



# Escuela Superior Tepeji del Río





Área Académica: Ingeniera Industrial

Tema: Maquinas Termicas

Profesor(a): Miguel Angel Hernández  
Garduño

Periodo: julio- diciembre 2011



Tema:

## Abstract

**EXPLICAR EL FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN DE LAS PRINCIPALES MÁQUINAS E INSTALACIONES TERMICAS MÁS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA**

**Keywords:** Vapor, Maquina Termica, termodinamica, calor



## Desarrollo del Contenido

### 1.- CONCEPTOS BÁSICOS, VAPOR Y COMBUSTIÓN

1.1 PRESENTACIÓN, EXÁMEN DE DIAGNÓSTICO

1.2 CALORIMETRÍA DEL VAPOR

1.3 COMBUSTIÓN Y COMBUSTIBLES

1.4 AIRE TEÓRICO Y AIRE REAL



**VAPOR**

# Temperatura de saturación

Es la temperatura a la cual tiene lugar la evaporación de un líquido a una presión dada y a tal presión se le llama **PRESION DE SATURACION** correspondiente a la temperatura dada.

## Ejemplo:

Para agua a  $100^{\circ}\text{C}$  la presión de saturación es de  $1.03323 \text{ kg fuerza/cm}^2$  y para agua a  $1.03323 \text{ kg fuerza/cm}^2$  la temperatura de saturación es de  $100^{\circ}\text{C}$ .

- a. Pequeños cambios de presión, hay grandes cambios en la temperatura.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- b. Grandes cambios de presión, hay pequeños cambios de temperatura.



# Formulas

- Calor latente o entalpia de evaporación = calor o entropía de vapor – calor o entalpia del liquido.

$$h_{fg} = h_g - h_f$$

$$h = h_f + X * h_{fg}$$

$$u = u_f + X * u_{fg}$$

$$v = v_f + X * v_{fg}$$

$$s = s_f + X * s_{fg}$$

# Ejemplo:

Un vapor a  $300^{\circ}\text{F}$  tiene una calidad de 85% calcular su volumen específico, su entalpia y su energía interna.

En base a los  $300^{\circ}\text{F}$  se va a las tablas de vapor saturado se toman los respectivos valores para sustituir en las formulas.

Tabla de datos	
P	67.013 psia
$V_f$	0.01745
$H_f$	269.59
$S_f$	0.4369
$U_f$	269.3736
$V_{fg}$	6.449
$H_{fg}$	910.1
$S_{fg}$	1.1980
$U_{fg}$	830.1267

$$u = h - P_v(f)$$

$$U_f = 269.59 - (67.013 * 0.01745)(0.185052) = 269.3736$$

$$U_{fg} = 910.1 - (67.013 * 6.449)(0.185052) = 830.1267$$

$$v = 0.0175 + (0.85 * 6.449) = 5.449$$

$$h = 269.59 + (0.85 * 910.1) = 1043.175$$

$$s = 0.4369 + (0.85 * 1.1980) = 1.4552$$

$$u = 269.3736 + (0.85 * 830.1267) = 974.8913$$

# Vapor saturado

Presión absoluta = presión atmosférica -  
vacío.

Las columnas barométrica y de vacío pueden corregirse a mercurio a 32°F restando  $0,00009 \times (t - 32) \times$  altura de columna, siendo  $t$  la temperatura de la columna en grados Fahrenheit.

1 pulg de mercurio a 32°F = 0,4912 lbf/pulg<sup>2</sup>.

Lectura barométrica: 30,17 pulg a 70°F.

Lectura de la columna de vacío: 28,26 pulg a 80°F.

# EJEMPLO

Presión absoluta =  $(30,17 - 0,00009 \times 38 \times 30,17) - (28,26 - 0,00009 \times 48 \times 28,26) = 1,93$  pulgHg a 32°F.

Temperatura de saturación (tomada de la tabla) = 100°F.

V = volumen específico, pie<sup>3</sup>/lbm

## CALDERAS Y GENERADORES DE VAPOR

- GENERALIDADES 1
- COMPONENTES PRINCIPALES 2
- EQUIPOS DE SEGURIDAD Y DE CONTROL 1
- CALDERAS DE DISEÑO ESPECIAL 1
- CÁLCULO DE CAPACIDADES 2
- TIRO 1
- VENTILADORES 3
- TRATAMIENTO DE AGUA 3

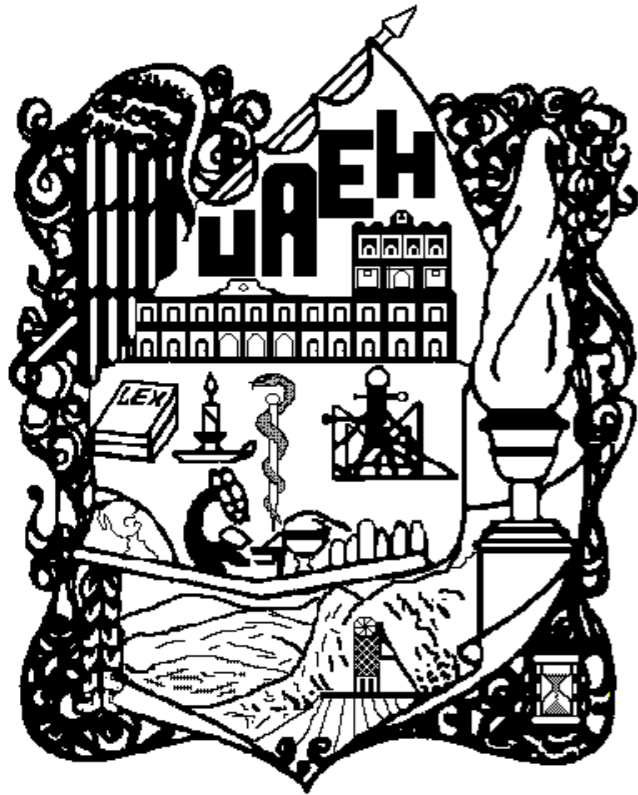


# UNIVERSIDAD

ESCUELA SUPERIOR TEPEJI DEL RÍO

# AUTÓNOMA DEL

# ESTADO DE HIDALGO



# VENTILADORES

Consiste en una rueda o impulsor giratorio rodeado de una envolvente estática o carcasa.

Se emplean:

- En gran extensión en las centrales térmicas.
- Secaderos.
- Instalaciones de calefacción.
- Ventilación y acondicionamiento de aire.
- Conducción y refrigeración.

\* Ventilador; descarga los gases venciendo una cierta presión en su boca de salida.

\* Extractor; saca los gases de un recinto por aspiración y los descarga con una ligera presión.

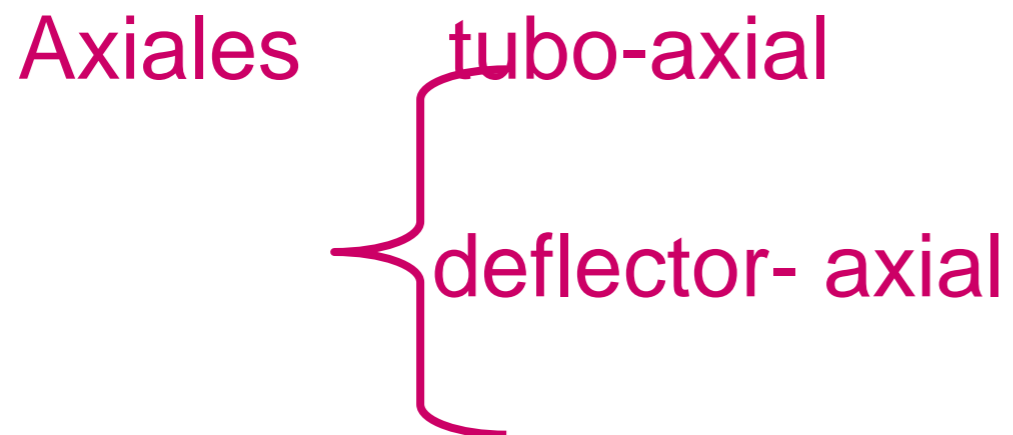
Ciertos tipos de ventiladores trabajando entre determinados límites de presión pueden servir como aspiradoras y ventiladores.

## TIPOS DE VENTILADORES

Según La National Association of Fan Manufacturers, Inc.

- Hélice

de hélice



Centrífugos o radiales

## VENTILADORES DE FLUJO AXIAL

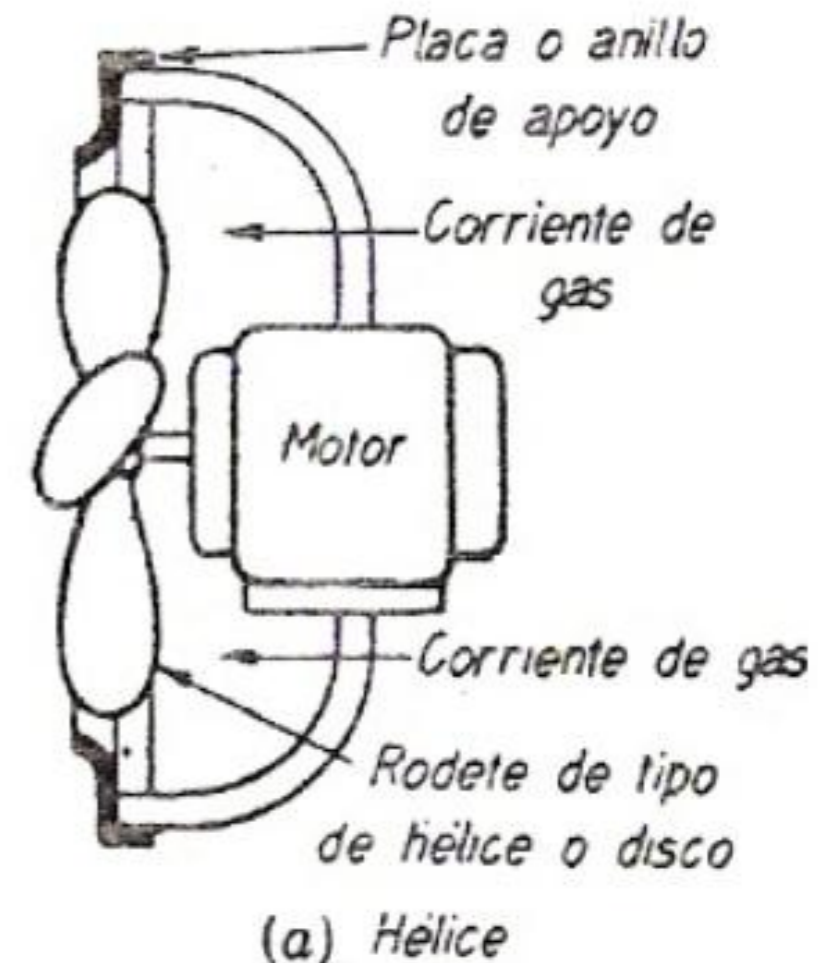
En estos aparatos el flujo o corriente de fluido gaseoso es esencialmente paralelo al eje longitudinal o eje de giro de la hélice o rodete.

La transmisión entre motor y hélice se efectúa con poleas

- Forma.
- Ajustabilidad.
- Ángulo con respecto al eje de giro.
- Material y forma de construcción.
- Relación entre el diámetro del cubo y el rodete.

Los rodetes de los ventiladores de hélice están unidos a un anillo o aro que rodea su periferia.

Se emplean también paletas aerodinámicas,



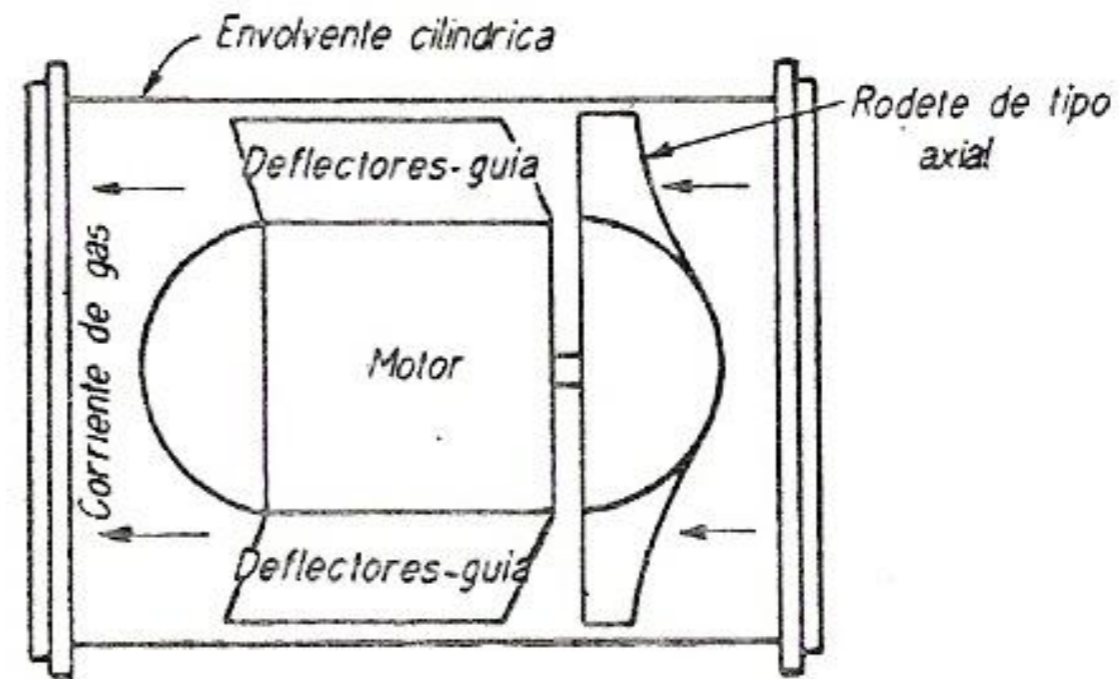
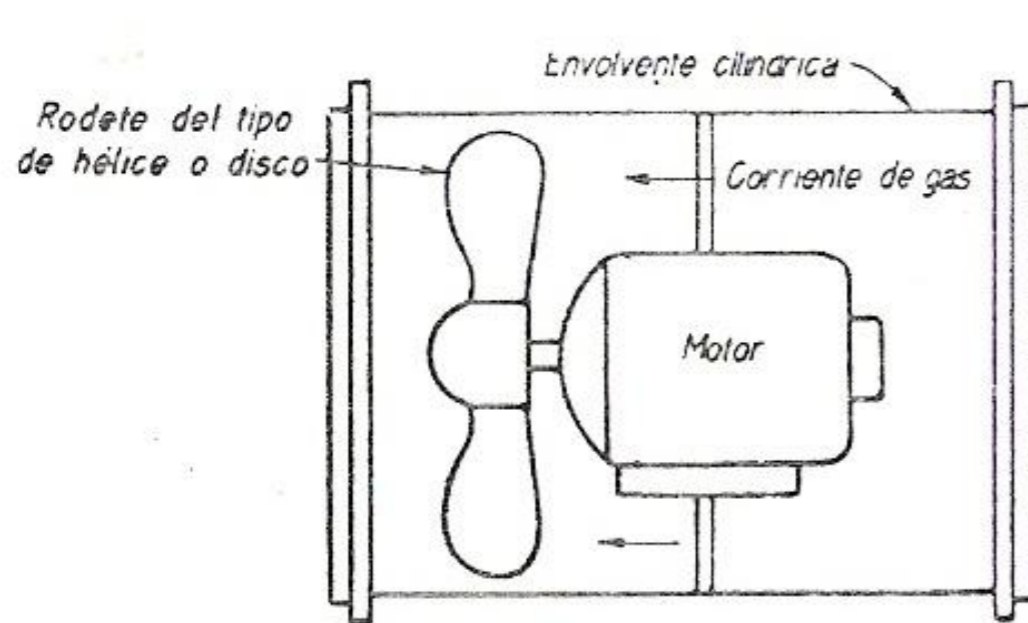
# LOS VENTILADORES DE HÉLICE Y DE DISCO

Se emplean para mover masas de aire venciendo pequeñas resistencias, como sucede en los aparatos de ventilación, y para descargar aire en los espacios situados debajo de parrillas destinadas a quemar combustible sólido de gran tamaño.

trabajar venciendo resistencias del orden de 22 % 25 cm de agua.

tubo axial

Deflector-axial



Su misión es dirigir el fluido gaseoso y reducir las pérdidas de energía ocasionadas por los

