atravesado axialmente por tubos, pos los cuales circulan los gases calientes que evaporan el agua, lo cual se muestra esquemáticamente es la figura 6.



- 1.-Motor eléctrico
- 2.-Ventilador (soplador de circulación forzada)
- 3.-Bomba de combustible
- 4.-Mirilla y fotocelda
- 5.-Transformador de Ignición
- 6.-Salida de los gases de los tubos de humo
- 7.-Quemador integral
- 8.-Entrada de los gases a los tubos de humo
- 9.-Chimenea
- 10.-Válvula de seguridad
- 11.-Válvula de vapor
- 12.-Orejas de levante
- 13.-Soporte
- 14.-Tubos de humo
- 15.-Mirilla posterior
- 16.-Difusor de descarga de gases

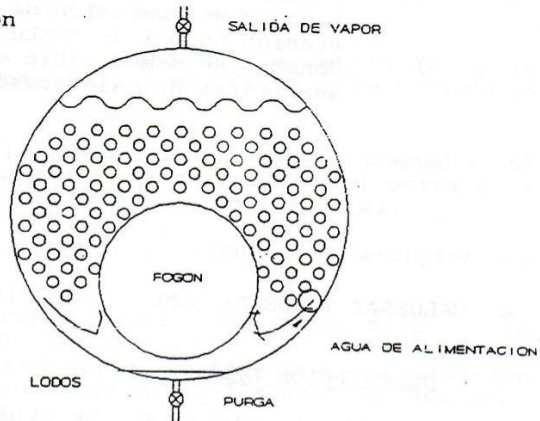
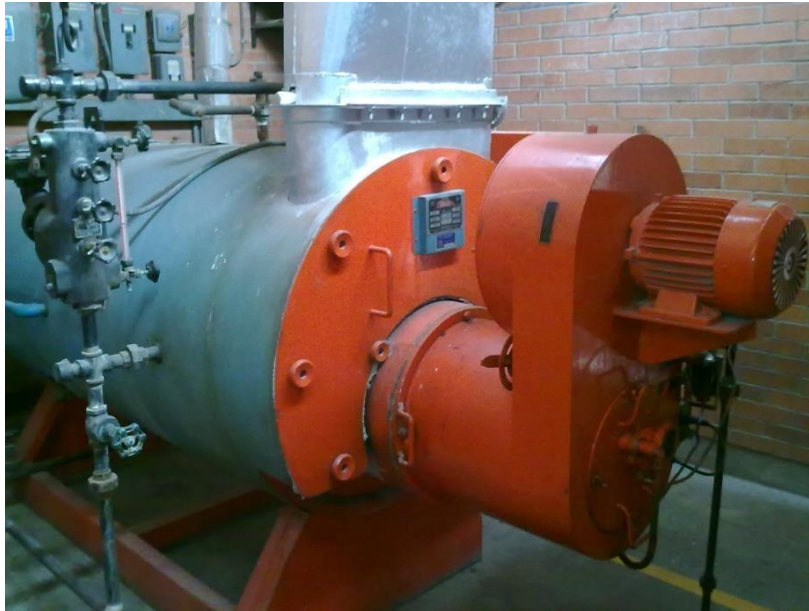


FIGURA 6





8.1) Dos pasos. Esto consiste en que el arreglo entre espejos y tuberías flux es de tal forma que los gases de la combustión recorren dos veces la longitud de la caldera antes de ser descargados a la atmosfera.

8.2) Fogón corrugado. El corrugado es con el objeto de darle una mayor resistencia mecánica y una característica de amortiguamiento de las contracciones o elongaciones causadas por las distintas temperaturas a las cuales están expuestos el fogón.

## 9. COSNTRUCCION.

Horizontal, tubos de fuego

Dos pasos

Cámara de combustible corrugada

Soldadura 100% radiografiada

Aislamiento fibra de vidrio de 51 m d espesor

## 10 DATOS TECNICOS

Caballos de fuerza vapor- 20

Superficie de calefacción 9.9 m<sup>2</sup>

Presión de trabajo 10.5 kg/cm<sup>2</sup>

## 11 CONTROLES Y COMPONENTES.

11.1) Control programador. Establece la secuencia y coordinación de tiempo de cada una de las etapas de operación del quemador y caldera en general.

11.2) Foto celda. Detecta la radiación ultravioleta emitida por la flama en la cámara de combustión la cual, a falla de flama, manda señal al control programador para detener la entrada de combustible y parar la caldera.

11.3) Transformación de ignición. Incrementa el voltaje hasta 10000 volts, necesarios para la ignición.

11.4) Electrodo de ignición. Produce la chispa para la ignición.

11.5) Control de nivel de agua [Mc Donnell]. Es el control de la bomba e interruptor de bajo nivel, está provista de un mecanismo de flotador que responde a las demandas de agua de la caldera. Sus funciones fundamentales son: mandar una señal para detener la operación de la caldera cuando el nivel de agua se encuentra por abajo del límite permisible y la otra función es la de arrancar y para la bomba de alimentación de agua de acuerdo a la demanda de vapor ver figura 7

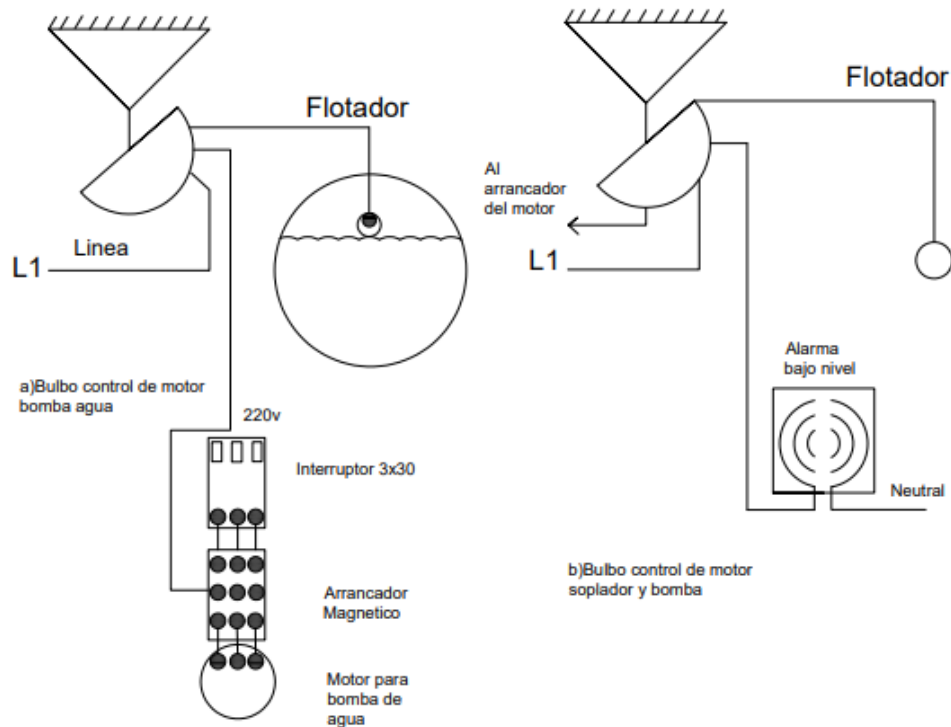


Figura # 7 Macdonnell

11.6) Control de presión [Presuretro]. Su objetivo es el de mantener una presión determinada, toma la presión existente dentro de la caldera y de acuerdo con esta manda una señal para o arrancar la caldera. Figura 8.

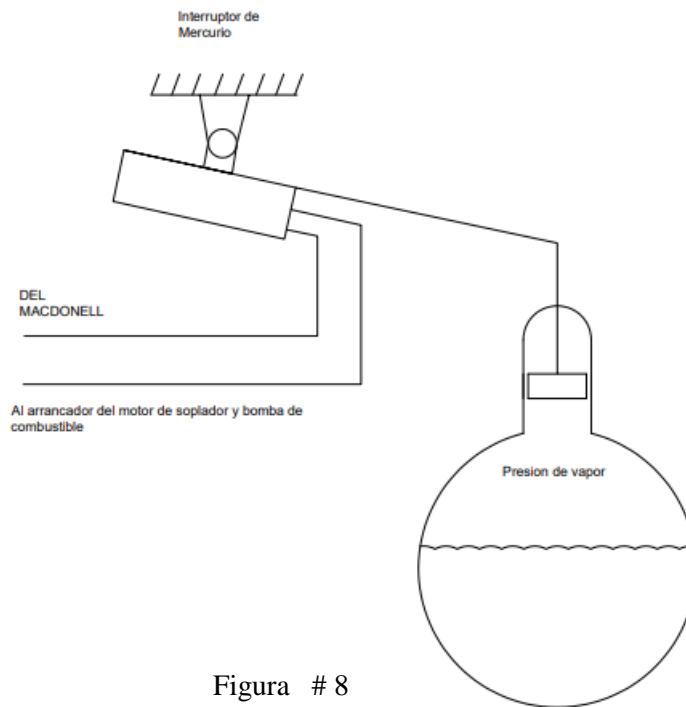


Figura # 8

Figura # 8

11.7) Válvulas de seguridad. Estas válvulas están calibradas para abrir a una presión determinada y evitar sobrepresión en la caldera. Figura 9.

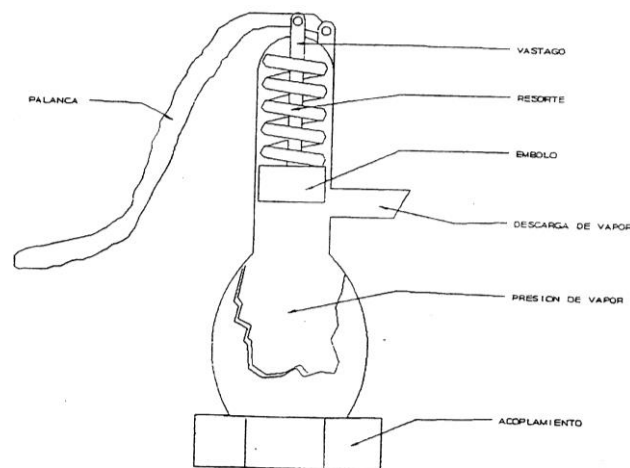


FIGURA 9

- 11.8) Tapón fusible de seguridad [tortuga]. Opera en caso de falla de las válvulas de seguridad, son tapas unidas al envolvente exterior de la caldera que ceden cuando la presión en el interior es muy elevada, estas tapas unas soldadas y la soldadura se calcula para resistir determinada presión. Un caparazón metálico unida fuertemente a la tapa y evita que la tapa salga disparada en caso de operación de la válvula. Figura 10.

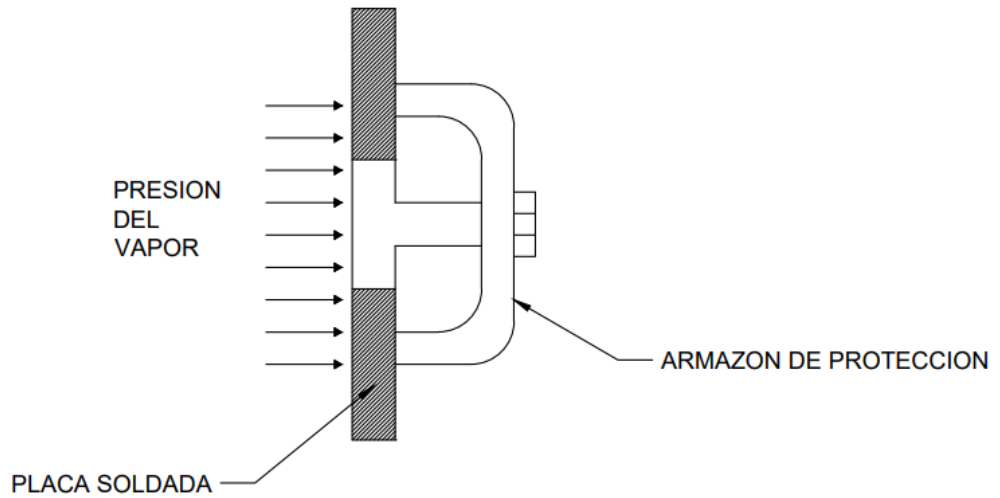


Figura # 10

## 12 FORMULAS, CALCULOS, DEFINICIONES.

Antiguamente la capacidad de las calderas se determinaba en c.c, (BHP- Boiler Horse Power), y se define como la cantidad de energía necesaria para evaporar 15.66 kg/hr a 100 °C a una presión de 1.033 kg/cm<sup>2</sup>; en tales condiciones la entalpia de vaporización es hfg=543.4 Kcal/kg, por lo que un caballo caldera es equivalente a 15.66 kg/hr x 543.4 kcal/kg es decir;

$$\text{c.c.} = 8510 \text{ Kcal/hr}$$

Para calderas pequeñas el c.c. se asoció con la superficie de calefacción c.c.=0.93 m<sup>2</sup>.

De las definiciones anteriores se puede decir que un c.c. equivale a transmitir 8510 Kcal/hr por cada 0.93 m<sup>2</sup> de superficie de calefacción.

Capacidad normal de carga- Se utiliza para especificar la potencia en calderas pequeñas.

$$\text{CN} = \frac{\text{superficie de calefacción (m}^2\text{)}}{0.93 \text{ m}^2} = \frac{\text{Sup. de calef.}}{0.93} \text{ c. c.}$$

Y como un c.c. = 8510 Kcal/kg

$$\text{CN} = \frac{\text{sup. de calef}}{0.93} \text{ c. c.} \frac{8510 \text{ Kcal/hr}}{\text{c. c}}$$
$$\text{CN} = \frac{\text{sup de calef.}}{0.93} 8510 \text{ Kcal/hr}$$

Capacidad real- Como una caldera puede tener su superficie de calefacción mejor dispuesta que otra y por consecuencia, más capacidad en condiciones de trabajo similares, es decir, es

Posible transmitir más de 8510 Kcal/hr por cada 0.93 m<sup>2</sup> de superficie de calefacción, el exceso quedaba definido por el factor de sobrecarga FS. La capacidad real está dada por:

$$CR = CN \times FS$$

Gastos de vapor- El gasto de vapor proporcionado por la caldera no se puede medir directamente, pero se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$GV = \frac{CR}{h_2 - h_1}$$

Donde

$h_2$ - Entalpia del vapor en la descarga de la caldera.

$h_1$ - Entalpia del líquido a la descarga de la caldera, como el vapor a la salida del generador es vapor húmedo la entalpia  $h_2$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$h_2 = h_f + x h_{fg} \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \right]$$

Donde  $h_f$  y  $h_{fg}$  se obtienen en tablas de vapor con la presión de salida del vapor.

Vaporización equivalente- Es la relación entre la energía total absorbida por el agua de alimentación de la caldera y la energía necesaria para evaporar un kg de agua a 100°C y  $p=1.003 \text{ kg/cm}^2$ , es decir;

$$VE = \frac{GV(h_2 - h_1)}{543.4} \dots \text{kg/hr}$$

Donde 543.4 Kcal/kg es la entalpia de vaporización a  $p=1.003 \text{ kg/cm}^2$ .

Factor de vaporización- Es la relación entre la energía absorbida por un kg de agua de alimentación en las condiciones reinantes en la caldera, y la energía necesaria para evaporar un kg de agua a 100 °C y  $p= 1.003 \text{ kg/cm}^2$ , es decir:

$$FV = \frac{h_2 - h_1}{543.4}$$

Eficiencia de la caldera- Se define como la relación del calor  $Q_a$  que se aprovecha, (es decir, el calor que absorbe el fluido desde que entra como líquido hasta que sale como vapor), entre el calor suministrado  $Q_s$  por la combustión (oxidación) del combustible en el quemador.

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_s} \times 100 \%$$

Donde:  $Q_s = GC \times PCS \text{ [Kcal/cal]}$



*GC*- Gasto de combustible kg/hr

*PCS*- Poder calorífico superior del combustible de Kcal/kg

Dónde:  $Qa = (h_2 - h_1) [Kcal/hr]$

*GV*- Gasto de vapor kg/hr

$h_2$ - Entalpia de vapor a la salida Kcal/kg

$h_1$ - Entalpia de agua de alimentación de la caldera Kcal/kg

Para el generador de vapor Clayton EO-33 el gasto de combustible máximo es de 37.5 l/hr, y la densidad del diésel es de 883 kg/m<sup>3</sup>

### 13 TABLA DE LECTURAS.

Lecturas	Presión del vapor kg/cm	Temperatura de agua de alimentación °C

### 14 TABLA DE RESULTADOS.

Lectura	GV kg/hr	GC kg/hr	VE kg/hr	FV	$\eta$	Qa Kcal/hr	QS Kcal/hr

### 15 CONCLUSIONES.

### 16 CUESTIONARIO.

- 1.- Mencione las dificultades que se presentaron en la práctica.
- 2.- Mencione los accesorios que hay en la instalación.

- 3.- ¿Cuál es la Secretaría que contiene un reglamento que habla de calderas?
- 4.- ¿Cómo se determina el título del vapor?
- 5.- Mencione los cuidados que se deben de tener el encontrar y operar una caldera.
- 6.- ¿Qué condiciones anormales se observaron al hacer la práctica?

## 17 BIBLIOGRAFIA.

## 1.- OBJETIVO

Investigar la relación entre la temperatura y presión de vapor de agua.

## 2.- INTRODUCCIÓN

El vapor de agua es una sustancia de trabajo que se utiliza frecuentemente en la ingeniería termodinámica (generación de potencia, calentamiento, etc.), por ello es conveniente investigar experimentalmente el comportamiento de esta sustancia.

Las sustancias existen en diversas fases tales como: sólida, líquida, y gaseosa, una fase de una sustancia pura es materia homogénea. Una sustancia pura es la que tiene la misma estructura física en todos sus estados, pero puede tener varias fases.

Cuando al agua se le comunica energía en forma de calor, si esta es suficiente cambia de fase, su temperatura aumenta, y el volumen específico generalmente aumenta.

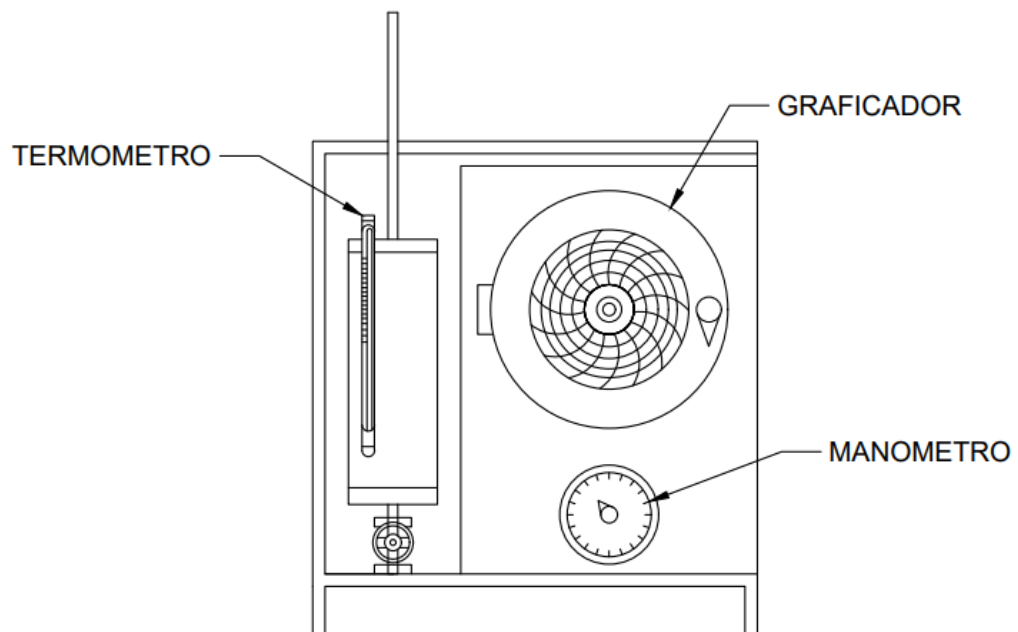
Dependiendo de la presión al llegar la temperatura a un cierto valor el agua comienza a ebullición (evaporarse) para el agua pura, la temperatura de ebullición es únicamente función de la presión.

El vapor producido puede estar exento de partículas de agua o puede llevarlas en suspensión, por esta razón el vapor puede ser saturado o húmedo, para determinar la relación entre la temperatura y presión del vapor saturado es necesario obtener un número suficiente de valores correspondientes de las dos variables y graficarlas.

## 3.- MATERIAL Y EQUIPO

UNIDAD PRESIÓN: TEMPERATURA del banco de pruebas de vapor, el cual está compuesto de un cilindro conectado a la fuente de vapor. En la parte superior una válvula regula la entrada de vapor, el flujo de vapor se regula con una válvula de aguja colocada en la parte inferior del cilindro, de éste sale una conexión a un aparato que gráfica la presión y temperatura a un mismo tiempo. La unidad consta también de un termómetro y un manómetro para censar la temperatura y presión del vapor.

## 4.- DIBUJO DE LA INSTALACIÓN



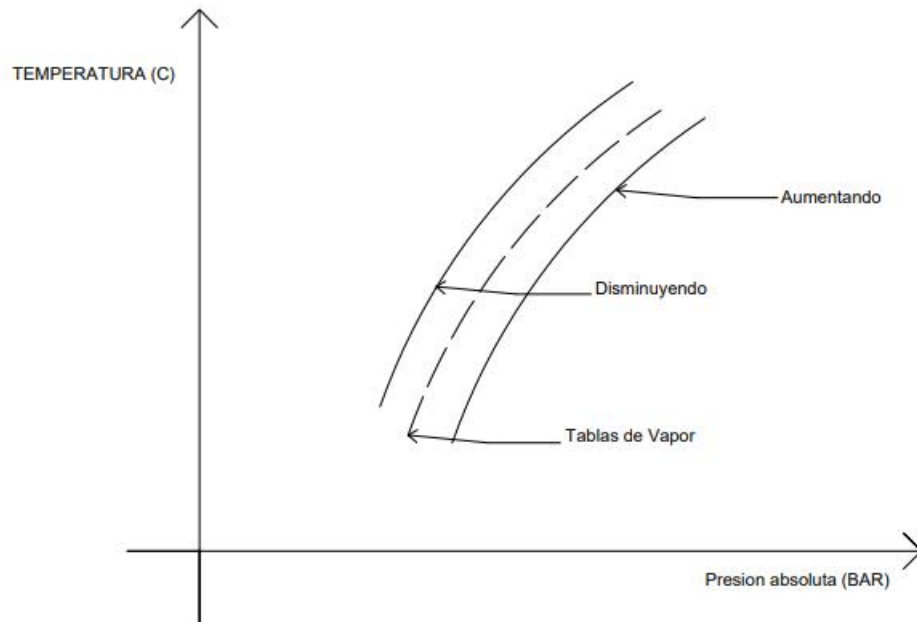
## 5.- PROCEDIMIENTO

1. Conectar el equipo a la tubería del vapor y abrir la válvula superior.
2. Estrangular a la salida del cilindro a la presión deseada y esperar suficiente tiempo para obtener condiciones estables.
3. Anotar temperatura y presión del vapor.
4. Ajustar a una nueva presión usando la válvula de estrangulamiento y esperar suficiente tiempo para obtener condiciones estables.
5. Anote temperatura y presión del vapor.
6. Repita este procedimiento hasta alcanzar la máxima presión (7 bar).
7. Habiendo alcanzado la máxima presión, tome una serie de lecturas reduciendo la presión, tomando el suficiente tiempo en cada etapa para alcanzar condiciones estables.
8. Grafique la temperatura (Y) contra presión absoluta (X) para los siguientes casos:
  - a) Incrementando la presión
  - b) Disminuyendo la presión
  - c) Tablas de vapor para el rango de presión usado.

