



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

“LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS”

PROFESOR. SANDOVAL PEÑA RAMON M.I.

GRUPO. 29

ALUMNO. GASPAR MARTÍNEZ FERNANDO

PRACTICA No. 10

“COMPRESORES”

FECHA DE ENTREGA: 12/10/2013

➤ **OBJETIVOS**

- a) Introducir al alumno al estudio de los compresores en general.
- b) Familiarizarlo con los compresores para aire reciprocantes y de paletas deslizantes, tanto en aspectos teóricos como prácticos.

➤ **RESUMEN EJECUTIVO**

➤ **INVESTIGACIÓN**

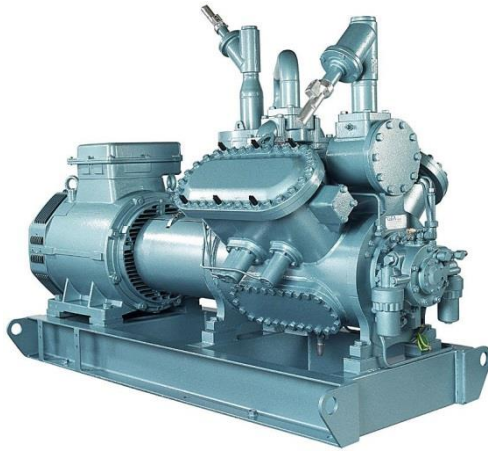
Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el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

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado.

Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central. Entonces no es necesario calcular ni proyectar la transformación de la energía para cada uno de los consumidores. El aire comprimido viene de la estación compresora y llega a las instalaciones a través de tuberías. Los compresores móviles se utilizan en el ramo de la construcción o en máquinas que se desplazan frecuentemente. En el momento de la planificación es necesario prever un tamaño superior de la red, con el fin de poder alimentar aparatos neumáticos nuevos que se adquieran en el futuro. Por ello, es necesario sobredimensionar la instalación, al objeto de que el compresor no resulte más tarde insuficiente, puesto que toda ampliación ulterior en el equipo generador supone gastos muy considerables.

Es muy importante que el aire sea puro. Si es puro el generador de aire comprimido tendrá una larga duración. También debería tenerse en cuenta la aplicación correcta de los diversos tipos de compresores



✓ **APLICACIONES**

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

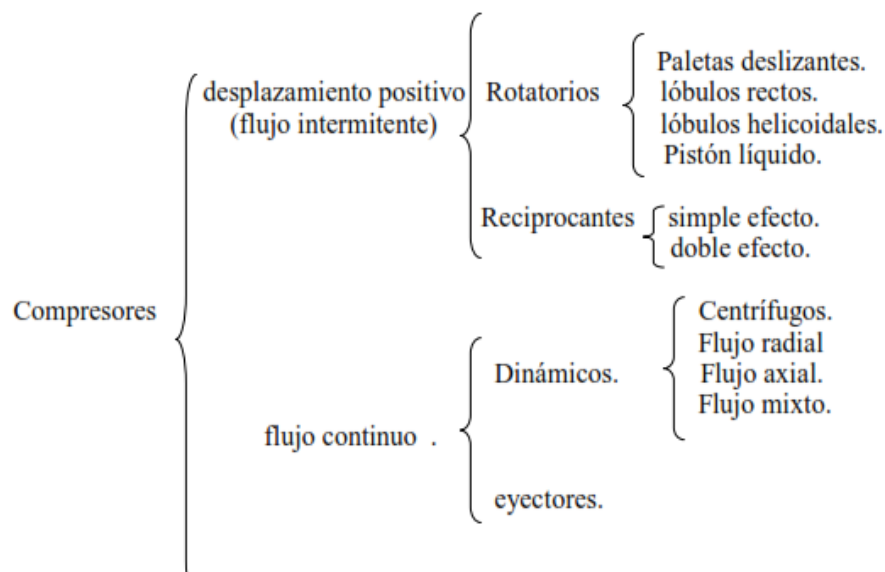
- ♦ Son parte importantísima de muchos sistemas de refrigeración y se encuentran en cada refrigerador casero, y en infinidad de sistemas de aire acondicionado.
- ♦ Se encuentran en sistemas de generación de energía eléctrica, tal como lo es el Ciclo Brayton.
- ♦ Se encuentran en el interior de muchos 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**

