

ANEXO N° 3



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA METROPOLITANA
Facultad de Ingeniería
Departamento de Mecánica
Ingeniería en Mecánica

Experiencia: **“PRUEBAS EN UN COMPRESOR DE AIRE DE DOS ETAPAS”**

i. Objetivos.

- Reconstruir el ciclo en un diagrama presión v/s volumen para un compresor de dos etapas.
- Obtener la curva de caudal v/s presión de descarga.

ii. Compresor de aire a pistón.

Son los más habituales, de diversos tamaños y múltiples potencias, todos funcionan bajo el mismo principio: *“un motor arrastra un cigüeñal unido a un juego biela-pistón que se desplaza en el interior de un cilindro admitiendo e impulsando el aire mediante unas válvulas de admisión e impulsión”*.

Existen compresores de aire a pistón de una etapa conocidos como monofásicos y de varias etapas, siendo los de dos etapas “bifásicos” los más utilizados.

iii. Fundamento teórico.

En el diagrama teórico pV mostrado en la figura 1, el punto 1 marca el inicio de la compresión en donde ambas válvulas se encuentran cerradas. El pistón se desplaza hacia el punto muerto superior, reduciendo el volumen original de aire con el consecuente aumento de la presión. Las válvulas permanecen cerradas hasta el punto 2 y la presión dentro del cilindro ha alcanzado a la del depósito, justo después de este punto, las válvulas de descarga se abren completando así la carrera de entrega. El aire comprimido fluye a través estas válvulas de descarga hacia el depósito. Después de que el pistón alcance el punto 3, las válvulas de descarga se cierran, dejando el

espacio libre lleno con aire a igual presión que la de descarga. Durante la carrera de expansión, tanto la válvula de admisión como la de descarga permanecen cerradas y el aire atrapado en el espacio libre incrementa su volumen, lo cual provoca una reducción en la presión. Esto continúa a medida que el pistón se mueve hacia el punto muerto inferior, donde la presión del cilindro cae por debajo de la presión de admisión en el punto 4. Las válvulas de admisión se abren ahora y el aire fluye dentro del cilindro hasta el final de la carrera de retorno (carrera de aspiración) en el punto 1, repitiéndose el ciclo en la siguiente revolución del cigüeñal.

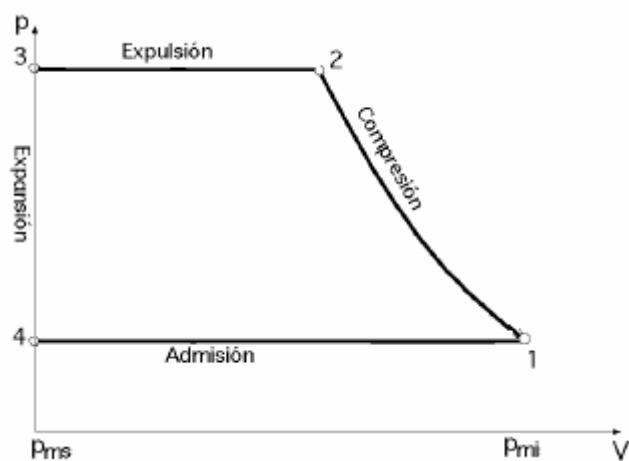


Fig.1 Ciclo ideal de un compresor.

iv. Espacio muerto.

El *espacio muerto* o volumen nocivo corresponde al volumen residual entre el pistón y el fondo del cilindro y las lumbreras de las válvulas, cuando el pistón está en su punto muerto, estimándose entre un 3% , 10% de la carrera, de acuerdo con el modelo de compresor.

Esto provoca un retraso en la aspiración debido a que el aire almacenado en el volumen residual a la presión de descarga debe expandirse hasta la presión de admisión antes de permitir la entrada de aire en el cilindro.

Sin embargo, su efecto es doble en razón a que si por un lado disminuye el volumen de aspiración, por otro ahorra energía, ya que la expansión produce un

efecto motor sobre el pistón; se puede considerar que ambos efectos se compensan bajo el punto de vista energético. Si el compresor no tuviese espacio muerto, el volumen residual entre el punto muerto superior PMS y las válvulas de aspiración y escape sería 0; esta salvedad se hace en virtud de que la compresión del aire no se puede llevar, por razones físicas, hasta un volumen nulo, existiendo al extremo de la carrera del compresor un espacio muerto, que se corresponde con el menor volumen ocupado por el gas en el proceso de compresión.

El espacio muerto altera de forma significativa el diagrama presión *v/s* volumen del compresor, mostrado en la figura 2.