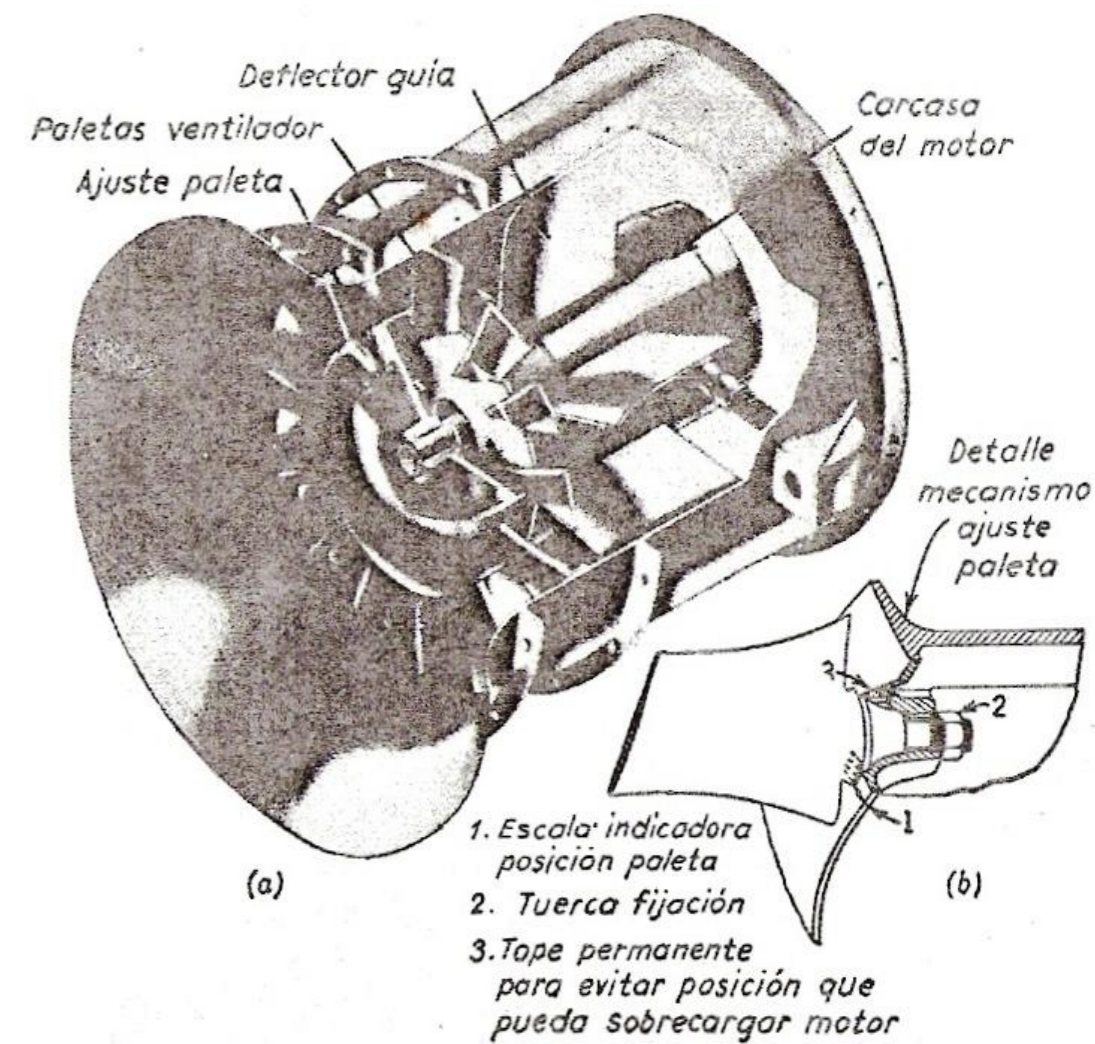
La envolvente cilíndrica de estos tipos de ventiladores permite instalarlos formando parte de la red de canalizaciones a que están destinados.

Cualesquiera de estos ventiladores, cuando se instalan en la entrada de una canalización, pueden tener forma acampanada para disminuir los rozamientos y turbulencias del aire al entrar en ellos.



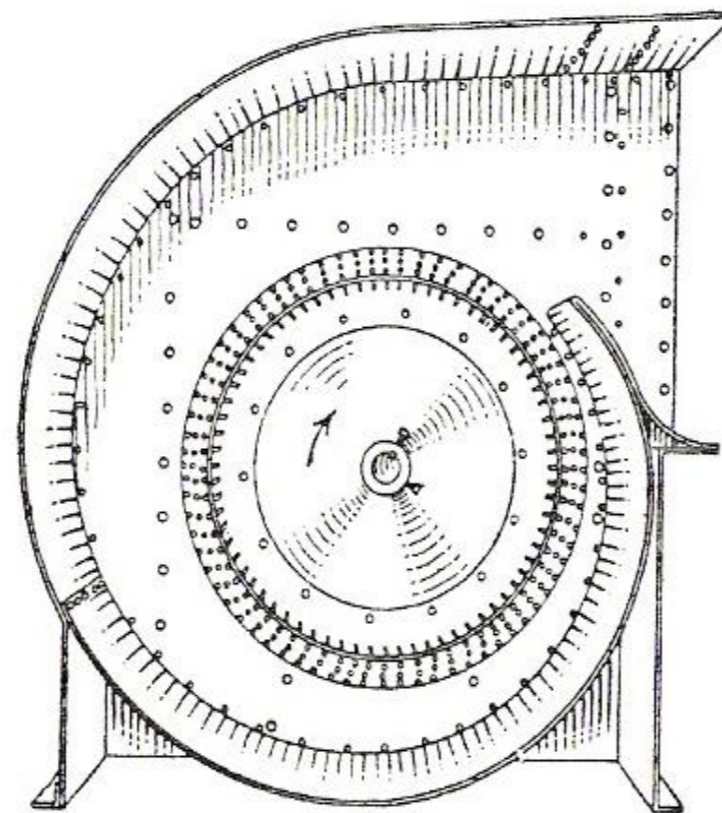
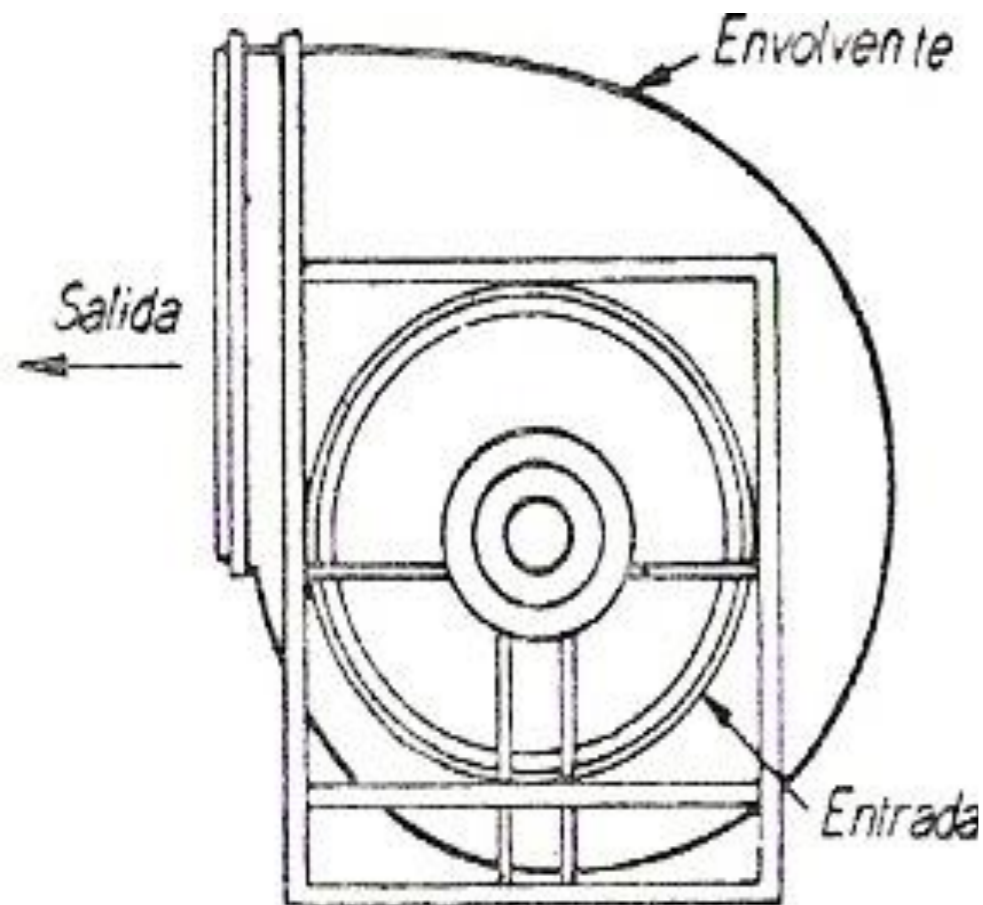
- Tiene paletas movibles, que se pueden ajustar después de terminar la instalación, para compensar las resistencias imprevistas que haya que vencer.

- Otros tipos de ventiladores de flujo axial están contruidos de manera que la posición de los deflectores-guía se varía desde el exterior mediante una

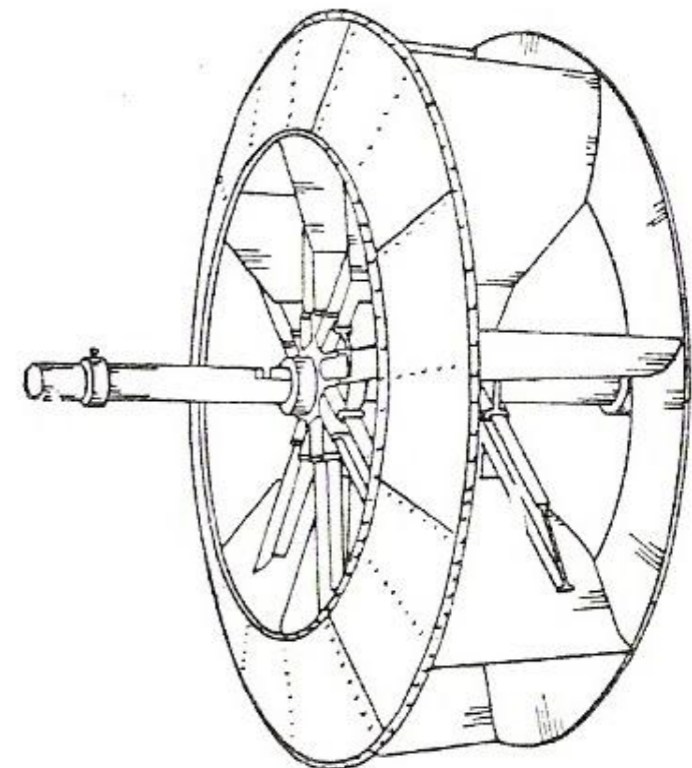


- El equipo impulsor del aire o gas, en las instalaciones de tiro forzado o inducido, puede estar constituido por ventiladores centrífugos de dos tipos: de disco y de paletas o álabes múltiples.
- Están constituidos por un rodete que gira dentro de una carcasa o envolvente. Dicha envolvente tiene la forma de espiral, la cual permite que el aire sea lanzado de la periferia del rodete con pérdidas reducidas

- El efecto producido por un rodete al girar surge de la tendencia del gas, adyacente a las caras anteriores de las paletas a desplazarse Radialmente hacia fuera como consecuencia de la fuerza centrífuga, siendo lanzado desde los bordes de las paletas hacia la envolvente.



Rodete y caja del ventilador con la tapa desmontada.



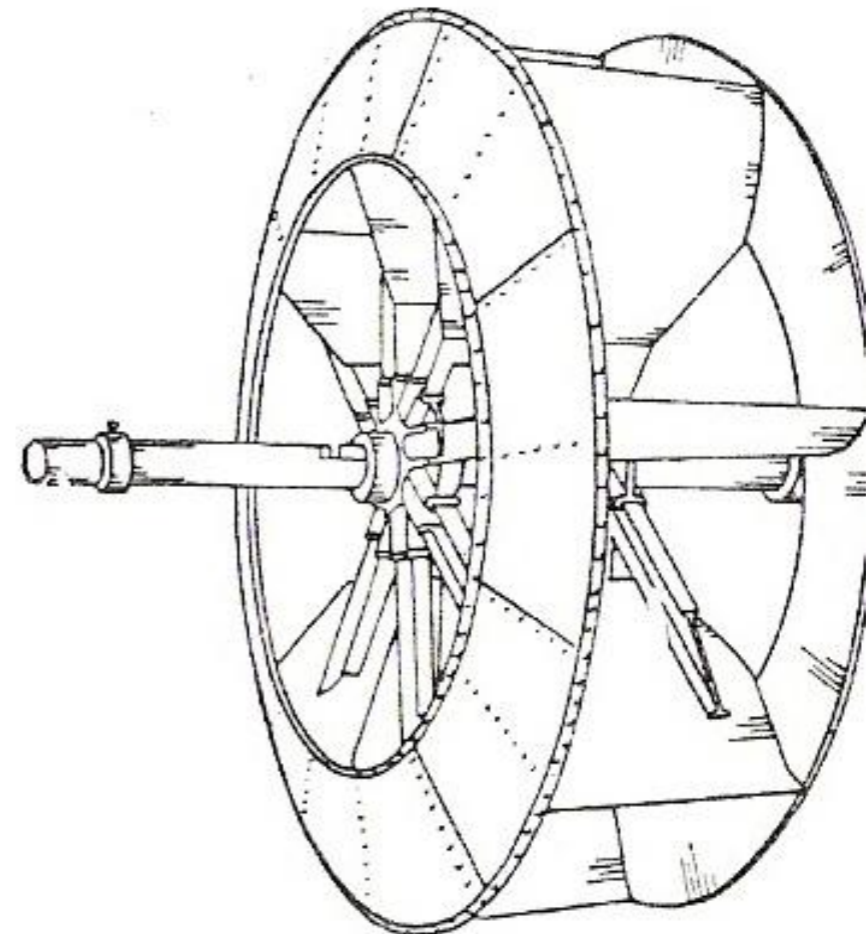
Rodete de ventilador de plancha de acero.



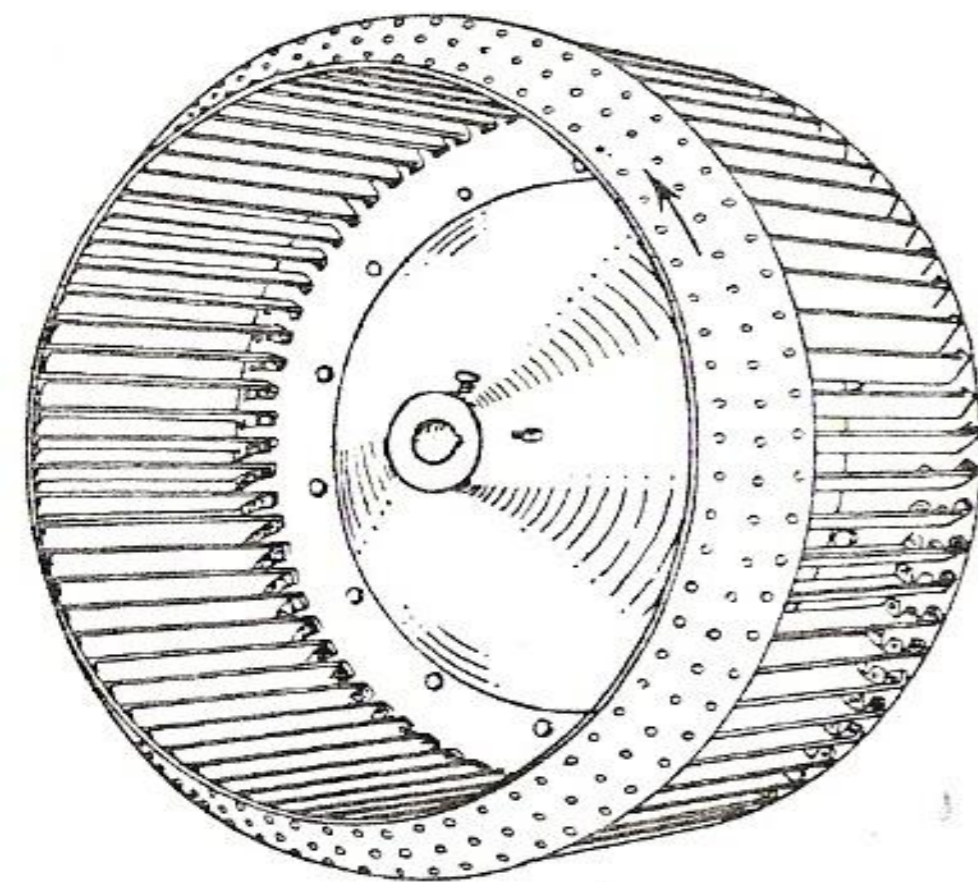
Los ventiladores centrífugos pueden emplearse no solamente como aspiradores de aire o gases de canalizaciones conectadas a su boca de aspiración u “oído”, sino que también pueden utilizarse para descargar el mismo aire o gas, a presiones de varios cm o in de columna de agua, en canalizaciones unidas a su boca de salida o de descarga.

- El rodete consiste en una o dos “arañas”, cada una de las cuales tiene de 6 a 12 brazos. Cada par de brazos lleva una paleta de plancha plana, en parte radial.