No existe un criterio único a partir del cual se pueda hacer una clasificación general de los compresores. Para hacerlo, se toman en cuenta varios factores: el incremento de presión que producen, la forma física fundamental como efectúan la compresión, la trayectoria que siguen las partículas gaseosas en el interior de la máquina, etc.

A continuación se presentan los principales tipos de compresores de acuerdo con la forma en que realizan la compresión de los gases.

1. **Compresor de desplazamiento positivo.** Las dimensiones son fijas. Por cada movimiento del eje de un extremo al otro tenemos la misma reducción en volumen y el correspondiente aumento de presión (y temperatura). Normalmente son utilizados para altas presiones o poco volumen. Por ejemplo el inflador de la bicicleta.
2. **Compresores dinámicos.** El más simple es un ventilador que usamos para aumentar la velocidad del aire a nuestro entorno y refrescarnos. Se utiliza cuando se requiere mucho volumen de aire a baja presión.



- 1.1. **Los compresores de desplazamiento positivo rotatorios** son máquinas en las que la compresión y el desplazamiento se efectúan por la acción positiva de elementos rotatorios.
- 1.1.1. **Los compresores de paletas deslizantes** son máquinas rotatorias de desplazamiento positivo en las cuales unas paletas axiales se deslizan radialmente en un rotor montado excéntricamente dentro de una carcasa cilíndrica. El gas atrapado entre las paletas se comprime y desaloja.
- 1.1.2. **Los compresores de lóbulos rectos** son máquinas rotatorias de desplazamiento positivo en las cuales dos (o tres) impulsores rectos de forma lobular atrapan al gas llevándolo de la admisión a la descarga. Durante el giro de los rotores no hay compresión o reducción en el volumen del gas. Los

impulsores solo mueven el gas de la admisión a la descarga. La compresión se efectúa por contraflujo de la línea de descarga a la carcasa en el momento en que se abre el puerto de descarga.

1.1.3. **Los compresores de lóbulos helicoidales** o en espiral son máquinas rotatorias de desplazamiento positivo en las cuales dos rotores engranados, cada uno de forma helicoidal, comprimen y desplazan el gas.

1.1.4. **Los compresores de pistón líquido** son máquinas rotatorias de desplazamiento positivo en las cuales se utiliza agua o algún otro líquido como pistón para comprimir y desalojar el gas que se está manejando.

1.2. **Los compresores reciprocantes** son máquinas de desplazamiento positivo en las que un émbolo con movimiento reciprocante dentro de un cilindro comprime y desaloja al gas.

2.1 **Los compresores dinámicos** son máquinas de flujo continuo en las cuales el rápido giro de un elemento rotatorio acelera el gas conforme pasa a través del elemento convirtiendo la carga de velocidad en presión, parcialmente en el elemento rotatorio y parcialmente en difusores o álabes estacionarios.

2.1.1 **Los compresores centrífugos** son máquinas dinámicas en las cuales uno o más impulsores rotatorios generalmente cerrados aceleran el gas. El flujo es radial.

2.1.2 **Los compresores axiales** son máquinas dinámicas en las que la aceleración del gas se obtiene por la acción de un rotor.

2.1.3 **Los compresores de flujo mixto** son máquinas dinámicas con un impulsor cuya forma reúne características de los tipos axial y centrífugo.