## 6.- TABLA DE DATOS

PRESIÓN (BAR)					TEMPERATURA (°C)		
AUMENTANDO		DISMINUYENDO		TABLAS DE VAPOR	AUMENTANDO	DISMINUYENDO	TABLAS DE VAPOR
Man.	Abs.	Man.	Abs.	Abs.			

## 7- GRÁFICAS



## 8.- CUESTIONARIO.

1. ¿Qué es un estado? ¿Qué es una propiedad?
2. ¿Qué es una fase? ¿Qué es el domo de vapor?
3. ¿Qué es un vapor sobrecalentado? ¿Qué es un estado supercrítico? ¿Qué es líquido saturado? ¿Qué es un vapor saturado?
4. ¿Qué sucede cuando un líquido saturado se calienta a presión constante? ¿Qué sucede cuando se enfría a presión constante?
5. ¿Por qué el líquido y el vapor en una mezcla de una misma sustancia tienen la misma presión y temperatura?
6. ¿Qué datos de propiedades termodinámicas se encuentran en los manuales de química o ingeniería?
7. ¿Por qué es más fácil tabular los estados de saturación que los de vapor sobrecalentado o líquido sub-enfriado?



## 9- CONCLUSIONES

## 10.- BIBLIOGRAFÍA

1. Manual del banco de pruebas de vapor
2. Termodinámica  
Virgil Moring Faires  
U.T.E.H.A.
3. Ingeniería termodinámica  
Reynolds y Perkins  
Mc. Graw Hill
4. Fundamentos de termodinámica  
Gordon J. Van Wylen y Richard E. Sonntag  
Editorial. Limusa-Wiley

## 1.- OBJETIVO

Determinar la cantidad de vapor mediante el calorímetro de separación y estrangulación.

## 2.- INTRODUCCION

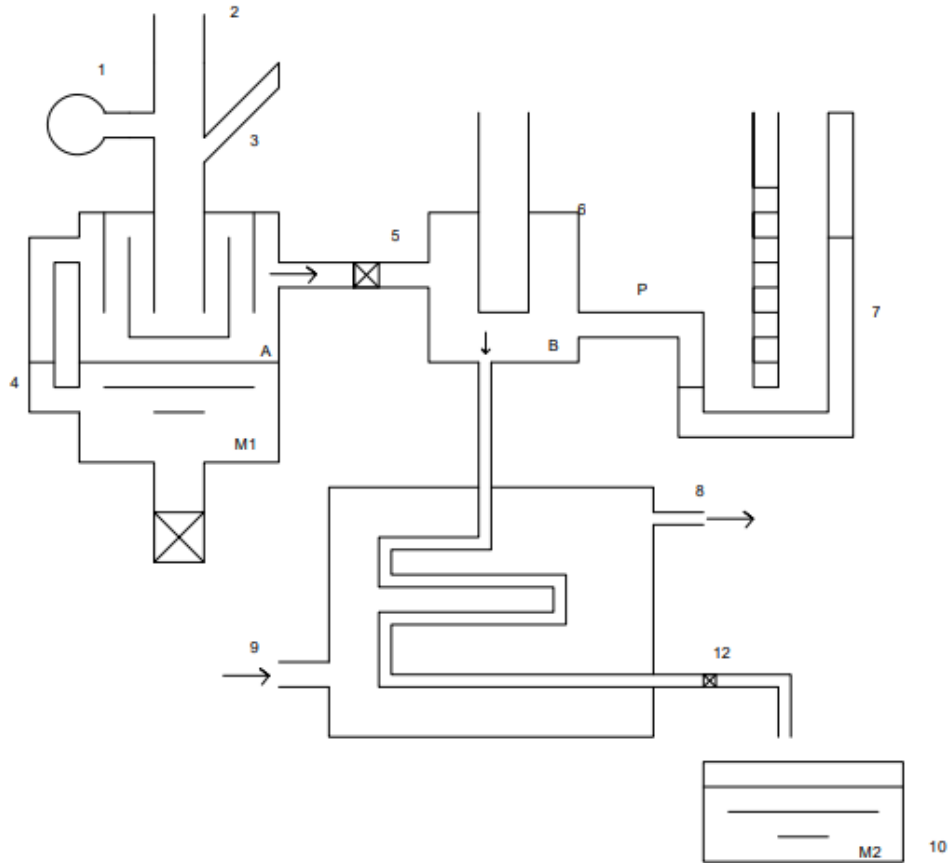
Los calorímetros de separación y estrangulación son usados para determinar la cantidad de vapor y humedad de vapor (fracción seca).

El separador es un recipiente usado inicialmente para separar la mezcla de vapor, asegurando condiciones de sobrecalentamiento al vapor después del estrangulamiento.

El vapor es obligado a cambiar de dirección, súbitamente precipitando la humedad, que es más pesada que el vapor, las gotas minúsculas en suspensión al caer son colectadas, en el fondo del recipiente. Un medidor de nivel con mezcla hace posible que la cantidad de mezcla (humedad) colectada sea medida. El calorímetro por estrangulación es un recipiente con una válvula de aguja localizado en el costado de entrada de vapor. El vapor es estrangulado a través de la válvula de aguja y descargado en el condensador. La presión del vapor después del estrangulamiento, es medida con un manómetro de mercurio fijo a cuerpo de él calorímetro.

El vapor descargado es condensado en una pequeña superficie, tipo condensador, el vapor pasa a través de unas espiras sumergidas en un flujo de agua fría, el condensado es colectado para medirlo.

### 3.- DIBUJO DE LA INSTALACION



- A.- Calorímetro e separación.
- B.- Estrangulamiento, calorímetro.
- C.- Condensador.
- 1.- Manómetro burdon (presión de vapor a la entrada).
- 2.-Entrada de vapor.
- 3.-Termometro.
- 4.-Volumen de agua separada por el vapor M1.
- 5.-Valvula de estrangulación.
- 6.-Termometro.
- 7.- Manómetro.
- 8.-Salida de agua de enfriamiento.
- 9.-Entrada de agua de enfriamiento.
- 10.-Condensador M2.
- 11 y 12.-Valvulas de desagüe.



## 5. FORMULAS Y CÁLCULOS.

Entalpia antes del estrangulamiento = entalpia después del estrangulamiento.

$$h_f + x_2 h_{fg} = h$$

$$X_2 = \frac{(h - h_f)}{h_{fg}}$$

$h_f$  – Entalpia antes del estrangulamiento(liquido)

$h_{fg}$  – Entalpia especifica de eaporacion antes del estrangualmiento

$x_2$  – Calidad de vapor antes del estrangualmiento.

$h$  – Entalpia despues del estrangulamiento (vapor recalntado)

Cantidad de valor seco =  $x_2 M_2$

Cantidad de vapor seco + agua =  $M_1 + M_2$

Calidad de vapor en la alimentación

$$X_1 = \frac{x_2 M_2}{M_1 + M_2}$$

Notas:

La entalpia de vapor recalentado se calcula mediante las tablas e vapor recalentado o aproximadamente con la siguiente ecuación:

$$h_{p2abs}^2 = h_{p2abs} + 1.89(t_2 - t_s)$$

Ya que sabemos que la capacidad calorífica de vapor recalentado es de 1.89 KJ/Kg °K, por lo que hay que hacer una corrección de función de la diferencia entre la temperatura de vapor  $t_2$  y la temperatura de vapor saturado  $t_s$ .

$h_f$  y  $h_{fg}$  se calculan de tablas de vapor saturado con  $T_1$  o  $P_1$

## 7.- TABLA DE RESULTADOS.

h KJ/Kg	$h_f$ KJ/Kg	$h_{fg}$ KJ/Kg	$X_2$	$X_1$

## 8.- - CUETIONARIO.

1. ¿Qué es el vapor recalentado?
2. ¿A qué se le llama título de vapor?
3. ¿En qué bases teóricas está comprendido el funcionamiento de un calorímetro?
4. ¿A qué se le llama entropía de un vapor?
5. ¿Mediante el diagrama de mollier se puede determinar el título de vapor con lecturas de un calorímetro de estrangulación?
6. ¿Porque la masa de condensado es el mayor que la masa de agua separada el experimento?

## 9.- BIBLIOGRAFIA

1. Energía mediante vapor, aire y gas.  
W: H: Sverns.  
Editorial Reverte, S.A.
2. Thermodynamic  
Virgil Moring Faires,  
Editorial UTEHA

## 1.- OBJETIVO.

Investigar y comparar las pérdidas de energía entre un tubo aislado y no aislado, determinar experimentalmente la conductividad térmica  $K$  del aislante y del material de los tubos y además el coeficiente de transferencia.

## 2.- INTRODUCCION.

Existen tres formas de transferencias de energía en forma de calor, estas son: Conducción, Radiación y Convección.

- a) Conducción: Este tipo de transferencia de calor se debe básicamente al desplazamiento libre de electrones y a la vibración cristalina.
- b) Radiación: Es el flujo de energía en forma de ondas electromagnéticas, entre dos cuerpos situados a una distancia determinada.
- c) Convección: Es la transferencia de energía entre sólidos y fluidos en movimiento, aunque propiamente este mecanismo no transfiere calor si no energía interna.

### LEYES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

i) Conducción:

La ley que gobierna la transferencia de energía en forma de calor por conducción, recibe el nombre de Ley de Fourier, en honor al científico que la formulo en 1822. En ella se establece que el flujo de calor ( $Q$ ) es directamente proporcional a el área ( $A$ ) normal al flujo de calor, y al gradiente de temperatura  $dT/dx$ , a través del área.

$$Q = A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

La conductividad térmica  $K$  convierte la proporción en ecuación, la conductividad térmica es una propiedad del material, constituye una medida de eficacia con la que se puede conducir energía térmica.

La ecuación (1) queda:

$$Q = -KA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

El signo negativo de la ecuación (2) indica que un gradiente negativo de temperatura produce transferencia de calor en la dirección positiva de x.

ii) Radiación:

La ley que corresponde a la transferencia de calor por radiación fue descubierta por J. Stefan, quien la determinó en forma experimental y L. Boltzmann, quien la dedujo teóricamente, y esta es:

$$Q = \sigma AT^4 \quad (3)$$

Dónde:

$\sigma$  = constante de Stefan – Boltzmann.

$A$  = Area.

$T$  = Temperatura absoluta.

iii) Convección.

Cuando un flujo pasa sobre una superficie sólida caliente, se transfiere energía de la pared al fluido por conducción. Posteriormente, esta energía la acarrea corriente abajo el fluido por convección.

El término convección forzada se utiliza cuando el movimiento del fluido es debido a una bomba o a un ventilador. Si el flujo del fluido se origina debido a una fuerza ascensional derivada del calentamiento el proceso se denomina convección libre o natural.

El flujo térmico convectivo está dado por:

$$Q = hA(\Delta T)$$

Dónde:

$h$  = Coeficiente de convección térmica.

$A$  = Area.

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

Para realizar cálculos sencillos de ingeniería que implican convección, el término que puede ser más difícil de determinar es  $h$ , ya que dicha cantidad relaciona las propiedades físicas del fluido y la velocidad del mismo sobre la superficie del sólido.



### 3.- MATERIAL Y EQUIPO.

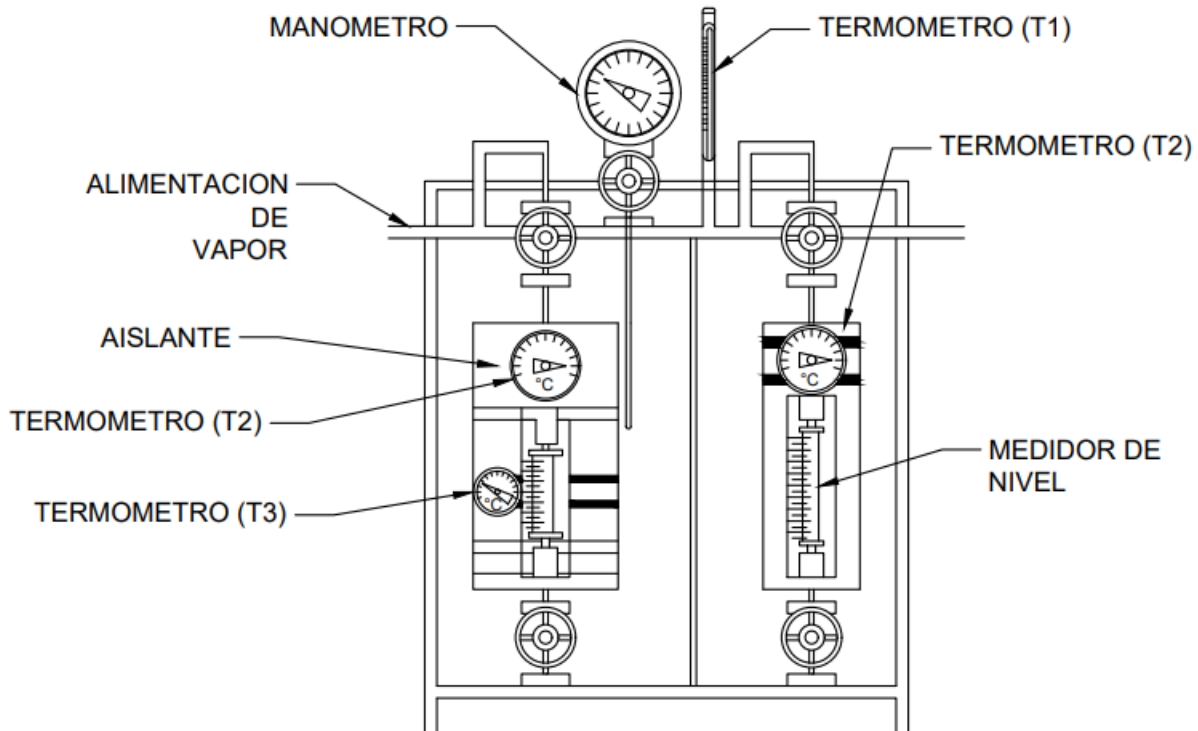
El equipo consta de dos recipientes de acero dulce, un aislado con fibra de vidrio y el otro sin aislamiento.

Está equipado con termómetros y manómetros para medir la presión y la temperatura del vapor, las temperaturas de la pared de los dos recipientes. La presión máxima de trabajo es 7 bar.

Los recipientes tienen las siguientes dimensiones físicas:

Radio interior	$r_1 = 32$ mm.
Radio exterior	$r_2 = 38$ mm.
Espesor de aislamiento	38 mm.
Longitud	46 mm.

### 4.- DIBUJO DE LA INSTALACIÓN.



## 5.- NOMENCLATURA.

NOMBRE	SIMBOLO	UNIDADES
Flujo de calor	Q	W
Conductividad térmica	K	w/m°K
Área	A	m <sup>2</sup>
Diferencial de temperaturas	dT	°K
Diferencial de longitud	dx	m
Temperatura absoluta	T	°K
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma$	W/ m°K <sup>4</sup>
Coefficiente de convección térmica	h	W/ m°K
Diferencia de temperaturas	$\Delta T$	°K
Radio	r	m
Resistencia térmica	R	°K/W
Longitud de la tubería	L	m
Masa de condensados	m	Kg/s
Calidad de vapor	x	-----
Entalpia de evaporación	$h_{fg}$	J/Kg
Volumen de condensados	$v_c$	m <sup>3</sup>
Volumen especifico de agua	$v_w$	m <sup>3</sup> /Kg
Tiempo	t	s

## 7.- FORMULAS Y CÁLCULOS.

El aislamiento se colocaba por las tres razones principales.

- a) Reducir la transferencia y la pérdida de energía.
- b) Prevenir que el fluido se condense o congele.
- c) Por higiene o seguridad.

Si solamente se consideran el aspecto de higiene y seguridad el espesor del aislante es mínimo.

Si se consideran los aspectos a) y b) habrá que hacer un análisis económico entre las pérdidas de energía y el costo de aislamiento.

Las pérdidas de energía en una tubería dependen principalmente de:

- a) La diferencia total de temperaturas entre el vapor y el medio circulante.
- b) La resistencia del vapor al condensarse y dar su energía al a superficie interna del tubo.
- c) La resistencia del tubo metálico.
- d) La resistencia del aislante.
- e) La resistencia del aire que lo rodea para eliminar el calor de la superficie externa (esto último por radiación y convección)
- f) La velocidad del vapor de la tubería.
- g) Las condiciones de vapor, es decir, si está saturado o sobrecalentado.

En nuestra practica consideremos que la transferencia de calor de la pared interior a la exterior es debida únicamente por conducción y la pared exterior al medio ambiente (aire) es debido a convección.

Apliquemos la ecuación o ley de Fourier a una tubería aislada.

$$Q = -KA \frac{dT}{dt}$$

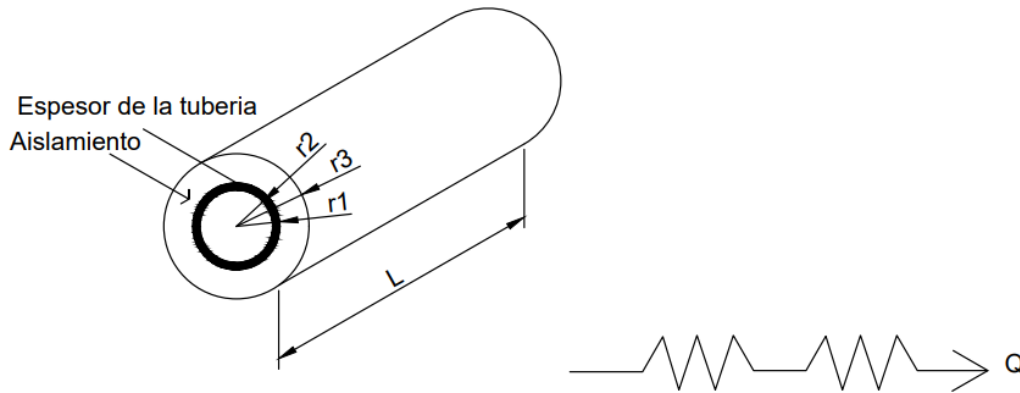


Fig. 1  
 Tubo con aislamiento  
 termico y circuito equivalente

$$R = R_1 + R_2$$

El área de transmisión es la normal al flujo de calor supondremos que el calor solo fluye en la dirección radial, por lo tanto.

$$A = 2\pi rL$$

$$Q = -2\pi rLK \frac{dT}{dr}$$

Suponemos régimen permanente ( $t = \text{constante}$ ), y podemos separar variable e integrar desde  $r=r_1$  y  $T=T_1$  hasta  $r=r_2$  y  $T=T_2$

$$\int_{r_1}^{r_2} Q \frac{dr}{r} = - \int_{r_1}^{r_2} 2\pi KLdT$$

$$Q = \frac{2\pi K_1(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (5)$$

A menudo es útil relacionar el flujo de calor con términos eléctricos semejantes.

El flujo de calor Q es semejante a la corriente eléctrica y a la diferencia de temperatura, a la caída de voltaje. En consecuencia, la tubería es semejante a una resistencia y el factor semejante a la resistencia eléctrica es la resistencia térmica.

Por lo tanto, la ecuación (5) puede expresarse como

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{R} \quad (6)$$

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2\pi K_1 L)}$$

La ecuación (6) es totalmente similar a la ley de ohm para un resistor ( $I = \frac{V}{R}$ )

Este enfoque eléctrico es muy útil al considerar estructuras compuestas, por ejemplo, si el calor fluye en serie, es decir, paso primero a través de una placa y después por la otra, el circuito térmico es igual al mostrado en la figura. 2.

Obsérvese que la resistencia térmica total es la suma de las resistencias de los componentes.

Por otra parte, si el flujo del calor se realizara en paralelo, la conductancia térmica total ( $1/R$ ), es la suma de las conductancias térmicas, igual que en un circuito eléctrico en paralelo. Los análisis de transferencia de calor están relacionados con circuitos de conducción en serie y paralelo, y una vez comprendidos esos, los cálculos son muy sencillos.

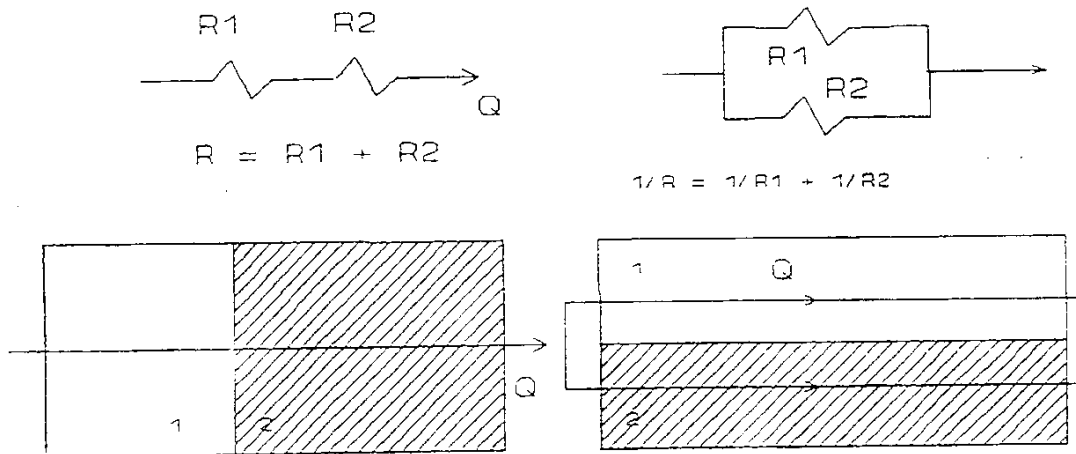


FIG. 2a) PARED COMPUESTA Y EL CIRCUITO EN SERIE CORRESPONDIENTE.

2b) PARED COMPUESTA Y EL CIRCUITO EN PARALELO CORRESPONDIENTE.

De acuerdo a lo anterior la ecuación de transferencia de calor para la tubería aislada quedara.

$$Q = \frac{(T_1 - T_3)}{(R_1 + R_2)}$$

$$Q = \frac{(T_1 - T_3)}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi K_2 L}}$$

Donde:

$T_1$  = Temperatura en el interior de la tubería.

$T_2$  = Temperatura en la superficie exterior de la tubería.

$T_3$  = Temperatura en la superficie exterior del aislante.

$r_1$  = Radios interior de la tubería.

$r_2$  = radio exterior de la tubería.

$r_3$  = Radio exterior del aislante.

$K_1$  = Conductividad térmica del material del tubo.

$K_2$  = conductividad térmica del material del aislante.

$L$  = Longitud de la tubería.

$T_a$  = Temperatura ambiente.

Por otra parte, el calor es disipado al medio ambiente.

$$Q = 2\pi r_3 L h (T_3 - T_a)$$

#### CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CALOR.

Las pérdidas de calor originan una disminución en la temperatura del fluido, originado condensación, siendo esta condensación proporcional a las pérdidas de calor.

Por lo tanto, si medimos la cantidad de condensados estaremos en condiciones de calcular el calor perdido tendremos pues.

$$Q = m x h_{fg} \quad (9)$$

$$m = \frac{V_c}{V_w t} \quad (10)$$

Dónde:

$m = \text{Masa del condensado en } Kg/s$

$x = \text{calidad de vapor.}$

$h_{fg} = \text{entalpia de vaporación, evaporación en } \frac{Kj}{kg}$

$V_c = \text{volumen de condensados } m^3$

$V_w = \text{volumen específico del agua a la presión del vapor de agua en } \frac{m^3}{kg}$

$t = \text{tiempo (s)(duración de la prueba)}$

El porcentaje de ahorro en energía es = {(Energía perdida en el sistema no aislado – energía perdida sistema aislado)} entre (energía perdida en el sistema no aislado.)

