

## -.MAQUINAS TERMICAS.-

## UNIDAD TEMATICA N°: 6:COMPRESORES.-

6-1).-GENERALIDADES: Como lo establecimos en la parte general, los compresores son máquinas de fluido térmicas generadoras, que comunican energía de presión a la sustancia de trabajo, confiriéndole capacidad para entre-energía mecánica al medio exterior, como por ejemplo en las máquinas herramientas neumáticas; accionamiento de servo mecánicos, etc. La sustancia de trabajo puede / ser un gas puro o mezcla de los mismos, vapor saturado o recalentado, etc+

Para el estudio del principio de funcionamiento de los compresores se admite que la sustancia de trabajo se comporta en general como un gas perfecto. En la práctica, que ello ocurra o no, depende del tipo de gas y de la presión a la que se encuentre. Con esta suposición y analizando la ecuación general de estado de un gas perfecto  $p \cdot v = R \cdot T$ , surge que la presión de la sustancia de trabajo podrá aumentarse, manteniendo constante el volumen y variando la temperatura o bien manteniendo constante la temperatura y variando el volumen.-

a).-Elevación de la presión por variación de la temperatura manteniendo constante el volumen: al ser  $v = cte$  la ecuación de estado indica que la presión es directamente proporcional a la temperatura, cumpliéndose para dos estados que:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{Gay-Lussac})$$

Este procedimiento tiene los siguientes inconvenientes:

- que si se necesita un gran aumento de presión, el consumo de energía en forma de calor para lograr, es elevado. Supongamos por ejemplo

que queremos elevar la presión del aire atmosférico que se encuentra a 20°C. de temperatura a 8 atm. La temperatura al final de la compresión será:

$$T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1} = 293 \times 8 = 2.344 \text{ K} = 2071^\circ\text{C} \quad \text{resultando el calor necesario a suministrar} \quad q = c_v (T_2 - T_1) = 0,1715(2.344 - 293) = 352 \text{ Kcal/kg}$$

-que si el aire no es utilizado inmediatamente, disminuye la temperatura y consecuentemente la presión ( $p = f(t)$ )

- que el proceso es discontinuo, ya que se debe vaciar completamente el recipiente para iniciar un nuevo ciclo.-

- que al abrir la válvula para vaciar el recipiente, se producirá una cierta expansión, por más rápido que sea el proceso de vaciamiento.

Por ello este procedimiento es limitado en su uso.-

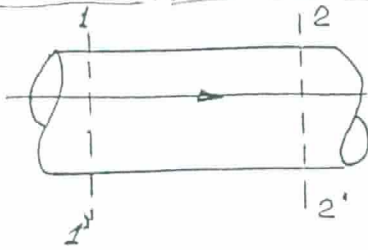
b).-Elevación de la presión por variación del volumen manteniendo constante la temperatura: Al ser  $t = cte$  la ecuación de estado indica que la presión es inversamente proporcional al volumen, y por lo tanto para dos estados será:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad (\text{Gay-Lussac})$$

Si bien en la práctica la relación anterior no se cumple en un 100%, la relación  $p_2/p_1$  varia en el mismo sentido que  $v_1/v_2$  lo que significa que siempre una reducción de volumen provocará un aumento de presión. Este procedimiento si es utilizado en la práctica, y como se demostro oportunamente, constituye el Principio

.../// del Desplazamiento Positivo.-

El otro procedimiento utilizado en la práctica es el denominado de COMPRESION DINAMICA, que se basa en lo siguiente: Si en un conducto por el cual circula un



fluído a caudal másico constante, consideramos / dos secciones cualquiera, tendremos como sistema entre las mismas a un volumen de control. De acuerdo al Primer Principio y aplicando Bernouilli

tendremos:

$$p_1 + \frac{v_1^2}{2} + z_1 = p_2 + \frac{v_2^2}{2} + z_2$$

Normalmente  $z_1 = z_2$ , y si además suponemos que el fluido circula en condiciones ideales es decir sin rozamiento será también:

$$p_1 + \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

de donde:  $p_2 - p_1 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$ , lo que indica que podemos elevar la presión

por variación de la velocidad de fluido.-

Resumiendo: los métodos utilizados para elevar la presión de un gas son:

- Reducción de volumen (principio del desplazamiento positivo)
- Compresión dinámica (Ecuación de Euler)

En el primer caso tenemos los compresores alternativos y los rotativos y en los segundos los turbocompresores.-

Sin que ello sea excluyente, los compresores de desplazamiento positivo se utilizan para presiones elevadas y caudales moderados, características que permiten un mejor aprovechamiento desde el punto de vista del rendimiento y económico. Los cinéticos se utilizan para condiciones inversas. En la práctica, se presentan sin embargo situaciones en que aún para pequeños caudales se debe utilizar un turbo compresor, como sería por ejemplo el caso, que el fluido a comprimir no admite bajo ningún punto de vista contaminación de lubricante. En estos casos se debe tener en cuenta, que si bien la presión engendrada se puede aumentar aumentando la velocidad de rotación, esto está limitado por el valor de la velocidad tangencial que se alcanza, que por resistencia de material de construcción utilizado normalmente, no debe sobrepasar los 200 m/seg (el acero se acerca a su límite elástico). Sabemos de acuerdo a Euler que para  $\alpha_1 = 90^\circ$  es:

$$H_{t\alpha} = u_2 \cdot c_{u2} ; \text{ a su vez } c_{u2} = K u_2 ; \text{ luego será también } H_{t\alpha} = k' u_2^2$$

siendo  $k' = 0,5-0,7$ .- Si tomamos para  $u_2$  el límite indicado tendremos:

$$H_{t\alpha} = 0,6 \frac{200^2}{9,81} \left[ \frac{\frac{m}{seg}}{\frac{m}{seg}} = m \right] = 2.500 \text{ m.c. aire}$$

$$y \quad P = H \cdot \gamma = 2.500 \cdot 1,29 \left[ \frac{m \cdot kg}{m^3} \right] = 3225 \text{ kg/m}^2 = 0,32 \text{ kg/cm}^2$$

los resultados anteriores indican que para aumenta la presión final debemos utilizar más de un rotor dispuesto en serie. No obstante lo indicado anteriormente, los turbocompresores presentan con respecto a los alternativos las siguientes ventajas