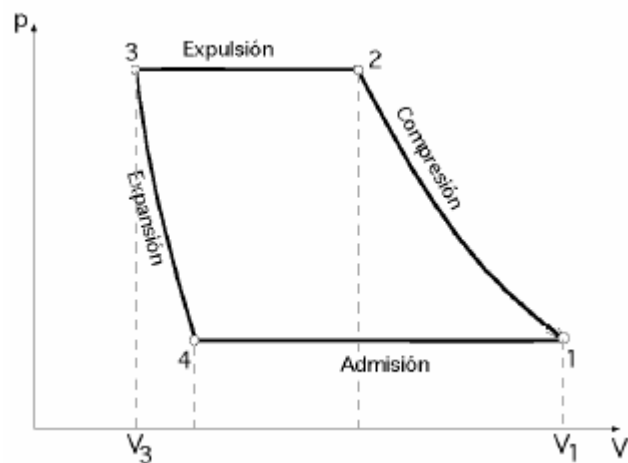


Fig.2 Efecto del espacio muerto.

v. Ciclo real.

En la figura 3 se muestra la forma aproximada del diagrama presión *v/s* volumen del ciclo real de un compresor. Las zonas punteadas corresponden al aumento de trabajo necesario, debido a la sobre presión que se necesita para abrir las válvulas y a las pérdidas en los conductos de aspiración y de descarga

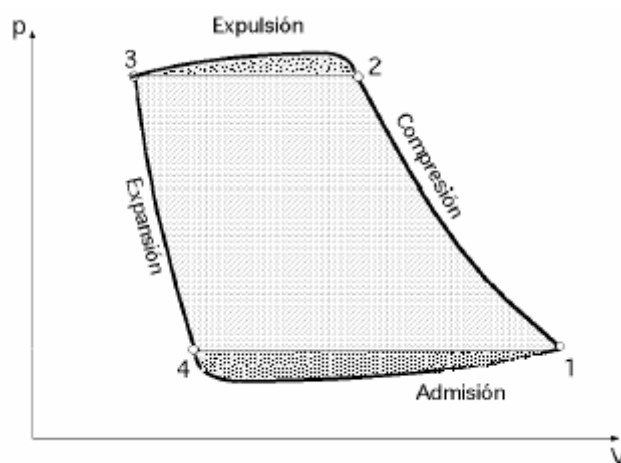


Fig.3 Ciclo real de un compresor.

vi. Trabajo de compresión

En la figura 4 se muestra el ciclo ideal para el caso de una compresión adiabática y para una compresión isotérmica. El trabajo realizado por el compresor es igual al área del diagrama presión v/s volumen. Se observa que el trabajo realizado es menor si la compresión es isotérmica y el ahorro de trabajo con respecto a la compresión adiabática está representado por el área doblemente achurada.

En la práctica se refrigeran los cilindros de los compresores con aire o con agua y se obtiene una evolución que está entre la isotérmica y la adiabática denominada evolución politrópica.

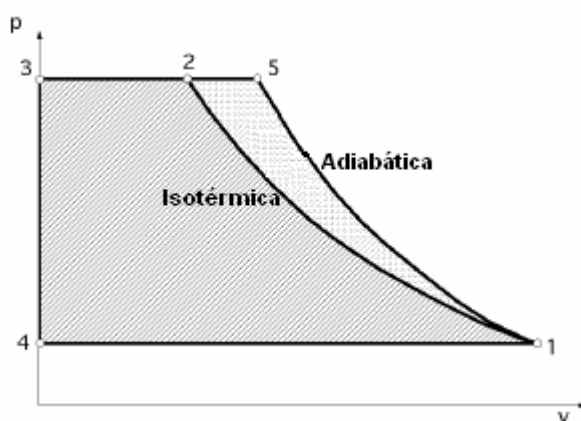


Fig.4 Evolución adiabática e isotérmica de un compresor.

vii. Compresión en etapas múltiples.

Todos los elementos básicos de los compresores, sin importar el tipo, tienen ciertas condiciones que limitan su operación. Los elementos básicos son de una sola etapa, es decir, la compresión y la entrega del gas se logra en un solo elemento o grupos de elementos configurados en paralelos. Las siguientes son algunas de las limitaciones más importantes:

- Temperatura de descarga.
- Diferencial de presión.
- Efecto del espacio libre (relacionado con la relación de compresión).
- El deseo de ahorrar energía.

La compresión en etapas múltiples tiene por objeto, reducir el trabajo de compresión, acercando la compresión politrópica hacia la compresión isotérmica. Se ocupan varios cilindros, el primero de ellos comprime hasta una presión intermedia y a la salida de éste el aire (o el gas que se trate) se enfría hasta la isoterma, a continuación de lo cual el siguiente cilindro comprime hasta una presión más alta.