El calor perdido por el sistema no aislado se calcula con la ecuación (9) y este tiene que ser igual al calculado con la ecuación (6) de estas dos ecuaciones se puede calcular la conductividad térmica  $K_1$ ...

Por otra parte, el calor perdido por el sistema aislado se puede calcular con las ecuaciones (9) y (7) y calcular  $K_2$ .

De la misma manera se puede calcular el calor disipado al medio ambiente por las ecuaciones (9) y (8), y calcular  $h$ , coeficiente de convección térmica, para los dos sistemas.

#### PROCEDIMIENTO.

- 1.- Suministre vapor al equipo.
- 2.- Calcular la calidad de vapor.
- 3.- Abrir la válvula a drenar.
- 4.- Permitir fluir el vapor hasta obtener condiciones estables.
- 5.- Cerrar las válvulas y permitir la condensación.
- 6.- Iniciar la prueba anotando el tiempo y el nivel inicial de condensados en cada tubo.
- 7.- Tomar lecturas cada cinco minutos hasta permitir una cantidad razonable de condensados (aproximadamente de 30 minutos.)
- 8.- Al finalizar la prueba cerrar la válvula que alimenta vapor al equipo y medir la diferencia de niveles del condensado.

#### 7.- TABLA DE DATOS.

Duración de la prueba \_\_\_\_\_  
Temperatura ambiente \_\_\_\_\_  
Presión atmosférica \_\_\_\_\_

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Departamento de Ingeniería  
Sección Mecánica

TIEMPO	VAPOR		TEMPERATURA DE LOS TUBOS (°C)				VOLUMEN DE CONDENSADOS (cm <sup>3</sup> )	
	PRESION MAN.	TEMP °C	TUBO 1 AISLADO		TUBO 2 NO AISLADO		TUBO 1	TUBO 2
	BAR	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	AISLADO	NO AISLADO
PROMEDIO								

TABLA DE RESULTADOS

	CALIDAD DE VAPOR X	(Q) CALOR DISIPADO W	M Kg/s	K W/m <sup>2</sup> K	h W/m <sup>2</sup> °K	% DE AHORRO
SISTEMA AISLADO						
SISTEMA NO AISLADO						



## 8.- CUESTIONARIO.

1. ¿Cuáles son los mecanismos de transferencia de calor?
2. ¿Cuáles son las ecuaciones fundamentales de conducción, convección y radiación?
3. ¿Cómo describiría un circuito térmico a un Ing. Electricista
4. ¿Qué es el coeficiente de conductividad térmica  $K$  y que unidades tiene?
5. ¿ $K$ , es una constante, o varía con la temperatura y presión?
6. ¿Qué es  $h$  y de que factores depende su valor?
7. El valor de  $k$ , calculando para el aislante y para el acero, coinciden con los publicados en la literatura, si no es así a que causas cree que se deba.
8. ¿Qué se entiende por cuerpo negro?

## 9.- CONCLUSIONES.

## 10.- BIBLIOGRAFIA.

## 1.-OBJETIVO

Que el alumno comprenda el comportamiento de un eyector y que compruebe su funcionamiento como calentador y como bomba.

## 2.- INTRODUCCIÓN

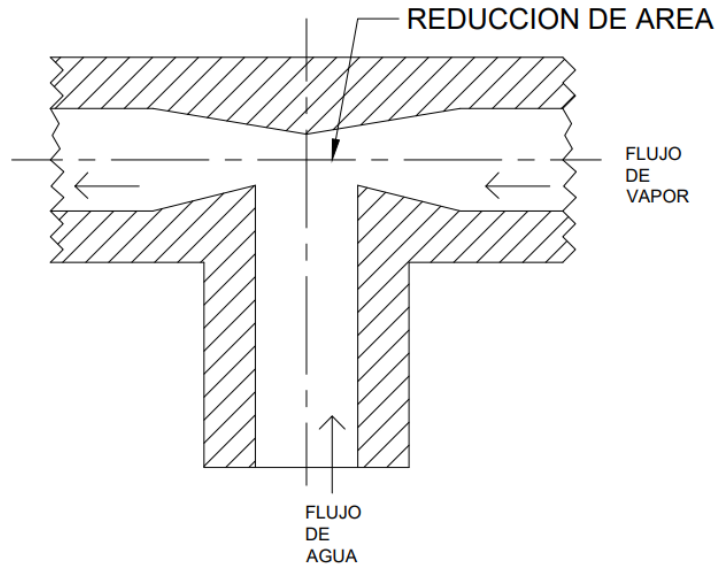
El eyector acelera o decelera una corriente). El fluido puede ser agua vapor de agua, aire o cualquier otro gas. Si se utiliza para producir una compresión o vacío se le llama eyector o exhaustor. Este vacío puede utilizarse por ejemplo para elevar otro fluido igual o distinto que se mezcla con el que se produce vacío. Otra aplicación del eyector es el utilizado en los condensadores de vapor condensado lo comprime para expulsarlo del condensador hacia el drenaje.

## 3.- DESCRIPCION DE LA INSTALACIÓN.

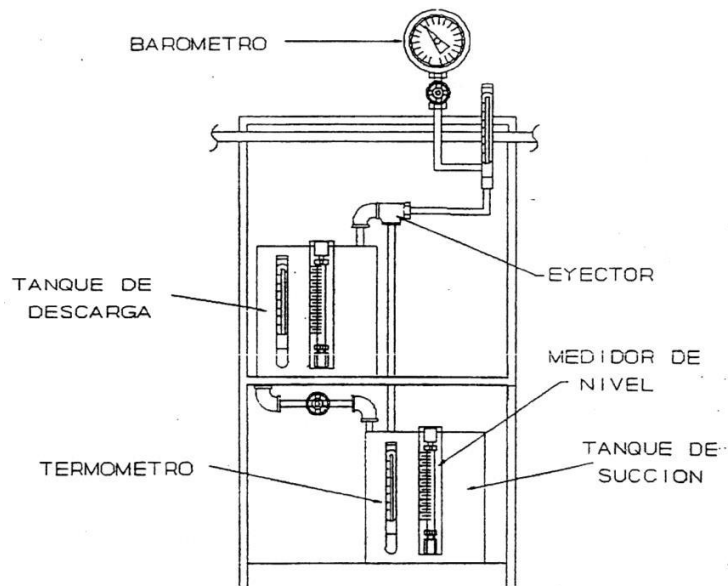
La unidad en nuestro laboratorio cuenta con los tanques de acero suave, fijados a diferentes niveles e interconectados a una tubería de trabajo que contiene un eyector ensamblado. El cabezal de alimentación de vapor incluye un acoplamiento sellado en la pared de una longitud de tubería de vapor flexible, que es suministrada en la conexión de admisión entre unidades.

Los instrumentos de medición en la admisión de vapor nos indican la presión y temperatura del mismo, así como también se tienen indicadores de temperatura y de nivel en los dos tanques. El eyector es de tipo normal y está dispuesto para un amplio rango de operación.

El área reducida en la garganta del eyector provoca una caída de presión en este punto. Esta reducción de presión con respecto a la presión atmosférica origina que esta última actúe sobre el agua, para producir una fuerza de empuje, que nos conduce el fluido de un recipiente a otro.



#### 4.- DIBUJO DE LA INSTALACION



## V. FORMULAS Y CALCULOS

### ANÁLISIS I

Investigar el funcionamiento de un eyector cuando se usa como calentador de alimentación.

El flujo de vapor que pasa a través de una tobera convergente causa un cambio de energía de presión a energía de velocidad. El incremento de velocidad en la garganta ocasiona una caída de presión en la misma. Esta caída de presión es lo suficientemente grande para provocar que el nivel del tanque de succión empuje el agua a la garganta del eyector.

La condensación del vapor se realiza en la boquilla, que es debida al flujo del agua y al cambio de presión. Cuando se considera al eyector como calentador de admisión, la energía entregada por el vapor sobre el agua, origina una condensación a este. Así, pues el agua recibe energía de vapor.

La eficiencia de esta transferencia está dada por la ecuación.

$$Eficiencia = \frac{\text{energía-dada-al-agua}}{\text{energía-entregada-por-el-vapor}}$$

$$Eficiencia = \frac{M_w(T_2 - T_1)}{[xh_{fg} + C_p(T_s - T_2)]}$$

Donde

$M_w$	Flujo de agua	kg/s
$M_3$	Flujo másico de vapor	kg/s
$C_p$	Calor específico del agua en	kJ/kg °K
$h_{fg}$	Entalpía de vaporización a presión del vapor	kJ/kg
$x$	Calidad de vapor.	
$T_s$	Temperatura de saturación a la presión absoluta del vapor.	
$T_1$	Temperatura del agua de alimentación del eyector.	
$T_2$	Temperatura del agua entregada al recipiente superior.	

## ANÁLISIS II.

Investigar el funcionamiento del eyector cuando se usa como bomba.

La energía de vapor que pasa a través de la garganta es usada como fuerza de empuje del agua por efecto de la diferencia de presiones entre el nivel del tanque de aspiración con respecto a la garganta, luego se produce un bombeo entre tanques.

$$\text{Energía entregada por el vapor} = \text{entalpía de vaporización} + \text{Entalpía del líquido} = M_s [x h_{fg} + c_p (T_s - T_2)]$$

Trabajo realizado por el bombeo del agua = fuerza x distancia = fuerza gravitacional sobre la masa del agua desalojada en función de la altura =  $M_w g H$

Dónde:

$g$  es la aceleración de la gravedad (9.81m/seg<sup>2</sup>)

$H$  es la carga media levantada = carga media de succión.

Carga media de succión = altura de la garganta a nivel inicial del tanque de succión + (altura inicial - altura final) / 2.

$$\text{eficiencia} = \frac{\text{trabajo} - \text{realizado}}{\text{trabajo} - \text{suministrado}}$$

$$Eficiencia = \frac{M_w g H}{[x h_{fg} + C_p (T_s - T_2)]}$$

## 6.- MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO.

Utilice el banco de pruebas de vapor en su instalación del eyector.

## 7.- PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS

- 1- Suministre vapor al equipo
- 2.- Obtenga la calidad del vapor.
- 3.- Llene el tanque inferior
- 4.- Ajuste el suministro de vapor a 0.5 bar de caída de presión
- 5.- Revisar los niveles de los tanques (succión y descarga)
- 6.- Medir y anotar las temperaturas del agua de succión, al arranque de la prueba y a cada minuto durante el tiempo que dure la prueba
- 7.- Medir y anotar las temperaturas del agua entregada desde el arranque y cada minuto durante toda la prueba eyector hasta el nivel del tanque en la succión)
- 8.- Medir la columna en la succión al iniciar la prueba (altura desde l line de centro del eyector hasta el nivel del tanque en la succión).
- 9.- Ensayar la prueba durante 4 minutos
- 10.- Medir y anotar los niveles del agua al final del periodo de ensayo

Para dicha prueba la calibración del tanque es de 1 cm= 1.47 litros (escala)

Flujo másico de vapor = [cambio de nivel del depósito superior - cambio del nivel del depósito inferior.] 1.47

Flujo másico de agua= cambio de nivel del depósito inferior x 1.47

### TABLA DE LECTURAS

Duración de la prueba en min.	
-------------------------------	--

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Departamento de Ingeniería  
Sección Mecánica

Presión de vapor (man) bar	
Temperatura de vapor en °C	
Nivel inicial del tanque de succión cm Nivel final del tanque de succión cm	Diferencia =
Nivel inicial del tanque de descarga Nivel final del tanque de descarga	Diferencia=
Temperatura del agua de succión °C ( $T_1$ )	
Temperatura del agua de descarga °C ( $T_2$ )	
Altura de succión inicial cm	
Altura de succión final cm	
Título de vapor x	
Presión barométrica mm Hg	
La calibración del tanque es de; 1cm =1.47 litros	

TABLA DE RESULTADOS

Lectura	$M_w$ [kg/s]	$M_s$ [kg/s]	x	$h_{fg}$ [kj/kg]	$T_s$ [°C]	H [m]	B %	C %

## 8.- CUESTIONARIO

1. ¿Qué tipo de bombas de vacío son utilizadas en un condensador?
2. ¿Cuánto vacío mantienen los eyectores en condensadores?
3. ¿Dónde se utiliza los eyectores de dos escalonamientos?

4. ¿En cuál de las dos instalaciones usadas en el eyector tiene más eficiencia?
5. Si se utiliza aire en un eyector y pasa por un tubo de diámetro  $d$  y agua es succionada por otro conducto de diámetro  $D$  ¿Cómo varía sus velocidades en un eyector?
6. ¿Qué se desprecia en un eyector trabajando como calentador de agua?
7. ¿De qué depende la altura de la elevación de un líquido en un eyector?

## 9.- CONCLUSIONES

## 10.- BIBLIOGRAFIA.

Mecánica de fluidos y maq. Hidráulicas.

Claudio Mataix.

Edit. Harla.

Energía mediante vapor.

Aire y gas

W.H. servens

H.E.Degler

J.C. Miles

Edit. Reverte, S.A.



## 1.- OBJETIVO.

Poner al alumno en contacto con una torre de enfriamiento, para que conozca el funcionamiento, operación e importancia de este equipo térmico en algunos procesos industriales, además establecer el balance de energía y materia para dicha torre cuando esta funciona en régimen permanente.

## 2.- INTRODUCCION.

Las torres de enfriamiento son equipos que se usa en el enfriamiento de agua que recircula por condensadores de refrigerantes, condensadores de plantas térmicas y otros cambiadores de calor.

El flujo de agua en el interior de la torre de enfriamiento debe estar uniformemente distribuido, haciendo que la corriente de agua se fraccione en pequeñas gotas y que el tiempo de caída a través de la torre se prolongue tanto como sea posible: es conveniente también que el área mojada de la torre sea grande. Para lograr esto se instala una red de tubos ranurados en la parte superior de la torre, además para aumentar el tiempo de contacto entre el agua y el aire se coloca en el interior de la torre un empaque o relleno formado por deflectores o mamparas horizontales que puede ser de madera o aluminio de sección rectangular, triangular o tipo malla.

Es necesario considerar, sin embargo, que, si el relleno se hace demasiado denso o cerrado, el flujo del aire, a través de la torre se verá restringido disminuyendo la eficiencia de la torre, por lo que es necesario encontrar el término medio correcto.

En el interior de la torre el agua caliente se enfría por evaporación con la cual se humedece el aire, también debido a que existe una diferencia de temperaturas entre el agua y aire se presenta una transferencia de energía en forma de calor.

El análisis de lo acontece en el interior de una torre de enfriamiento requiere de conocimiento de transferencia de calor, de masa y de mecánica de fluidos, sin embargo si se observan los estados de entrada y salida, es posible aplicar los principios de conservación de masa y energía a la torre.

La capacidad de las torres de enfriamiento está dada en términos de acercamiento y el intervalo.

El acercamiento es la diferencia de temperatura que existe entre la temperatura del agua enfriada y la temperatura de tubo húmedo del aire de entrada. El intervalo representa la diferencia de temperatura entre los estados de entrada y salida del agua.

### 3.- CLASIFICACIÓN.

Las torres de enfriamiento se clasifican de acuerdo con el medio por las se le suministra aire en:

Torres de tiro mecánico, tiro natural o atmosférico. Las torres de enfriamiento de tiro mecánico pueden ser tiro inducido o tiro forzado.

Torres de tiro inducido.

Este tipo de torres de enfriamiento son más populares para instalaciones de gran tamaño. En estas torres el aire es obligado a pasar por el interior de la torre por medio de un ventilador colocado en la parte superior de la torre.

Torre de tiro forzado

En estas torres de enfriamiento el aire es forzado a circular a través de la torre por un ventilador colocado en la parte inferior de la torre.

Torre de tiro natural

Las torres de tiro natural ocupan un volumen mayor a igualada de capacidad de enfriamiento que las de tiro inducido o forzado; esto se debe a que las velocidades del aire son frecuentemente bajas y a que la dirección del viento es variable, también debido a que los pasajes o conductos por los que pasa al aire deben diseñarse más abiertos y libres de obstrucciones posible para facilitar la circulación.

Las torres de tiro mecánico tienen muchas ventajas sobre los demás tipos de equipo para enfriamiento de agua.

- 1) El área necesaria es aproximadamente la mitad para la torre de tiro atmosférico, o sea de  $0.007$  a  $0.012 \text{ m}^2 / \text{LPM}$ .
- 2) Independencia del viento, lo que permite libertad en su ubicación.
- 3) Mínimo perjuicio por la llovizna arrastrada.
- 4) Pequeña cantidad de agua de reposición debida a la evaporación y llovizna arrastrada.

Las desventajas comprenden mayor costo inicial y costo por operación y mantenimiento.

Todos los tipos de equipo evaporativo para enfriamiento de agua experimentan una pérdida constante de agua debido a la evaporación e igual al 1% del agua circulada por cada 5.5000 de intervalo de enfriamiento. Además, tiene lugar una pérdida de agua debida al arrastre del aire; para las torre de tiro mecánico o es de alrededor del 0.2%, para las torres atmosféricas es de 0.5%.

La figura 1 ilustra una torre de tiro forzado.

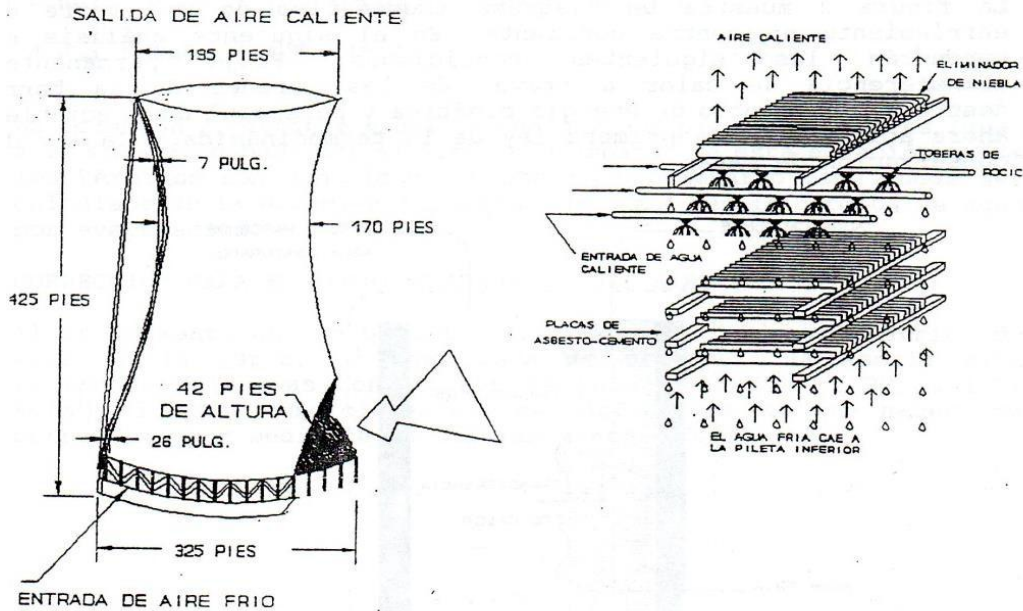


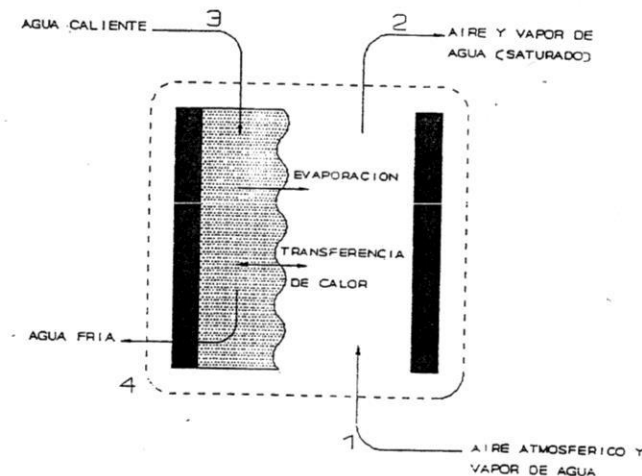
Figura 1 Torre de enfriamiento

#### 4.- NOMENCLATURA

NOMBRE	SIMBOLO	UNIDADES
Gastos máxicos de agua	$m_w$	kg/s
Gasto máxico de aire	$m_w$	kg/s
Entalpia específica del agua	$h_w$	kJ/kg
Entalpia específica del aire	$h_2$	kJ/kg
Entalpia específica de la mezcla		
Vapor del agua – aire	$h_1$	kg/ kg
Humedad específica de la mezcla	$\omega$	-----
Vapor de agua- aire		
Gasto volumétrico del aire	$Q$	$m^3/s$
Densidad	$\rho$	$kg/m^3$
Temperatura bulbo seco	$t_{bs}$	$^{\circ}C$
Temperatura bulbo húmedo	$t_{bw}$	$^{\circ}C$
Temperatura	$t$	$^{\circ}C$

#### 5. FORMULAS

La figura 2 muestra un diagrama esquemático de una torre de enfriamiento en contra corriente. En el siguiente análisis se supondrán las siguientes condiciones: flujo permanente, transferencia de calor a través de las paredes de la torre despreciable aplicaremos la primera ley de la termodinámica y la ley de conservación de masa.



## 6.- CALCULOS.

Balance de masa

Aire  $m_{a1} = m_{a2} = m_a$

Agua  $m_{w3} + m_{w1} = m_{w4} + m_{w2}$   
 $(m_{w3} - m_{w4}) = (\omega_1 - \omega_2)m_a \dots 1$

Balance de energía

Energía que entra = energía que sale  
 $m_{w3}h_{w3} + m_{a1}h_{a1} + m_{w1}h_{w1} = m_{w4}h_{w4} + m_{a2}h_{a2} + m_{w2}h_{w2}$

Arreglando.

$$m_{w3}h_{w3} - m_{w4}h_{w4} = (h_{a2} + w_2h_{w2}) - (h_{a1} + w_1h_{w1})m_a$$

$$m_{w3}h_{w3} - m_{w4}h_{w4} = (h_{*2} - h_{*1}) \dots 2$$

La ecuación 2, establece que la energía que pierde el agua es igual a la energía ganada por el aire, sin embargo, de esta ecuación todos los términos son conocidos excepto  $m_{w4}$  sin embargo, este puede ser calculado de la ecuación (1) además  $(m_{w3}-m_{w4})$  es la pérdida de agua por evaporación.

### CORRECCION PARA EL FLUJO VOLUMETRICO DEL AIRE

El instrumento que se utiliza para medir el flujo volumétrico de aire en la torre, es una placa de orificio, la escala esta calibrada bajo unas condiciones de referencia ( $T=28^\circ\text{C}$ ,  $\rho=1.15\text{kg/m}^3$  si estas condiciones son muy diferentes hay que hacer una corrección por medio de la siguiente ecuación.

$$Q_n = \sqrt{\frac{1.15}{\rho}} Q_{\text{leído}}$$

$\rho$  = es la densidad del aire en las condiciones del laboratorio.

## CORRECCION PARA EL FLUJO VOLUMETRICO DEL AGUA

El caudal de agua se mide por medio de un rotámetro cuya escala está dada en cm. Con la lectura del rotámetro se va a un diagrama de gasto contra cm, y se lee el gasto del agua en kg/hr. Sin embargo la calibración del rotámetro fue hecha bajo unas condiciones de referencia ( $T=8.5^{\circ}\text{C}$ ), por lo tanto cuando el agua de alimentación está a temperatura distinta se debe hacer la siguiente corrección

Sumar o restar 2.7 kg/hr al flujo observado por cada  $10^{\circ}\text{C}$  de diferencia en la temperatura del agua suministrada.