2.2 **Los eyectores** son dispositivos que emplean un chorro de gas o vapor a alta velocidad. Considerando el incremento de presión que producen, los compresores se clasifican de la siguiente manera:

A. Ventiladores: Son aparatos que elevan la presión de los gases hasta aproximadamente 0.07 Bars sobre la presión atmosférica. Son máquinas de tipo dinámico y forman parte de la familia de las turbomáquinas generatrices, y dentro de ellas ocupan un puesto intermedio entre el de los

turbocompresores y el de las bombas centrífugas para líquidos. En los ventiladores el fenómeno de compresión es de tan poca importancia que puede despreciarse, ya que la densidad del gas raramente se incrementa a más del 7%.

Según su acción sobre el fluido pueden ser centrífugos, axiales o de flujo mixto. Se utilizan para transportar partículas en suspensión en las corrientes de aire; en las instalaciones de tiro inducido y tiro forzado también se emplean para la extracción de gases de combustión e inyección de aire puro en hornos de calcinación, estufas, hogares de calderas, aire acondicionado y ventilación, etc.

- B. Sopladores y turbo sopladores: Son las máquinas que elevan la presión hasta aproximadamente unos 2.8 Bar sobre la presión atmosférica; los sopladores son de desplazamiento positivo y pueden ser alternativos o rotatorios, los turbo sopladores son de acción dinámica y pueden ser centrífugos, axiales o de flujo mixto.

Se utilizan para suministrar tiro forzado a los altos hornos, convertidores Bessemer y cubilotes, para la sobrealimentación de motores de combustión interna de aplicaciones de los gases gran capacidad, y en general en todas las aplicaciones donde se necesita reforzar la presión.

- C. Compresores y turbocompresores: Son máquinas con las que se alcanzan presiones relativas desde 2.8 Bar aproximadamente hasta prácticamente cualquier presión requerida logrando presiones hasta de 400 bar mediante unidades de desplazamiento positivo de varias etapas.

En términos generales todos los compresores de desplazamiento positivo son máquinas de elevada eficiencia volumétrica que generan altas presiones; sin embargo, su capacidad se ve limitada por su desplazamiento, y en el caso de los reciprocantes por la máxima velocidad de deslizamiento permisible del émbolo en el cilindro.

Por su parte, los turbocompresores, al igual que todas las máquinas dinámicas, tienen una construcción compacta que les permite resistir

grandes esfuerzos, de manera que pueden acoplarse directamente a máquinas propulsoras de elevada velocidad de rotación como turbinas de gas y de vapor.

Para dar una idea somera de los principales tipos de compresores, y sus rangos de operación se presenta la siguiente tabla general:

Tipo de compresores	Máximos HP freno aproximado	Máxima presión Aproximada	
		Bars	Psig
Reciprocantes	Más de 12,000	6,897	100,000
Rotatorio de paletas Deslizantes	860	27.6	400
Rotatorio de lóbulos Helicoidales	6,000	17.2	250
Dinámico centrífugo	Más de 35,000	379.3	5,500
Dinámico de flujo axial	Más de 100,000	34.5	500

✓ **MANTENIMIENTO**

- Una vez que se ha puesto a funcionar el compresor, hay que seguir un estricto programa de mantenimiento preventivo. Los representantes técnicos, de los fabricantes, especializados en reacondicionar compresores, muchas veces entrenan el personal de la planta en los métodos de mantenimiento. Una importante ayuda para el mantenimiento, a lo cual no siempre se presta mucha atención, son los manuales de operación y mantenimiento que publica el fabricante.
- Durante el funcionamiento normal hay que vigilar lo siguiente: flujo de agua de enfriamiento, nivel, presión y temperatura del aceite, funcionamiento de los controles y presión del control, presiones y temperaturas de succión y descarga, ruidos anormales y carga y temperatura del motor.