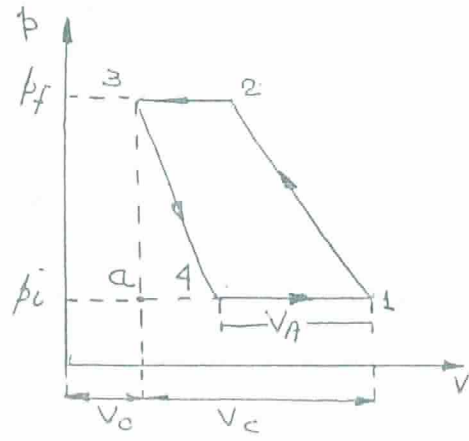
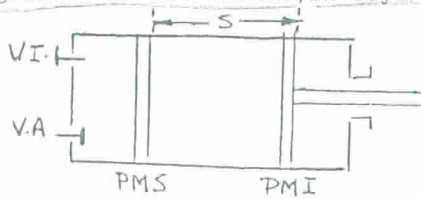
- construcción más compacta, por lo tanto menor volumen y peso.-
- menor mantenimiento por carecer de válvulas, y mecanismos de inversion de movimiento.-



...///

6-2).-Compresores de Desplazamiento Positivo: Como la única condición que establece el P.D.P, es que el aumento de presión se logre por reducción de volumen de la cavidad o celda que encierra al fluido, los compresores de este grupo pueden de desplazamiento rectilíneo alternativo o rotatorios (rotoestáticos).-

6-2-1) De desplazamiento rectilíneo alternativo: En su forma más simple está constituido por un cilindro de paredes rígidas e indeformables, en cuyo interior se desplaza un pistón ó émbolo con movimiento rectilíneo alternativo, y que pose uno de sus extremos una tapa (culata), con / dos válvulas, normalmente a resorte, que se denominan respectivamente de admisión y de impulsión. Para su estudio se definen los siguientes parámetros:



Para su estudio se definen los siguientes parámetros:

-Punto muerto superior (p.m.s) posición extrema próxima a la tapa.-

-Punto muerto inferior (p.m.i.) posición más alejada de la tapa.-

-Carrera: longitud existente entre el p.m.s y el p.m.i.

-Volumen de cilindrada, volumen del cilindro comprendido entre el pistón en el p.m.s. y p.m.i.-

-Volumen de espacio nocivo, volumen del cilindro comprendido entre la tapa de cilindro y el pistón en el p.m.a.

-Relación de espacio nocivo a la existente entre el volumen de espacio nocivo y el de cilindrada.-

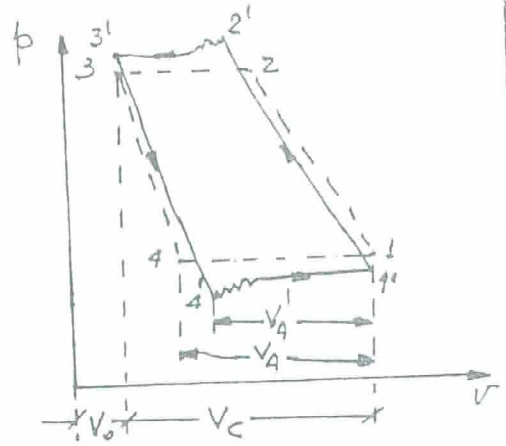
-Relación ó tasa de compresión a la relación entre la presión final y la inicial.-

-Relación o tasa de compresión volumétrica a la relación entre el volumen inicial y el volumen final.-

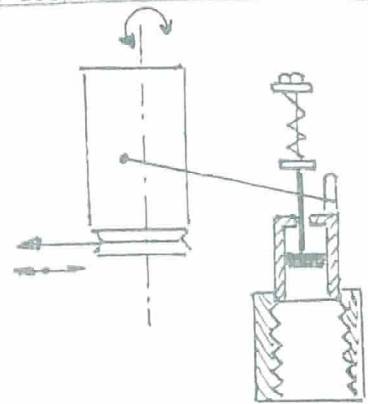
El estudio de un compresor alternativo se realiza normalmente sobre un diagrama p-v. Si consideramos que el cilindro está vacío y el émbolo en el p.m.s., al iniciarse su desplazamiento hacia el p.m.i, se abre la válvula de admisión, penetrando al cilindro el fluido de trabajo (a), situación que continúa a medida que avanza hacia el p.m.i, teóricamente a presión constante (evolución a-1), y que no constituye un proceso de cambio termodinámico. Cuando el émbolo llega al p.m.i. se cierra la válvula de admisión, permaneciendo también cerrada la de impulsión y comienza el proceso de compresión que si constituye un cambio de estado termodinámico, que de acuerdo a lo estudiado en Termodinámica Técnica, puede ser isotérmico, politrópico ó adiabático. Antes que el pistón llegue al p.m.s, y de acuerdo a la presión de trabajo establecida, se produce la apertura de la válvula de impulsión (escape) produciéndose la expulsión del gas comprimido (2-3). Cuando el émbolo llega al p.m.s., se cierra la válvula de impulsión y el mismo comienza su carrera de retroceso, permaneciendo cerrada ambas válvulas. Como en el volumen de espacio nocivo queda una cierta cantidad de fluido a la presión final de trabajo, el mismo se expande, impidiendo que penetre nuevo fluido del exterior (3-4). Recien cuando la presión en el interior del cilindro es igual a la exterior penetra nuevo fluido al cilindro al abrirse la válvula de admisión por el vacío que produce el émbolo en su