Use interpolación lineal para diferencias de temperaturas de menos de  $10^{\circ}\text{C}$

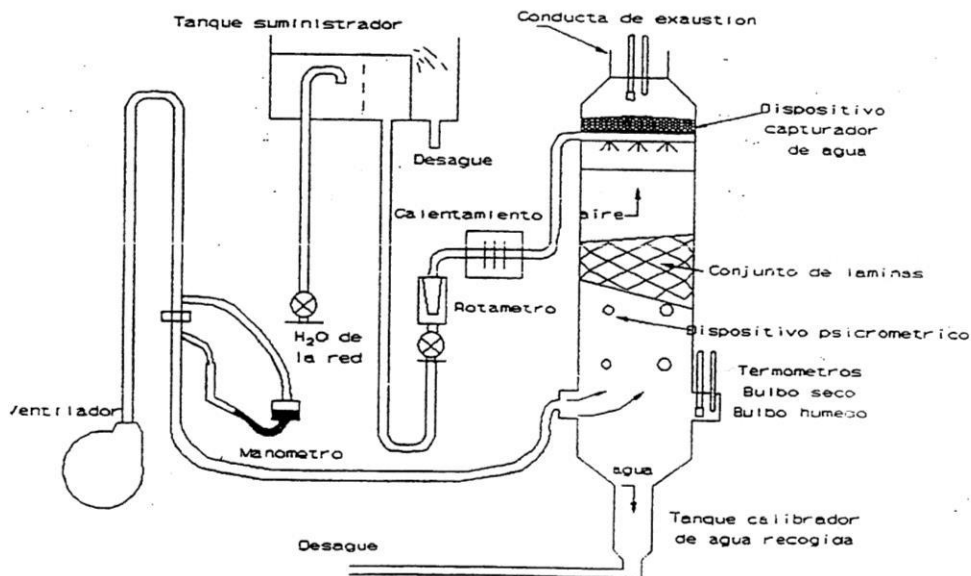
## 7.- MATERIAL Y EQUIPO.

2 termómetros de bulbo húmedo.

2. termómetros de bulbo seco.

Unidad de la torre de enfriamiento.

## 8.- DIBUJO DE LA INSTALACION.



## 8.- PROCEDIMIENTO.

- 1.- Abra la válvula de suministro de agua localizada en la parte inferior de la torre.
- 2.- Mantenga un nivel constante de agua en el tanque alimentador colocando en la parte superior de la torre, y descargue el agua sobrante al drenaje.
- 3- Abra la válvula del drenaje del sistema del agua y permita que el aire salga fuera del tubo de suministro de agua.
- 4.- Abra totalmente la válvula de control de flujo de agua colocada en el tablero de instrumentos, hasta observar que el agua está pasando a través de la torre.
- 5.- Permita que el agua inunde el tanque colector en la base de la torre y pase a través del sistema de rebose al drenaje para evitar que el aire de la torre escape a través del tubo de drenaje, mantenga siempre el tubo de rebase "V" lleno de agua.
- 6.- Conecte el ventilador de aire.
- 7.- Conecte los calentadores de agua.
- 8.- Regule a las condiciones deseadas.
  - a) Ajustando el flujo de aire al valor deseado.
  - b) Ajustando la válvula de control de flujo de agua.
  - c) Conectando los Ajustando el flujo de aire calentadores de agua y/o ajustando el flujo de agua a la temperatura deseada.
- 9.- Tomen lecturas de datos.

**10.- TABLA DE DATOS.**

Temperatura ambiente \_\_\_\_\_  
Presión atmosférica \_\_\_\_\_

<i>LECT</i>	<i>Sistema de aire</i>				<i>Sistema de agua</i>					
	<i>Flujo volumétrico</i> $Q [m^3/hr]$	<i>Entrada</i>		<i>Salida</i>		<i>Flujo de agua</i> $[cm]$	<i>temp. del agua alim.</i> $^{\circ}C$	<i>correc. flujo agua</i> $[kg/hr]$	<i>temperatura del agua</i>	
		$t_{abs}$ $^{\circ}C$	$t_{abs}$ $^{\circ}C$	$t_{abs}$ $^{\circ}C$	$t_{abs}$ $^{\circ}C$				<i>Ent</i> [ $^{\circ}C$ ]	<i>Sal</i> [ $^{\circ}C$ ]

**10.- TABLA DE RESULTADOS**

<i>LECT</i>	<i>Sistema de aire</i>				<i>Sistema de agua</i>				
	$m_a$ $[kg/hr]$	<i>Entrada</i>		<i>Salida</i>		$m_w$ $[kg/hr]$	<i>Entrada</i> $h_{w3} [kj/kg]$	<i>Salida</i>	<i>Eneriga perdida</i>
		$h_1$ $[kj/kg]$	$w_1$	$h_2$ $[kj/kg]$	$w_2$		$h_3$ $[kj/kg]$	$h_{w4}$ $[kj/kg]$	$m_{w3}h_{w3} - m_{w4}h_{w4}$



## 11.- CUESTIONARIO.

- 1.- ¿Cuántos tipos de torre de enfriamiento hay?
- 2.- ¿Qué significa tiro inducido y tiro forzado?
- 3.- ¿Qué diferencia existe entre la humedad relativa y humedad absoluta?
- 4.- ¿Qué información contiene la carta psicométrica?
- 5.- ¿Si la humedad del aire aumenta ¿Qué se espera suceda en el funcionamiento de la torre de enfriamiento?
- 6.- Mencione tres formas distintas para medir la humedad del aire.
- 7.- Si el aire que alimenta la torre estuviera saturado ¿Qué sucedería?

## 12.- CONCLUSIONES

## 13.- BIBLIOGRAFIA.

### INGENIERIA DEL AMBITO TERMICO

James L. Threlked  
Prentice / Hall International

### INGENIERIA TERMODINAMICA

Reynolds y Perkins  
Mc Graw Hill

### TERMODINAMICA

Virgil Moring Faires  
U.T.E.H.

## 1.- OBJETIVO

Poner en contacto al alumno con un equipo de acondicionamiento de aire, así como hacer una confrontación teórica con respecto a la práctica de los procesos psicométricos más importantes.

## 2.- INTRODUCCIÓN

El acondicionamiento de aire es el proceso que se considera más completo de tratamiento del aire ambiente de los locales habitados; consiste en regular las condiciones en cuanto a la temperatura (calefacción o refrigeración), humedad, limpieza (renovación, filtrado) y el movimiento del aire adentro de los locales. Si no se trata la humedad, sino solamente de la temperatura, podría llamarse climatización.

Entre los sistemas de acondicionamiento se cuentan los autónomos y los centralizados. Los primeros producen el calor o el frío y tratan el aire (aunque a menudo no del todo). Los segundos tienen un/unos acondicionadores/es que solamente tratan el aire y obtienen la energíatérmica (calor o frío) de un sistema centralizado. En este último caso, la producción de calor suele confiarse a calderas que funcionan con combustibles. La de frío a máquinas frigoríficas, que funcionan por compresión o por absorción y llevan el frío producido mediante sistemasde refrigeración.

La expresión aire acondicionado suele referirse a la refrigeración, pero no es correcto, puesto que también debe referirse a la calefacción, siempre que se traten (acondicionen) todos o algunos de los parámetros del aire de la atmósfera. Lo que ocurre es que el más importante que trata el aire acondicionado, la humedad del aire, no ha tenido importancia en la calefacción, puesto que casi toda la humedad necesaria cuando se calienta el aire, se añade de modo natural por los procesos de respiración y transpiración de las personas. De ahí que cuando se inventaron máquinas capaces de refrigerar, hubiera necesidad de crear sistemas que redujesen también la humedad ambiente.

### Sistemas de refrigeración

Los métodos de refrigeración que se utilizan generalmente son de compresión mecánica que consiste en la realización de un proceso cíclico de transferencia de calor interior de un edificio al exterior, mediante la evaporación de sustancias denominadas refrigerantes como el freón, las que actualmente están siendo reemplazados por refrigerantes alternativos que no afectan el medio ambiente y la capa de ozono

Esta sustancia se encuentra en estado líquido a baja presión y temperatura, evaporándose en un serpentín denominado evaporador mediante la extracción de aire del interior del local más caliente.

Luego, en estado de vapor se succiona y comprime mediante un compresor aumentando su presión y consecuentemente su temperatura, condensándose en un serpentín denominado condensador mediante la cesión de calor al aire exterior más frío.

De esa manera, el refrigerante en estado líquido a alta presión y temperatura vuelve al evaporador mediante una válvula de expansión en equipos individuales, que origina una brusca reducción de presión, provocando una cierta vaporización del líquido que reduce su temperatura, retornando a las condiciones iniciales del ciclo.

Se puede emplear agua como medio de enfriamiento para provocar la condensación en vez del aire exterior, la que es enfriada mediante una torre de enfriamiento.

El elemento básico es el compresor del tipo alternativo o a pistón que se utiliza en la mayoría de los casos. También se utilizan compresores rotativos para sistemas pequeños o tipo espiral llamado scroll. En grandes instalaciones se suelen emplear compresores axohelicoidales llamados a tornillo o del tipo centrífugo.

En la actualidad se están desarrollando varios sistemas que mejoran el consumo de energía del aire acondicionado, son el aire acondicionado solar y el aire acondicionado vegetal. El aire acondicionado solar utiliza placas solares térmicas o eléctricas para proveer de energía a sistemas de aire acondicionado convencionales. El aire acondicionado vegetal utiliza la evapotranspiración producida por la vegetación de un jardín vertical para refrigerar una estancia.

## DEFINICIONES

Aire:

La atmosfera terrestre es una mezcla de gases tales como nitrógeno, oxígeno, argón, bióxido de carbono, vapor de agua y trazos de otros. El aire atmosférico usualmente contiene otras sustancias particulares.

La composición del aire es variable, especialmente respecto a las cantidades de vapor de agua y de partículas materiales. Por tanto, debemos definir precisamente la substancia de trabajo del aire acondicionado (aire húmedo). El aire húmedo se define como una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua, el comité internacional de datos psicométricos ha definido el aire seco como se ilustra en la tabla 1.

TABLA 1. COMPOSICION DEL AIRE SECO

SUBSTANCIA	COMPOSICION DEL AIRE SECO, FRACC MOLARES	PESO MOLECULAR PARCIAL EN EL AIRE SECO KG/MOL
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	<b>0.2095</b>	<b>6.704</b>
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	<b>0.7809</b>	<b>21.878</b>
Argón (A)	<b>0.0093</b>	<b>0.371</b>
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	<b>0.0003</b>	<b>0.013</b>
	<b>1.0000</b>	<b>28.966</b>

Los pesos moleculares del aire seco y del vapor de agua son 28.966 y 18.016, el aire húmedo puede contener cantidades variables de agua desde cero (aire seco) hasta el aire húmedo saturado.

Humedad específica (relación de humedad).  $\omega$

Se define como la relación entre la masa del vapor de agua y la masa del aire presentes en la mezcla:

$$W = m_w/m_a$$

Humedad relativa.  $\phi$

Se define como la relación de la presión parcial del vapor de agua respecto a la presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de mezcla.

$$\phi = P_w/P_g$$

Temperatura de rocío.  $t_r$

Si una mezcla no saturada de aire vapor de agua se enfría a presión constante, con el tiempo llegara a la temperatura de saturación que corresponda a la presión parcial del vapor. Esto se conoce como temperatura de rocío, porque está relacionada con la formación de pequeñas gotas de líquido (rocío).

Temperatura de bulbo húmedo.  $t_h$

Se determina cubriendo el bulbo de un termómetro común con una franela o trapo húmedo y haciendo pasar aire rápidamente en esta forma el agua comienza a evaporarse. A medida que se evapora el agua del pabito húmedo, este se enfría, proceso que continúa hasta que la velocidad de transferencia de calor del pabito y del aire del pabito se equilibra, se dice entonces que la temperatura de equilibrio es la temperatura del bulbo húmedo.

Temperatura de bulbo seco.  $t_{bs}$

La temperatura del bulbo seco es la que se mide en un termómetro ordinario.

### CARTA PSICROMÉTRICA.

Un estado termodinámico del aire húmedo se determina inequívocamente si conocemos su presión barométrica y otras dos propiedades independientes. Existen tablas psicométricas para la presión a nivel del mar estas pueden consultarse en cualquier libro de aire acondicionado. La carta psicométrica es la representación gráfica de estas tablas en ellas se pueden leer las propiedades termodinámicas del aire.

En la carta se pueden representar cualquier proceso de aire acondicionado y además leer cualquiera de los siguientes parámetros:

- a) temperatura del bulbo seco
- b) temperatura del bulbo húmedo
- c) humedad específica o absoluta
- d) humedad relativa
- e) volumen específico
- f) entalpia
- g) temperatura de rocío

### DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Para realizar la práctica de aire acondicionado, se utiliza la unidad de acondicionamiento de aire del laboratorio Hilton de la cual puede añadirse o quitarse calor y humedad de una corriente de aire en movimiento, controlado así los niveles de ambiente y confort.

Un ventilador de velocidad variable envía a través de un conducto de sección cuadrada. Tiene secciones para calentamiento y refrigeración. El calor se añade mediante elementos de resistencia refrigeración. El calor se añade mediante elementos de resistencia eléctrica, mientras que un circuito refrigerante por compresión de vapor extrae valor. Puede añadirse humedad mediante inyección de vapor, la figura 1 muestra un esquema de la unidad de acondicionamiento del aire.

#### 4.- NOMENCLATURA

NOMBRE	SIMBOLO	UNIDADES
Humedad especifica	$W$	Kg agua/ kg aire
Masa del agua	$m_w$	kg
Masa del aire	$m_a$	kg
Humedad relativa	$\varphi$	-
Presión parcial del vapor de agua	$P_w$	$N/m^2$
Presión de saturación del vapor de agua	$P_g$	$N/m^2$
Temperatura de rocío	$t_r$	$^{\circ}C$
Temperatura	$t$	$^{\circ}C$
Temperatura bulbo seco	$t_{bs}$	$^{\circ}C$
Temperatura bulbo húmedo	$t_{bh}$	$^{\circ}C$
Volumen especifico	$v$	$m^3/kg$ aire
Flujo másico del aire	$m_a$	kg/s
Flujo másico de agua	$m_w$	kg/s
Entalpia del aire seco	$h_a$	J/kg
Entalpia del agua	$h_w$	J/kg
Entalpia de la mezcla aire vapor de agua	$h^*$	J/kg
Velocidad de transferencia de calor	$Q$	W
Flujo másico de refrigerante	$m_r$	Kg/s
Entalpia del refrigerante	$h_r$	Kj/kg

## PROCESOS PSICROMÉTRICOS

Los procesos psicrométricos más importantes son:

- 1.- flujo de aire sobre una superficie seca y más caliente que el aire (calentamiento).
- 2.- flujo de aire sobre una superficie seca y más fría que el aire (enfriamiento).
- 3.- humidificación
- 4.- des humidificación
- 5.- proceso de enfriamiento y des humidificación
- 6.- proceso de enfriamiento y humidificación
- 7.- proceso de calentamiento y des humidificación
- 8.- proceso de calentamiento y humidificación

La figura 2 muestra la representación esquemática de todos los procesos en la carta psicrométrica.

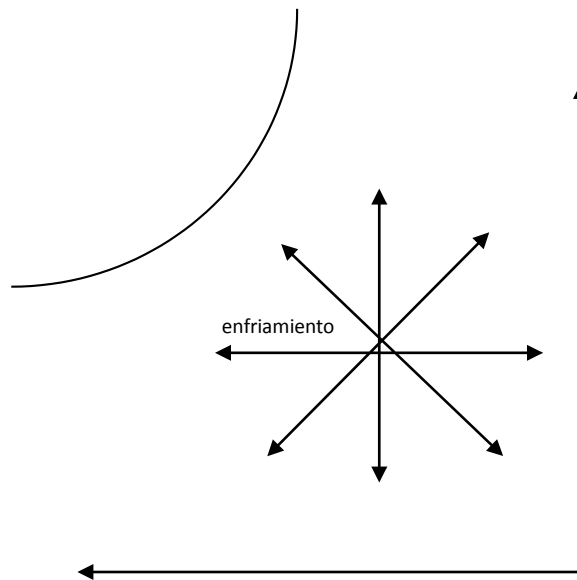


FIG. 2

En esta práctica nos concretaremos al estudio de los procesos 1, 5 y 8.

## 7.- FORMULAS Y CALCULOS

Flujo de aire sobre una superficie seca y más caliente que el aire

En este proceso cambian todas las propiedades del aire húmedo excepto la humedad específica. Tal proceso puede ocurrir cuando se hace pasar por aire húmedo por una superficie caliente (resistencia)

La figura 3 muestra un esquema para el proceso.

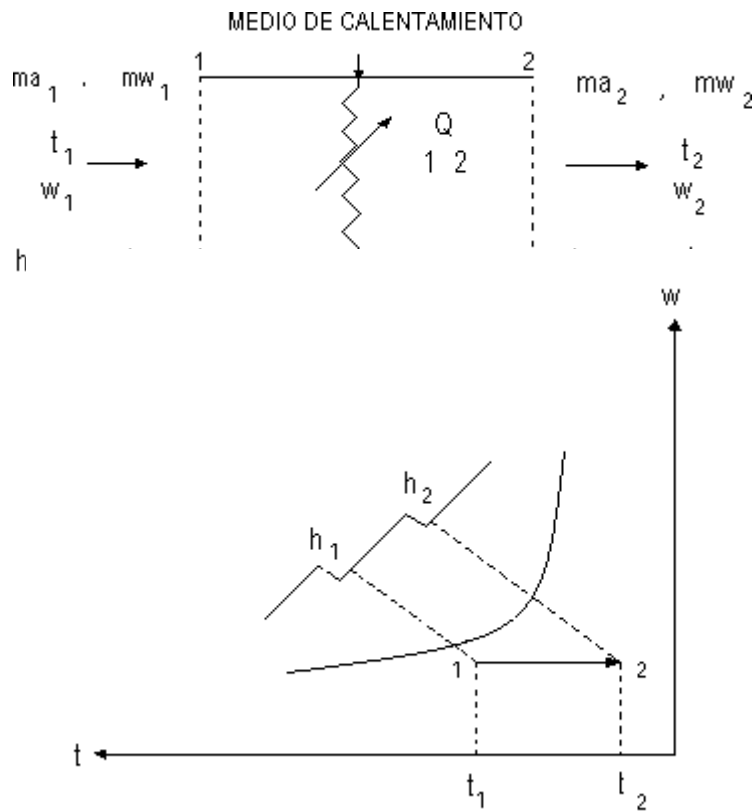


FIG 3

Balance de masa.

Aire  $m_{a1} = m_{a2} = m_a$

Agua  $m_{w1} = m_{w2}$

Balance de energía

$$m_{a1} h_{a1} + m_{w1} h_{w1} + Q_{12} = m_{a2} h_{a2} + m_{w2} h_{w2}$$

$$Q_{12} = (m_{a2} h_{a2} + m_{w2} h_{w2}) - (m_{a1} h_{a1} + m_{w1} h_{w1})$$



Dividendo entre  $m_a$

$$\frac{1Q_2}{m_a} = (h_{a2} + w_2 h_{w2}) - (h_{a1} + w_1 h_{w1})$$

$$1Q_2 = (h_2 - h_1) m_a \dots \dots \dots (1)$$

Por otra parte, tenemos que  $1Q_2$  tiene que ser igual a el calor disipando por la resistencia eléctrica.

**PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y DESHUMIDIFICACIÓN**

Si el aire húmedo pasa a través de una superficie cuya temperatura sea menor que la temperatura del rocío del aire, habrá condensación de humedad. La figura 4 muestra un dispositivo esquemático de enfriamiento.

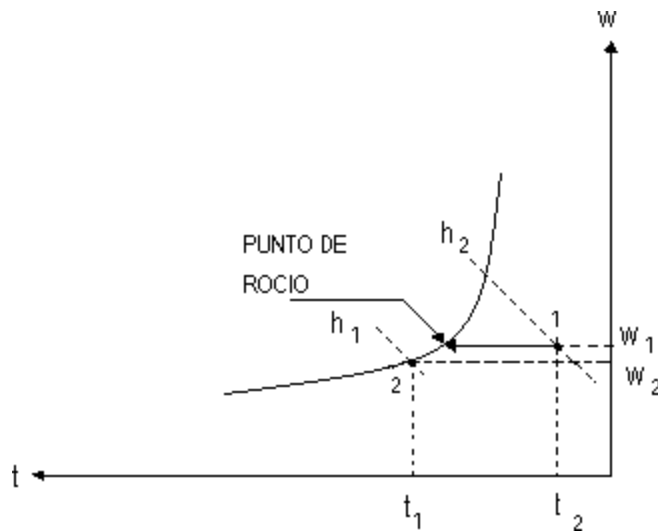
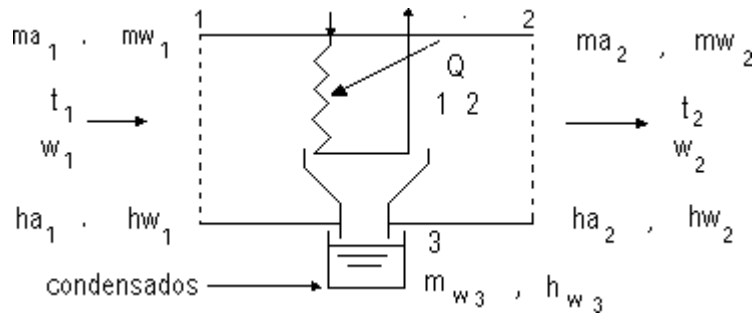


FIG. 4

Balance de masa.

Aire  $m_{a1} = m_{a2} = m_a$   
 Agua  $m_{w1} = m_{w2} + m_{w3}$   
 $m_{w3} = m_{w1} - m_{w2}$

Dividiendo entre  $m_a$

$$m_{w3} = (w_1 - w_2) m_a \dots \dots \dots (2)$$

Balace de energía.

$$m_{a1} + h_{a1} + m_{w1} h_{w1} = m_{a2} h_{a2} + m_{w2} h_{w2} + m_{w3} h_{w3} + {}_1Q_2$$

Dividiendo entre  $m_a$

$$\begin{aligned} h_{a1} + w_1 h_{w1} &= h_{a2} + w_2 h_{w2} + (m_{w3}/m_a) h_{w3} + {}_1Q_2/m_a \\ h_1 &= h_2 + (w_1 - w_2) h_{w3} + {}_1Q_2/m_a \\ {}_1Q_2 &= m_a [(h_1 - h_2) - (w_1 - w_2) h_{w3}] \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

Por otra parte,  ${}_1Q_2$  tiene que ser igual al cambio de la entalpia del refrigerante, es decir.

$${}_1Q_2 = m_r (h_{r1} - h_{r2})$$

En las entalpias del refrigerante se puede leer en un diagrama adecuado con el auxilio de las presiones y temperaturas del evaporador.

**PROCESOS DE CALENTAMIENTO Y HUMIDIFICACIÓN.**

Cuando el aire pasa a través de un calentador y un rociador el aire se calienta y humidifica, la figura 5 se muestra esquemáticamente un dispositivo para calentamiento y humidificación.