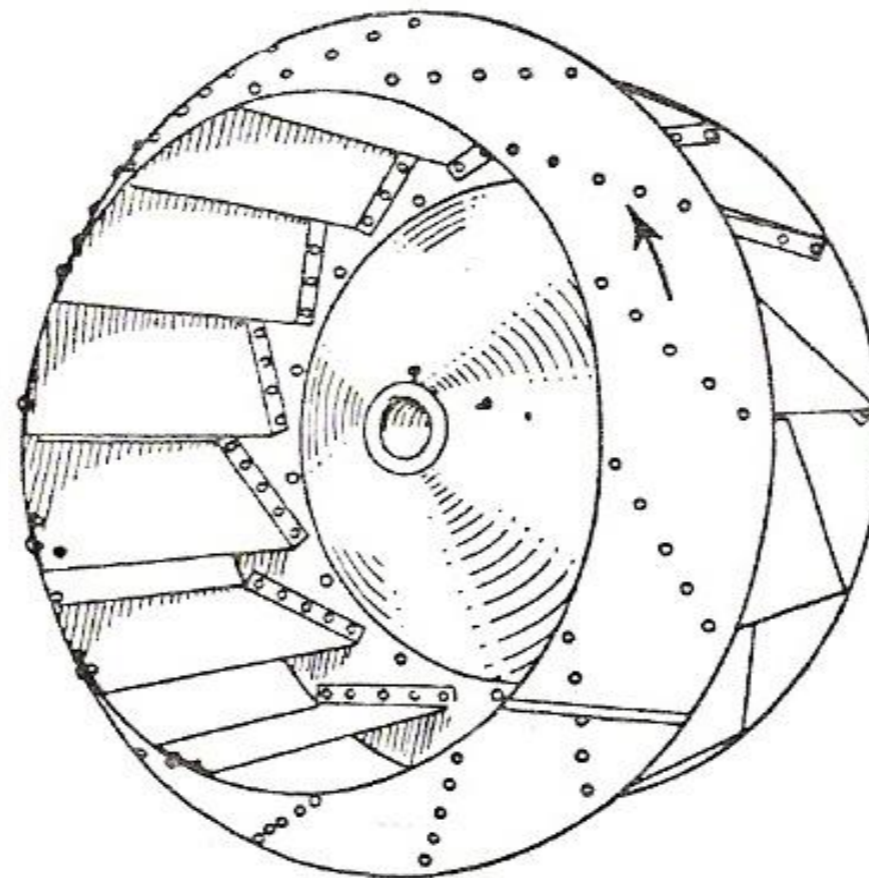
- La curvatura de las paletas tiene una marcada influencia sobre el comportamiento



- Estos ventiladores pueden tener las paletas curvadas hacia delante, o hacia atrás.
- En todos los tipos representados el rodete esta formado por un disco sobre el cual va montado el cubo, y una corona circular o anillo, unida al disco por una serie de paletas, o álabes, repartidos a distancias iguales.



Rodete de ventilador con paletas curvadas hacia adelante.



Rodete de ventilador con paletas curvadas hacia atrás

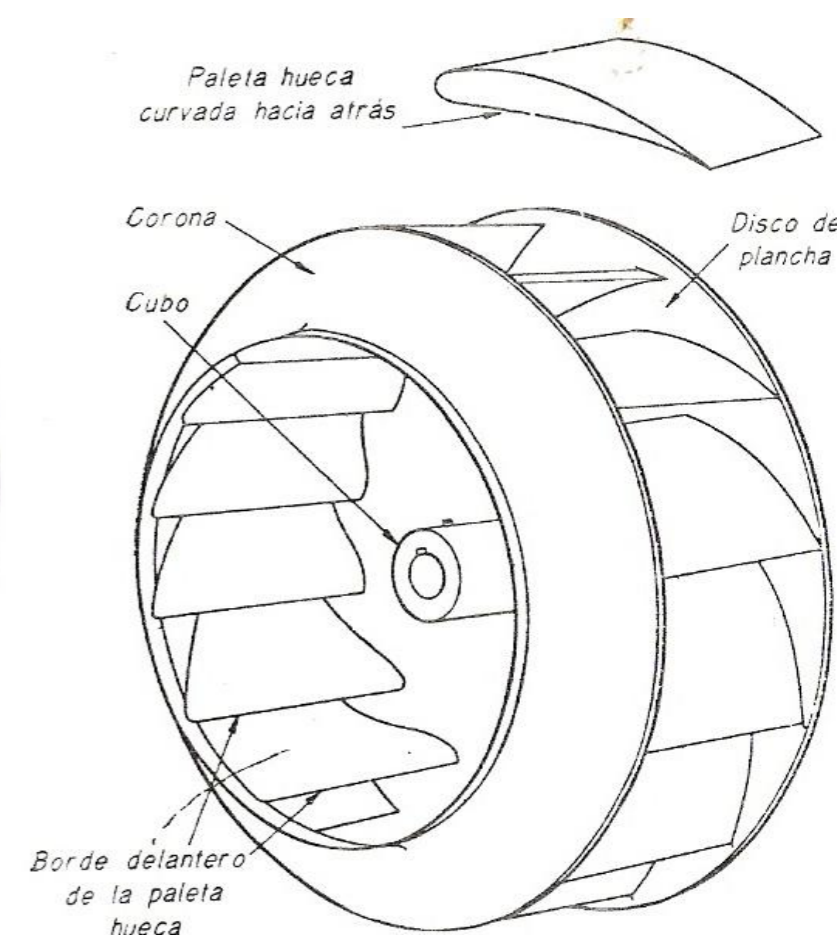


FIG. 109. Rodete de ventilador centrífugo con paletas huecas curvadas hacia atrás, de la Chicago Blower Corporation.



- Cuando la anchura del rodete debe ser más grande, se intercala un anillo intermedio equidistante de la corona y del disco, cuya misión es acortar las paletas y dar al conjunto más resistencia y rigidez cuando gira a velocidades elevadas.

- Las paletas huecas son estampadas y van soldadas al disco y corona para formar un rodete de gran rigidez sin necesidad de recurrir a tirantes y virotillos.

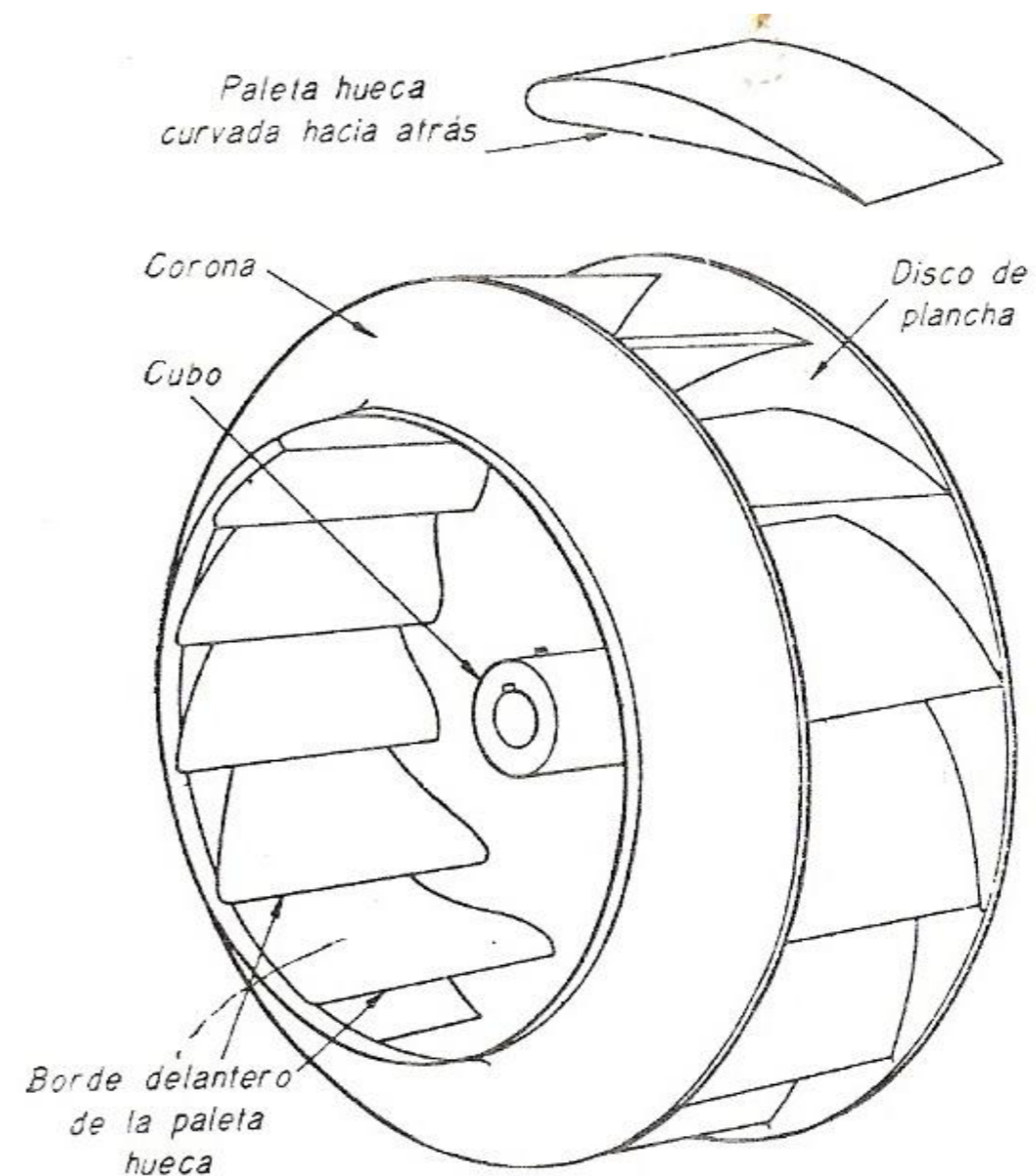


FIG. 109. Rodete de ventilador centrífugo con paletas huecas curvadas hacia atrás, de la Chicago Blower Corporation.

Los rodetes se construyen a veces de doble boca y de doble anchura, con anillos intermedios equidistantes del disco y de la respectiva corona para acortar las paletas y conseguir una estructura más rígida.

Otro tipo de ventiladores de paletas múltiples tienen éstas con la forma correspondiente a la superficie determinada por dos conos tangentes.

De esta manera la paleta tiene una marcada curvatura hacia adelante en su borde de entrada, y



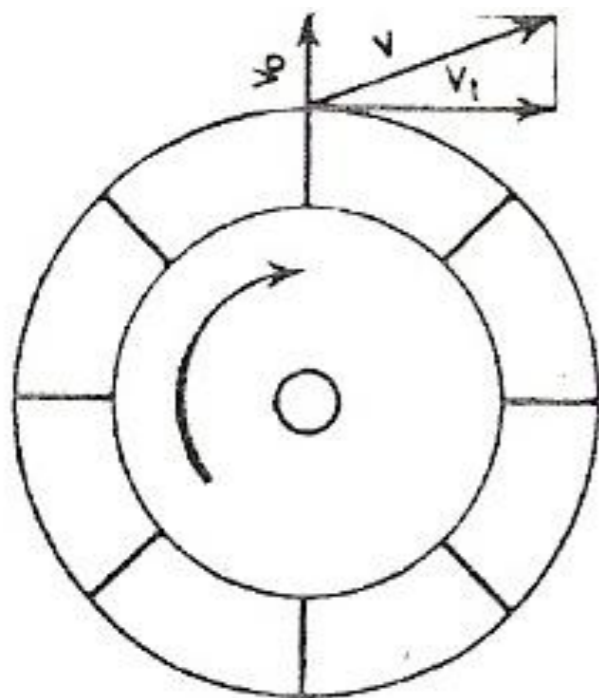
ventiladores provistos de esta clase de paletas son excelentes y sus rodetes resultan de suficiente rigidez, sin tener que recurrir a muchos anillos reforzantes.

Este tipo de ventiladores se destinan a producir tiro inducido o forzado con aire precalentado, deben ir equipados con cojinetes refrigerados, debido a la elevada temperatura de los gases o del aire trasegado.

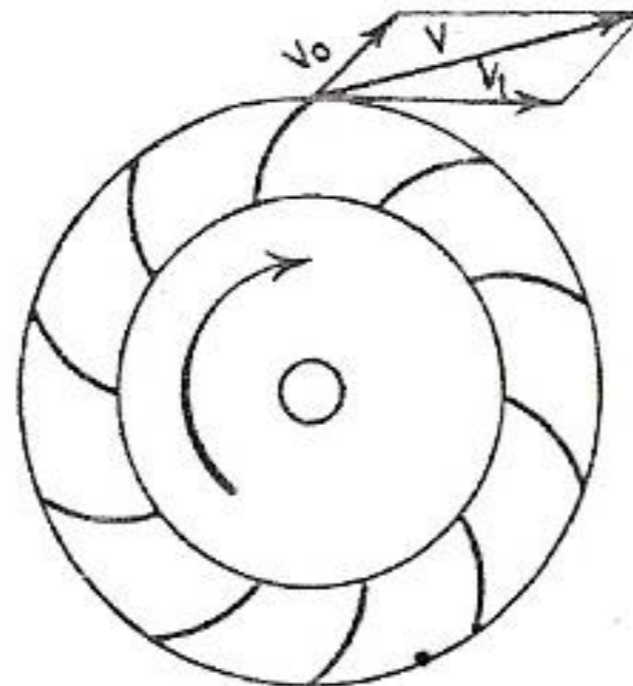
Los ventiladores de cualquier tipo destinados a tiro inducido han de ser de construcción robusta para resistir la acción corrosiva de los gases quemados y la erosión de las partículas de ceniza y escoria que

# EFECTO DE LA FORMA DE LAS PALETAS SOBRE LA VELOCIDAD DEL AIRE.

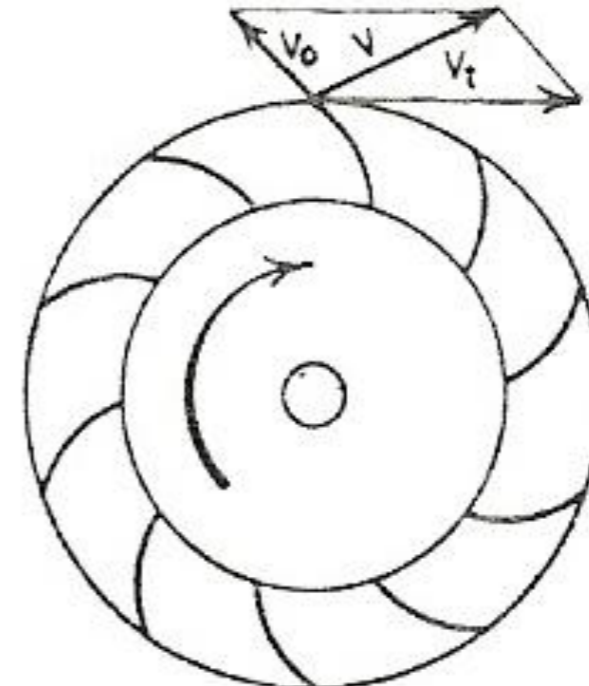
E  
dif  
pe  
ve  
air



*Paleta recta*



*Paleta curvada  
hacia adelante*



*Paleta curvada  
hacia atrás*

ren  
dad  
, o  
del

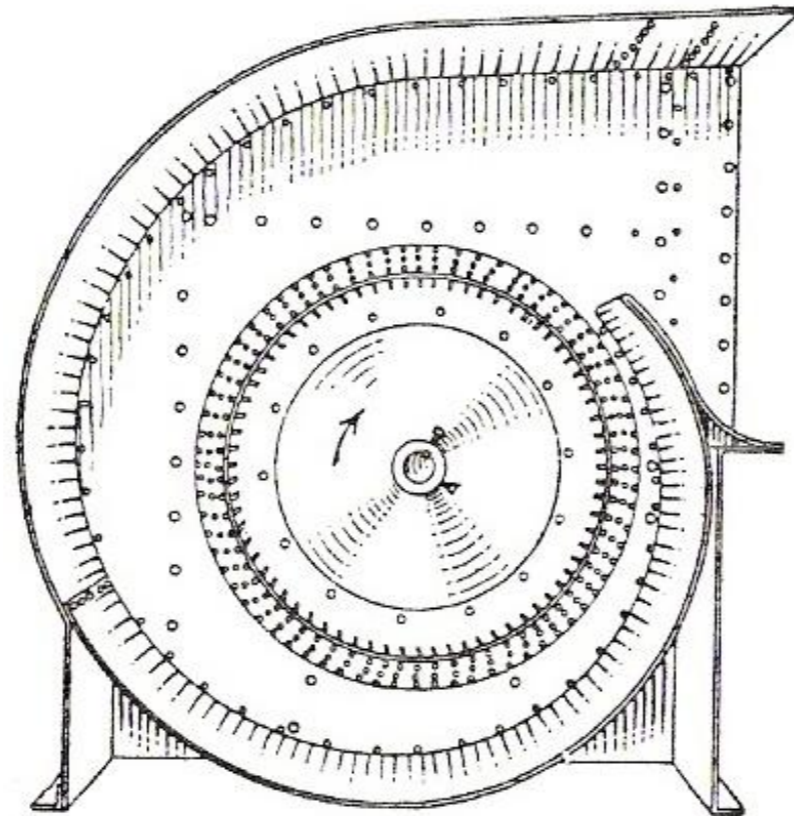
Tipos de paletas de ventilador y velocidades del aire resultantes.

modificaciones y retener la clasificación asignada.