...///desplazamiento hacia el punto muerto inferior.-  
 El diagrama real difiere del teórico en lo siguiente:

- la admisión se produce a una presión menor que la existente en la fuente de alimentación, consecuencia que primero debe expandirse el gas contenido en el volumen de espacio nocivo, para permitir la entrada de nuevo fluido. Además existe cierta inercia del mecanismo de la válvula que provoca que la apertura de la misma no sea espontánea. Como consecuencia de ello el volumen aspirado resulta también menor.
- por el mismo motivo (inercia de las válvulas) la presión final de compresión es mayor.-



En la práctica el diagrama de funcionamiento de un compresor alternativo (y en general en toda máquina de movimiento rectilíneo alternativo), se obtiene en un aparato de ensayo denominado INDICADOR, y consecuentemente el diagrama obtenido es el diagrama del indicador. En términos generales el aparato indicador está constituido por un cilindro de pequeñas dimensiones, que se monta en el cilindro, por una unión roscada. Dentro del cilindro pequeño se desplaza un émbolo, una de cuyas caras está sometida a la presión existente en el cilindro de la máquina y la otra a la tensión de un resorte intercambiable, de acuerdo a la presión de trabajo de la máquina. El vástago del émbolo del cilindro pequeño mueve por medio de una articulación un brazo en cuyo extremo lleva un marcador. Este último traza el diagrama sobre el papel colocado sobre un cilindro, conectado al vástago del cilindro de la máquina, realizando por tal motivo un movimiento de vaivén. Comúnmente el diagrama obtenido se lo denomina, por su forma, "diagrama del zapato". Por método gráfico o con un planímetro se puede determinar el área del diagrama, y calcular la presión media indicada.-



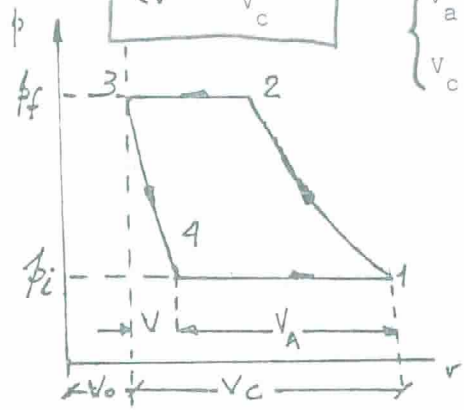
6-2-1-1). -Rendimiento volumétrico: Se lo define como la relación entre el volumen aspirado y el volumen de cilindrada

$$\eta_v = \frac{v_a}{v_c}$$

donde:  
 $v_a$  = volumen aspirado ( $m^3$ )  
 $v_c$  = volumen de cilindrada ( $m^3$ )

Suponiendo que la expansión del gas remanente que ocupa el volumen de espacio nocivo es politrópica, que es la evolución a la que más se aproxima a la práctica, y en base al diagrama de la figura, podemos establecer las siguientes relaciones

$$v_a = v_c - v \Rightarrow \eta_v = \frac{v_c - v}{v_c} = 1 - \frac{v}{v_c}$$



$\eta = \frac{v_a}{v_c} = \frac{13}{14} = 0,93$

$v_a = 10$   
 $v_c = 14$

...///podemos hacer:

$$\frac{v}{v_c} = \frac{v}{v_o} \cdot \frac{v_o}{v_c} = \epsilon \cdot \frac{v}{v_o}$$

para la politrópica 3-4 será:

$$p_f \cdot v_o^n = p_o (v_o + v)^n \text{ de donde}$$

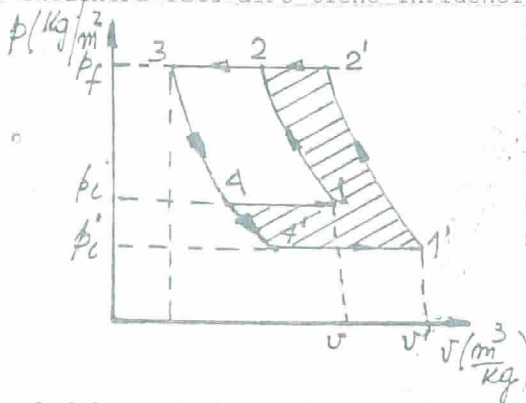
$$\frac{p_f}{p_o} = \frac{(v_o + v)^n}{v_o^n} = 1 + \left(\frac{v}{v_o}\right)^n$$

$$\frac{v}{v_o} = \left(\frac{p_f}{p_o}\right)^{1/n} - 1 \text{ con lo cual resulta:}$$

$$\eta_V = 1 - \epsilon \left[ \left(\frac{p_f}{p_o}\right)^{1/n} - 1 \right]$$

El valor de  $v$  depende del valor de  $v_o$  ya que cuando mayor es este último, quedara mayor cantidad de gas remanente, que debe expandirse hasta la presión de admisión. El volumen de espacio nocivo es necesario para permitir la instalación de las válvulas de admisión y de impulsión, pero se debe procurar que sea el menor posible.