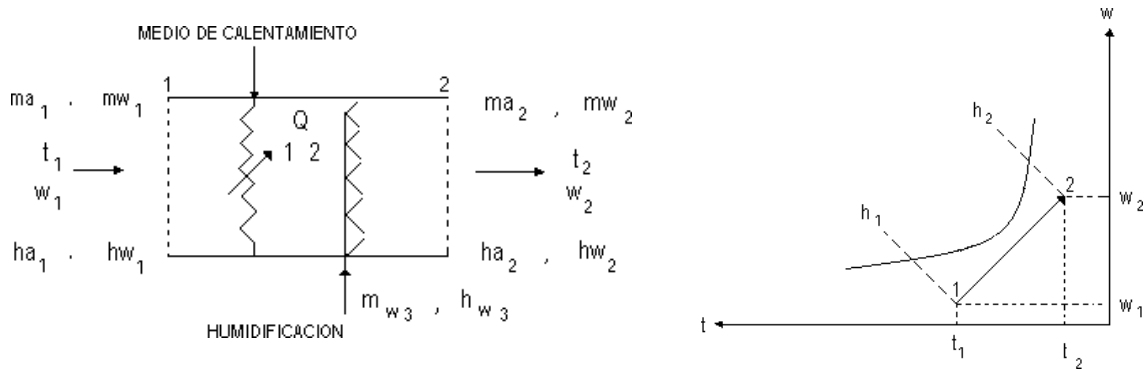


FIG 5

Balace de masa

$$\begin{aligned} \text{Para el aire} \quad m_{a1} &= m_{a2} = m_a \\ \text{Para el agua} \quad m_{w1} + m_{w3} &= m_{w2} \\ m_{w3} &= (w_2 - w_1) m_a \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

Balance de energía

$$\dot{Q}_2 + m_{a1} h_{a1} + m_{w1} h_{w1} + m_{w3} h_{w3} = m_{a2} h_{a2} + m_{w2} h_{w2}$$

Dividiendo entre  $m_a$

$$\dot{Q}_2/m_a + h_{a1} + m_{w1} h_{w1} + (w_2 - w_1) h_{w3} = h_{a2} + w_2 h_{w2}$$

$$\dot{Q}_2 = [(h_2 - h_1) - (w_2 - w_1) h_{w3}] m_a W \dots \dots \dots (5)$$

$\dot{Q}_2$  tiene que ser igual a la potencia disipada en la resistencia eléctrica.

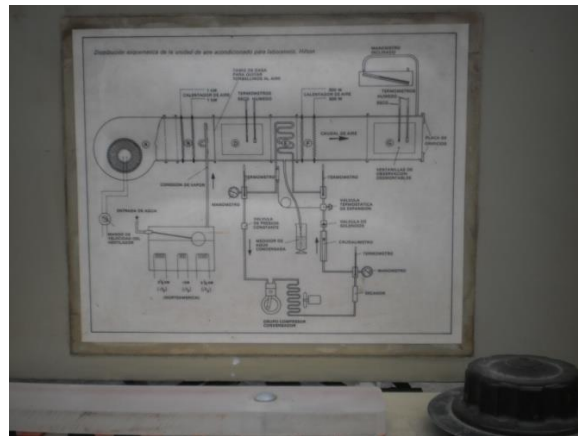
Para todos los procesos se mide la temperatura del bulbo húmedo y seco, a la entrada y salida para determinar el estado del aire.

El flujo volumétrico de aire se mide mediante una placa de orificio y se suministra gráfico de calibración.

## 8.- MATERIAL Y EQUIPO

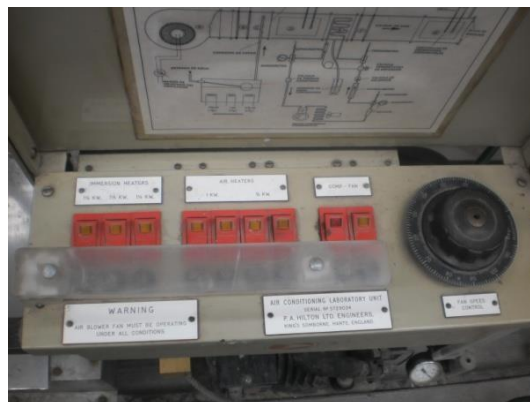
- Termómetros bulbo seco y bulbo húmedo.
- Unidad de acondicionamiento de aire Hilton.
- Vaso de precipitados.
- Cronómetro.

## 9.- DIBUJO DE LA INSTALACIÓN



Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Departamento de Ingeniería  
Sección Mecánica





## 10.- PROCEDIMIENTOS.

1.-flujo de aire sobre una superficie seca y más caliente que el aire.

a) ponga a funcionar el ventilador

b) coloque en su lugar los termómetros de bulbo seco y húmedo.

d) dejar estabilizar al sistema.

e) tomar las lecturas correspondientes.

f) variar el flujo de aire y tomar otras lecturas

- 2.- procesos de enfriamiento y deshumidificación.  
Seguir los incisos a, b, d, e y f del procedimiento 1.  
c) conectar el compresor  
g) colectar condensados.  
h) tomar tiempo.

- 3.- Procesos de calentamiento y humificación  
Seguir los incisos a, b, d, e, y f del procedimiento 1.  
c) conectar las resistencias del calentamiento y rociador.

## 11.- TABLAS DE DATOS

TABLA I

LEC	SISTEMA DE AIRE				SISTEMA DE CALEFACCION				
	ENTRADA		SALIDA		FLUJO DE AIRE EN mm de H2O	RESISTENCIA DE 1 kW		RESISTENCIA DE 500 W	
	tbs °C	tbh °C	tbs °C	tbh °C			1	2	1

TABLA II

Le c	SISTEMA DE AIRE				SISTEMA DE REFRIGERACION				CONDENSADOR					
	Entrada		Salida		Flujo de aire mm H2O	Entrada	Salida	Temperatura del condensador	Flujo del refr. mr/hr	Presion bar		Tempos	t °C	Volumen ml
	tb s °C	tb h °C	tb s °C	tb h °C						t1 °C	t2 °C			

TABLA III

LEC	SISTEMA DE AIRE				SISTEMA DE CALEFACCION		ROCIADOR
	ENTRADA		SALIDA		FLUJO DE AIRE EN mm de H2O	RESISTENCIA DE 1 kW	
	tbs °C	tbh °C	tbs °C	tbh °C		1	2

## 12.- TABLAS DE RESULTADOS

TABLA I

LEC	SISTEMA DE AIRE					SISTEMA DE CALEFACCION	
	ENTRADA		SALIDA		FLUJO DE AIRE ma kg/s	CALOR AÑADIDO AL AIRE 1Q2 J/s (W)	POT. DISIPADA EN LA RESIST. W J/s
	W1	h1 j/kg	W2	h2 j/kg			

TABLA II

Lect.	Sistema de aire					Sistema de refrigeración				Conden.		
	Entrada		Salida		Flujo de aire ma kg/s	Calor perdido 1Q2 J/s	Cambio de entalpia refig. (h1r-h2r)mr	h1r j/kg	h2r j/s	mr kg/s	Calculados	Medidos
	W1	h1 j/kg	W2	h2 j/kg								

TABLA III

LEC	SISTEMA DE AIRE					SISTEMA DE CALEFACCION	
	ENTRADA		SALIDA		FLUJO DE AIRE ma kg/s	CALOR AÑADIDO AL AIRE 1Q2 J/s (W)	POT. DISIPADA EN LA RESIST. W J/s
	W1	h1 j/kg	W2	h2 j/kg			

## 12.- CUESTIONARIO

- 1.- ¿Qué es una carta psicométrica?
- 2.- ¿Qué diferencia existe entre la humedad relativa y la humedad específica? En su opinión, ¿Cuál está más relacionada con la comodidad humana?
- 3.- ¿Cómo se puede deshumidificar el aire?
- 4.- ¿Cómo se realizaría un proceso de calentamiento-deshumidificación?

## 13.- CONCLUSIONES

## 14.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración

Eduardo Hernández Garibar

L U M U S A

- 2.- Refrigeración y acondicionamiento de aire

Stocker

Mc Graw Hill

- 3.- Aire acondicionado y refrigeración

Jenning – Lweis

C E C S A

- 4.- Ingeniería del ámbito técnico

James L Threlked

Prentice/ Hall Internacional

- 5.- Ingeniería Termodinámica

Reynolds/Perkins

Mc Graw-Hill



## 1.- OBJETIVO

Introducirse al funcionamiento de un compresor de desplazamiento positivo, comprobación de su teoría, así como la explicación de sus fallas más comunes y obtención de curvas características.

## II. INTRODUCCIÓN

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

Al igual que las bombas, los compresores también desplazan fluidos, pero a diferencia de las primeras que son máquinas hidráulicas, éstos son máquinas térmicas, ya que su fluido de trabajo es compresible, sufre un cambio apreciable de densidad y, generalmente, también de temperatura; a diferencia de los ventiladores y los sopladores, los cuales impulsan fluidos compresibles, pero no aumentan su presión, densidad o temperatura de manera considerable.

Utilización:

Los compresores son ampliamente utilizados en la actualidad en campos de la ingeniería y hacen posible nuestro modo de vida por razones como:

Son parte importantísima de muchos sistemas de refrigeración y se encuentran en cada refrigerador casero, y en infinidad de sistemas de aire acondicionado.

Se encuentran en sistemas de generación de energía eléctrica, tal como lo es el Ciclo Brayton. Se encuentran en el interior muchos "motores de avión", como lo son los turborreactores y hacen posible su funcionamiento.

Se pueden comprimir gases para la red de alimentación de sistemas neumáticos, los cuales mueven fábricas completas.

Tipos de compresores:

Clasificación según el método de intercambio de energía:

Sistema Pendular Taurozzi

Reciprocantes o Alternativos: utilizan pistones (sistema bloque-cilindro-émbolo como los motores de combustión interna). Abren y cierran válvulas que con el movimiento del pistón aspira/comprime el gas gracias a un motor eléctrico incorporado. Es el compresor más utilizado en potencias pequeñas. Pueden ser del tipo hermético monofásico, común en refrigeradores domésticos. O de mayores capacidades (monofásicas y trifásicas) de varios cilindros que permiten mantención/repación. Su uso ha disminuido en el último tiempo y ha cedido lugar al compresor de tornillo que tiene mejores prestaciones.

de Espiral (Orbital, *Scroll*) Rotativo-Helicoidal (Tornillo, *Screw*): la compresión del gas se hace de manera continua, haciéndolo pasar a través de dos tornillos giratorios. Son de mayor

rendimiento y con una regulación de potencia sencilla, pero su mayor complejidad mecánica y costo hace que se emplee principalmente en elevadas potencias, solamente.

Fotodinámicos o Turbo máquinas: Utilizan un rodete con palas o álabes para impulsar y comprimir al fluido de trabajo. A su vez éstos se clasifican en:

- Axiales
- Radiales

El compresor es una maquina térmica que tiene la función de comprimir gases. El proceso de compresión es una parte importante en los ciclos de refrigeración y de las turbinas de gas. El aire es tal vez el gas más usado para accionar herramientas neumáticas, tales como martillos, taladros, aparatos para pintar.

Un compresor de desplazamiento positivo está compuesto básicamente de pistón (es), anillos de compresión, anillos de lubricación, cilindros, biela (s), cojinetes, sistema de enfriamiento, cigüeñal y sistema de transmisión mecánica.

Los compresores de desplazamiento pueden ser simples o de doble efecto, cuando el compresor es de simple efecto o tiene únicamente 2 válvulas (admisión y descarga) y comprime en extremo del cilindro; mientras que los de doble efecto tiene cuatro válvulas (2 de admisión y dos de descarga) y comprime en ambos extremos del cilindro.

Un compresor transforma energía mecánica en energía neumática, su órgano de intercambio de energía tiene movimiento alternativo, por lo tanto, comprimir un gas tiene que admitirlo y expulsarlo sucesivamente.

En la compresión el embolo realiza una carrera, una carrera es la distancia que recorre el embolo de ida y de regreso al girar una vuelta el cigüeñal.

La compresión del aire depende de:

El tipo de compresión termodinámica (isotérmica, politrópica, isoentrópica)

La velocidad lineal del embolo.

La longitud de carrera y del diámetro del embolo.

Tipo de enfriamiento del aire comprimido

En esta práctica analizaremos el funcionamiento de un compresor de simple efecto de dos cilindros y de una etapa.

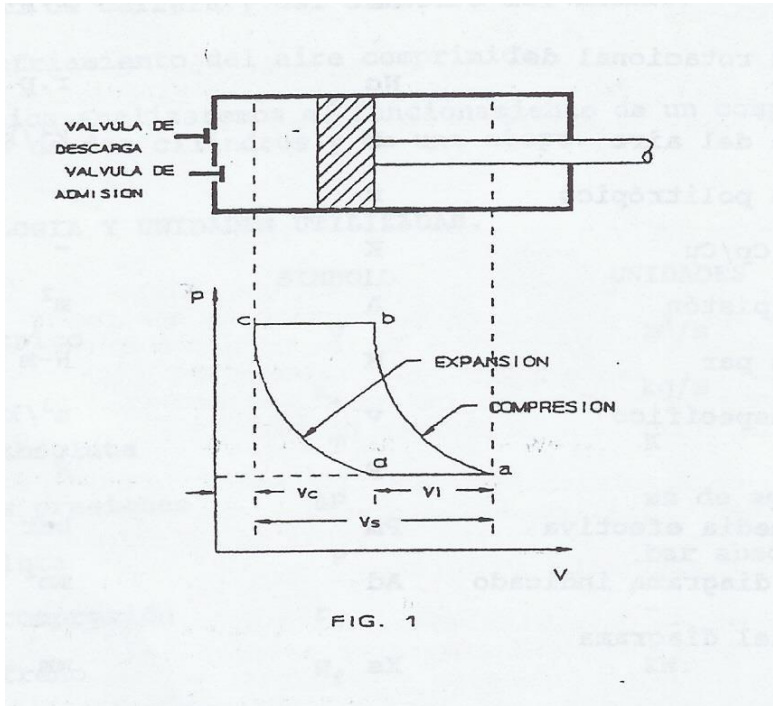
### 3.- SIMBOLOGÍA Y UNIDADES UTILIZADAS

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Departamento de Ingeniería  
Sección Mecánica

DENOMINACION	SIMBOLO	UNIDADES
Flujo volumétrico	V	m <sup>3</sup> /s
Flujo másico	m <sub>a</sub>	kg/s
Temperatura absoluta	T	k
Diferencia de presiones	ΔP	mm de agua
Presión absoluta	P	bar absoluto
Relación de compresión	r <sub>c</sub>	-
Potencia de freno	w <sub>f</sub>	KW
Potencia indicada	w <sub>i</sub>	KW
Potencia eléctrica	w	KW
Potencia isoentrópica	w <sub>s</sub>	KW
Potencia politrópica	w <sub>pol</sub>	KW
Potencia isotérmica	w <sub>isot</sub>	KW
Eficiencia mecánica	η <sub>m</sub>	-
Eficiencia isoentrópica	η <sub>s</sub>	-
Eficiencia volumétrica real	η <sub>vr</sub>	-
Eficiencia volumétrica teórica	η <sub>vt</sub>	-
Eficiencia isotérmica	η <sub>isot</sub>	-
Eficiencia total	η <sub>t</sub>	-
Carrera del embolo	L	m
Calor específico a presión constante	C <sub>p</sub>	Kj/kg k
Velocidad rotacional del motor	N <sub>m</sub>	r.p.m
Velocidad rotacional del compresor	N <sub>c</sub>	r.p.m
Constante del aire	R	Kj/kg k
Exponente poli trópico	n	-
Relación Cp/Cu	K	-
Área del pistón	A	m <sup>2</sup>
Momento o par	M	n-m
Volumen específico	V	m <sup>3</sup> /kg
Fuerza	F	N
Presión media efectiva	P <sub>m</sub>	bar
Área del diagrama indicado	A <sub>d</sub>	mm <sup>2</sup>
Carrera del diagrama indicado	X <sub>s</sub>	bar/mm
Constante del muelle del indicador	km	m
Brazo de palanca del dinamómetro	d	m
Diámetro del pistón	D	Volts
Voltaje	V	Amperes
Densidad	I	Kg/m <sup>3</sup>
Volumen barrido en un cilindro	ρ	m <sup>3</sup> /s

#### 4.- BREVE ANÁLISIS TEÓRICO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN COMPRESOR DE UNA ETAPA

Para apreciar los eventos del compresor de movimiento alternativo considérese el diagrama idealizado en las coordenadas presión, volumen.



- d – a tiempo de aspiración
- a – b tiempo de compresión
- b – c tiempo de descarga
- c – d expansión del aire dentro del cilindro
- $V_c$  volumen del espacio perjudicial
- $V_s$  volumen barrido por el compresor
- $V_i$  volumen inducido

Para hallar el trabajo del diagrama idealizado con espacio muerto se suman los trabajos individuales para cada proceso que componen el ciclo, este trabajo depende del tipo de compresión supuesta (politrópica, isoentrópica o isotérmica)

### DIAGRAMA REAL DE UN COMPRESOR ALTERNATIVO

El diagrama real, difiere considerablemente del ideal, el compresor real requiere de un trabajo mayor que el teórico. La diferencia es debida a las pérdidas de bombeo de aspiración y descarga, a los rozamientos, fugas, transmisión de calor, etc.

El diagrama real de un compresor se puede obtener utilizando un diagrama indicador, la figura 2 muestra el ciclo real sobrepuesto con el ideal, para hacer notar sus diferencias.



Si durante la compresión se mantiene constante la temperatura, por medio de enfriamiento, se dice que la compresión es isotérmica, esta es conveniente porque disminuye el trabajo de compresión.

La compresión isotérmica puede conseguirse con un compresor lento, que tenga una camisa de agua sin incrustaciones y haciendo circular por dicha camisa una gran cantidad de agua.

Para un compresor de un escalonamiento (con espacio perjudicial sin él) se tiene:

$$W_{\text{isot}} = P_1 V_1 \ln P_1/P_2 = m_a R T_1 \ln P_1/P_2 \dots \text{KW}$$

En esta práctica tómesese los datos de  $P_1, P_2, m_a$  para hacer una aproximación del trabajo isotérmico y compararlo con el politrópico (real).

### c) Potencia Isoentrópica

Si durante la compresión se supone adiabática reversible (es decir isoentrópica) se tiene.

$$W_s = \frac{k}{k-1} (m_a R T_1) \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k} - 1 \right]$$

A la relación  $P_2/P_1$  se le conoce comúnmente como relación de compresión, en las fórmulas anteriores, tanto las presiones como las temperaturas deben ser absolutas.

### d) Potencia indicada.

Es la potencia cedida por el pistón al gas y para calcularla es necesario un diagrama indicador que grafique la variación de presión con respecto a la posición del embolo

Para un compresor de dos cilindros se tiene:

$$W_i = (2P_m A L N_c / 60) 10^2 \dots \text{Kw}$$

Donde:

$$P_m = K_m A_d / X_i$$

$$K_m = 0.4 \text{ bar /mm para nuestro aparato indicador}$$

### e) Potencia mecánica al freno

Es la potencia cedida por el motor eléctrico al cigüeñal del compresor, también se le conoce como potencia en el eje.

$$W_f = 2\pi N_m M / 1000 \times 60 \dots \text{Kw}$$

Dónde:

$$M = F \times d$$

F – se obtiene leyendo en la escala del dinamómetro (N)

d – es el brazo de palanca de dinamómetro  $d = 160 \text{ mm}$

Potencia del motor eléctrico

f) Potencia del motor eléctrico

Es la potencia que el motor eléctrico toma de la red.

$W_e =$  potencia en la armadura + potencia del campo magnético

$$W_e = 220 \times 0.4 / 1000 + VA / 1000 \dots \text{Kw}$$

## 6.- EFICIENCIAS DEL COMPRESOR

a) Eficiencia o rendimiento isoentrópico

$$\eta_s = W_s / W_i$$

b) Eficiencia o rendimiento mecánico:

Es la relación entre la potencia indicada total y la potencia al freno de la máquina que se mueve al compresor (motor eléctrico, turbina, etc.)

$$\eta_m = W_i / W_f$$

c) Eficiencia isotérmica

$$\eta_{\text{isot}} = W_i / W_f$$

d) Eficiencia o rendimiento total

Representa la relación entre el trabajo isoentrópico y el trabajo eléctrico

$$\eta_t = W_s / W_e$$

e) Rendimiento volumétrico.

El rendimiento volumétrico se define como la masa real del gas bombeada por el compresor dividido por la masa del gas que el compresor bombearía si se manejara un volumen de gas igual a su desplazamiento del pistón.

Puede demostrarse que el rendimiento volumétrico teórico de un compresor alternativo es:

$$\eta_{vt} = 1 - C[r_c^{1/n-1}]$$

Dónde:

$c = V_c/V_s$ : es la relación entre el volumen de espacio muerto y el volumen desplazado o cilindrada para nuestro compresor  $c = 1.045 \times 10^{-1}$ .

$r_c = P_2 / P_1$ : es la relación del compresor.

El rendimiento volumétrico real del compresor se puede determinar midiendo el caudal del aire real descargado.

$$\eta_{vr} = \frac{\text{aire descargado}}{\text{cilindrada}} = \frac{m_a}{2 \rho \left[ \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{LxNc}{60} \right]}$$

Dónde:

$m_a$  = es el flujo másico medido por medio de una placa de orificio.

$\rho$  = es la densidad del aire en las condiciones locales del laboratorio y se calcula utilizando la ecuación del gas ideal.

$D$  = es el diámetro del pistón  $D = 66.5$  mm.

$L$  = es la carrera del pistón  $L = 63.5$  mm

$m_a$  = se calcula con la siguiente ecuación

Dónde:

$\Delta P$  = caída de presión en la placa de orificio en mm de agua

$P_3$  = presión después de la placa de orificio en bar abs

$P_3'$  = lectura del manómetro en mm de agua

$P_0$  = presión barométrica local

$T_3 = T_3' + 273$

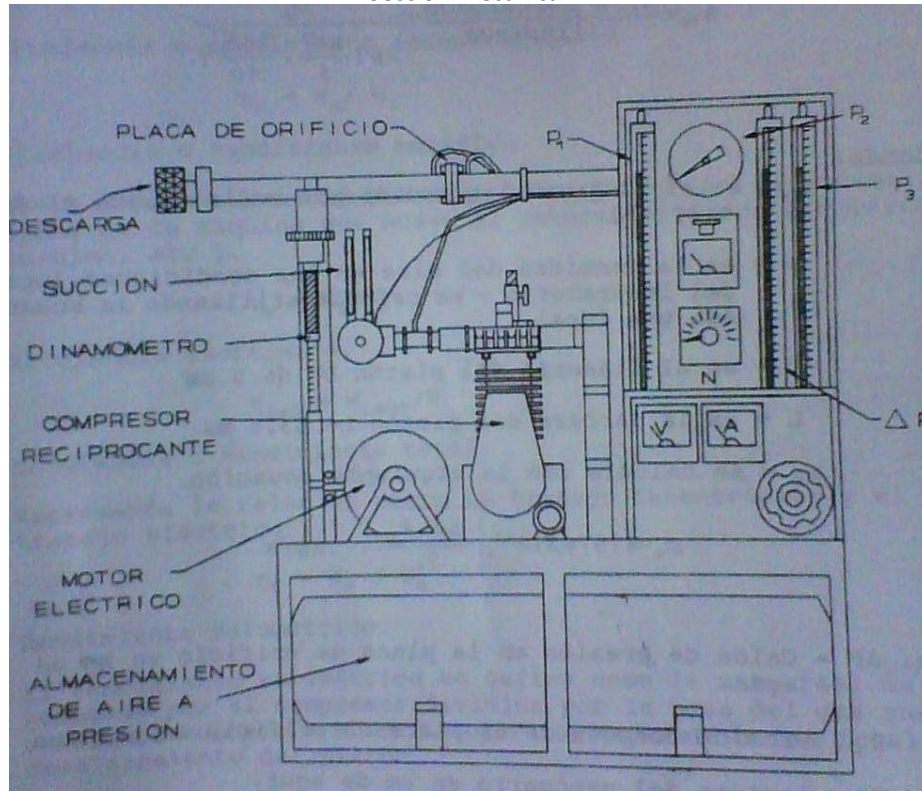
$T_3'$  = lectura en el termómetro en °c

## 7.- MATERIAL Y EQUIPO

Unidad de compresión Gilkes, termómetro, tacómetro.