Sin embargo, cuando se mantiene constante la velocidad periférica  $V_t$ , común a cada tipo de paletas cualquier modificación en la forma de las paletas radiales, curvas hacia adelante o curvas hacia atrás, se traduce en una modificación de la velocidad resultante  $V$ , así como en el funcionamiento del ventilador correspondiente.

Las paletas curvadas hacia atrás permiten trabajar a velocidades elevadas con grandes rendimientos volumétricos y con amplios límites de capacidad, a velocidad constante, con pequeñas variaciones en la

1. El número de bocas o entradas, en simples y dobles.
2. La anchura del rodete, en simples y dobles.
3. La boca de salida, en alta, baja, vertical, horizontal y angular.
4. La carcasa o envolvente, en completa  $7/8$  y  $3/4$ .



Los ventiladores con envolvente  $7/8$  y  $3/4$  tienen su espiral extendiéndose por de bajo de la parte alta de la base soporte.



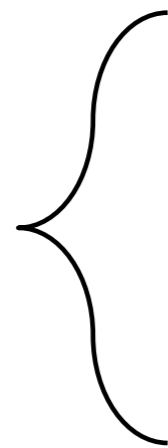
- En la figura aparecen las designaciones Standard de la rotación de los ventiladores centrífugos y de sus dispositivos de accionamiento.



El sentido de rotación se determina mirando el ventilador por la cara del accionamiento, tanto sea de boca de aspiración única como de doble boca. En los ventiladores de boca de aspiración única el accionamiento se supone situado en la parte opuesta a dicha boca, independientemente de la posición real del accionamiento. En el caso de un ventilador invertido para ser colgado del techo, el sentido de rotación y de descarga se determina estando el ventilador sobre el suelo.

## Presión dinámica

Presión total



Presión estática

- La presión dinámica se utiliza para crear y mantener la velocidad del aire o gas.
- La presión estática es la presión compresiva existente en el seno del fluido y sirve para vencer los rozamientos y otras resistencias ofrecidas al paso del

aumento de velocidad en un punto de la canalización, parte de la presión estática disponible en dicho punto se transforma en la presión dinámica adicional requerida.

Análogamente si la velocidad se reduce en un determinado punto, parte de la presión dinámica en dicho punto se convierte en presión estática.

Los ventiladores que desarrollan una gran presión estática con relación a su presión total poseen mayor aptitud para vencer las resistencias ofrecidas a la corriente de aire o gas por los rozamientos de la canalización, registrados de la caldera y obstrucciones




# CLASES Y TAMAÑOS STANDARDS DE VENTILADORES.

En muchas instalaciones es preciso elegir cuidadosamente el tipo de ventilador que hay que emplear, y a modo de guía para facilitar su elección, han sido establecidos los prototipos siguientes:

 Ventiladores clase II para una presión total máxima de 17.2 cm.

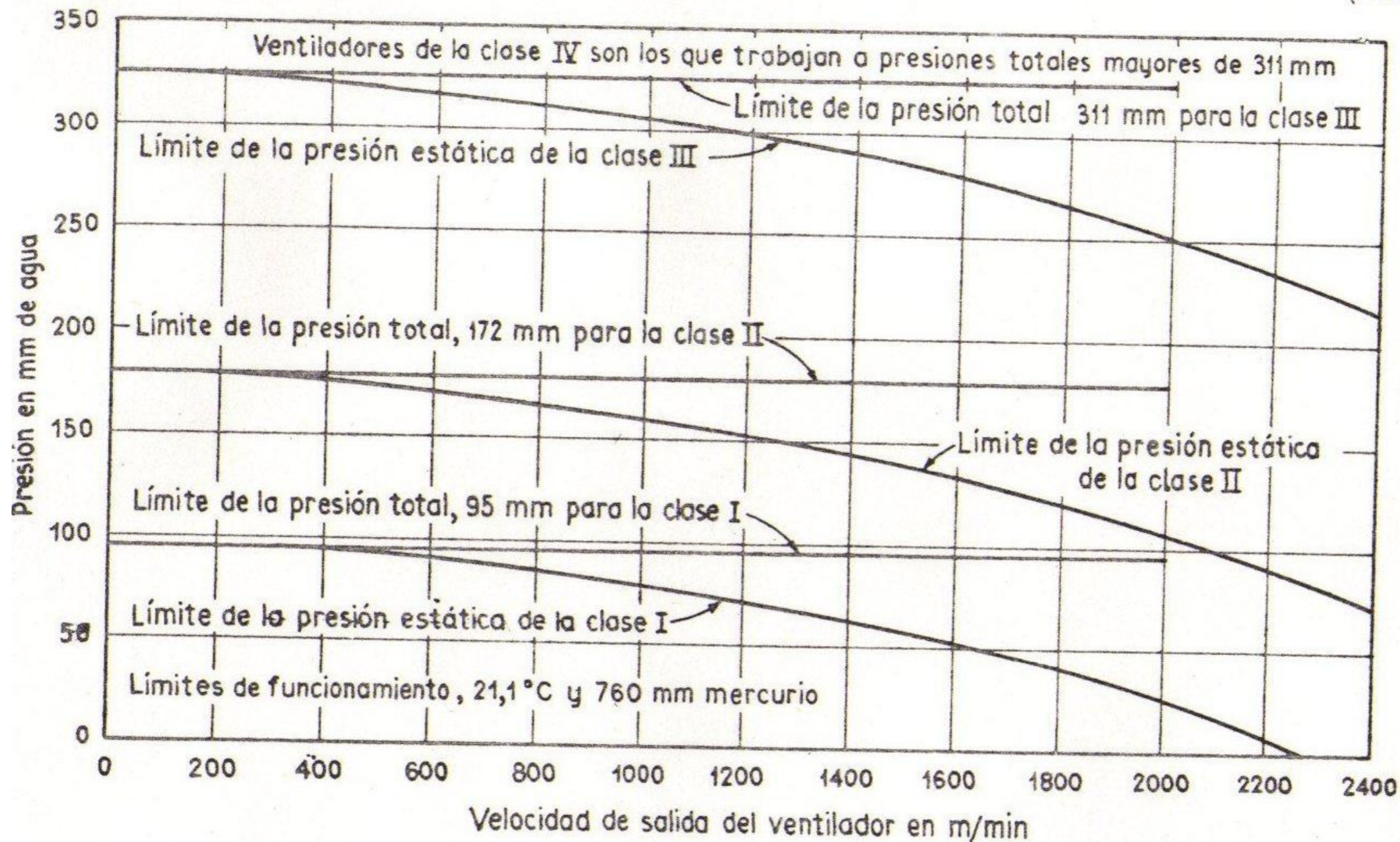
 Ventiladores clase III para una presión total máxima de 31.1 cm.

 Ventiladores clase IV para una presión total más grande de 31.1 cm.

Estas clasificaciones aparecen en la figura siguiente, donde vienen señalados determinadas dimensiones y características físicas correspondientes a los ventiladores.

$$Q = AV_a$$

(195)



# DETERMINACION DE LA CLASE A QUE PERTENECE UN VENTILADOR.

Las dimensiones de la boca de salida de un ventilador de tamaño determinado fijan la velocidad de salida media (m/min) para un caudal prefijado de aire en condiciones normales ( $\text{m}^3/\text{min}$ ).

Si para cada clase de ventilador se mantiene constante la presión total, la presión estática disminuye a medida que crece la velocidad de salida del ventilador.



sobre la base de una velocidad de salida adecuada y la presión estática necesaria.

Cuando se señala un punto determinado por las mencionadas coordenadas, se obtiene una indicación de la clase de ventilador requerido.

## CAPACIDAD DE LA POTENCIA DE UN VENTILADOR

El caudal de gas es igual al producto del área de la sección recta de la canalización ( $m^2$ ) por la

$$Q = AV_a$$

En donde:

Q = caudal descargado.

A = área de la sección recta de la canalización.

V<sub>a</sub> = velocidad media del fluido.

La potencia efectuada con la siguiente fórmula:

$$HP = \frac{M_a H}{76 \times 60} = \frac{M_a H}{4560}$$

trabajo a con la

H = peso que ha de vencer el ventilador cuando funciona en metros de columnas de gas trasegado.

Y en función de la diferencia de presión total creada por el ventilador.

$$HP = \frac{Q \times h_T \times D}{100 \times 4560}$$

En donde:

Q = caudal de aire trasegado.

$h_T$  = diferencia de presión total creada por el



ventilador y absorbida en su eje se denomina rendimiento mecánico ( $e_m$ ).

19  $e_m$

Rendimiento mecánico del ventilador,  $e_m = \frac{\text{potencia desarrollada}}{\text{potencia absorbida}}$

La presión total del ventilador se utiliza para calcular la potencia desarrollada por el ventilador cuando interesa el rendimiento total.

El rendimiento estático se determina calculando la potencia desarrollada considerando la presión estática en

Los ventiladores deben probarse siguiendo las normas de la Standard Test Code for Centrifugal and Axial Fans. El Standard Code indica cinco ensayos para probar ventiladores centrífugos y cuatro para los axiales.

Los datos que hay que reunir son: caudal descargado, presión total y estática, rendimientos total y estático, potencia absorbida y velocidades de rotación (rpm).

Para fines de calibrado deben emplearse ventiladores de una sola boca. Cuando se hace girar con una velocidad de rotación constante es preciso proveer algún dispositivo para

A continuación se determinan las condiciones de funcionamiento de máximo rendimiento, con porcentajes de caudal correspondientes a la boca de salida completamente abierta.

Una vez que se han establecido estas condiciones se hace funcionar el ventilador a velocidad variable para hallar los datos que aparecen en la siguiente tabla.

Un ventilador puede girar a diferentes velocidades y producir una determinada presión estática. En la tabla aparecen en **negrita** los valores correspondientes al funcionamiento con rendimiento máximo.



Ventilador tipo W, clase III, N.º 2 3/4, de boca única y anchura simple

Peso del aire en condiciones normales, 1,205 kg/m<sup>3</sup>

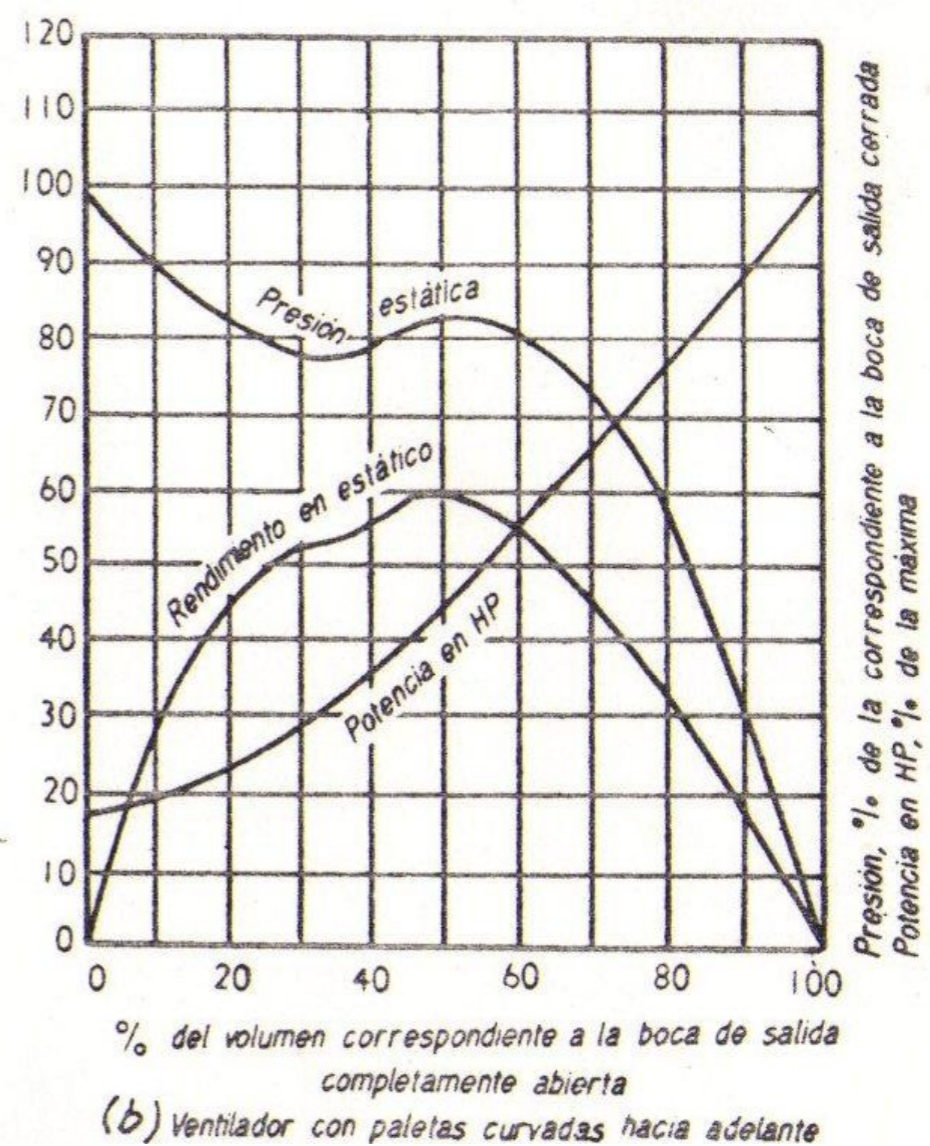
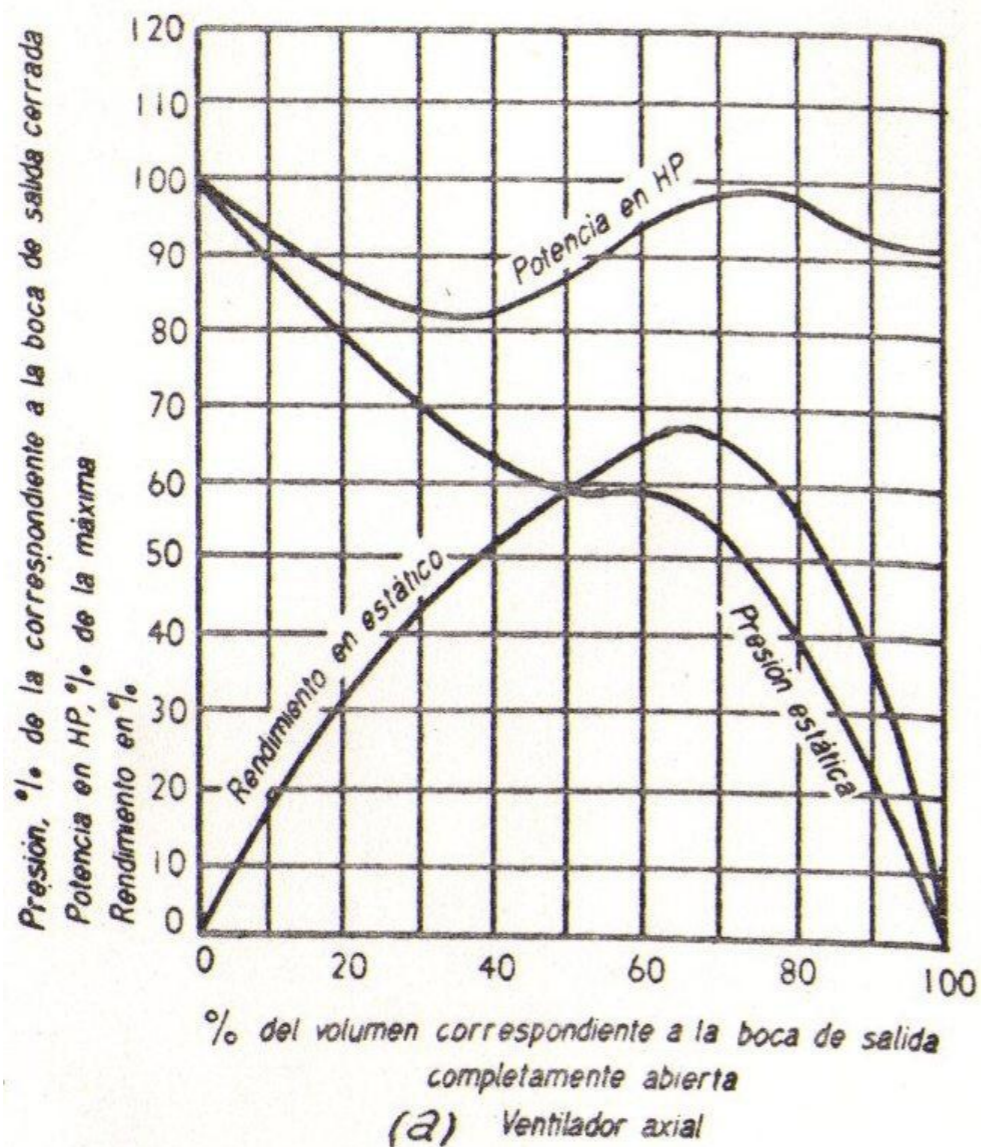
Volumen en m <sup>3</sup> /min.	Velocidad de salida en m/min.	Presión estática 17,8 cm			Presión estática 19 cm			Presión estática 20,3 cm		
		Velocidad periférica en m/min.	R. p. m.	HP al freno	Velocidad periférica en m/min.	R. p. m.	HP al freno	Velocidad periférica en m/min.	R. P. M.	HP al freno
293	488	3597	1261	16,73	3718	1303	17,92	3835	1344	19,20
331	549	3611	1266	18,15	3734	1309	19,45	3850	1349	20,85
367	610	3621	1269	19,52	3746	1313	21,00	3862	1354	22,67
404	671	3636	1275	21,05	3755	1316	22,19	3874	1358	24,42
441	731	3653	1280	22,77	3770	1322	24,60	3886	1362	26,32
477	792	3688	1293	24,60	3801	1332	26,38	3907	1370	28,19
514	853	3746	1313	26,55	3849	1349	28,16	3953	1386	30,08
551	914	<b>3834</b>	<b>1344</b>	<b>28,75</b>	3916	1373	30,40	4017	1408	32,20
587	975	3932	1378	31,04	<b>4008</b>	<b>1405</b>	<b>32,85</b>	<b>4093</b>	<b>1435</b>	<b>34,60</b>
624	1036	4026	1411	33,25	4093	1435	35,31	4191	1469	37,40
661	1097	4114	1442	36,20	4194	1470	38,18	4273	1498	40,20
698	1158	4206	1476	39,12	4297	1506	41,20	4377	1532	43,35
743	1219	4319	1514	42,27	4398	1542	44,45	4471	1567	46,65
771	1280	4425	1551	45,75	4505	1580	48,03	4572	1603	50,10
808	1341	4544	1593	49,50	4608	1615	51,70	4682	1641	54,00
844	1402	4676	1639	53,45	4727	1657	55,80	4791	1680	58,10
881	1462	4810	1686	57,90	4868	1706	60,15	4922	1752	62,50
918	1524	4952	1736	62,45	4999	1752	64,85	5060	1774	67,60