6-2-1-2).-Aire libre: Se denomina de esta manera al aire atmosférico que existe en una determinada situación geográfica. Las condiciones en que se encuentra este aire tiene influencia, en el funcionamiento de un compresor.-



En efecto sabemos que a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, disminuye la presión y temperatura del aire atmosférico, aumentando su volumen específico. Es necesario por lo tanto estudiar la influencia que tiene el valor de los parámetros mencionados en el funcionamiento del compresor..

En el diagrama de la figura tenemos representado el diagrama 1-2-3-4 de un compresor que supondremos instalada a nivel del mar, y el 1'-2'-3'-4' instalada a 3.000 m.s.

nivel del mar. Podemos observar lo siguiente:

a).- que el volumen específico del aire a aumentado de  $v$  a  $v'$ . Es decir será  $v' > v$  ó bien  $v' = \phi \cdot v$  siendo  $\phi$  un coeficiente  $> 1$

b).- que aumenta la relación de compresión  $\frac{p_f}{p_i} > \frac{p_f}{p_i}$ , lo que provoca

- 1.- disminución del rendimiento volumétrico
- 2.- disminución del volumen aspirado
- 3.- aumenta la potencia a suministrar
- 4.- aumenta la temperatura final de compresión, que puede tener influencia en el sistema de lubricación
- 5.- disminuye la masa de aire aspirado ( $G = V/v$ )

6-2-1-3).-Presión máxima de trabajo; A medida que aumenta la presión final de compresión, disminuye el volumen aspirado, como consecuencia que el gas remanente tiene mayor presión y como el movimiento del embolo es mecánico se desplazara mayor distancia antes que se produzca la apertura



.../// de la válvula de admisión. Se llegará a un valor de presión final en que la expansión de los gases remanentes que ocupan el volumen de espacio nocivo, seguirá la misma evolución que la compresión politrópica y no se producirá aspiración de nuevo gas. El rendimiento volumétrico en estas condiciones será igual a cero. El valor de la presión que se podrá llegar para una determinada distribución (reglaje) del compresor, lo podemos calcular igualando a cero la expresión del rendimiento volumétrico, y operando:

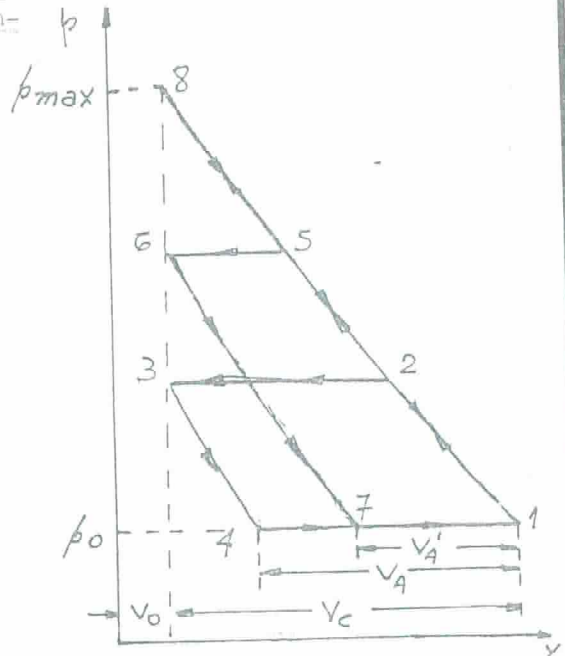
$$\eta_v = 1 - \epsilon \left[ \left( \frac{p_{max}}{p_o} \right)^{1/n} - 1 \right] = 0$$

de donde:

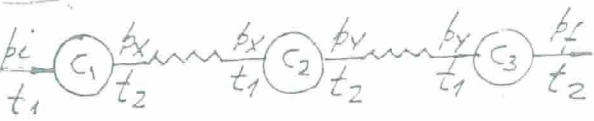
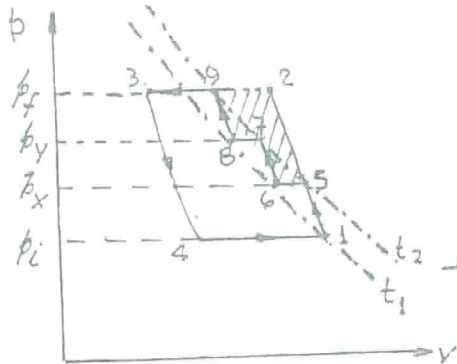
$$\epsilon \left[ \left( \frac{p_{max}}{p_o} \right)^{1/n} - 1 \right] = 1$$

$$\left( \frac{p_{max}}{p_o} \right)^{1/n} = \frac{1}{\epsilon} + 1$$

resultando 
$$p_{max} = p_o \left( \frac{1}{\epsilon} + 1 \right)^n$$



6-2-1-4). - Compresión en etapas: Cuando la relación de compresión a obtener es elevada, la misma debe ser realizada en etapas con enfriamiento intermedio. El fluido refrigerante es normalmente agua, y el proceso puede realizarse en el mismo compresor o en un refrigerante separado (refrigeración interna y externa respectivamente). La compresión en etapas tiene la ventaja que para una misma presión final, el consumo de potencia es menor.