## 8.- DIBUJO DE LA INSTALACIÓN





Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Departamento de Ingeniería  
Sección Mecánica





## 9.- PROCEDIMIENTO

- 1.- Abrir la válvula de control de salida de aire y cerciorarse que los instrumentos para la medición de presión, fuerza y temperatura estén en cero.
- 2.- Conectar el interruptor y después el botón de paro y arranque.
- 3.- Mover lentamente el reóstato y contrólole hasta observar que el tacómetro marque 500 rpm.
- 4.- Cierre la válvula reguladora de flujo de aire a la salida.
- 5.- Cuando la presión de descarga del compresor sea aproximadamente 2 bares, abra la válvula de control lentamente para no descargar el líquido del manómetro.
- 6.- Ajuste el resorte de la balanza para tomar la lectura de la fuerza y calcular el par.
- 7.- Tome lecturas.
- 8.- Se recomienda que se controle por medio de la válvula reguladora lo siguiente

Presión máxima      10.3 bares.  
Velocidad mínima    425 rpm  
Velocidad máxima    850 rpm  
 $P_1 = 0.79$  bares  
 $P_2 = 8.5$  bares  
 $P_3 = 0.79$  bares

## 10.- TABLA DE LECTURAS

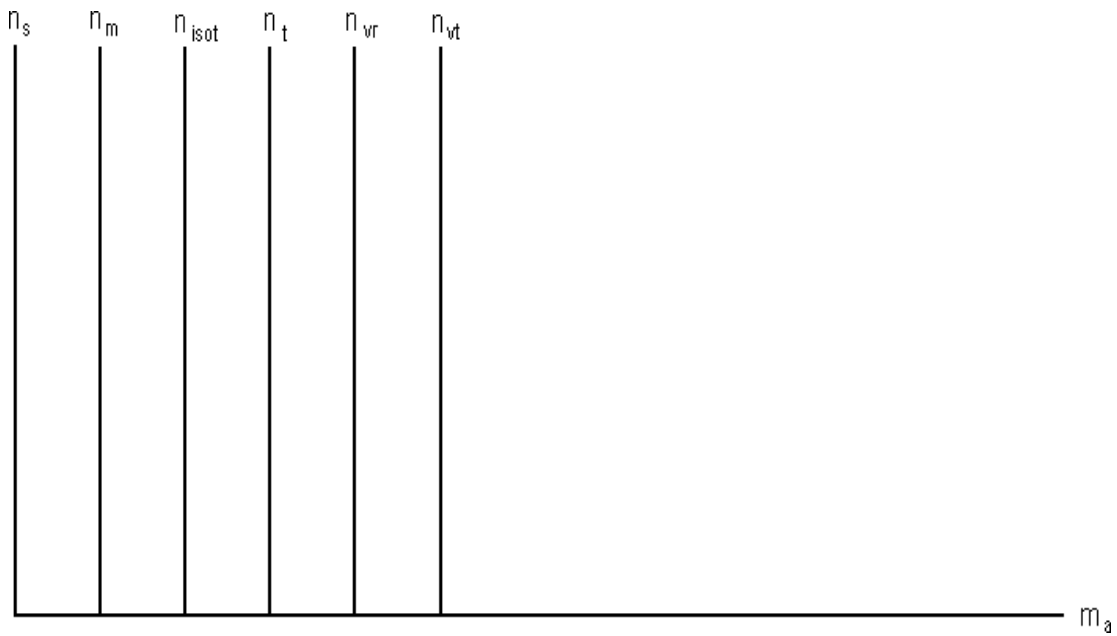
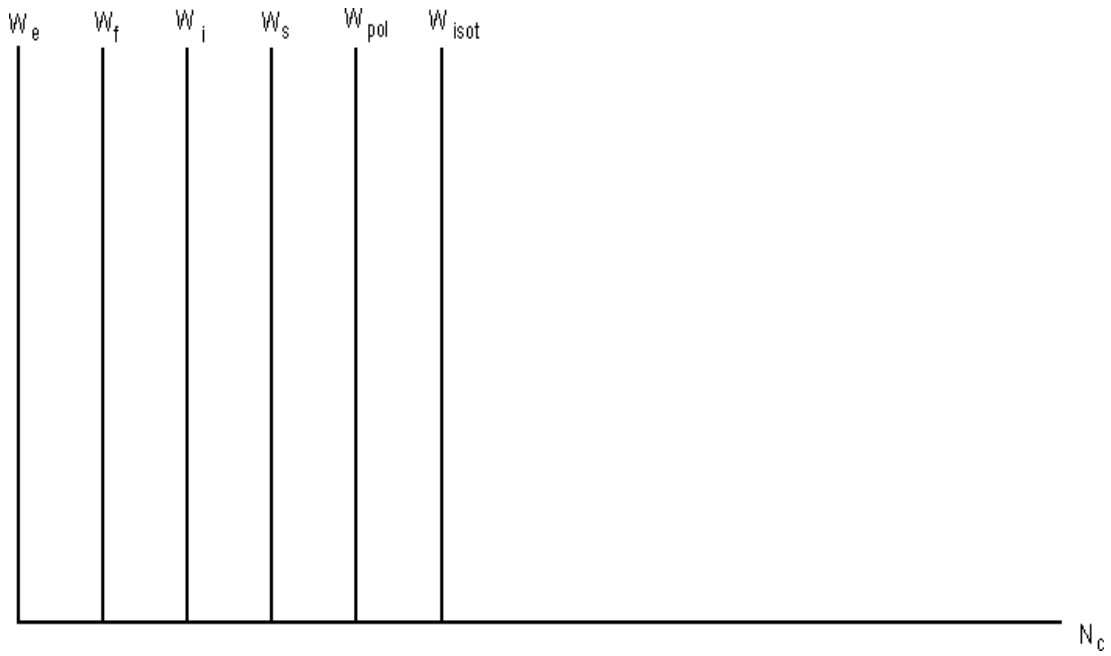
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Departamento de Ingeniería  
Sección Mecánica

NO. DE LEC	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3'</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>m</sub>	F	I	V	ΔP	X <sub>s</sub>	Δd
	°c	°c	°c	mm H <sub>2</sub> O	bar	mm H <sub>2</sub> O	rpm	rpm	N	Amp	Volts	mm H <sub>2</sub> O	mm	mm <sup>2</sup> H <sub>2</sub> O
1														
2														
3														
4														

### 11.- TABLA DE RESULTADOS

No. de lect	W <sub>e</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>i</sub>	W <sub>pol</sub>	W <sub>isot</sub>	W <sub>s</sub>	n <sub>s</sub>	n <sub>m</sub>	n <sub>isot</sub>	n <sub>c</sub>	n <sub>vt</sub>	n <sub>vc</sub>	m <sub>a</sub>
	kw	kw	kw	kw	kw	kw	-	-	-	-	-	-	Kg/s
1													
2													
3													
4													

## 12.- GRAFICAS DE RESULTADOS:



## 13.- CUESTIONARIO

- 1.- ¿Qué tipo de compresores hay y cuál es su clasificación?
- 2.- ¿Por qué se supone idealmente que la compresión es isoentrópica?
- 3.- ¿Qué influencia tiene el volumen de espacio muerto en el trabajo teórico de un compresor?
- 4.- ¿Se pueden conectar compresores en serie y en paralelo?  
Solamente se pueden conectar en paralelo para aportar una mayor eficiencia
- 5.- ¿Cuáles son las diferencias entre el ciclo real y teórico?
- 6.- ¿Qué cuidados requiere un compresor industrial para su buen funcionamiento?
- 7.- ¿Por qué es conveniente enfriar los cilindros de un compresor y el aire comprimido?
- 8.- Enumere las dificultades que observe en la práctica.

## 13.- CONCLUSIONES

## 14.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Energía mediante aire, vapor o gas  
Severs  
Ed. R E V E R T E
- 2.- Manejo de aire comprimido  
Arroyo Carreiro  
Ed. Gustavo Hiel.
- 3.- Termodinámica  
Virgil Moring Faires  
U. T. E. H. A.
- 4.- Manual del compresor Gilkes

## 1.- OBJETIVO

El objetivo de la práctica es el de complementar los conocimientos adquiridos en teoría con los prácticos para ver realmente el comportamiento de las características de motor combustión interna, ya que en la actualidad no se toman en cuenta el aspecto práctico que es de importancia para el alumno en su desarrollo como ingeniero.

Además, el alumno al finalizar la práctica conocerá, para un motor de combustión interna, las partes principales y las fallas más comunes; así como también dará respuesta a las numerosas variantes que intervienen en la determinación del par motor, de la presión media efectiva (p.m.e), de la potencia desarrollada, de la potencia absorbida por los rozamientos del consumo, del rendimiento volumétrico, del balance termino, así como de los demás rendimientos.

## 2.- INTRODUCCIÓN

Un motor es de combustión interna cuando el combustible es quemado dentro del motor, es decir, dentro del cilindro donde la expansión de un gas impulsa un pistón cuando se produce la chispa de bujía.

En nuestros días es necesario conocer el funcionamiento de los M.C.I, ya que no solo no utilizan se utilizan en las industrias tanto en generadores, bombas y otros equipos importantes, los combustibles utilizados más ampliamente en la actualidad son: la gasolina, los aceites pesados el alcohol, combustóleo, el diésel, etc.

El motor de encendido por chispa basado en los principios teóricos enunciados por Beau de Rochas, según los cuales la combustión se verifica a volumen constante y fue realizado por el alemán Nicholas Otto en 1862. Hoy en día, el motor de encendido por chispa suele llamarse Motor de Ciclo Otto.

Por ciclo operativo entenderemos a la sucesión de operaciones que el fluido activo ejecuta en el cilindro y que se repite con ley periódica. La duración del ciclo operativo es medida por el número de carreras efectuadas por el pistón.

La gran mayoría de los motores de encendido por chispa so de 4 tiempos ya que son los que se presentan a una mejor compresión.

El ciclo de 4 tiempos comprende las 4 frases siguientes:

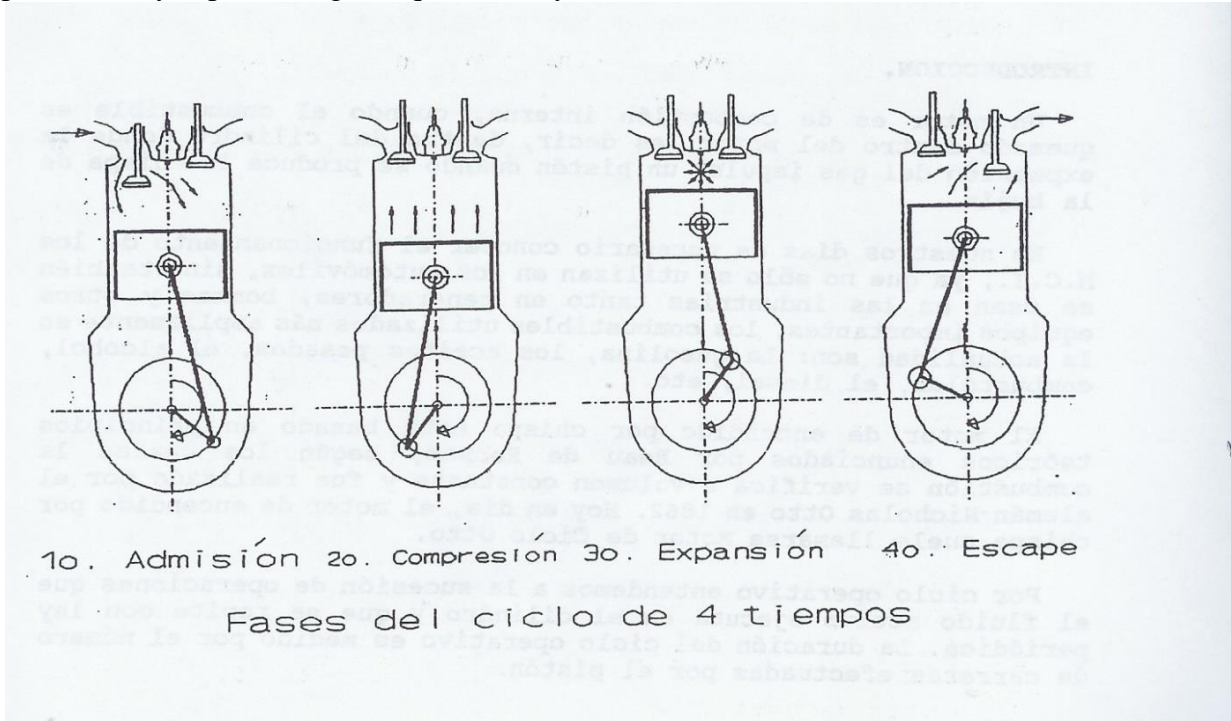
1.- tiempo de admisión. La válvula de admisión está abierta y la de escape cerrada. El pistón desciende y aspira la mezcla.

2.- tiempo de compresión. Tanto la válvula de admisión como la de escape están cerradas. Al subir, el pistón comprime la mezcla.



3.- tiempo de expansión. Ambas válvulas permanecen cerradas, el gas comprimido se inflama por la chispa de la bujía. Al expandirse, el gas inflamado empuja el pistón.

4.- tiempo de escape. La válvula de admisión permanece cerrada y se abre la de escape. El pistón sube y expulsa los gases quemados; y comienza un nuevo ciclo.



### III. EQUIPO NECESARIO

Motor Ford (1100 cc) 4 cilindros

Diámetro del cilindro

D = 80.98 mm

Longitud de la carrera

C = 53.29 mm

Relación de compresión

= 8:1 baja y 9:1 alta

Velocidad máxima

n = 5,500 rpm

Combustible utilizado

gasolina

Dinamómetro

75 kw.

Capacidad máxima de

9000 rpm

Velocidad de freno

Medidor de combustible:

1er. Nivel

50 ml

2º. Nivel

100 ml

3er. Nivel

200 ml



Tanque para medir flujo de aire

Diámetro del tanque

$\phi_1 = 611 \text{ mm}$

Longitud de tanque

$L = 919 \text{ mm}$

Diámetro del orificio

$\phi_2 = 48 \text{ mm}$

Coefficiente de descarga

$K_3 = 0.6$

Sistema de enfriamiento del motor:

Capacidad del motor de la bomba

370 w

Velocidad de rotación

3450 rpm

Voltaje

110 volts

Frecuencia

60 Hz 1 fase

Capacidad de rotamiento

5 – 50 L/min

Termómetro de entrada y salida con rangos de

-10 a 110 °c

Calorímetro de gases de escape

Numero de tubo

$N = 30$

Entrada y salida de los gases-tubería

$\phi = 1 \frac{1}{2}''$

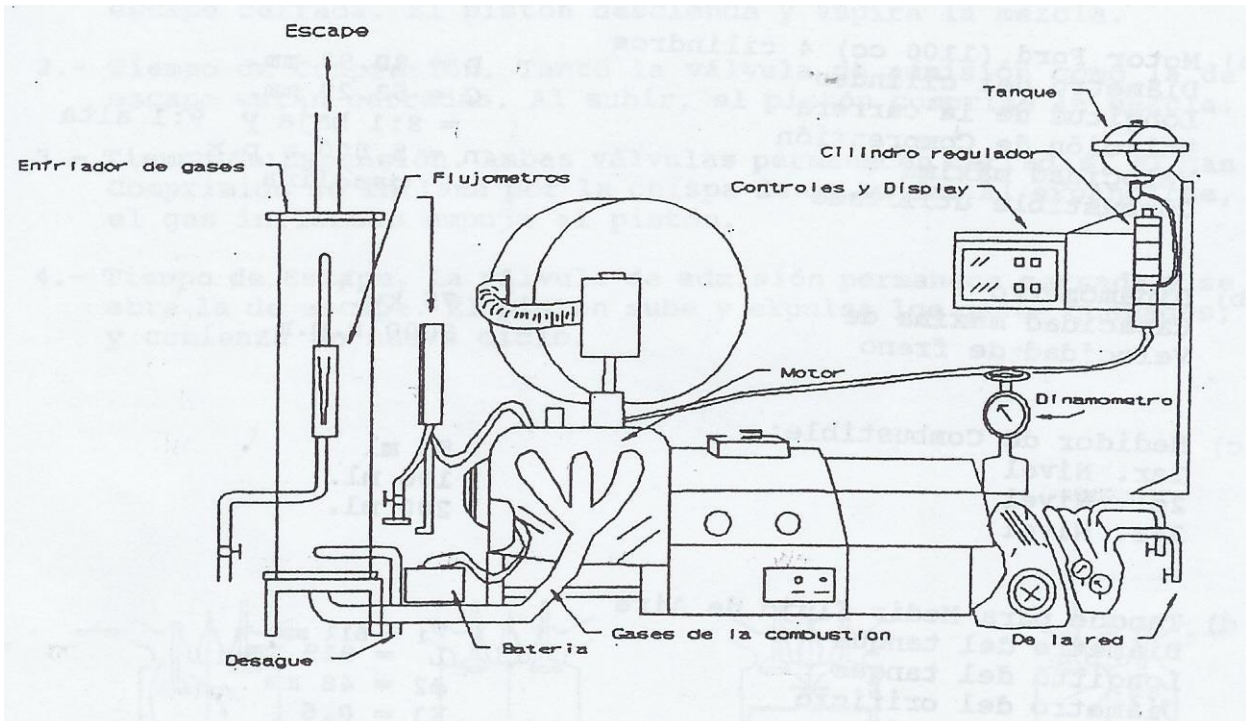
Pirómetro industrial con 3 terminales con rangos de

$\phi = 1''$

Flujómetro de agua fría

0 – 100 °c

#### 4.- DIBUJO DE LA INSTALACIÓN



## 5.- BREVE DESCRIPCIÓN TEÓRICA

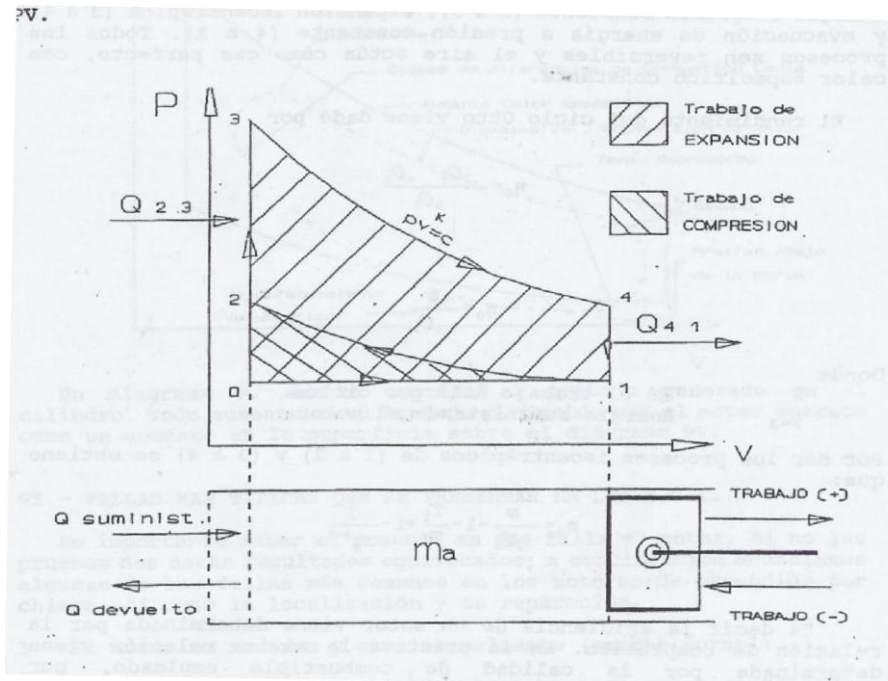
Las condiciones del ciclo Otto, tales como las que concibió Beau de Rochas fueron:

- 1.- volumen máximo de cilindro con mínima superficie expuesta con el fin de reducir la transmisión de calor.
- 2.- presión máxima posible al comenzar el tiempo de expansión o útil
- 3.- velocidad de embolo máximo para limitar la transmisión de calor.
- 4.- Máxima expansión posible

En un motor real se realiza únicamente un ciclo mecánico, debido a que los gases son evacuados al exterior. Suponiendo que el ciclo es termodinámico, puede idearse un cilindro cerrado, en el cual él es termodinámico, puede idearse un cilindro cerrado, en el cual el aire se calienta y se enfría por transmisión de energía en vez de hacerlo por combustión por cambio de aire.

En la figura siguiente aparece un ciclo de esta clase.

En dicho ciclo el trabajo realizado se presenta sobre el plano PV.



Suponiendo que en el cilindro siempre hay la misma cantidad de aire ( $m_a$ ). En este caso los tiempos de aspiración y expulsión (0 a 1 y 1 a 0) no es preciso considerarlos.

Ciclo Otto o ciclo ideal de un motor de gasolina.

El ciclo supone compresión isoentrópica (1 a 2), adición de energía a volumen constante (2 a 3), expansión isoentrópica (3 a 4) y evacuación de energía a presión constante (4 a 1). Todos los procesos son reversibles y el aire actúa como gas perfecto, con calor específico constante.

El rendimiento del ciclo Otto viene dado por

$$\eta_0 = \frac{Q_3 - Q_4}{Q_3}$$

$$\eta_0 = \frac{W}{Q_3}$$

Donde

$W$  es el trabajo útil por ciclos  
 $Q_3$  energía suministrada al motor

Por ser los procesos isoentrópicos de (1 a 2) y (3 a 4) se obtiene que:

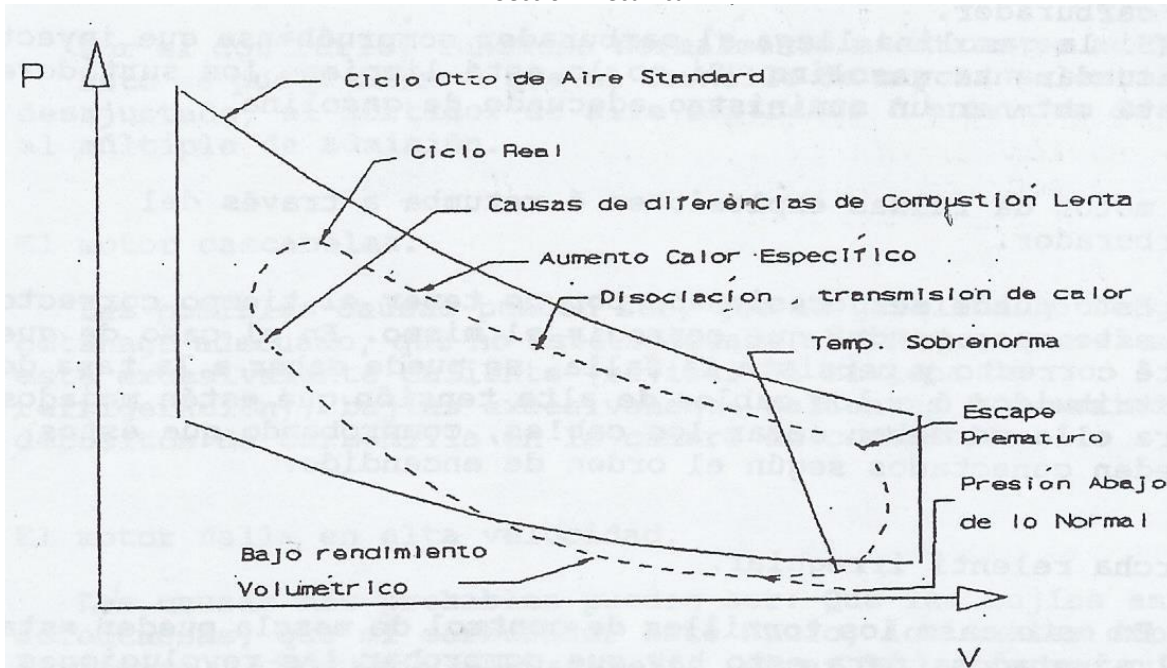
$$\eta_0 = \frac{W}{Q_3} = 1 - \frac{T_4}{T_3} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

Es decir, la eficiencia de un motor viene determinada por la relación de compresión. En la práctica la máxima relación viene determinada por la calidad de combustible empleado, por consiguiente, el rendimiento viene limitado por la máxima relación de compresión que el combustible puede emplear.