Diámetro del rodete, 91 cm; perímetro del rodete, 2,86 m; área boca salida, 6,04 m<sup>2</sup>; potencia máxima al freno =  $2,35 \left( \frac{\text{r.p.m.}}{500} \right)^3$ .

Los valores indicados en negrita corresponden a las condiciones de funcionamiento de máximo rendimiento para cada una de las presiones estáticas de esta tabla.



FIGURA 1



aparecen en la figura 1, cuando trabajan a velocidad constante y con aire en condiciones normales, puede emplearse en instalaciones de tiro forzado o inducido.

Debido a que las curvas de rendimiento total y estático de la figura 2 son relativamente llanas, existe una serie de ventiladores con proporciones similares que producen tales resultados funcionando con un elevado rendimiento entre amplios límites de carga.

Las curvas de presiones total y estática desciende rápidamente una vez se ha llegado 55% del caudal correspondiente a la cubierta máxima. Esta particularidad hace que varíe poco el caudal descargado al variar la presión, y como consecuencia, permite que tales



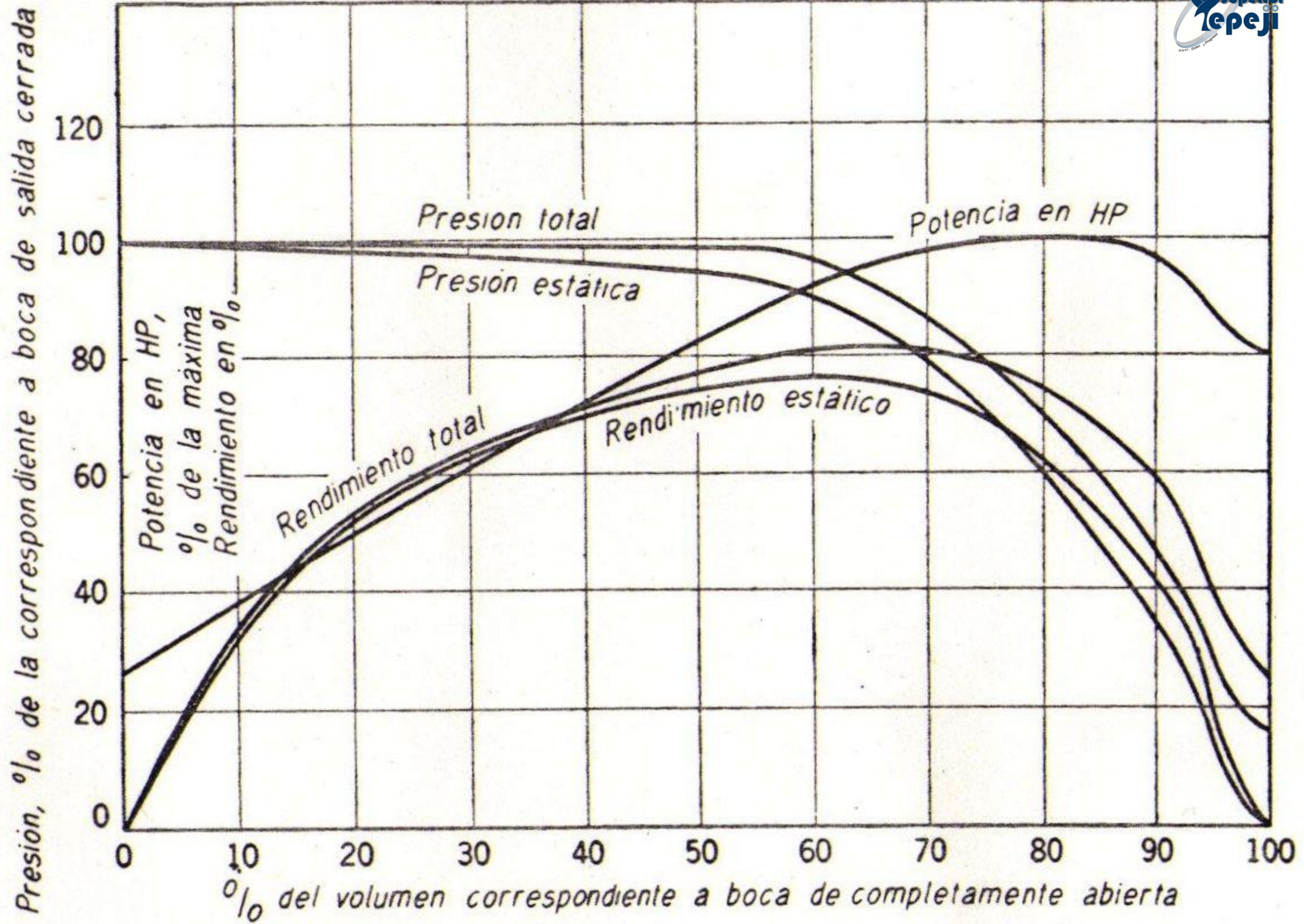


FIG. 117. Curvas características correspondientes a un ventilador con paletas curvada hacia atrás, tipo W, clase III.



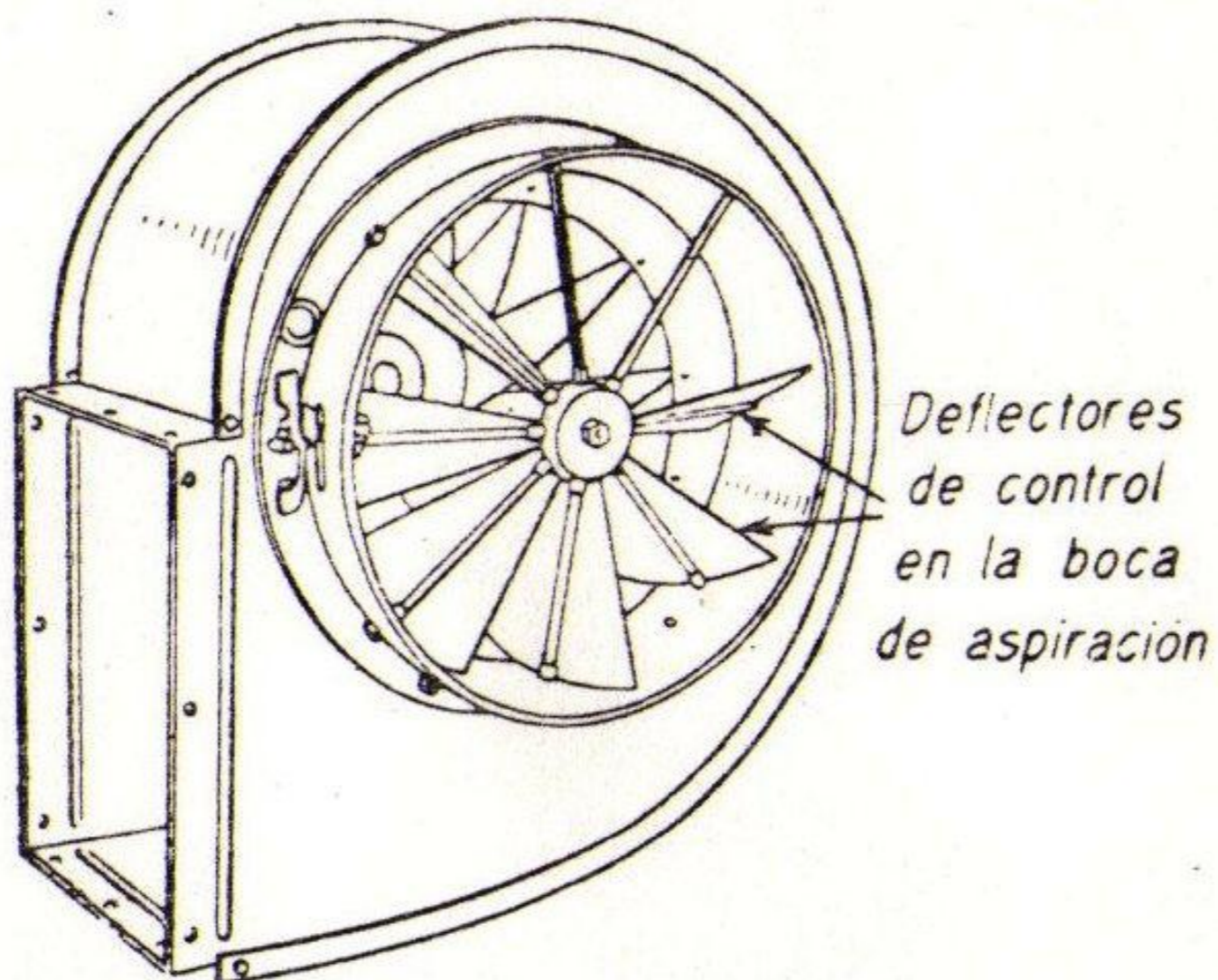
La energía comunicada a un ventilador puede proceder de:

- ▣ Una maquina o turbina de vapor.
- ▣ Un motor de anillos rozantes.
- ▣ Un motor de velocidad constante.

Cuando el ventilador es accionado por un motor de anillos rozantes regulable, puede resultar necesario disponer un registro de regulación en la boca de salida del ventilador.

Los dispositivos de control eléctrico necesarios para el

Acoplamiento variadores de velocidad, del tipo hidráulico o magnético.



El menos empleado es el motor de velocidad constante combinado con un registro colocado en la boca de la salida del ventilador.

Los ventiladores de velocidad de rotación reducida pueden ser iniciados por motores de gran velocidad a base de transmisiones por poleas eligiendo adecuadamente los diámetros de estas.

El control de volúmenes y presión se consigue con un registro colocado en la boca de salida, o con deflectores radiales o registros de celosía

Para cualquier altura  $h$  se verifica que:

$$h = \frac{p}{pg}$$

Con la ayuda de esta ecuación es inmediata la construcción de la siguiente tabla:



N.º de la ecuación	Bombas (aplicables también a los ventiladores)	Ventiladores (utilizadas corrientemente con preferencia a las de la columna de la izquierda)	N.º de la ecuación
(19-3)	$H_u = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g}$	$\Delta p_u \text{ (presión periférica, presión de Euler o presión teórica) = } \rho(u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}) \quad (1)$	(20-4)
(18-16)	$H_u = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}$	$\Delta p_u = \rho \left( \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right)$	(20-5)
(18-18)	$H_p = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g}$	$\Delta p_{eR} \text{ (presión estática del rodete) = } \frac{\rho}{2} [(u_2^2 - u_1^2) + (w_1^2 - w_2^2)]$	(20-6)
—	$H_d = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}$	$\Delta p_{dR} \text{ (presión dinámica del rodete) = } \frac{\rho}{2} (c_2^2 - c_1^2)$	(20-7)
(18-30)	$\epsilon = \frac{H_p}{H_u}$	$\epsilon = \text{(grado de reacción) } \frac{\Delta p_{eR}}{\Delta p_u}$	(20-8)
(19-4)	$H = H_u - H_{r-int}$	$\Delta p_{tot} \text{ (presión total útil del ventilador) = } \Delta p_u - \Delta p_{r-int}$	(20-9)
(19-6)	$H = \frac{p_S - p_E}{\rho g} + z_S - z_E + \frac{v_S^2 - v_E^2}{2g}$	$\Delta p_{tot} = p_S - p_E \text{ (incremento de presión estática) + } \frac{\rho}{2} (v_S^2 - v_E^2) \text{ (incremento de presión dinámica; el término } \rho g(z_S - z_E) \text{ se desprecia: véase la Sec. 5.15).}$	(20-10)
(19-12)	$H = \frac{p_Z - p_A}{\rho g} + z_Z - z_A + H_{ra} + H_{ri} + \frac{v_i^2}{2g}$	$\Delta p_{tot} = p_Z - p_A + \Delta p_{ra} + \Delta p_{ri} \quad (2)$	(20-11)
(19-18)	$\eta_h = \frac{H}{H_u}$	$\eta_h = \frac{\Delta p_{tot}}{\Delta p_u}$	(20-12)
(19-16)	$P_i = (Q + q_e + q_i) H_u \rho g$	$P_i = (Q + q_e + q_i) \Delta p_u$	(20-13)
(19-17)	$P = Q \rho g H$	$P = Q \Delta p_{tot}$	(20-14)
(19-25)	$P_a = \frac{Q H \rho g}{\eta_v \eta_h \eta_m}$	$P_a = \frac{Q \Delta p_{tot}}{\eta_v \eta_h \eta_m}$	(20-15)

(1) Basta multiplicar ambos miembros de la ecuación correspondiente de las bombas por  $\rho g$  y análogamente se procede en la deducción de las restantes fórmulas.

(2) El término  $\rho \frac{v_i^2}{2}$  se incluye en  $\Delta p_{ri}$ .

*Nota final.* Las Ecs. (19-17), (19-18), (19-19), (19-24) y (19-26) no experimentan variación alguna en los ventiladores.

# Ejercicios de ventiladores



Un ventilador centrifugo tiene paletas rectas y un ancho constante en el rodete de 600 mm. Gira a 500 rpm. Da un caudal de aire ( $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ) de  $300 \text{ m}^3/\text{min}$ . La entrada de la velocidad absoluta de los alabes es radial.  $D_2 = 650 \text{ mm}$ ,  $D_1 = 600 \text{ mm}$ .

Calcular:

- 1.-los ángulos  $\beta_1$  y  $\beta_2$ .
- 2.-la presión producida por el ventilador.
- 3.-la potencia del ventilador.