Si la compresión se realiza en una sola etapa el trabajo de compresión requerido está dado por el área 1-2-3-4, Si la efectuamos en tres etapas por el área 1-5-6-7-8-9-3-4. Es decir el trabajo requerido, y consecuentemente la potencia es menor. - El trabajo total a suministrar será la suma del requerido en cada etapa. Considerando la compresión politrópica tendremos:

$$W_{1-5} = \frac{n}{n-1} R_t T_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_x}{p_i} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

$$W_{6-7} = \frac{n}{n-1} R_t T_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_y}{p_x} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

...///

$$W_{8-9} = \frac{n}{n-1} R_t T_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_f}{p_y} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

el trabajo total de compresión

será:

$$W_t = \frac{n}{n-1} R_t T_1 \left[ 3 - \left( \frac{p_x}{p_i} \right)^{\frac{n-1}{n}} + \left( \frac{p_y}{p_x} \right)^{\frac{n-1}{n}} + \left( \frac{p_f}{p_y} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

por ser de compresión será negativo  $(-W_t)$

Desde el punto de vista del consumo de potencia y por lo tanto económico, su valor debe ser el mínimo posible. Para que ello ocurra la sumatoria de las relaciones de presiones debe ser MINIMA. A su vez el producto de estas relaciones de presiones es constante:

$$\frac{p_x}{p_i} \cdot \frac{p_y}{p_x} \cdot \frac{p_f}{p_y} = cte = \frac{p_f}{p_i}$$

El análisis matemático establece que la suma de tres número X;Y;Z cuyo producto es constante es minima, cuando los tres números son iguales. Luego deberá ser

$$\frac{p_x}{p_i} = \frac{p_y}{p_x} = \frac{p_f}{p_y}$$

si ello se cumple podemos expresar que:

$$\frac{p_x}{p_y} = \frac{p_x^3}{p_i p_x p_y p_f} = \frac{p_f}{p_i}$$

de donde

$$p_x = p_i \sqrt[3]{p_f/p_i} = \sqrt[3]{p_f \cdot p_i}$$

expresión que permite calcular la primer presión intermedia con el mismo razonamiento será:

$$p_y = p_x \sqrt[3]{p_f/p_i}$$

y así sucesivamente si el compresor fuera de m etapas.-

6-2-1-5).-Dimensionamiento del cilindro de un compresor alternativo: Si designamos por:

- d = diámetro interior del cilindro
- s = carrera del émbolo
- n = numero de vueltas o ciclos mecánicos por minuto
- $\eta_v$  = rendimiento volumétrico

podemos establecer las siguientes relaciones:

$$\text{Volumen aspirado} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot s \cdot \eta_v$$

$$\text{Caudal aspirado} = \frac{\pi d^2}{4} s \eta_v n$$

si designamos por  $\beta = \frac{s}{d}$  será tambien:

$$\text{caudal aspirado} = Q_a = \frac{\pi d^2}{4} d \cdot \beta \eta_v n = 0,785 d^3 \beta \eta_v n$$

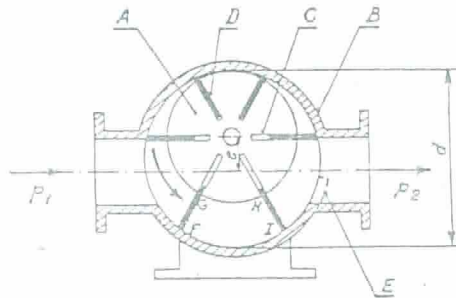
...//de donde :

$$d = \sqrt[3]{\frac{Q_a}{0,785 \cdot \eta_v \beta n}} \quad -R-$$

expresión que deberá completarse con los coeficientes numéricos que resultan de la conversión de unidades.-

6-2-2).-Compresores rotativos: Como la condiciones establecida por el P.D.P., es que el desplazamiento del fluido y consecuentemente el aumento de presión se logre por una disminución del volumen de la cavidad ó / celda que encierra al mismo, el rotor y carcasa, pueden tener distintas formas, y por consiguientes existen una gran variedad de compresores rotativos de D.P., siendo característica de los mismos que no poseen válvulas. Los más comunes son: a) de paletas deslizantes, b) de rotores lobulares y c) de rotores helicoidales (de tornillos).-

a).-De paletas deslizantes: El compresor tiene un sólo rotor, que gira en forma excentrica con respecto a la carcasa, y que posee ranuras radiales donde se desplazan por efecto centrífugo unas paletas ó aletas. El espacio comprendido entre dos áletas consecutivas forma una cavidad o celda estanca, en cuyo interior es transportado el fluido desde la entrada a la salida del compresor. En este tipo de compresor, el aumento de presión es consecuencia que el / fluido es tomado a una presión  $p_1$  es desplazado por las paletas y puesto en contacto bruscamente con la impulsión, donde existe una presión superior. Como consecuencia de ello el incremento de presión que se logra no es elevado. Para incrementarlo se prolonga la envolvente de la carcasa del lado de la impulsión, que disminuye el volumen de fluido desplazado, antes de ponerlo en contacto con la impulsión. Se mejora también la relación de presión aumentando el número de aletas.-

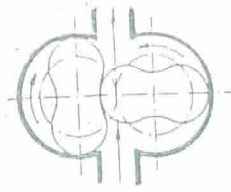
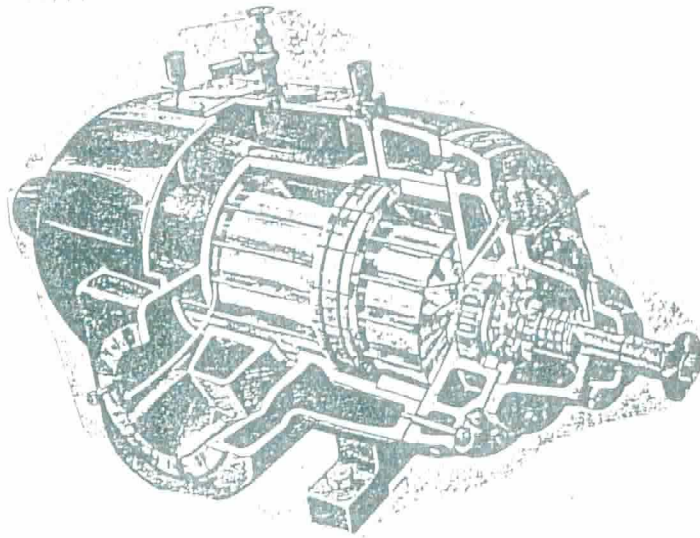