Ciclo real de un motor a gas

Muchos son los factores que hacen que el trabajo real sea más pequeño que el previsto en el ciclo teórico Otto.

En la figura siguiente se ha supuesto un diagrama típico de indicador, señalando al mismo tiempo las causas principales de las diferencias. Toda desviación con respecto al ciclo teórico, por pequeña que sea, no debe ser menospreciada, debido a que durante el funcionamiento se repite en seis u ocho cilindros de dos a tres mil veces por minuto. Por ejemplo, una pequeña desviación en el ajuste a la puesta a tiempo en la ignición, se traduce en una pérdida de rendimiento y potencia que a primera vista es insignificante.



Un diagrama PV exacto expresa el trabajo generado en el cilindro. Todo aumento en el trabajo producido por el motor aparece como un aumento en la superficie sobre el diagrama PV.

## 6.- FALLAS MÁS TÍPICAS QUE SE PRESENTAN EN LOS M.C.I

Es importante saber el momento en que falla el motor, si no las pruebas nos darán resultados equivocados; a continuación, enunciaremos algunas de las fallas más comunes en los motores de combustión de encendido por chispa, así como la localización y su reparación.

### 1.- El motor no arranca y gira normal mente (marcha normal)

En este caso puede existir alguna avería en el sistema de encendido, para esto verificar los cables de las bujías, si se observa que no salta chispa en los cables de las bujías, verificar la salida de la bobina para detectar si no se encuentran abiertos los circuitos de alta o baja tensión. Si salta chispa de la bobina, comprobar los cables de alta tensión, la tapa del distribuidor y la escobilla, para detectar posibles roturas, grietas o humedad. Si no sale chispa de la bobina, compruébese las conexiones y los contactos de los platinos. Si se observan que salta la chispa en los cables de las bujías retírese el filtro de aire del carburador y verifíquese el estrangulador del aire. Obsérvese al accionar el acelerador si existe suministro de gasolina, si no existe suéltese la conexión de entrada de combustible al carburador. Accione el motor para comprobar si la bomba está alimentando adecuadamente al carburador.

### 2.- El motor de falsas explosiones o retumba a través del carburador.

Esto puede ser ocasionado por no tener el tiempo correcto, en este caso tendrá que corregir el mismo. En el caso de que este correcto y persista la falla, se puede deber a la tapa del distribuidor o a los cables de alta tensión que estén mojados, para ello se deben secar los cables, comprobando que estos queden conectados según el orden de encendido.

### 3.- Marcha ralentí irregular

En este caso los tornillos de control de mezcla pueden estar mal ajustados, para esto hay que comprobar las revoluciones adecuadas de acuerdo a las especificaciones del fabricante, y después regular la riqueza de la mezcla. Si no mejora, revisar los platinos y comprobar que no estén defectuosos o mal ajustados, en este caso ajústese o cámbiese el juego de platinos.

### 4.- El motor tiene poca potencia

Esto se puede deber a la incorrecta puesta a tiempo, defectos en el mecanismo de avance automático, calibración incorrecta de balancines, entrada de aire en el múltiple de admisión, motor de poca compresión; en el caso de encontrar fuera de especificaciones, recomendadas por el fabricante, cualquiera de los puntos anteriores, hacer el ajuste necesario.

Esto se puede deber también al suministro insuficiente de combustible, para esto hay que comprobar el suministro de combustible al carburador, así como los surtidores y la válvula de agua de este. También podrá ser causa de esta falla que las articulaciones del carburador estén mal ajustadas; para esto compruébese si con el pedal se abre completamente la mariposa del carburador.

### 5.- El motor se para cuándo se suelta el acelerador

Por el contrario, funciona normalmente mientras se acelera. Esto se puede deber a que el funcionamiento del tornillo de marcha ralentí este desajustado, el surtidor de aire obstruido o entrada de aire al múltiple de admisión

### 6.- el motor cascabelea

Las posibles causas pueden ser, que la gasolina no tenga el octanaje adecuado, que no esté adecuando el tiempo, que el motor este excesivamente caliente (revisar el sistema de refrigeración), bujías excesivamente calientes o demasiados depósitos de carbonilla en la cámara de combustión.

### 7.- El motor falla en alta velocidad

Las causas más probables pueden ser: que las bujías estén defectuosas, que el carburador este sucio, los cuales deberán limpiarse y ajustarse adecuadamente; otras de las causas pueden ser que los balancines estén mal ajustados, que los platinos estén sucios, quemados o mal ajustados, o que el filtro de aire este sucio (sustitúyase este si es necesario).

Se recomienda limpiar el carburador, el filtro de aire, el filtro de gasolina, así como la mayor parte de la línea. Otra de las causas es el nivel suficiente de gasolina en el carburador, se recomienda ajustar el nivel del flotador.

El motor puede fallar irregularmente y producir algunas explosiones debido a la falla de la bomba de gasolina produciendo esta un suministro insuficiente de combustible al carburador.

## 7.- NOMENCLATURA.

### 1.- Dinamómetro

Nombre	Símbolo	Unidades
Par motor	Mt	N-m
Fuerza	F	N
Brazo del par	L	mm
Numero de revoluciones por minuto	n	rpm
Tiempo	t	s
Potencia del motor al freno	Ne	kw
Constante del dinamómetro	K	- -

### 2.- Combustible

Volumen leído en el flujómetro	Vg	litros
Consumo de combustible	v	litros/hr
Consumo específico del combustible	cs	litros/kw-hr
Densidad del combustible	$\rho_f$	kg/l
Poder calorífico inferior del combustible	Hc	j/kg
Rendimiento térmico	$\eta_t$	--
Rendimiento volumétrico	$\eta_v$	--

### 3.- Consumo de aire

Volumen barrido de aire (cilindrada)	Vs	litros
Diámetro del orificio del medidor	$\Phi_2$	mm
Temperatura del aire	Ta	$^{\circ}\text{k}$
Presión atmosférica	Pa	$\text{KN/m}^2$
Densidad del aire	$\rho_a$	$\text{kg/m}^3$
Altura a través del orificio	h <sub>o</sub>	cm de agua
Constante del aire	R	$\text{Kj/kg } ^{\circ}\text{k}$
Flujo volumétrico del aire	Va	l/s
Flujo másico	m <sub>a</sub>	kg/s
Capacidad calorífica del aire a presión		
Constante	C <sub>pa</sub>	$\text{j/kg } ^{\circ}\text{k}$

### 4.- Balance térmico

Capacidad calorífica del agua a presión		
Constante	$C_{pw}$	j/kg °k
Calor de los gases de escape	$Q_g$	j/s
Calor del aire de entrada	$Q_e$	j/s
Energía consumida por unidad de tiempo Equivalente al trabajo efectivo que Realiza el motor		
Calor de agua de refrigeración	$Q_a$	j/s
Calor de otras pérdidas caloríficas	$Q_{ref}$	j/s
Temperatura de los gases de escape del Motor	$Q_{res}$	j/s
Temperatura de salida de los gases del Calorímetro	$T_e$	°c
Temperatura de entrada del agua de Refrigeración del motor	$T_o$	°c
Temperatura de salida del agua de Refrigeración del motor	$T_1$	°c
Temperatura de salida del agua del agua Refrigeración de calorímetro	$T_2$	°c
Temperatura de entrada del agua de Refrigeración al calorímetro	$T_{2c}$	°c
Flujo másico de agua de refrigeración En calorímetro	$T_{1c}$	°c
Flujo de agua de refrigeración del motor	$m_w$	kg/s
	$V_w$	kg/s

## 8.- PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

- 1.- Verificar el nivel del tanque del agua de refrigeración que alimenta al motor y abrir la válvula de alimentación al mismo.
- 2.- Verificar el nivel de aceite del motor, si es necesario completar el nivel.
- 3.- Verificar el nivel de gasolina (mínimo 1/2 tanque).
- 4.- Verificar el nivel de agua de la cisterna y operar la bomba: verificar la presión de entrada y salida del dinamómetro máxima presión de salida de  $1.03 \text{ kg/cm}^2$ , y de entrada  $2 \text{ kg/cm}^2$ , la temperatura del agua del dinamómetro no deberá exceder de  $50^\circ\text{c}$ .
- 5.- Conectar el tacómetro a la línea de voltaje.
- 6.- Verificar que el manómetro inclinado del tanque de aire este nivelado y en cero (para ello se le quita el tapón se seguridad).
- 7.- verificar que el dinamómetro este sin carga (para ello gire el volante en sentido anti horario hasta el tope)

8.- Operar el interruptor de ignición del motor y oprimir el botón de marcha, acelerando a la vez hasta que arranque (no accionar el motor de marcha por más de 15 segundos), una vez que haya arrancado el motor, regular el tacómetro a 1500 rpm dejando trabajar al motor en esta velocidad durante 10 minutos para alcanzar su temperatura de trabajo.

Nota: verificar la presión del aceite que a bajas revoluciones debe tener un mínimo de 150 KN/m<sup>2</sup>.

9.-Después de los 10 minutos operar la bomba de refuerzo para el agua de alimentación.

10.- En este instante el equipo está en condiciones de iniciar las lecturas correspondientes de la práctica.

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

a) Acelerar el motor hasta alcanzar 3500 rpm, y si no se ha alcanzado el punto 5 de abertura de la mariposa de aceleración aplicar carga para bajar las revoluciones, por medio del volante del dinamómetro en sentido horario. Ajustar la mariposa de aceleración hasta el punto 5 (si es que no se había alcanzado); ya alcanzado este punto aplicar carga hasta 1500 rpm.

b) Al estabilizarse el motor en este punto se procederá a tomar las siguientes lecturas:

1.-Los rpm leídos en el tacómetro digital (totales instantáneas promedio).

2.-Par motor, leído en la caratula del dinamómetro

3.-Consumo de combustible y el tiempo utilizado, leído de la siguiente manera, estando lleno el rotámetro se cierra la válvula de alimentación y se abre la válvula de evento; al llegar el combustible al primer nivel se oprime el botón verde del tacómetro, y al llegar al segundo nivel se oprime el botón rojo de paro y de esta manera se habrá consumido 50 ml de combustible. Quedará registrado a la izquierda el tiempo utilizado para borrar este tiempo se oprime el botón blanco. Para llenar el rotámetro se abre la válvula de alimentación y antes de que llegue al tope superior se cierra la válvula del venteo.

4.-Tomar las temperaturas de entrada  $T_1$  y salida  $T_2$  del agua de refrigeración del motor, el flujo.

5.-Tomar la temperatura del aire  $T_a$  que va al carburador (con un termómetro) y la altura  $h_0$  en el manómetro inclinado.

6.-Tomar las temperaturas de entrada  $T_{1c}$  y salida  $T_{2c}$  del agua de refrigeración del calorímetro  $W_c$ , leída en el rotámetro correspondiente. Tomar la temperatura de entrada  $T_e$  y salida  $T_0$  de los gases del calorímetro leído en el pirómetro.

Nota: regular el flujo del calorímetro mediante la válvula de alimentación conforme sea necesario, de tal manera que la temperatura no sea menor de 60 °C. Toda esta información se vaciara en la tabla de datos.



7.-A continuación, se irá aumentando de 250 en 250 los rpm liberando la carga mediante el volante del dinamómetro (girándolo en sentido anti horario) y no excediendo de 3500 rpm tomando las lecturas anteriores para cada paso.

8.-Al terminar la práctica, quitar la carga del dinamómetro como se mencionó anteriormente, y mantener en funcionamiento el motor a 1200 rpm hasta que bajen sus temperaturas.

9.-Parar el motor y cortar la alimentación del agua.

## 11.- FORMULAS Y CALCULAS DE LA PRÁCTICA

1.- Determinación de la potencia al freno del motor:

$$N_e = M_t * \omega$$

También la potencia está dada por

$$N_e = M_t n / 9549.3$$

2.- Determinación del consumo de combustible. Puede determinarse por medidas volumétricas y esta generalmente expresado como combustible horario 1/hora (v) o bien como consumo específico en 1/kw-hr.

$$C_s = V / N_e$$

Dónde:  $V = (3660 / t) V_g$

Por lo tanto:  $C_s = 3600 V_g / N_e * t$       lts /kw-hr

Donde:

$V_g$  es el flujo volumétrico de aire en l/s

$V_s$  es volumen barrido del aire ( $V_s = 1100 \text{ cm}^3$ )

$K_2 = 2$  para motores de 4 tiempos

$$V_s = 0.003536 \Phi_2^2 \sqrt{\frac{h_0 T_a}{P_a}}$$

$\Phi_2 = 48 \text{ mm}$   $h_0$  en cm  $T_a$  en °k

$P_a$  = presión absoluta del aire en KN / m<sup>2</sup>

4.- Rendimiento térmico esta dado por

$\eta_t = (3.6 \times 10^6) / (C_{spf} H_c)$       para ciclo real

$\eta_t = 1 - (1 / r_k^{k-1})$       para ciclo ideal

$H_c = 41.866 \times 10^6 \text{ J/Kg}$

## 5.- Determinación del balance térmico

$$Q_0 = Q_e + Q_{ref} + Q_g + Q_{res}$$

$Q_0$  = s la cantidad de calor total que se gasta en la unidad de tiempo cuando el motor funciona con el régimen dado.

$Q_e$  = es el calor equivalente al trabajo efectivo que realiza el motor.

$Q_{ref}$  = es el calor cedido al medio refrigerante

$Q_g$  = es la parte de calor del combustible que de desaprovecha por ser incompleta la combustión

$Q_{res}$  = es el termino independiente del balance, que establece las pérdidas no incluidas en los demás términos de la ecuación de balance térmico.

la cantidad de calor consumida por unidad de tiempo es:

$$Q_0 = ( ( H_c V \rho_f ) / 3600 ) + m_a C_{pa} T_a$$

Dónde:

$T_a$  = es la temperatura del aire en el laboratorio (temperatura del medio ambiente)

el calor equivalente al trabajo efectivo está dado por:

$$Q_e = N_e \times 1000$$

El calor transmitido al medio refrigerante está dado por

$$Q_{ref} = C_{pw} V_w (T_2 - T_1)$$

El calor que arrastran los gases de escape está dado por

$$Q_g = C_{pw} m_w (T_{2c} - T_{1c}) + (C_{pa} T_0 (m_a) + (f v / 3600))$$

$$m_a = 1.232 \times 10^{-5} \Phi_2^2 - \sqrt{\frac{h_0 T_a K g}{Pa seg}}$$

Donde:

$h_0 =$  en cm

$T_0 =$  es la temperatura de salida de los gases del calorímetro

El termino independiente está dado por

$$Q_{res} = Q_o - (Q_{res} + Q_o + Q_g)$$

### 9.- TABLA DE DATOS

n tot	n inst	$M_t$	Agua enfriamiento del motor			Agua enfriam del calorim			Gases esc del calorímetro		t	$h_0$	$T_a$	$v_s$
			$T_1$	$T_2$	$V_0$	$T_{1c}$	$T_{2c}$	$m_c$ 1/min	$T_0$	$T_o$				
rpm	rpm	N- m									s	mm ca	°c	ml

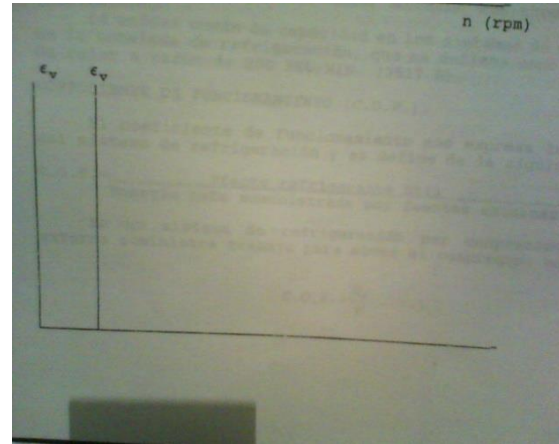
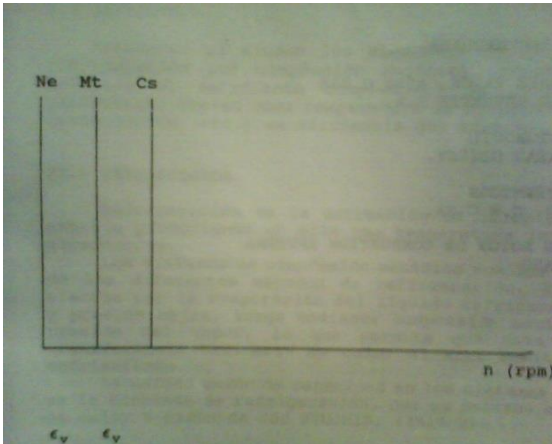
### 10.- TABLA DE RESULTADOS

N	$N_o$	$C_s$	$Q_o$	$Q_{ref}$	$Q_g$	$Q_{res}$	$V_s$	$\eta_v$	$\eta_t$	$Q_o$
rpm	KW	1/(KW- hr)	W	W	W	W	1/s	%	%	W

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

## 11.- CUESTIONARIO

- 1.- ¿De qué depende el consumo específico de la gasolina?
- 2.- ¿Cuáles son los sistemas para engrasar un motor?
- 3.- ¿Cuáles son las funciones de un carburador?
- 4.- ¿Cuándo el rendimiento es máximo con un régimen económico de combustión?
- 5.- ¿Cuál es la diferencia teórica y práctica de un motor de gasolina a uno diesel?
- 6.- ¿Cómo se regula la chispa de los motores de gasolina?
- 7.- ¿Cuáles serían los objetivos de lubricar y purificar el aceite de un motor?
- 8.- ¿Cuáles serían los componentes en un sistema de refrigeración con agua y con aire en un m.c.i?
- 9.- ¿Cuáles serían las ventajas de un motor de gasolina con respecto a una turbina de gas?
- 10.- ¿de qué depende la potencia efectiva desarrollada en un m.c.i?



## 11.- BIBLIOGRAFIA

Energía mediante vapor, aire o gas  
W. H Servens Ed. REVERTE S. A.

Manual del automóvil  
Selecciones Read Digest.

Motores endotérmicos  
J. H. Price Ed. C E C S A

Pruebas en un motor de combustión interna  
Greene and Lucas  
Eup Londres

## 1.- OBJETIVO

Presentar al alumno los elementos básicos de un sistema de refrigeración por compresión mecánica, además al finalizar la practica el estudiante comprenderá la influencia de algunos parámetros, (tales como temperatura de evaporación, temperatura de condensación, etc.) en eficiencia del sistema.

## 2.- INTRODUCCIÓN

Refrigeración es la extracción de calor de una sustancia o espacio produciendo en ella una temperatura inferior a la de sus alrededores.

Los sistemas de compresión mecánica son los más usuales dentro de los diferentes métodos de refrigeración. El enfriamiento se efectúa por la evaporación de líquido refrigerante a temperatura a presión bajas, luego mediante compresión mecánica, se eleva la presión del vapor, lo que permite que este se condense por transferencia ordinaria de calor al aire ambiente o al agua de enfriamiento.

La unidad común de capacidad en los sistemas de refrigeración, es la tonelada de refrigeración, que se define como la extracción de calor a razón de 200 BTU/min. (3517W).

### COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO (C.O.P.).

El coeficiente de funcionamiento nos expresa la efectividad del sistema de refrigeración y se define de la siguiente manera.

$$\text{C.O.P.} = \frac{\text{efecto refrigerante util}}{\text{energía neta suministrada por fuentes externas}}$$

En un sistema de refrigeración por compresión la fuente externa suministra trabajo para mover el compresor, es decir:

$$\text{C.O.P.} = \frac{Q_e}{W} \dots\dots(1)$$

La potencia (trabajo) en la que se basa el C.O.P. debe indicarse claramente puesto que la potencia puede ser:

- a) Potencia eléctrica para que funcione el motor
- b) Potencia en el eje para accionar el compresor
- c) Potencia indicada o del pistón para comprimir el vapor
- d) Potencia teórica de un compresor ideal

### RENDIMIENTO DE REFRIGERACIÓN

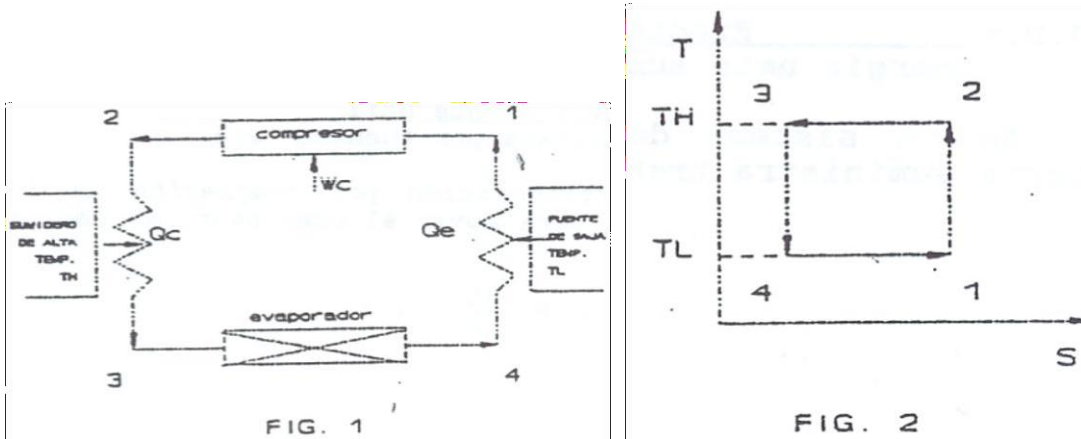
El rendimiento de refrigeración  $\eta_R$  expresa la aproximación del ciclo o sistema a un ciclo ideal reversible de refrigeración, es decir.

$$\eta_R = \frac{\text{C.O.P.}}{(\text{C.O.P.})_{rev.}} \dots\dots(2)$$

EL CICLO DE CARNOT SIRVE COMO CICLO IDEAL REVERSIBLE.

Ciclo Inverso de Carnot (Reversible).

El refrigerador ideal está representado por el ciclo inverso de Carnot en el cual se toma calor de una fuente constante a baja temperatura  $T_L$  y se pasa a un sumidero a temperatura más alta constante  $T_H$ . La figura 1 ilustra un diagrama de la máquina y la figura 2 un ciclo correspondiente a un diagrama T-S.