- Es indispensable un registro diario del funcionamiento del compresor, en especial de los de etapas múltiples, para un mantenimiento eficiente. Se debe registrar cuando menos lo siguiente:
 1. Temperatura y presiones de succión, descarga y entre etapas
 2. Temperaturas del agua de las camisas de entrada, salida y entre etapas
 3. Temperatura y presión de aceite para lubricar los cojinetes
 4. Carga, amperaje y voltaje del motor
 5. Temperatura ambiente
 6. Hora y fecha.
- Con ese registro, el supervisor puede observar cambios en la presión o temperatura que indican un mal funcionamiento del sistema. La corrección rápida evitara problemas serios más tarde.
- Hay que seguir haciendo inspecciones frecuente de la parte abierta de la carcasa entre el cilindro y el depósito de aceite, con una luz negra, para ver si hay contaminación arrastre de aceite del depósito.

✓ **CONTROL DE CAPACIDAD DE UN COMPRESOR**

La capacidad de un compresor debe regularse, ajustándose así al consumo real del sistema. Generalmente, es la presión de descarga la que se toma como variable de control.

- El tipo de control a seleccionar, dependerá de las características del compresor, de la unidad de accionamiento y del sistema o red de distribución. Dependerá también de la gama de control requerida.
- Dicho control puede ser manual o automático. De una forma más generalizada, los controles de los compresores pueden ser continuos (variación de la velocidad, de estrangulación de la aspiración) o discontinuos.
- El arranque en vacío del compresor, debe preverse en aquellos casos, en los que el par de la unidad de accionamiento, no sea lo suficiente como para acelerar al compresor con carga.

En los compresores de desplazamiento:

- **Estrangulación de la aspiración.** Mediante una válvula de apertura variable, situada en la aspiración, reduce la presión de aspiración, reduce también la cantidad de aire admitida por el compresor. Este tipo de control presenta un inconveniente, que es el incremento de la relación de presión.
- **Control por by - pass.** Es bastante utilizado en compresores de proceso, y algunas veces, también en compresores de aire. Con él, no se controla directamente el funcionamiento del compresor, pero dicho sistema, si permite que funcione a plena carga de manera continua, recirculando el exceso de aire desde la descarga a la aspiración. El consumo de potencia es igual al de plena carga. El aire de recirculación debe refrigerarse, al objeto de evitar un incremento de temperatura, consecuencia de la compresión del aire de recirculación.
- **Regulación de la válvula de aspiración.** Es el método más frecuente para producir la descarga del compresor. Este sistema utiliza el mecanismo de garra, que mantiene abiertos los discos de la válvula de aspiración, siempre y cuando no exista demanda de aire del compresor.

Con las válvulas mencionadas en posición abierta, el aire fluirá dentro o hacia fuera del cilindro, de acuerdo con el movimiento del pistón. Se precisará por tanto de una cierta presión mínima.

En los compresores de doble efecto, la descarga se realizará en tres pasos, poniendo en carga y por separado una parte del cilindro (zona superior o inferior del pistón). De esta forma el caudal puede ajustarse con mayor precisión a la demanda real. El consumo de potencia de descarga se debe, lógicamente, a las pérdidas por rozamiento y mecánicas del compresor.

Una variante de este método de descarga, permite el que se abran normalmente las válvulas de aspiración, llenándose así los cilindros, y también,

el que las mantenga abiertas un intervalo de tiempo predeterminado, durante la carrera de compresión, mientras los discos de válvulas se liberan y se inicia la compresión. Este sistema, que permite un infinito número de pasos o etapas, se utiliza solamente en los compresores de procesos.

- **Control por cámaras muertas.** Se conectan al cilindro de la primera etapa, una o varias cámaras, disminuyéndose así el rendimiento volumétrico y la cantidad de aire suministrado.

Estas cámaras pueden controlarse de forma manual o automática. Normalmente tiene un volumen fijo aun cuando para compresores de gas, se utilizan cámaras de volumen, continuamente variable. Este tipo de control, origina un consumo de potencia relativamente elevado.