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{\pi \cdot 0.6 \cdot 500}{60} = 15.08 \text{ m/s}$$

$$Q = \pi D_1 b_1 c_{1m} \quad (\text{despreciando el influjo del espesor de los álabes y de las pérdidas volumétricas})$$

$$Q = \frac{300}{60} = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$c_{1m} = c_1 = \frac{5}{\pi \cdot 0.6 \cdot 0.6} = 4.421 \text{ m/s}$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{c_1}{u_1} =$$

$$= 15^\circ.72$$

$$u_2 = \frac{D_2}{D_1} u_1 = 17.017 \text{ m/s}$$

Es fácil ver que siendo las paletas del ventilador rectas:

$$\frac{R_2}{\cos \beta_1} = \frac{R_1}{\cos \beta_2}$$

$$\begin{aligned} \cos \beta_2 &= \frac{R_1}{R_2} \cos \beta_1 = \frac{300}{325} \cos 15^\circ,72 \\ &= 0,8886 \end{aligned}$$

$$\beta_2 = 27^\circ,31$$

$$Q = \pi D_1 b_1 c_{1m} = \pi D_2 b_2 c_{2m}$$

$$c_{2m} = \frac{D_1 b_1}{D_2 b_2} c_{1m} = \frac{600 \cdot 600}{650 \cdot 600} \cdot 4,421 = 4,081 \text{ m/s}$$

$$c_{2u} = u_2 - \frac{c_{2m}}{\text{tg } \beta_2} = 17,017 - \frac{4,081}{\text{tg } 27^\circ,31} = 9,111 \text{ m/s}$$

$$[\text{Ec. (19-3)}] \quad H = H_u = \frac{u_2 c_{2u}}{g}$$

$$[\text{Ec. (20-4)}] \quad \Delta p_{\text{tot}} = \Delta p_u = \rho u_2 c_{2u}$$

ya que  $u_1 c_{1u} = 0$

$$H = \frac{17,017 \cdot 9,111}{9,81} =$$

= 15,805 m columna de aire

$$(\Delta p_{\text{tot}} = 15,805 \cdot 1,2 \cdot 9,81 = 186 \text{ Pa})$$

$$\Delta p_{\text{tot}} = 1,2 \cdot 17,017 \cdot 9,111 =$$

$$= 186 \text{ Pa}$$



$$[\text{Ec. (19-25)}] \quad P_a = P = Q\rho gH$$

$$P_a = 5 \cdot 1,2 \cdot 9,81 \cdot 15,805 = \\ = 930 \text{ W}$$

$$[\text{Ec. (20-15)}] \quad P_a = P = Q\Delta p_{101}$$

$$P_a = 5 \cdot 186 = 930 \text{ W}$$

C) POTENCIA.

del ventilador hay una depresión de 2.5 mbar. El conducto de impulsión es de 0.5 m<sup>2</sup> de superficie. Y la presión estática a la salida del ventilador es de 7.5 mbar. El caudal del ventilador es de 540 m<sup>3</sup>/min. Tómese para la densidad del aire  $\rho = 1.2$  Kg/m<sup>3</sup>.

Calcular:

1.- presión total producida por el ventilador.

2.- potencia comunicada al aire por el ventilador

3.- rendimiento total del





El tipo más antiguo y más simple de turbina hidráulica es la rueda hidráulica, utilizada por primera vez en Grecia y utilizada durante la antigüedad y la edad media para moler cereales. Consistía en un eje vertical con un conjunto de aspas o palas radiales situadas en una corriente de agua a gran velocidad.

La rueda hidráulica horizontal descrita por primera vez por el arquitecto e ingeniero romano Vitrubio en el siglo I a.C., tenía el segmento inferior de la rueda de palas insertada en la corriente, y actuaba como una rueda hidráulica de empuje inferior.

La transición de la rueda hidráulica a la turbina es sobre todo semántica. El primer intento de formular la base teórica para el diseño de ruedas hidráulicas en el siglo XVIII corresponde al ingeniero civil británico John Smeaton, que demostró que la rueda de empuje superior era más eficaz.

Sin embargo, el ingeniero militar francés Jean Victor Poncelet diseñó una rueda de empuje inferior cuyas palas curvadas aumentaban el rendimiento casi un 70%.

# TURBINAS.

Turbina es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbomáquinas motoras.

Éstas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y este le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.

Las turbinas constan de una o dos ruedas con paletas, denominadas rotor y estator, siendo la primera la que el fluido, arrastra el eje en el que movimiento de rotación.





# TIPOS DE TURBINAS

Las turbinas, por ser turbomáquinas, suele hablarse de dos grupos principales.

## ***1.-Turbinas hidráulicas:***

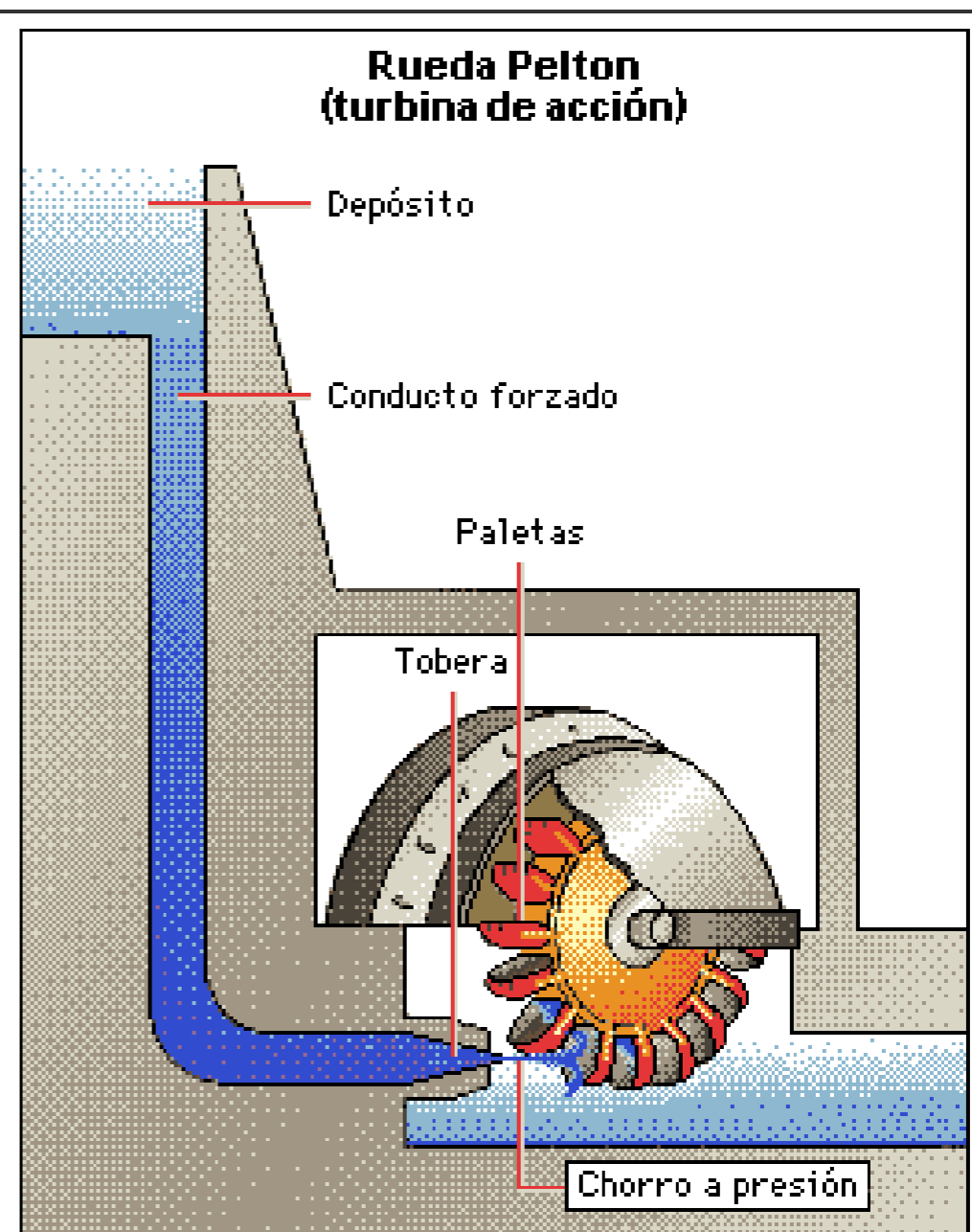
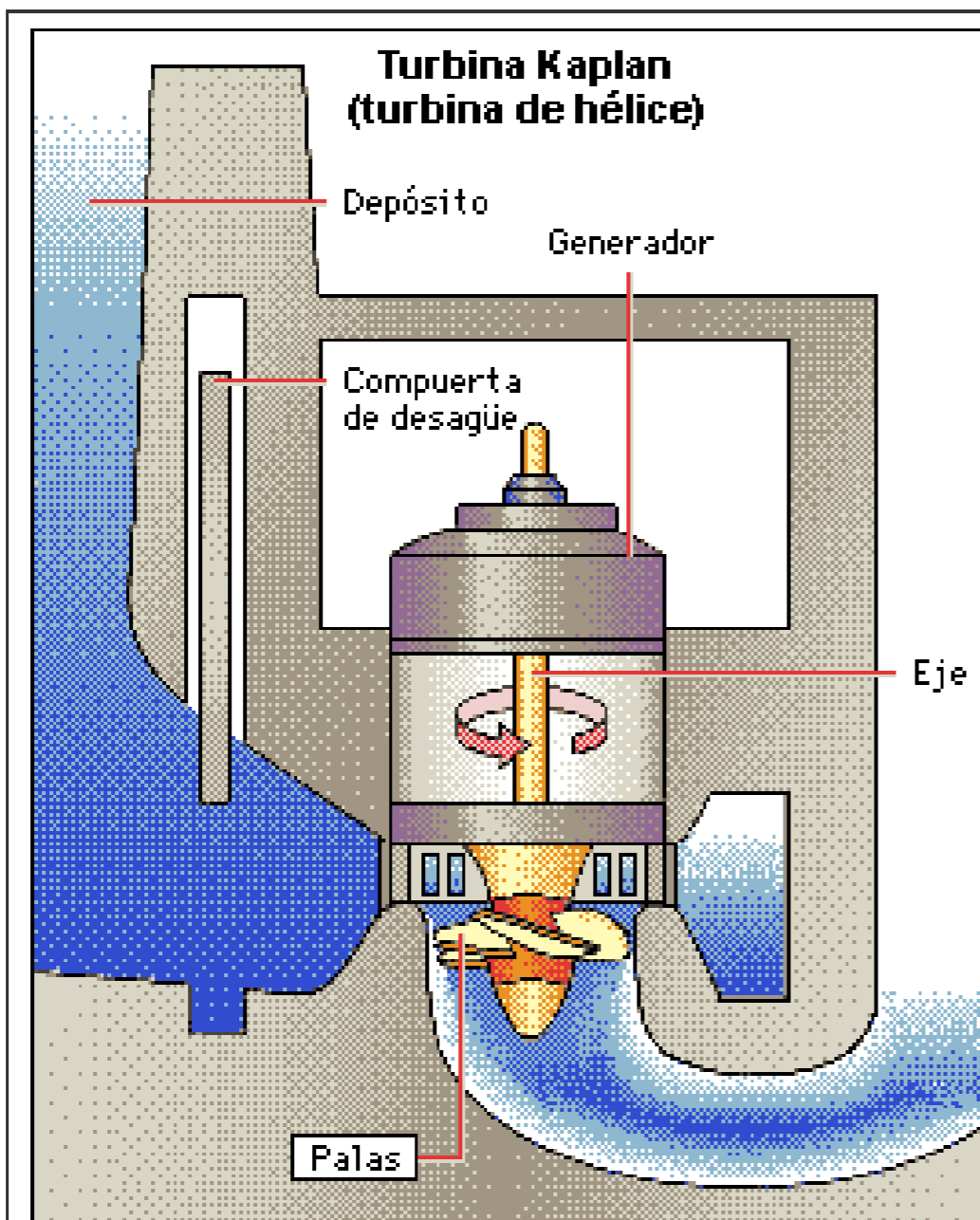
Son aquéllas cuyo fluido de trabajo no sufre un cambio de densidad considerable a través de su paso por el rodete o por el estator; éstas son generalmente las turbinas de agua, que son las más comunes.



Dentro de este genero suele hablarse de

- *Turbinas de acción*: La presión que el fluido tiene a la entrada en la turbina se reduce hasta la presión atmosférica en la corona directriz, manteniéndose constante en todo el rodete. Su principal característica es que carecen de tubería de aspiración. La principal turbina de acción es la Pelton, cuyo flujo es tangencial. El distribuidor en estas turbinas se denomina inyector.

*Turbinas de reacción:* Son aquellas en que el fluido sí sufre un cambio de presión considerable a través de su paso por el rodete. El fluido entra en el rodete con una presión superior a la atmosférica y a la salida de éste presenta una depresión. Se caracterizan por presentar una tubería de aspiración, la cual une la salida del rodete con la zona de descarga de fluido.





## ***2.-Turbinas térmicas:***

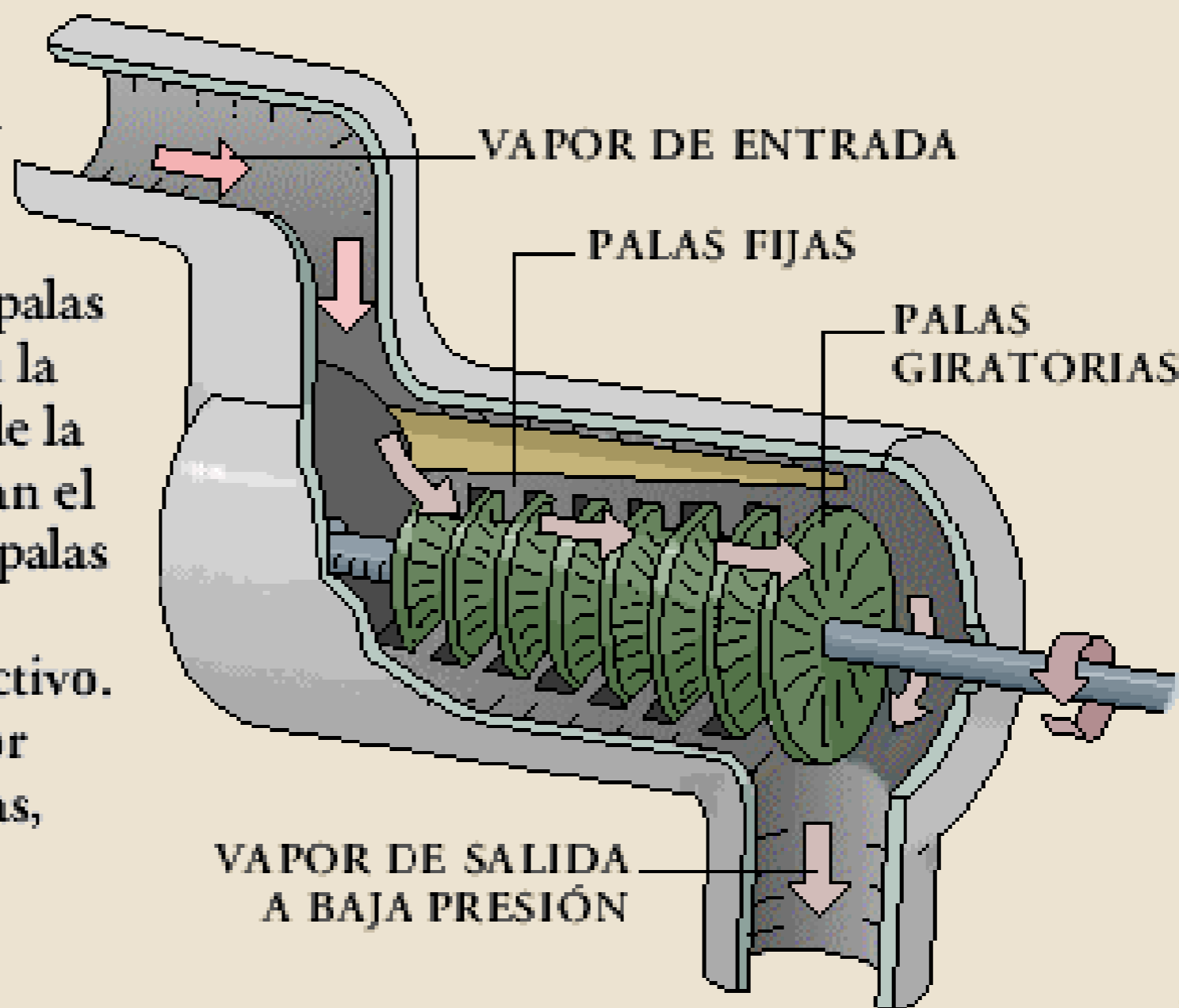
Son aquéllas cuyo fluido de trabajo sufre un cambio de densidad considerable a través de su paso por la máquina. Estas se suelen clasificar en dos subconjuntos distintos debido a sus diferencias fundamentales de diseño:

*Turbinas a vapor.* Su fluido de trabajo puede sufrir un cambio de fase durante su paso por el rodete; este es el caso de las turbinas a mercurio, y el de las turbinas a vapor de agua.

- *Turbinas a gas:* En este tipo de turbinas no se espera un cambio de fase del fluido durante su paso por el rodete.

## TURBINA DE VAPOR

El vapor a alta **presión** empuja las palas de la turbina y las hace girar. Las palas fijas situadas en la pared interior de la turbina canalizan el vapor hacia las palas giratorias en el ángulo más efectivo. Cuando el vapor impulsa las palas, se dilata y baja de presión y **temperatura**.



De acuerdo al diseño del rodete se clasifican en:

- **Turbina Kaplan:** son turbinas axiales, que tienen la particularidad de poder variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento.
- **Turbina Hélice:** son exactamente iguales a las turbinas kaplan, pero a diferencia de estas, no son capaces de variar el ángulo de sus palas.