Análisis Energético del Ciclo

Transferencia de calor en el evaporador  $Q_e = T_L (S_1 - S_4)$

Transferencia de calor en el condensador  $Q_c = T_H (S_3 - S_2)$

Por primera ley tenemos

$$W_{neto} = Q_c + Q_e = T_H(S_4 - S_1) + T_L(S_1 - S_4)$$

$$W_{neto} = - T_H(S_1 - S_4) + (S_1 - S_4) T_L$$

$$W_{neto} = (T_L - T_H) (S_1 - S_4)$$

O sea por la ecuación 1

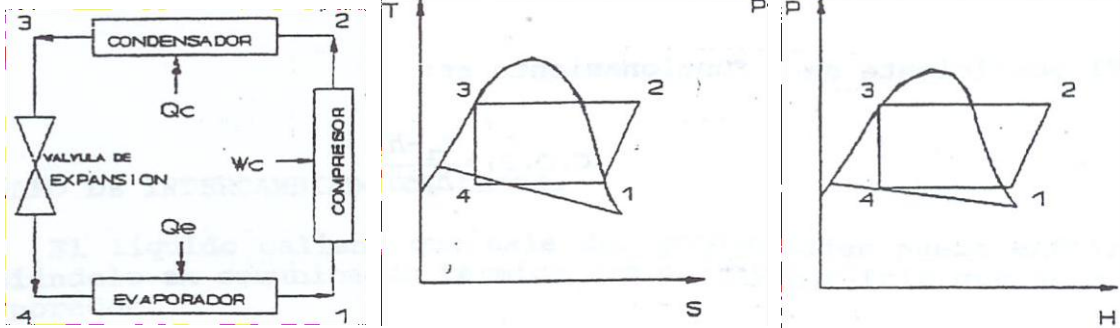
$$C.O.P. = \frac{(S_1 - S_4)}{(T_L - T_H)(S_1 - S_4)} = \frac{T_L}{T_L - T_H}$$

Estrictamente, esta cantidad es negativa, pero por comodidad se expresa como

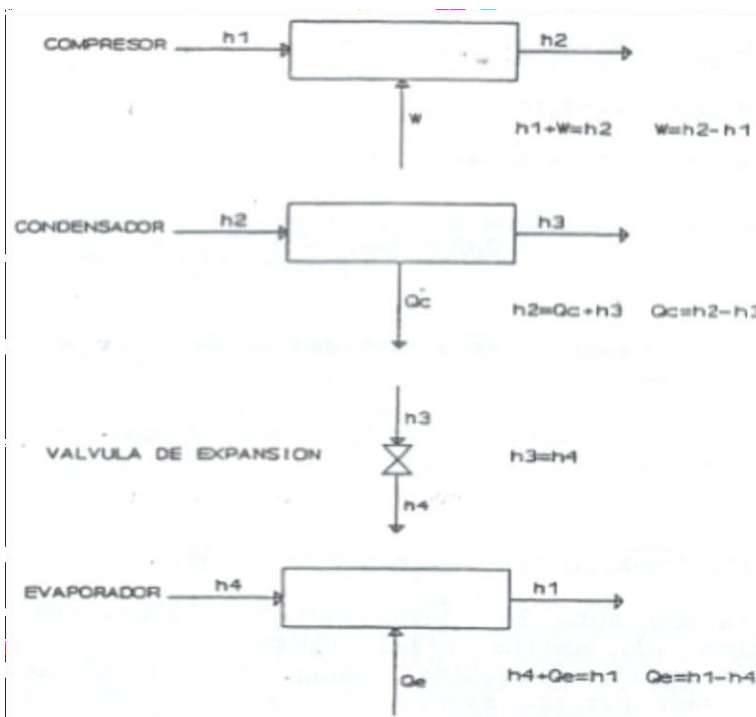
$$C.O.P. = \frac{T_L}{T_H - T_L} \dots\dots \text{que es positiva}$$

EL CICLO TEÓRICO DE COMPRESIÓN DE VAPOR

Es evidente la conveniencia de diseñar un sistema que se aproxime al modelo ideal ilustrado en la fig. 1 y 2, reemplazado por una simple válvula de estrangulamiento. La figura 3 muestra el ciclo teórico de una sola etapa.



Análisis Energético por Unidad de Masa



El coeficiente de funcionamiento es:

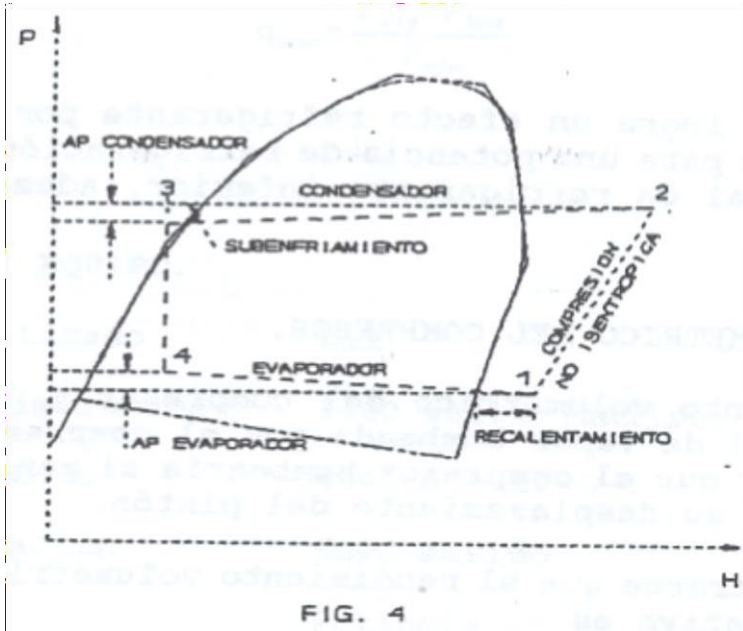
$$C.O.P. = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

EL CICLO PRÁCTICO DE COMPRESIÓN DE VAPOR

El ciclo práctico se diferencia del ciclo ideal en lo siguiente (fig. 4)

- a) Debido al rozamiento, habrá una ligera caída de presión entre la descarga del compresor y la entrada de la válvula de expansión.
- b) El proceso de compresión no es isoentrópico.
- c) El vapor que sale del evaporador está generalmente recalentado.
- d) El líquido que sale del condensador está generalmente subenfriado, es decir, por debajo de la temperatura de saturación correspondiente a su presión.

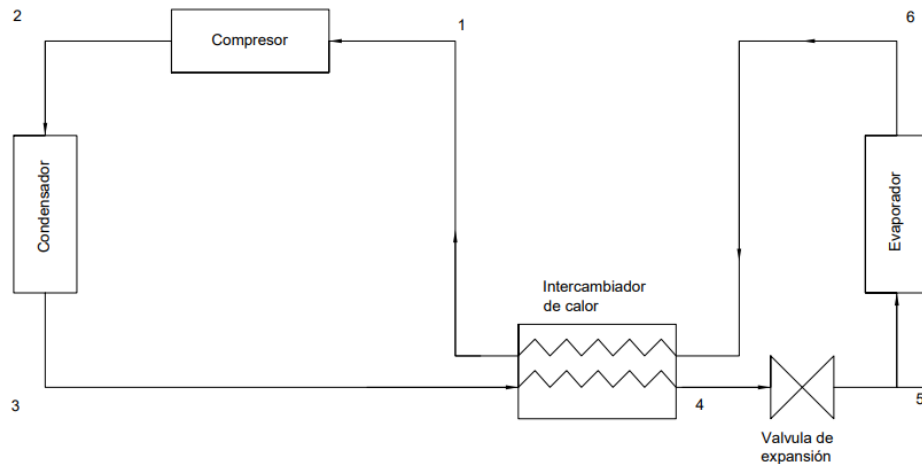




#### EMPLEO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR

El líquido caliente que sale del condensador puede enfriarse poniéndolo en comunicación térmica con el vapor frío que sale del evaporador.

La disposición se muestra en la fig. 5



Con esto se logra un efecto refrigerante por unidad de masa superior. Así que para una potencia de refrigeración determinada se necesita un caudal de refrigerante inferior, además se mejora el C.O.P.

#### RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DEL COMPRESOR.

El rendimiento volumétrico del compresor  $\eta_v$  puede definirse como la masa real de vapor bombeada por el compresor dividida por la masa del vapor que el compresor bombearía si manejara un volumen de vapor igual a su desplazamiento del pistón.

Puede demostrarse que el rendimiento volumétrico teórico de un compresor alternativo es

$$\eta_v = 1 - C(r_p^{1/n} - 1)$$

Dónde:

$C = V_C/V_S$  es la relación entre el volumen libre y el volumen barrido.

$r_p$  Es la relación entre la presión de impulsión y la de aspiración.

$n$  = es el índice de la ley politropica  $pv^n = c$  que se supone gobierna la compresión y la expansión.

### RENDIMIENTO MECÁNICO

La relación  $\frac{\text{trabajo indicado}}{\text{trabajo en el eje}}$

Se llama rendimiento mecánico del compresor y la diferencia entre el trabajo y en el eje y el trabajo indicado es el trabajo absorbido para vencer los rozamientos del compresor.

Para medirse la potencia indicada se instala en el cilindro del compresor un indicador mecánico, sin embargo en compresores pequeños generalmente es más satisfactorio medir la potencia en el eje y potencia de rozamiento, obteniendo la potencia indicada por diferencia.

Medición de la Potencia de rozamiento.

si la conexión de aspiración se cierra, la potencia indicada es prácticamente cero y la potencia en el eje es sencillamente igual a la potencia de fricción absorbida dentro del compresor.

$$\eta_{mec} = \frac{P_{eje} - P_{roz}}{P_{eje}}$$

### 3.- MATERIAL Y EQUIPO

<b>Refrigerante utilizado</b>	R12
<b>Potencia de refrigeración</b>	1400W (max)
<b>Temp. De evaporación</b>	-40°C a + 10°C
<b>Temp. De condensación</b>	50°C máximo
<b>Motor eléctrico:</b>	Potencia en el eje nominal 370W el motor eléctrico va Montado sobre muñones y el par que desarrolla, se mide mediante una balanza de muelle en el extremo de un brazo de 150mm.

La potencia en el eje del motor es el producto del par por la velocidad angular de rad/seg.  
**Compresor:** movido mediante correa por el motor eléctrico dos cilindros, 40mm de diámetro y 30mm de carrera cilindrada  $75.5 \text{ cm}^3/\text{rev}$ . Velocidad nominal 460rev./min.  $C=0.025$

**Condensador:** tipo de carcasa y serpentín (agua a través del serpentín).  
Superficie de transferencia de calor  $0.075 \text{ m}^2$

**Intercambio de calor:** de tubos concéntricos, dispuesto en contra corriente.

**Válvula de expansión**

**Evaporador:** intercambiador de calor compacto de un solo paso y un solo camino

**Medida de temperatura:** termómetro electrónico de 10 puntos.

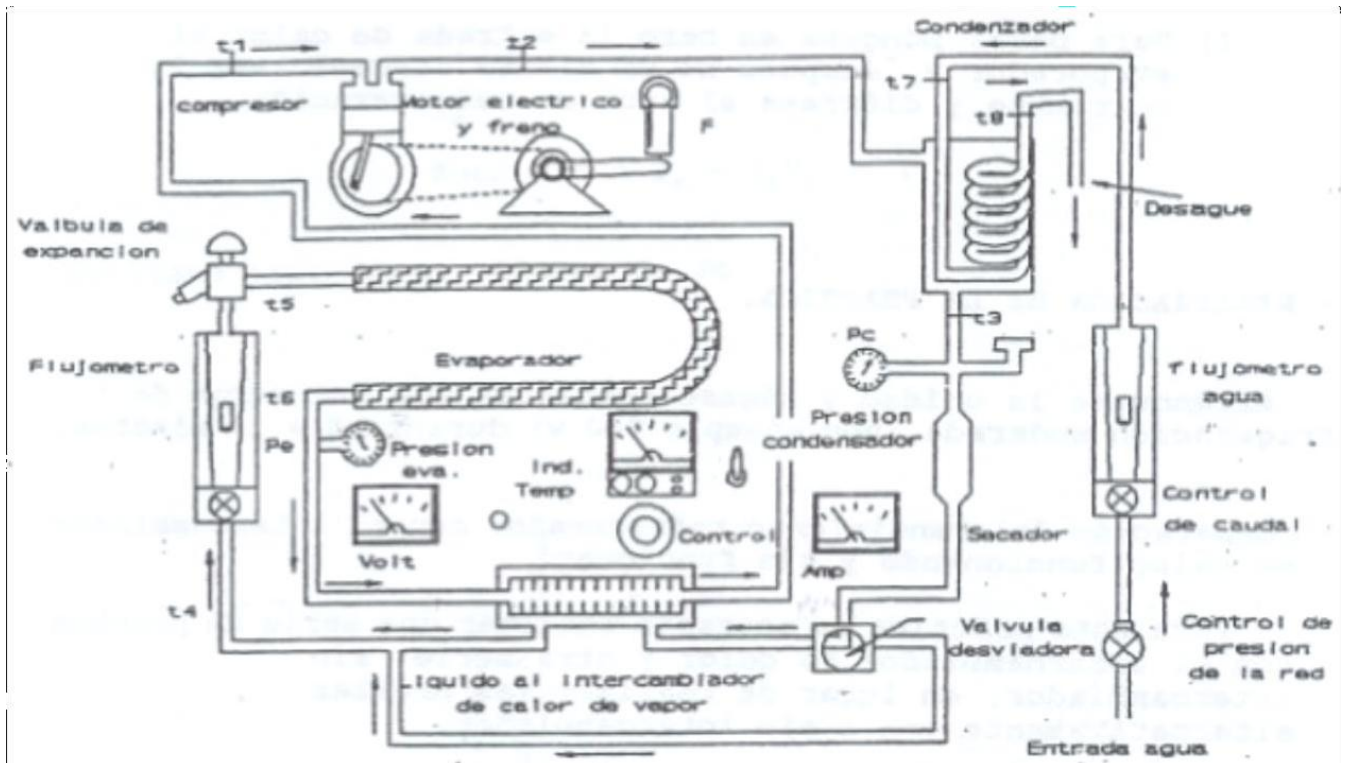
**Medida de presión:** manómetro para indicar presiones del condensador y evaporador

**Medida del caudal:** rotámetro para medir caudales del refrigerante y del agua de refrigeración

**Medida de la potencia eléctrica:** voltímetro y amperímetro para medir: a) consumo eléctrico del motor (se suministra curva del factor de potencias) b) entrada de calor al evaporador.

**Medida de velocidad:** tacómetro de mano para velocidades del compresor y el motor.

#### 4.- DIBUJO DE LA INSTALACION



## 5.- PUESTA EN MARCHA

- a) Conéctese el cable eléctrico al suministro de la red ya tierra a través de una conexión con fusible adecuado
- b) Abrase el suministro de agua para que el agua pase a través del condensador a razón de unos 40 gr/seg.
- c) Ajústese el mando de entrada de calor al evaporador a su valor mínimo.
- d) Conéctese el suministro eléctrico.
- e) Después de 2 minutos aproximadamente aumentese poco a la entrada de calor al evaporador hasta su valor máximo, comprobando que el caudal del refrigerante aumenta hasta unos 10 gr/seg.
- f) Para parar pónganse en cero la entrada de calor al evaporador y, después de un minuto desconéctese la corriente y ciérrese el agua de refrigeración.

## 6.- REALIZACION DE LA PRÁCTICA

Arránquese la unidad y hágase funcionar con una carga de refrigeración moderada (por ejemplo 700W) durante 5 a 10 minutos.

1. Comparación del rendimiento refrigerador con el intercambiador de calor funcionando y sin funcionar.
2. Producción de curvas de rendimiento, para la producción de curvas de rendimiento es aconsejable empezar con una potencia de refrigeración pequeña (por ejemplo 300W) aumentarla por saltos de 250W hasta llegar a la potencia de refrigeración máxima.
  - a) Grafica 1. Efecto de las temperaturas de evaporación y condensación sobre la potencia.

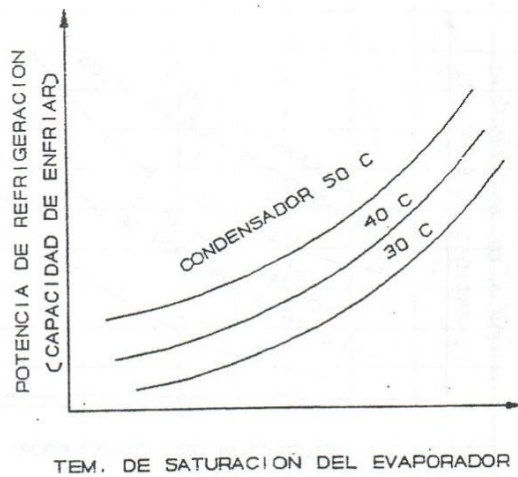
## PROCEDIMIENTO

Hágase funcionar la unidad y manténgase la presión del condensador en el valor deseado ajustando el caudal del agua de refrigeración, variando la entrada de calor al evaporador

Obsérvese

$$P_c$$
$$T_s \text{ (temperatura del evaporador)}$$
$$V_e$$
$$I_e$$
$$\text{Potencia} = Q_e = I_e V_e$$

Repítase para otros valores de  $P_c$



- b) Gráfica 2 efecto del intercambiador de calor sobre la potencia a diversas temperaturas de evaporación

### Procedimiento

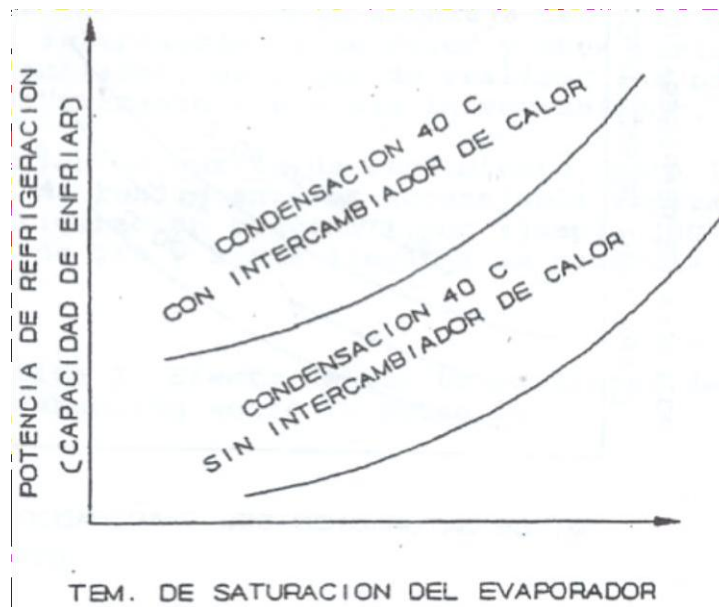
Decídase una presión de saturación del condensador (correspondiendo a una temperatura del condensador deseada)

Hágase funcionar la unidad con intercambiador de calor en el circuito, manteniendo constante la presión del condensador mediante ajuste del caudal de agua de refrigeración mientras se varía la entrada de calor al evaporador

Repítase puenteando el intercambiador de calor.

OBSERVESE

$P_c$   
 $T_s$   
 $V_e$   
 $I_e$



Nota: Todas las gráficas deberán presentarse en hojas de tamaño carta de papel milimétrico

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
 Departamento de Ingeniería  
 Sección Mecánica  
**OBSERVACIONES DE PRUEBA**

SERIE	LECT. #		1	2	3	4
Impulsión del compresor	$t_2$	°C				
Líquido saliendo del condensador	$t_3$	°C				
Líquido entrando válvula expansión	$t_4$	°C				
Presión condensador	$p_r$	bar				
Entrada evaporador	$t_5$	°C				
Salida evaporador	$t_6$	°C				
Aspiración del compresor	$t_1$	°C				
Caudal del R 12	$m_r$	kg/s				
Voltios evaporador	$V_e$	V				
Amperaje evaporador	$I_e$	I				
Voltios motor	$V_m$	V				
Amperaje motor	$I_m$	I				
Balanza del muelle	F	N				
Velocidad del compresor	$n_c$	rev/m				
Velocidad del motor	$n_m$	rev/m				
Caudal del agua	$m_a$	kg/s				
Entrada agua	$t_7$	°C				
Salida agua	$t_8$	°C				
Presión evaporador	$P_e$	bar				
Balanza de muelle aspiración cerrada	$F_f$	N				

### RESULTADOS DE PRUEBA

SERIE	PRUEBA #		1	2	3	4
Entalpia especifica	$h_1$	kJ/kg				
Entalpia especifica	$h_2$	kJ/kg				
Entalpia especifica	$h_3$	kJ/kg				
Entalpia especifica	$h_4$	kJ/kg				
Entalpia especifica	$h_5$	kJ/kg				
Entalpia especifica	$h_6$	kJ/kg				
Volumen especifico	$v_1$	m <sup>3</sup> /kg				
<b>EVAPORADOR</b>						
Entrada de calor del evaporador Potencia de refrigeración = $V_e I_e$	$Q_e$	W				
Índice de cambio de entalpia del R12 $m_r (h_6 - h_5)$		W				
<b>CONDENSADOR</b>						
Transferencia de calor al agua de Refrigeración	$Q_c$	W				
Índice de cambio de entalpia del R12 $m_r (h_4 - h_3)$		W				
<b>COMPRESOR Y MOTOR</b>						
Caudal volumétrico en la aspiración de Compresor $m_r v_1$	$v_1$	m <sup>3</sup> /s				
Cilindrada del compresor Índice = $2(\pi d^2 L n_c)/(4 \cdot 60)$	$v_s$	m <sup>3</sup> /s				
Potencia absorbida por el motor $v_m \cdot I_m \cos \theta$	$P_{el}$	W				
Potencia en el eje del motor $0.15 F \cdot 2\pi n_m / 60$	$P_1$	W				
Potencia "indicada" del compresor $0.15 (F - F_f) \cdot 2\pi n_m / 60$	$P_1$	W				
Cambio de entalpia del compresor Índice = $m_r (h_2 - h_1)$		W				
<b>RENDIMIENTOS</b>						
Rendimiento del motor $P_s / P_{al}$	$\eta_{mot}$	%				
Rendimiento mecánico del compresor $P_L / P_s$	$\eta_{mec}$	%				
Rendimiento volumétrico del compresor $V_L / V_s$	$\eta_{vol}$	%				
<b>COEFICIENTES DE RENDIMIENTO (REFRIGERADOR)</b>						
C.O.P. (basado en el consumo eléctrico) $Q_e / P_{el}$						
C.O.P. (basado en potencia en eje absorbida) $Q_e / P_{el}$						
C.O.P. (basado en potencia absorbida) $Q_e / P_1$						
C.O.P. (del ciclo ideal) $(h_6 - h_4) / (h_{2s} - h_1)$						



## 7.- CONCLUSIONES

## 8.- BIBLIOGRAFIA

Ingeniería del ámbito térmico  
James L. Therelkeld  
Prentice hall

Ingeniería Termodinámica  
Reynolds/Perkins  
Mc Graw Hill

Refrigeración y acondicionamiento del aire  
Stoecker  
Mc Graw Hill

Fundamentos del aire acondicionado y refrigeración  
Eduardo Hernández Goribar  
Limusa

Aire acondicionado y refrigeración  
Jennings/Lewis  
CECSA

Termodinámica  
Virgil Moring Faires  
UTHEA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
Departamento de Ingeniería  
Sección Mecánica

Laboratorio de Mecánica de Fluidos  
Practica No. 10  
Refrigeración por compresión