En los compresores dinámicos son:

En este tipo de compresores la capacidad del compresor se puede controlar de las formas siguientes, que a continuación se listan:

- **Variando la velocidad del eje**, lo que por razones de costo, sólo se utiliza cuando la unidad de accionamiento es una turbina.
- **Regulando continuamente la aspiración**, que es el método más económico, cuando la velocidad del eje no puede cambiarse.
- **Estrangulando la aspiración.** Esto es más barato que el procedimiento anterior, pero no tan eficiente.
- **Control con by-pass o por escape**, procedimientos un tanto derrochadores, que sólo han de emplearse para el control de caudales reducidos, raramente necesarios. Para la regulación por by-pass, es necesario instalar un refrigerador para enfriar el gas de recirculación.

✓ CICLO TEÓRICO DE COMPRESIÓN

El ciclo ideal de compresión es un modelo que facilita el análisis de los eventos reales que ocurren en un compresor a la vez que permite deducir expresiones para calcular el trabajo teórico que se requiere para comprimir un gas. Las condiciones que definen a un ciclo ideal de compresión son las siguientes:

- El gas a comprimir es un gas ideal, y sus calores específicos son constantes.
- Los procesos termodinámicos que ocurren en el ciclo son cuasiestáticos; es decir, son una sucesión de estados de equilibrio del sistema, lo cual equivale a decir que los procesos son internamente reversibles.
- No existe espacio muerto (espacio perjudicial) en el compresor.
- La aspiración y la descarga del gas en el cilindro se efectúan a presión constante, esto es, se considera que no existen fluctuaciones de la presión las cuales normalmente se originan por la inercia y vibración de las válvulas.

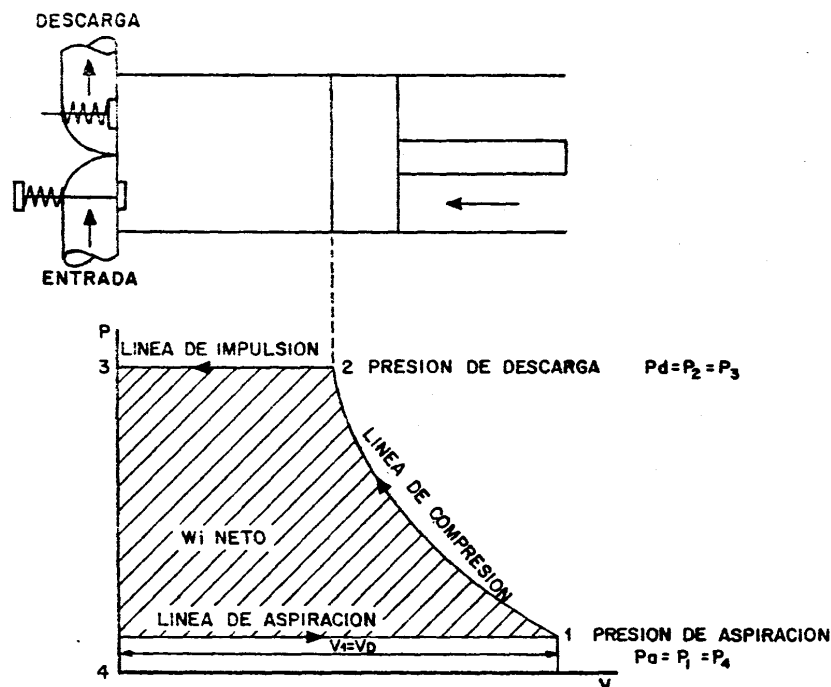
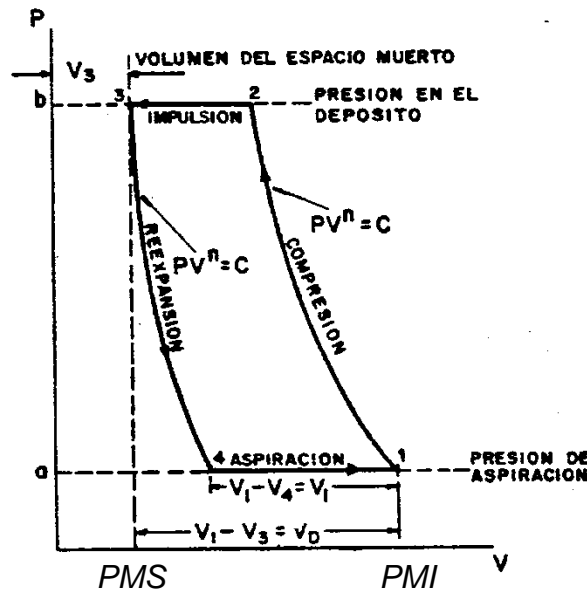