- A = rotor
- B = envolvente o carcasa
- C = ranuras radiales del rotor
- D = paletas ó aletas
- e = excentricidad del rotor
- FGHI = celda
- E = prolongación de la envolvente

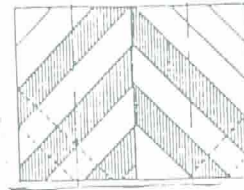
La estanqueidad de cada celda será tanto mayor cuanto mayor es la fuerza que cada paleta ejerce sobre la pared interior de la carcasa. Es decir el huelgo entre rotor y carcasa debe ser el mínimo posible compatible con correcto funcionamiento de ambos elementos. Esta situación provoca por una parte, un mayor efecto de rozamiento y en consecuencia potencia y por la otra desgaste de los extremos de las paletas.

Para disminuir el efecto de rozamiento entre las partes, se colocan anillos compensadores entre aletas y carcasa. Estos anillos son arrastrados por las aletas con un ligero desplazamiento (giran a la vez que se desplazan). De esta manera absorben los empujes centrífugos de las paletas e impiden que estas ejerzan presión sobre la envolvente fija. Los anillos poseen un determinado número de agujeros para equilibrar las presiones interior y exterior al anillo en sí. Otra solución es dar a la extremidad de las aletas una forma perfilada para facilitar la formación de una película lubricante, que asegurando estanqueidad, reduzca el efecto de rozamiento.-





compresores lobulares



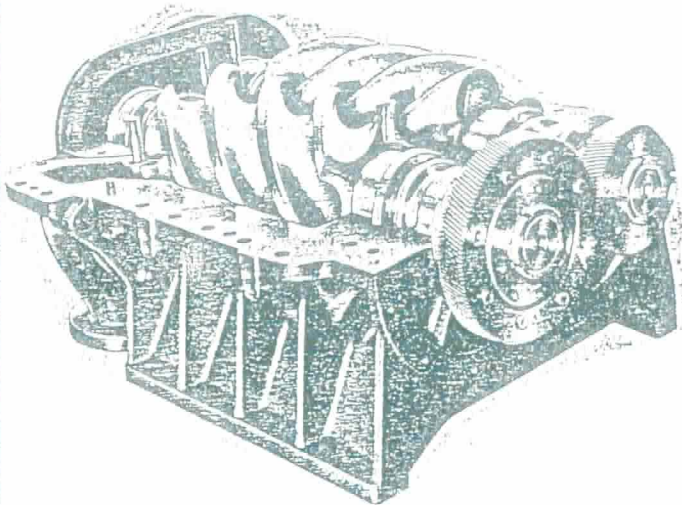
rotores helicoidales

de aletas con anillos deslizantes

b).-De rotores lobulares: En este caso la cavidad de volumen variable se forma entre dos ó más rotores en forma de ocho montados sobre ejes paralelos,actuando uno de ellos como motor,accionado a su vez exteriormente por intermedio de engranajes.-

c).-Compresores de rotores helicoidales:El dentado de los rotores como su nombre lo indica es helicoidad.Uno de los rotores esta provisto de lóbulos (por ejemplo de perfil circular)y el otro de acanaladuras en los cuales se introducen los lóbulos en el curso de la rotación.El mo-

vimiento de rotación del fluido está combinado de esta manera con un movimiento de traslación en el sentido axial.Esta situación obliga a desplazar los orificios de aspiración e impulsión en el sentido del eje de la máquina, y al mismo tiempo que disminuya el volumen de la cavidad y por consiguiente del fluido,suficiente para lograr el aumento de presión. Normalmente el número de acanaladura (o filetes huecos), es mayor que el de lóbulos(ó filetes salientes).-



6-3).-Compresores Cinéticos ó Dinámicos:Pertenece a estos grupos los TURBOCOMPRESORES,que como lo establecimos anteriormente son Turbomáquinas Termicas Generadora,cuyo principio de funcionamiento responde a la Ecuacion de Euler.También se los denominan "Máquinas de Corriente" porqué los cambios de energía cinética que se producen en el fluido en su impulsión a través del rodete son significantes,desde el punto de vista de la transmisión de la energía.Su clasificación se realiza desde distintos puntos de vista siendo la más aceptada la que se efectúa según la dirección del flujo del fluido de trabajo en su paso a través del rodete.Desde este punto de vista se tiene a)

Centrífugos,cuando el fluido es impulsado en el rodete en planos transversales al eje de la máquina.Si bien la entrada del fluido es axial al eje,su desplazamiento

...///miento es radial debido al efecto centrífugo. b) Axiales, cuando el fluido es impulsado en el rodete en planos cilíndricos concéntricos con respecto al eje de la máquina. Es decir si bien los compresores axiales son giratorios, no producen efecto centrífugo. La velocidad de desplazamiento del fluido tiene una componente periférica tangente al círculo transversal al eje, que pasa por el punto considerado. Como consecuencia de ello la trayectoria de cada partícula del fluido en la corona móvil es un arco de hélice.- c) Diagonales, denominados también helicocentrífugos; semi-axiales; radioaxiales ó de flujo mixto, cuando el desplazamiento del fluido en el rodete es combinado es decir axial-radial.-

Otra clasificación usada es agruparlos en:

1.- Refrigerados: cuando la relación de compresión es mayor a 2,5-3.-

2.- No refrigerados: cuando la relación de compresión es menor a 2,5. Se los denominan también TURBOSOPLANTES.-

Los turbocompresores centrífugos presentan las siguientes ventajas con respecto a los axiales:

- mayor robustez, por lo tanto mayor duración y seguridad de uso.-
- mayor relación de compresión por escalonamiento, por lo tanto menor número de escalonamiento para una misma relación de compresión
- mayor estabilidad de funcionamiento

Los axiales a su vez tienen las siguientes ventajas:

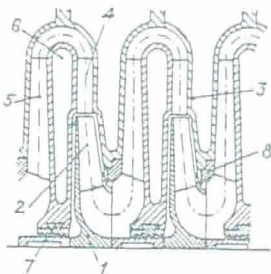
- menor volumen y peso para una misma capacidad.-
- menor area frontal.-
- suministran mayor caudal.-

Las dos ultimas condiciones hace a los turbocompresores axiales los más aptos para su uso en los turborreactores.-

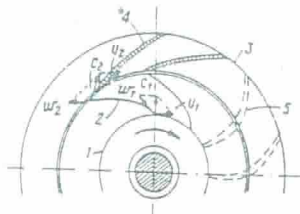
En general cada uno de ellos tienen su campo específico de aplicación. Los centrífugos se adaptan perfectamente desde caudales pequeños ( $0,1 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) hasta  $50 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Los axiales no admiten caudales menor de  $4-5 \text{ m}^3/\text{seg}$ , pero pueden llegar a valores mayor de  $100 \text{ m}^3/\text{seg}$ , a presiones moderadas.-

Tanto en los turbocompresores centrífugos como axiales, los elementos básicos, como en el caso de la turbina de vapor son un rotor o corona móvil y una corona fija, colocados en el orden mencionado para constituir un escalonamiento. Es decir en el mismo se produce una transformación inversa a la indicada en la turbina. En este caso primero se transforma energía mecánica proveniente del motor de accionamiento en energía de velocidad y luego esta es convertida en energía de presión, constituyendo por lo tanto la corona fija un DIFUSOR.

6-3-1).- Turbo compresores centrífugos: La corona móvil es un rotor provisto de álabes, rodeado por una envolvente o carcasa donde esta construido el difusor; el canal de inversión de flujo; el canal de alimentación al rotor siguientes, y los canales para la refrigeración interna.-



Sección longitudinal esquemática de un compresor centrífugo multicelular.



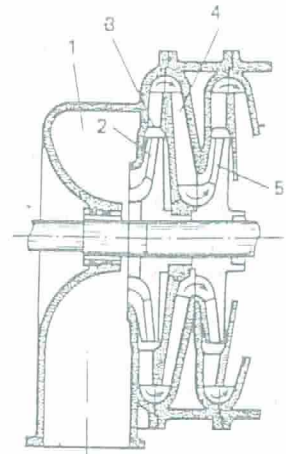
Sección transversal de un compresor centrífugo.

.../// en la figura anterior tenemos:

1 rodete; 2 álabes; 3 difusor; 4 álabes del difusor; 5 álabes fijos; 6 diafragma de cierre; 7 y 8 juntas laberínticas.-

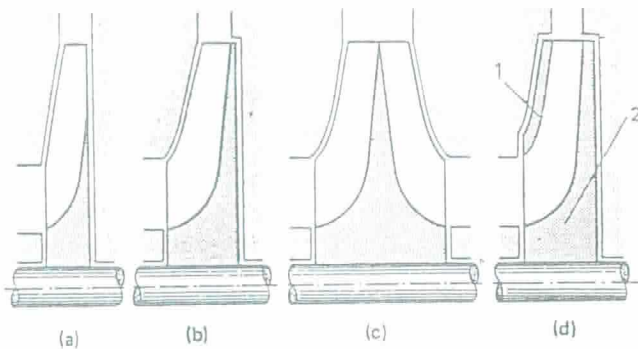
En la figura siguiente que representa el corte longitudinal de un compresor centrífugo tenemos:

- 1 dispositivo de admisión por donde el fluido penetra al primer escalonamiento.-
- 2 rodete del primer escalonamiento dotado de un cierto número de álabes.-
- 3 difusor
- 4 canal de reversión del flujo del fluido hacia el rodete siguiente.-



-Corte longitudinal de un compresor centrífugo.

El rodete de los compresores pueden ser : a) abierto (los álabes se fijan solamente al cubo del rodete) que tienen poca resistencia y son cada vez menos utilizados.- b) semi-abierto (los álabes se fijan a un sólo disco lateral c) de doble aspiración; d) rodete cerrado. Actualmente los que más se utilizan son los semi-abiertos. Los álabes en los mismos son con frecuencia de salida radial, pero cerrados a la entrada, a fin de que el ángulo  $\beta_1$  de la velocidad relativa a la entrada sea el resultante de la entrada radial de la velocidad absoluta, para un ángulo  $\alpha_1 = 90^\circ$ . La salida de los álabes es radial, a fin de que se reduzcan los esfuerzos centrífugos y únicamente se produzcan esfuerzos de tracción, lo que facilita la fijación de los álabes a un solo disco. Con este tipo de rodete se pueden soportar velocidades periféricas superiores a los 450 m/seg.



-Tipos de rodetes de los turbocompresores: a) abierto; b) semiabierto; c) doble aspiración; d) cerrado.