● **Turbina Pelton:** Son resultado directo de la evolución de los antiguos molinos de agua, y en vez de contar con álabes o palas si dice que tiene *cucharas*.

● **Turbina Francis:** Son turbinas de flujo mixto y de reacción, Están diseñadas para trabajar con saltos de agua medios y caudales medios.



### ***3.-Turbinas eólicas:***

Una turbina eólica es un mecanismo que transforma la energía del viento en otra forma de energía útil como mecánica o eléctrica.

La energía cinética del viento es transformada en energía mecánica por medio de la rotación de un eje. Esta energía mecánica puede ser aprovechada para moler, como ocurría en los antiguos molinos de viento, o para bombear agua, como en el caso del molino multipala. La energía mecánica puede ser transformada en eléctrica mediante un generador eléctrico (un alternador o un dinamo).



## ***4.-Turbinas submarinas:***

Consiste en aprovechar la energía cinética de las Corrientes Submarinas, fijando al fondo submarino turbinas montadas sobre torres prefabricadas para que puedan rotar en busca de las corrientes submarinas, ya que la velocidad de las corrientes submarinas varía a lo largo de un año se han de ubicar en los lugares más propicios en donde la velocidad de las corrientes varían entre 3 km/h y 10 km/h para implantar Centrales turbinicas preferentemente en profundidades lo más someras posibles y que no dañen ningún ecosistema submarino.

- Avances en el diseño de las turbinas.

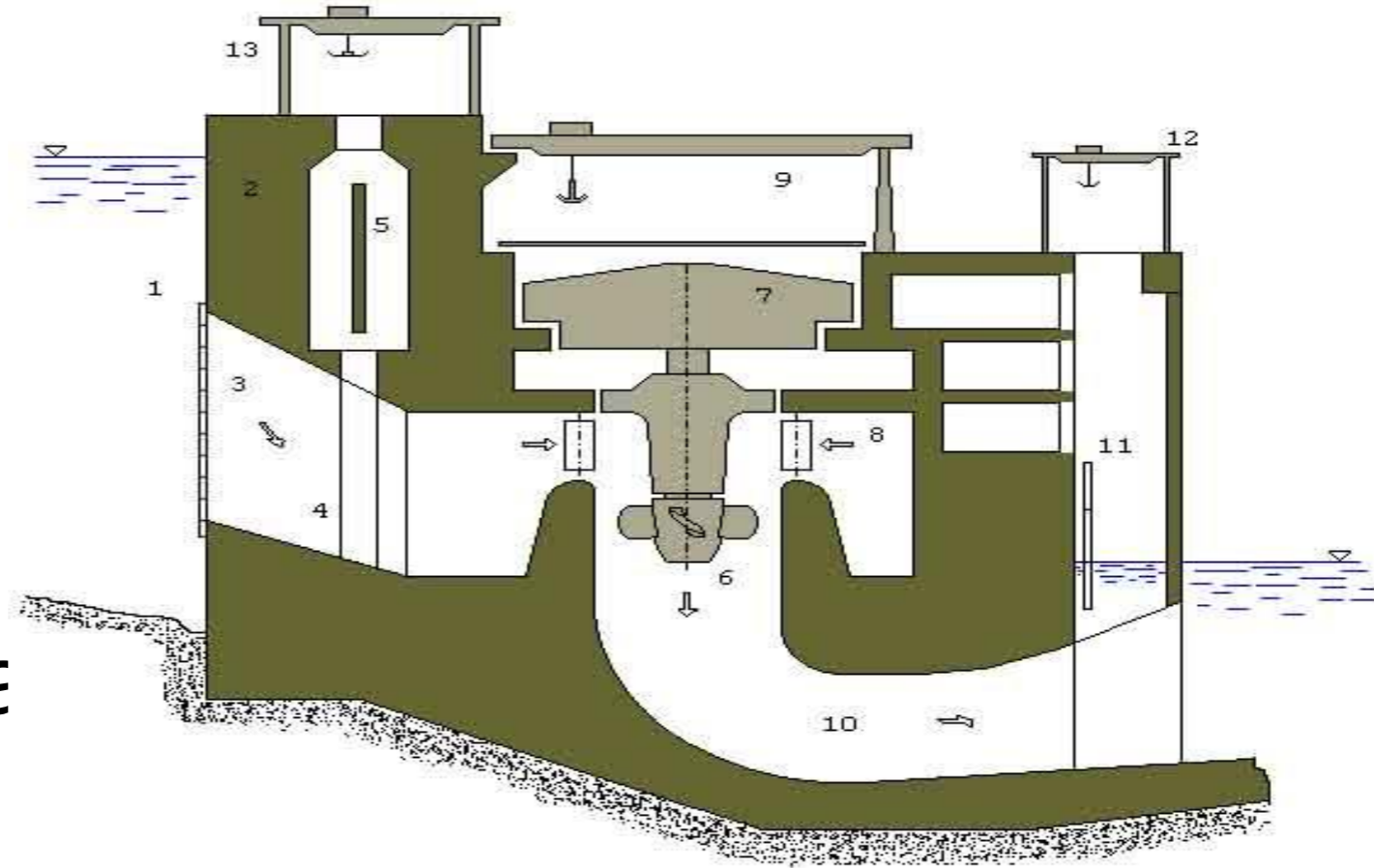
La tendencia en las turbinas hidráulicas modernas es utilizar caídas mayores y máquinas más grandes. Según el tamaño de la unidad, las turbinas Kaplan se utilizan en caídas de unos 60 m, y en el caso de las turbinas Francis de hasta 610 m.

La instalación de caída más alta del mundo (1.770 m) se encuentra en Reisseck, en Austria, y las turbinas más grandes del mundo están en una planta generadora de la presa de Itaipú, entre Paraguay y Brasil, donde se utilizan 18 turbinas de tipo Francis de 700 MW de potencia cada una, que consiguen un total de 12.600 MW.

Se han diseñado turbinas que actúan como bombas cuando funcionan a la inversa, invirtiendo el generador eléctrico para que funcione como un motor. Dado que no es posible almacenar la energía eléctrica de forma económica, este tipo de bombas turbina se utiliza para bombear agua hacia los embalses, aprovechando la energía eléctrica generada por las centrales nucleares y térmicas durante las horas de poco consumo.

El agua embalsada se emplea de nuevo para generar energía eléctrica durante las horas de consumo elevado. En los últimos años se han desarrollado turbinas para caídas de hasta 600 m y con capacidades de más de 400 MW.

•Aplicación



- 1 Embalse
- 2 Presa de contención
- 3 Entrada de agua a las máquinas (toma), con reja
- 4 Conducto de entrada del agua



22-1. Una turbina Pelton trabaja bajo una altura neta de 240 m;  $c_1 = 0,98 \sqrt{2gH}$ . El diámetro del chorro es de 150 mm y el del rodete de 1.800 mm;  $\alpha_1 = 0^\circ$ ,  $\beta_2 = 15^\circ$ ,  $w_2 = 0,70 w_1$  y  $u_1 = 0,45 c_1$ .

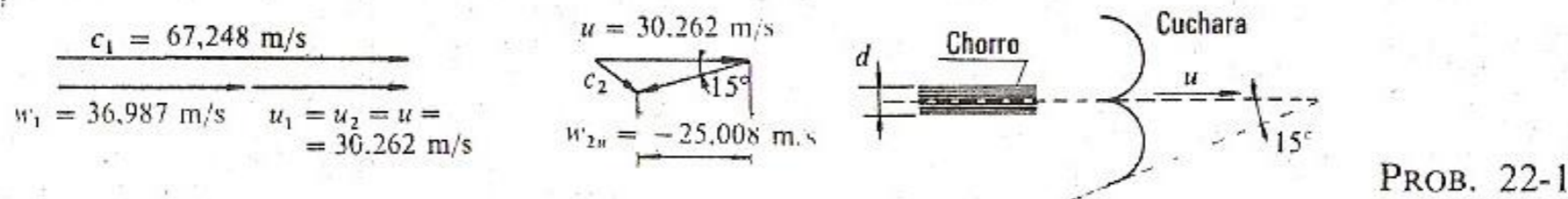
Calcular:

- a) la fuerza tangencial ejercida por el chorro sobre las cucharas;
- b) la potencia transmitida por el agua al rodete;
- c) rendimiento hidráulico de la turbina;
- d) si el rendimiento mecánico es 0,97, calcular el rendimiento total de la turbina.

a) Tomando como eje  $x$  la dirección de la velocidad periférica del rodete en el punto en que el eje del chorro corta a éste, la fuerza tangencial ejercida por el chorro sobre las cucharas es igual y de sentido contrario a la que las cucharas ejercen sobre el fluido. Por tanto (véase Sec. 16.3.2):

$$F = Q\rho(w_{1u} - w_{2u}) \quad (1)$$

Calculemos los triángulos de velocidad a la entrada y salida del rodete de esta turbina (véase figura):



*Triángulo de entrada:*

$$c_1 = 0,98 \sqrt{2gH} = 0,98 \sqrt{19,62 \cdot 240} = 67,248 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$u = u_1 = u_2$  (las turbinas Pelton son turbinas tangenciales y en ellas la velocidad periférica a la entrada y salida es la misma)

$$u = 0,45 c_1 = 30,262 \text{ m/s}$$

Siendo  $\alpha_1 = 0$

$$w_1 = w_{1u} = c_1 - u = 36,987 \text{ m/s}$$

*Triángulo de salida:*

$$w_2 = 0,7 w_1 = 25,891 \text{ m/s}$$

$$w_{2u} = -w_2 \cos \beta_2 = -25,008 \text{ m/s}$$

Por otra parte

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} c_1 =$$

$$= 1,188 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sustituyendo los valores hallados en la Ec. (1) tendremos:

$$F = 73.673 \text{ N}$$

b) La potencia transmitida por el agua al rodete, según la conocida ecuación de la mecánica

$$P = Fu$$

será (esta potencia es la potencia interna,  $P_i$ ):

$$\begin{aligned} P_i &= 2.229 \cdot 10^6 \text{ W} = \\ &= 2.229 \text{ kW} \end{aligned}$$

c)

$$\eta_h = \frac{H_u}{H}$$

$$\begin{aligned} H_u &= \frac{P_i}{Q\rho g} = \\ &= 191,241 \text{ m} \end{aligned}$$

Por tanto

$$\eta_h = 79,68 \%$$

d)

$$\eta_{tot} = \eta_m \eta_h = 0,97 \eta_h = 0,7729 \quad \text{ó} \quad 77,29 \%$$

## APLICACIONES DEL VAPOR

- SISTEMAS INDUSTRIALES DE CALEFACCIÓN
- CICLO MÁQUINA DE VAPOR
- CENTRALES TÉRMICAS
- TURBINAS, CICLO RANKINE
- CONDENSADORES Y TORRES DE ENFRIAMIENTO



## 4.- FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA

- GENERALIDADES
- GEOTERMICA
- SOLAR
- NUCLEAR

# COMPRESIÓN DE AIRE Y GASES

- 5.1 GENERALIDADES Y TERMINOLOGÍA
- 5.2 COMPRESORES E INSTALACIONES
  - APLICACIONES DEL AIRE COMPRIMIDO
  - AUTOMATIZACIÓN NEUMÁTICA
- 5.5 SESIÓN EN EL LABORATORIO

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO “ESCUELA SUPERIOR DE TEPEJI”



**MATERIA: Maquinas térmicas**

**Tema: Compresores**

- **INTRODUCCIÓN**

- Toda máquina que realiza trabajo con la finalidad de mantener un fluido en movimiento o provocar el desplazamiento o el flujo del mismo se podría ajustar al nombre de bomba o compresor, los que suelen evaluarse por cuatro características:

- Cantidad de fluido descargado por unidad de tiempo

-Aumento de la presión

- Potencia

- Rendimiento

El efecto conseguido por la mayoría de los dispositivos de bombeo es el de aumentar la presión del fluido, si bien algunos de ellos comunican al fluido un aumento de su energía cinética o una elevación de su nivel geodésico.



- Las bombas empleadas para gases y vapores suelen llamarse compresores. Los compresores poseen una tubería de succión por donde es aspirado el gas que dentro del compresor reduce su volumen y aumenta su presión.

# COMPRESORES

Un compresor es una máquina que eleva la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor. Comparados con turbo soplantes y ventiladores centrífugos o de circulación axial, en cuanto a la presión de salida, los compresores se clasifican generalmente como máquinas de alta presión, mientras que los ventiladores y soplantes se consideran de baja presión.

# UTILIZACIÓN

- Los compresores se emplean para aumentar la presión de una gran variedad de gases y vapores para un gran número de aplicaciones. Un caso común es el compresor de aire, que suministra aire a elevada presión para transporte, pintura a pistola, inflado de neumáticos, limpieza, herramientas neumáticas y perforadoras.

Otro es el compresor de refrigeración, empleado para comprimir el gas del vaporizador. Otras aplicaciones abarcan procesos químicos, conducción de gases, turbinas de gas y construcción

# Estructura de los compresores

- Los elementos principales de esta estructura son:
  - motor
  - cuerpo
  - tapas
  - enfriador
  - y árboles.

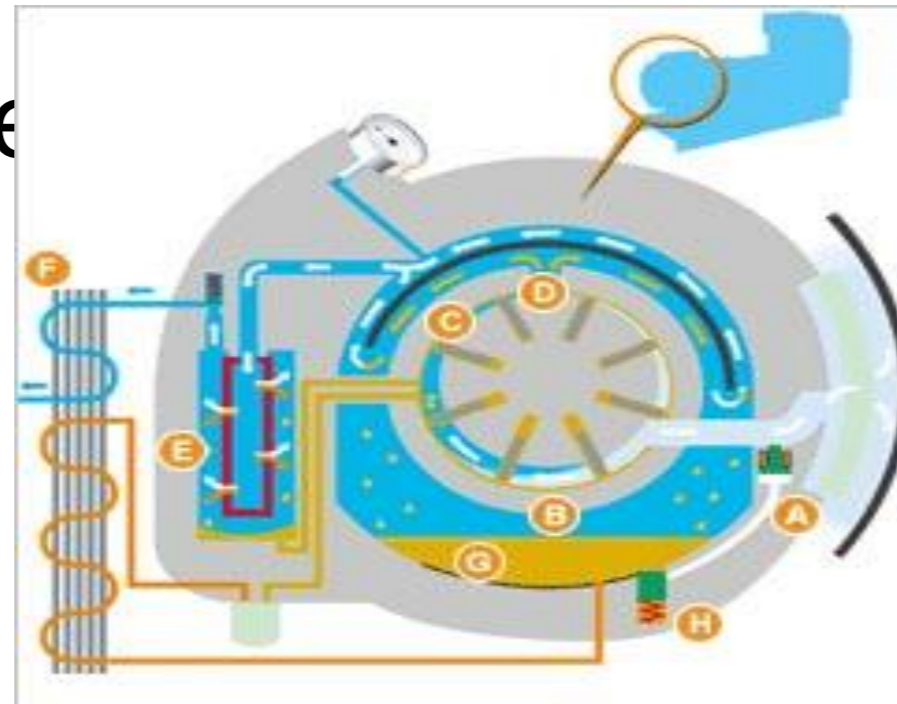


# CLASIFICACIÓN DE LOS COMPRESORES

- Al clasificarse según el indicio constructivo los compresores volumétricos se subdividen en los de émbolo y de rotor y los de paletas en centrífugos y axiales. Es posible la división de los compresores en grupos de acuerdo con el género de gas que se desplaza, del tipo de transmisión y de la destinación del compresor.