Diagrama P-V de los eventos que ocurren en el cilindro de un compresor sin espacio perjudicial durante un ciclo ideal de compresión.

✓ CICLO IDEAL CON ESPACIO PERJUDICIAL

Un compresor no puede operar sin espacio perjudicial; para tener un funcionamiento libre de perturbaciones mecánicas es necesario que haya un cierto espacio entre la tapa del cilindro y la cara del pistón cuando éste se encuentra en su punto muerto superior.



El diagrama convencional del ciclo de compresión correspondiente a un compresor con espacio perjudicial

$$v_{util} = v = v_1 - v_4$$

$$Presion\ de\ aspiracion = P_{ATM}$$

$$v_{muerto} = v_3$$

$$W_{ciclo} = \frac{n}{1-n} \dot{m} R T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$v_D = v_1 - v_3$$

Teóricamente el trabajo requerido para comprimir un gas es independiente del espacio perjudicial del compresor; esto se debe a que se supone la reversibilidad de los procesos, con lo cual el gas que queda en el espacio perjudicial actúa como un muelle perfecto que devuelve toda la energía que se le aplica.

Sin embargo, los procesos reales presentan un porcentaje de irreversibilidad, lo cual origina que el gas del espacio no devuelva toda la energía que se le suministra. Además, para una capacidad dada de un compresor, el desplazamiento o cilindrado debe ser mayor a medida que el espacio perjudicial aumenta, lo cual exige una máquina mayor y más costosa. El espacio perjudicial, por tanto, debe ser de un tamaño adecuado, conviniendo que sea el mínimo posible.

✓ DESPLAZAMIENTO

Simple Efecto (Compresor Del Laboratorio)

$$V = \frac{\pi d_p^2}{4} L \dots [m^3]$$

$$\dot{V} = \frac{\pi d_p^2}{4} L * RPM \dots \left[\frac{m^3}{min} \right]$$

$d_p = \text{diametro del piston}$

$L = \text{Carrera}$

Doble Efecto

$$V = \frac{\pi d_p^2}{4} L + \frac{\pi}{4} L (d_p^2 - d_v^2) \dots [m^3]$$

$$\dot{V} = \frac{\pi}{4} L (2d_p^2 - d_v^2) * RPM \dots \left[\frac{m^3}{min} \right]$$

$d_p = \text{diametro del piston}$

$d_v = \text{diametro del vastago}$

$L = \text{Carrera}$

✓ INDICE POLITROPICO

Un proceso politrópico es aquel proceso, internamente reversible, que cumpla la relación $PV^n = cte$. Donde "n" es el índice politrópico, y su valor para un proceso de compresión varía normalmente entre $1 < n < k$.

Para determinar el valor de "n" en un proceso dado, es necesario conocer dos condiciones de estado iniciales y dos finales (presión, volumen o temperatura) mediante las siguientes expresiones:

$$n = \frac{\log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)}{\log \left(\frac{V_2}{V_1} \right)} = 1 + \frac{\log \left(\frac{T_1}{T_2} \right)}{\log \left(\frac{V_2}{V_1} \right)} \quad \text{ó}$$

$$\frac{(n - 1)}{n} = \frac{\log \left(\frac{T_1}{T_2} \right)}{\log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)}$$

$$n = \frac{1}{1 - \frac{\log\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{\log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}}$$

Donde los valores de temperatura y presión deberán darse en unidades absolutas.