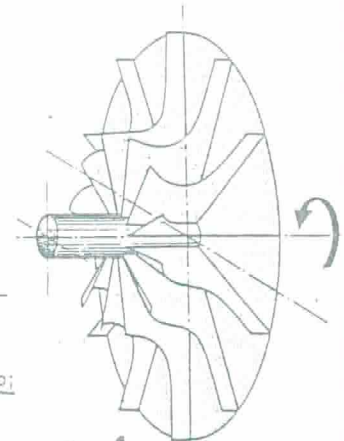
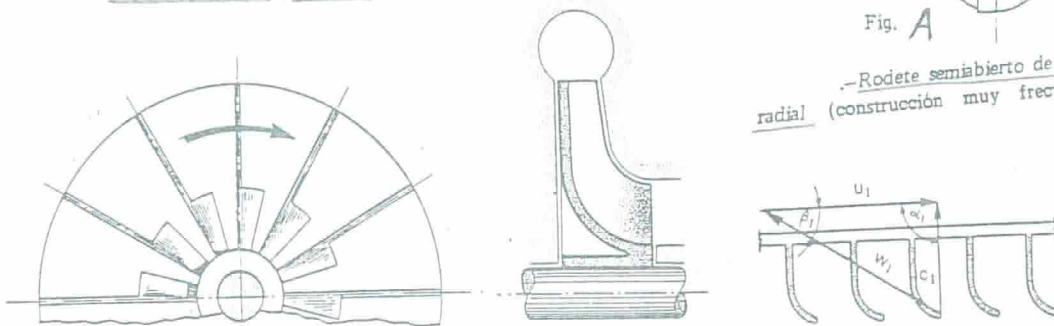


Fig. A

-Rodete semiabierto de salida radial (construcción muy frecuente).



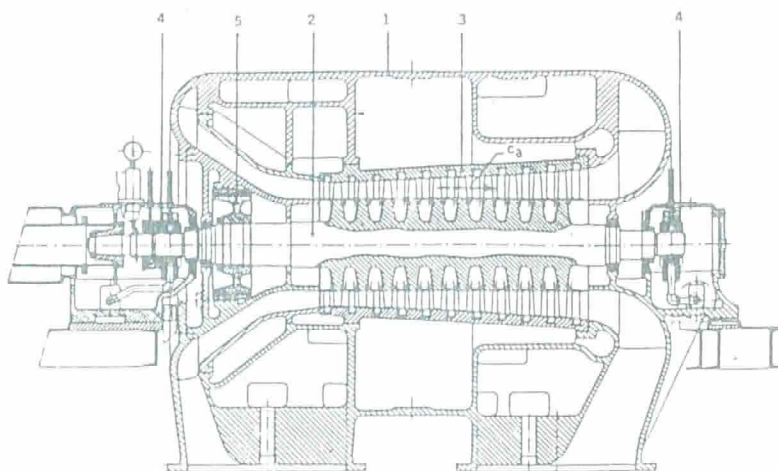
-Tres cortes del rodete del tipo de la Fig. A

SR



...///,

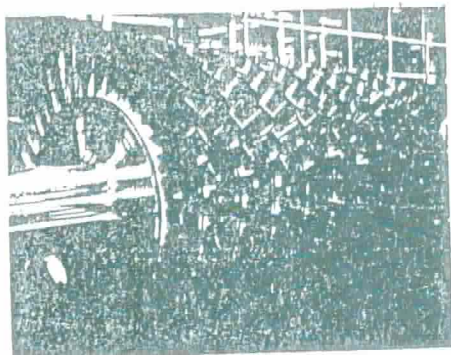
6-3-2).-Turbocompresores Axiales: como ya mencionamos anteriormente los turbocompresores axiales (y en general toda turbomáquina axial), son rotativos, pero no centrífugos ni centrípetos. En la figura siguiente tenemos el corte longitudinal o meridional de un turbocompresor axial (corte por un plano que pasa por el eje geométrico de la máquina), de varios escalonamientos:



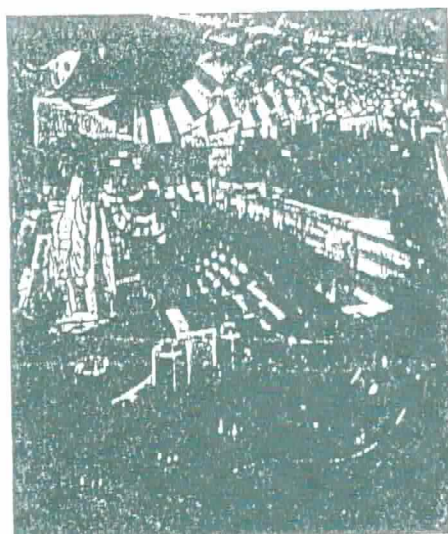
-Corte longitudinal o meridional del compresor axial,

1. Carcasa biseccionada, 2. Rotor forjado con seis álabes, 3. Portador de los álabes directrices con los álabes directrices, 4. Cojinetes lubricados por aceite a presión; 5. Embrío compensador de empuje axial.

y a continuación un rotor donde se observan los álabes (figura de la izquierda) y el conjunto corona móvil-corona fija, desmontados (figura de la derecha), donde puede apreciarse la disposición de los álabes fijos dispuestos en la carcasa y los móviles en el rotor.-



-Rotor de un compresor industrial de 10 escalonamientos de la firma Gutehoffnungshütte de Alemania, de alto rendimiento para comprimir gas o aire, utilizado en industrias químicas, sistemas de licuefacción de aire, etc...



-Compresor Sulzer AV con una potencia de accionamiento de 88000 kW, destinado a una planta de licuefacción de gas natural. (Este mismo tipo se ofrece en potencias hasta de 100.000 kW). El rotor desmontado con los álabes móviles de los diversos escalonamientos deja visibles los álabes estacionarios, fijados al estátor de la máquina.