En la figura 5 se muestra el ahorro de trabajo de un compresor de dos etapas con respecto a una compresión politrópica de una sola etapa. Este ahorro está representado por el área $2'-2-4'-3'-2'$.

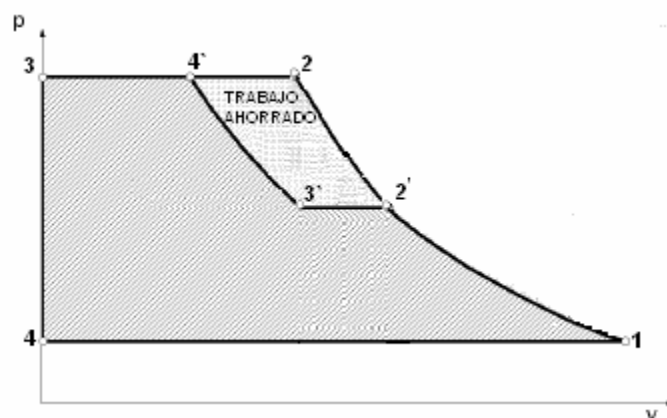


Fig.5 Trabajo ahorrado de compresión.

viii. Ecuaciones fundamentales

La capacidad de aire de un compresor es el caudal de aire libre, es decir, como el aire en condiciones ambientales expresado en volumen por unidad de tiempo (ejemplo $\left[\frac{m^3}{\text{min}} \right]$).

Se llama desplazamiento al volumen generado por el pistón desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI), o sea corresponde al área del pistón multiplicada por su carrera.

$$Desp = \frac{\pi * \phi^2}{4} * carrera [m^3]$$

El desplazamiento por minuto corresponde al caudal teórico de aire manejado por el compresor y se obtiene a partir de la multiplicación del desplazamiento por la velocidad de giro del volante (RPM).

$$\frac{Desp}{\text{min}} = Desp * RPM \left[\frac{m^3}{\text{min}} \right]$$

El rendimiento volumétrico de un compresor de émbolo se puede determinar midiendo el caudal de aire y el desplazamiento.

$$\eta_v = \frac{\text{Aire libre descargado} \left[\frac{m^3}{\text{min}} \right]}{\text{Desplazamiento} \left[\frac{m^3}{\text{min}} \right]}$$

La razón de compresión es el cociente entre la presión de descarga y la presión de entrada.

$$r_t = \frac{P_{descarga}}{P_{entrada}}$$

ix. Experiencia.

El laboratorio cuenta con un compresor de aire de dos etapas con refrigeración intermedia y de los cilindros, por aire. Éste es aspirado en condiciones ambientales, luego es comprimido en dos etapas para ser almacenado en un estanque de 300 [litros]. La presión nominal de descarga es de 10 [bar]. Las características del compresor son las siguientes:

N° ETAPAS	2	
N° cilindros	2	
Ø Cilindro de baja presión	3,74 [in]	95 [mm]
Ø Cilindro de alta presión	2,05 [in]	52 [mm]
Carrera	2,17 [in]	55 [mm]
Cilindrada	2,78 [cu in]	390 [cm ³]
Máx. velocidad de rotación	1400 [rpm]	1400 [min ⁻¹]
Aire aspirado	19,27 [cfm]	546 [l/min]
Aire descargado	15,5 [cfm]	440 [l/min]
Potencia del motor	5,5 [hp]	4.1 [KW]
Potencia absorbida	5.5 [KW]	
Presión de descarga 1° etapa	43,5 [psi]	3 [bar]
Presión de descarga 2° etapa	142 [psi]	10 [bar]

Para efectuar las mediciones, se pone en marcha el compresor estando el estanque vacío (Presión atmosférica). Entonces se mide la presión de descarga de cada etapa (la presión de aspiración de la segunda etapa corresponde a la presión de descarga de la primera) y las temperaturas de entrada y salida cada 15 segundos desde el momento en que se pone en marcha el compresor y hasta que la presión sea de 10 [bar],

Con las mediciones de presión de descarga y temperatura en cada etapa se puede reconstruir el ciclo en un diagrama presión *v/s* volumen. Con las mediciones de presión de descarga en función del tiempo se determina el caudal de aire libre en función de la presión de descarga. La manera de obtener los resultados se explicara en el laboratorio.

x. Informe.

1. Introducción.
 - Objetivos.
 - Tipos de compresores.
2. Esquema de la instalación.
3. Cálculos.
 - Datos experimentales.
 - Cálculos de caudal.
 - Reconstrucción del ciclo.
- 4 Gráficos.
- 5 Conclusiones.