✓ **CAPACIDAD DEL COMPRESOR**

La capacidad de un compresor se define como el volumen de gas que realmente aspira la máquina en la unidad de tiempo, medido en las condiciones de presión y temperatura existentes en la aspiración. Tratándose de compresores para aire las condiciones existentes en la aspiración normalmente son las atmosféricas.

La capacidad se puede determinar por medio de alguno de los dispositivos de medición siguientes: tubo de Pitot, tubo de Venturi, orificio de pared delgada, orificio redondeado, tubo corto o tobera, depósitos de capacidad conocida y contadores o registradores.

En este laboratorio se emplea el procedimiento de la tobera de baja presión que recomienda la ASME y el "Compressed Air and Gas Institute" para medir el caudal de un compresor.

$$Q = \frac{\left(\frac{19}{10^4}\right) K * D^2 * T_{t2} (P_{t1} - P_{t2})}{P_{t2} * T_{t1}}$$

dónde:

Q = caudal de aire a la presión y temperatura observadas a la salida de la tobera

K = coeficiente de la tobera (0.982)

D = diámetro de la garganta de la tobera en (cm) = 2.54 cm

T_{t1} = Temperatura absoluta a la entrada de la tobera en K

T_{t2} = Temperatura absoluta a la salida de la tobera en K

P_{t1} = Presión absoluta a la entrada de la tobera en (Bars)

P_{t2} = Presión absoluta a la salida de la tobera en (Bars) = presión atmosférica

✓ **EFICIENCIA VOLUMETRICA REAL**

La eficiencia volumétrica real de un compresor se define:

$$\eta_{vr} = \frac{Q}{v_D}$$

✓ **PRESIÓN MEDIA EFECTIVA INDICADA (PMEI)**

$$PMEI = k_3 \frac{A_D}{L_D}$$

$$k_3 = \text{Constante del diagramador} = \frac{1.033 \left[\frac{Kg}{cm^2} \right]}{.25 \text{ cm}}$$

✓ **POTENCIA INDICADA**

$$PI = \frac{PMEI * A_P * L_P * RPM}{60 * 75}$$

✓ **TRABAJO DEL CICLO REAL**

$$PI = \frac{W_{CR} * RPM}{60}$$

$$W_{CR} = \frac{PI * 60}{RPM}$$

➤ **DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO**

➤ **DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO**

➤ **TABLA DE DATOS**

$P_1 = .796 \text{ Kg/cm}^2$	$h = 12 \text{ cmH}_2\text{O}$	$A_2 = 3.95 \text{ cm}^2$	$L = 6''$
$T_1 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$	$\text{RPM} = 390$	
$P_2 = 6 \text{ Kg/cm}^2$	$L_d = 6.4 \text{ cm}$	$D_v = 1''3/8''$	
$T_2 = 119 \text{ }^\circ\text{C}$	$A_1 = 5.23 \text{ cm}^2$	$d_p = 7''$	

➤ **TABLA DE RESULTADOS**

Índice politrópico		PMEI	
Desplazamiento Volumétrico		Trabajo del ciclo real	
Capacidad del compresor		Potencia indicada	
Eficiencia volumétrica real		Eficiencia del compresor	

➤ **COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**

➤ **BIBLIOGRAFÍA**

- Practicas Del Laboratorio De Maquinas Térmicas
México
Facultad Ingeniería - UNAM. [s.a]
- CENGEL Yanus A.
Termodinámica
4a. edición
Mc Grw Hill, 2002
- MORSE, F.T. Centrales eléctricas
C.E.C.S.A,
5a. impresión, 1975.
- SEVERNS, W.H. Energía mediante vapor, aire o gas.
Edit. Reverte, 196