# COMPRESORES ROTATIVOS O CENTRÍFUGOS

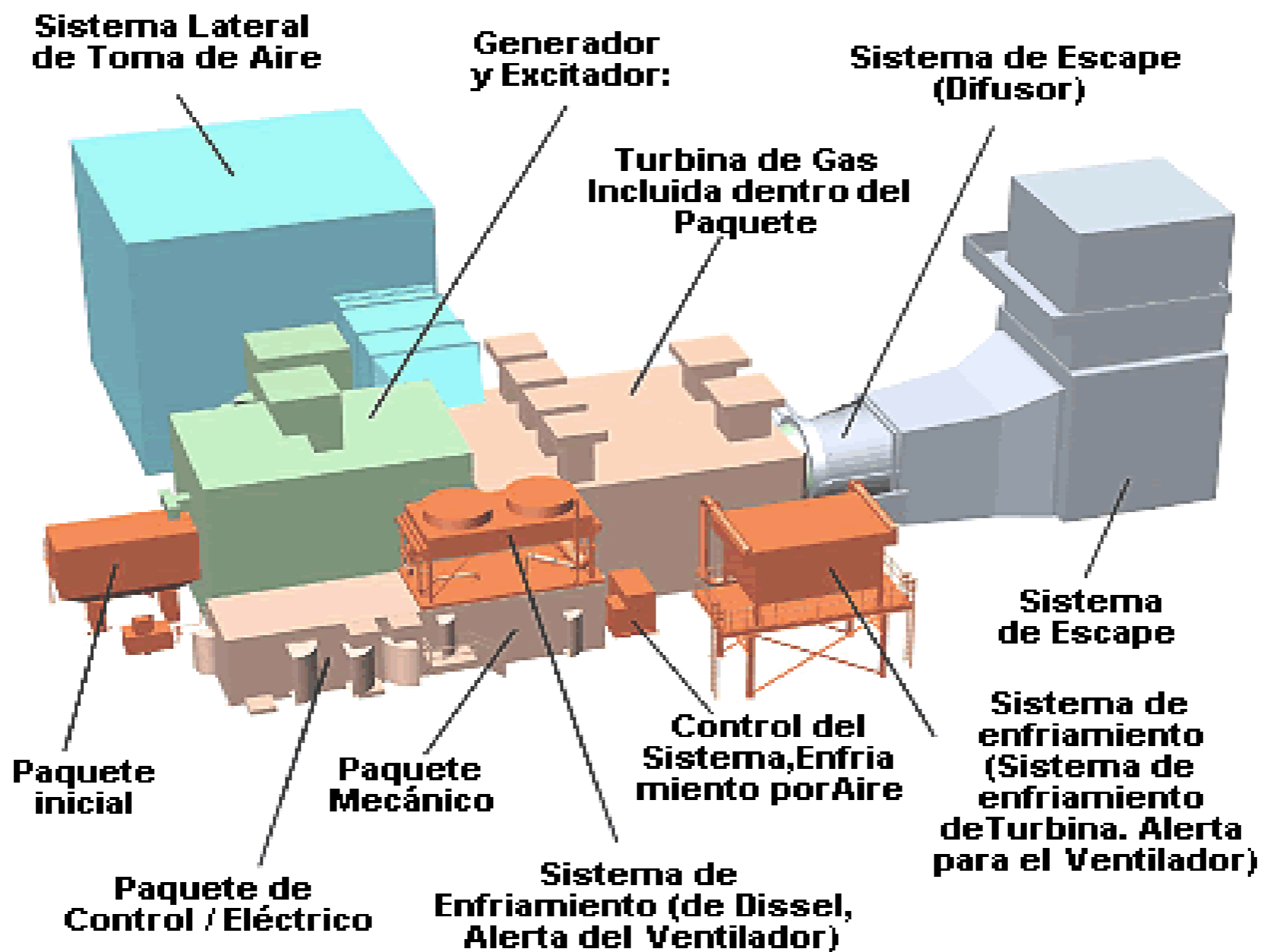
- Los compresores rotativos comprimen el gas mediante paletas.



Los gases impulsados y comprimidos por las paletas se expulsan a través de las válvulas de escape.

# COMPRESOR AXIAL

- El compresor axial se desarrollo para utilizarse con turbinas de gas y posee diversas ventajas para servicios en motores de reacción de la aviación. Su aceptación por la industria para instalaciones estacionarias fue lenta; pero se construyeron varias unidades de gran capacidad para altos hornos, elevadores de la presión de gas y servicios en túneles aerodinámicos.



# COMPRESOR ALTERNATIVO O DE EMBOLO

- Los compresores alternativos funcionan con el principio adiabático mediante el cual se introduce el gas en el cilindro por las válvulas de entrada, se retiene y comprime en el cilindro y sale por las válvulas de descarga, en contra de la presión de descarga.

Los compresores alternativos pueden ser del tipo lubricado o sin lubricar.



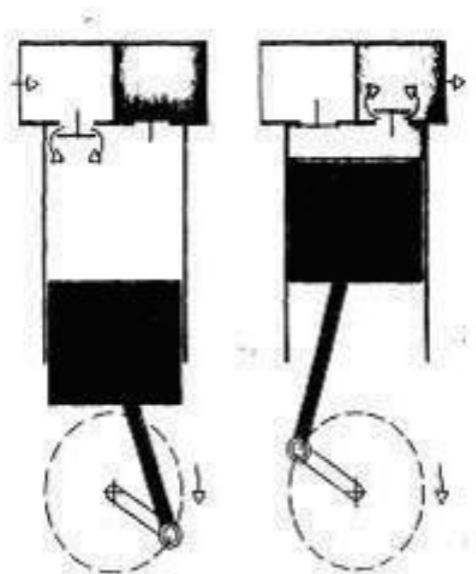
Si el proceso lo permite, es preferible tener un compresor lubricado, porque las piezas durarán más. Hay que tener cuidado de no lubricar en exceso, porque la carbonización del aceite en las válvulas puede ocasionar adherencias y sobrecalentamiento.

En los compresores sin lubricación, la mugre suele ser el problema más serio.

# Características de compresor de embolo

- De preferencia deben de tener motores de baja velocidad.
- Son acoplamiento directo.
- Si son de más de 300 HP; suelen ser de velocidad constante.
- El control de la velocidad se logra mediante válvulas descargadoras.

- **Los compresores alternativos de embolo se clasifican:**
  - Monofásico o de simple efecto
  - Bifásico, de doble efecto



# Ejemplo

- Un compresor centrífugo descarga 2.27 Kg de aire por segundo. En el supuesto que la velocidad periférica valga 457.2 m/seg. El factor de deslizamiento 1.04 y el factor de potencia absorbida 0.9 calcular la potencia comunicada en el aire.

# solución

$$W = \frac{Fs U^2}{g}$$

$$HP = \frac{W}{76}$$

$$W = 2.27 * 0.9 * 1.04 * \frac{457.2^2}{9.81} = 45000 \text{ kgm/seg}$$

•

$$Hp = \frac{45000}{76} = 595$$



- Bibliografía

Energía mediante vapor, aire o gas

W. H. Seveerns

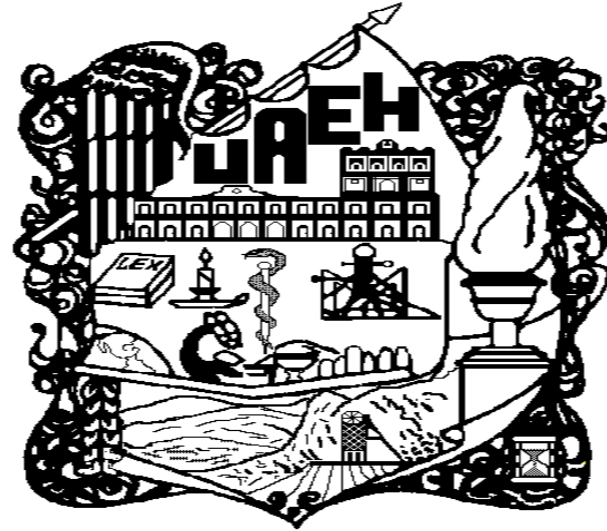
Edit. Revertè S.A.

Monografias.com Ingeniería

*Compresor* - Wikipedia, la enciclopedia libre

## TURBINAS DE GAS

- GENERALIDADES 1
- CICLOS BRAYTON Y ERICSON



UNIVER DUMA DEL

ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR DE TEPEJI DEL RÍO

MIGUEL ANGEL HERNÁNDEZ GARDUÑO

PROFESOR

El tipo más antiguo y más simple de turbina hidráulica es la rueda hidráulica, utilizada por primera vez en Grecia y utilizada durante la antigüedad y la edad media para moler cereales. Consistía en un eje vertical con un conjunto de aspas o palas radiales situadas en una corriente de agua a gran velocidad.

La rueda hidráulica horizontal descrita por primera vez por el arquitecto e ingeniero romano Vitrubio en el siglo I a.C., tenía el segmento inferior de la rueda de palas insertada en la corriente, y actuaba como una rueda hidráulica de empuje inferior.

La transición de la rueda hidráulica a la turbina es sobre todo semántica. El primer intento de formular la base teórica para el diseño de ruedas hidráulicas en el siglo XVIII corresponde al ingeniero civil británico John Smeaton, que demostró que la rueda de empuje superior era más eficaz.

Sin embargo, el ingeniero militar francés Jean Victor Poncelet diseñó una rueda de empuje inferior cuyas palas curvadas aumentaban el rendimiento casi un 70%.

# TURBINAS.

Turbina es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbomáquinas motoras.

Éstas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y este le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.



Las turbinas constan de una o dos ruedas con paletas, denominadas rotor y estator, siendo la primera la que el fluido, arrastra el eje en el que movimiento de rotación.



# TIPOS DE TURBINAS

Las turbinas, por ser turbomáquinas, suele hablarse de dos grupos principales.

## ***1.-Turbinas hidráulicas:***

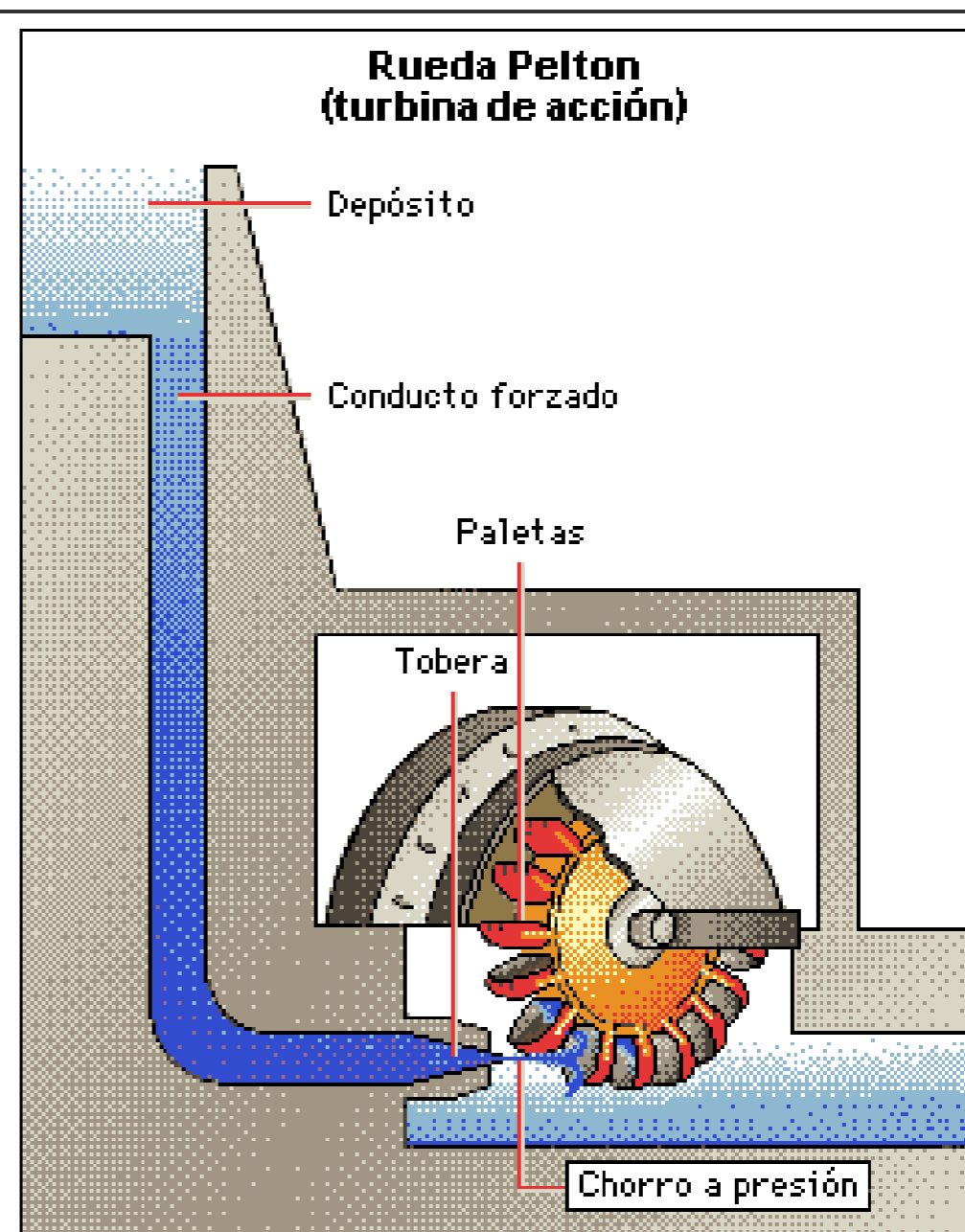
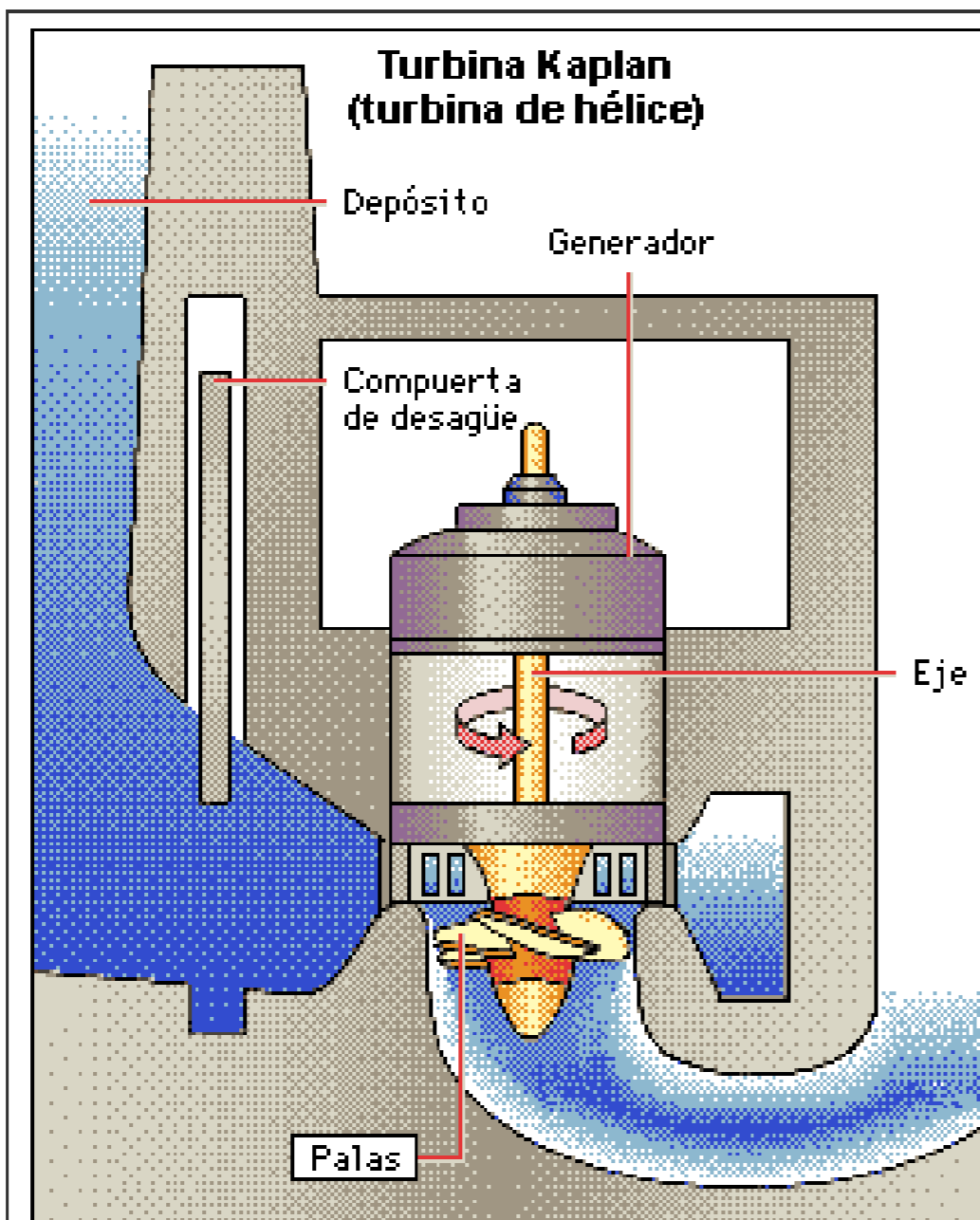
Son aquéllas cuyo fluido de trabajo no sufre un cambio de densidad considerable a través de su paso por el rodete o por el estator; éstas son generalmente las turbinas de agua, que son las más comunes.



Dentro de este genero suele hablarse de

- *Turbinas de acción*: La presión que el fluido tiene a la entrada en la turbina se reduce hasta la presión atmosférica en la corona directriz, manteniéndose constante en todo el rodete. Su principal característica es que carecen de tubería de aspiración. La principal turbina de acción es la Pelton, cuyo flujo es tangencial. El distribuidor en estas turbinas se denomina inyector.

*Turbinas de reacción:* Son aquellas en que el fluido sí sufre un cambio de presión considerable a través de su paso por el rodete. El fluido entra en el rodete con una presión superior a la atmosférica y a la salida de éste presenta una depresión. Se caracterizan por presentar una tubería de aspiración, la cual une la salida del rodete con la zona de descarga de fluido.





## ***2.-Turbinas térmicas:***

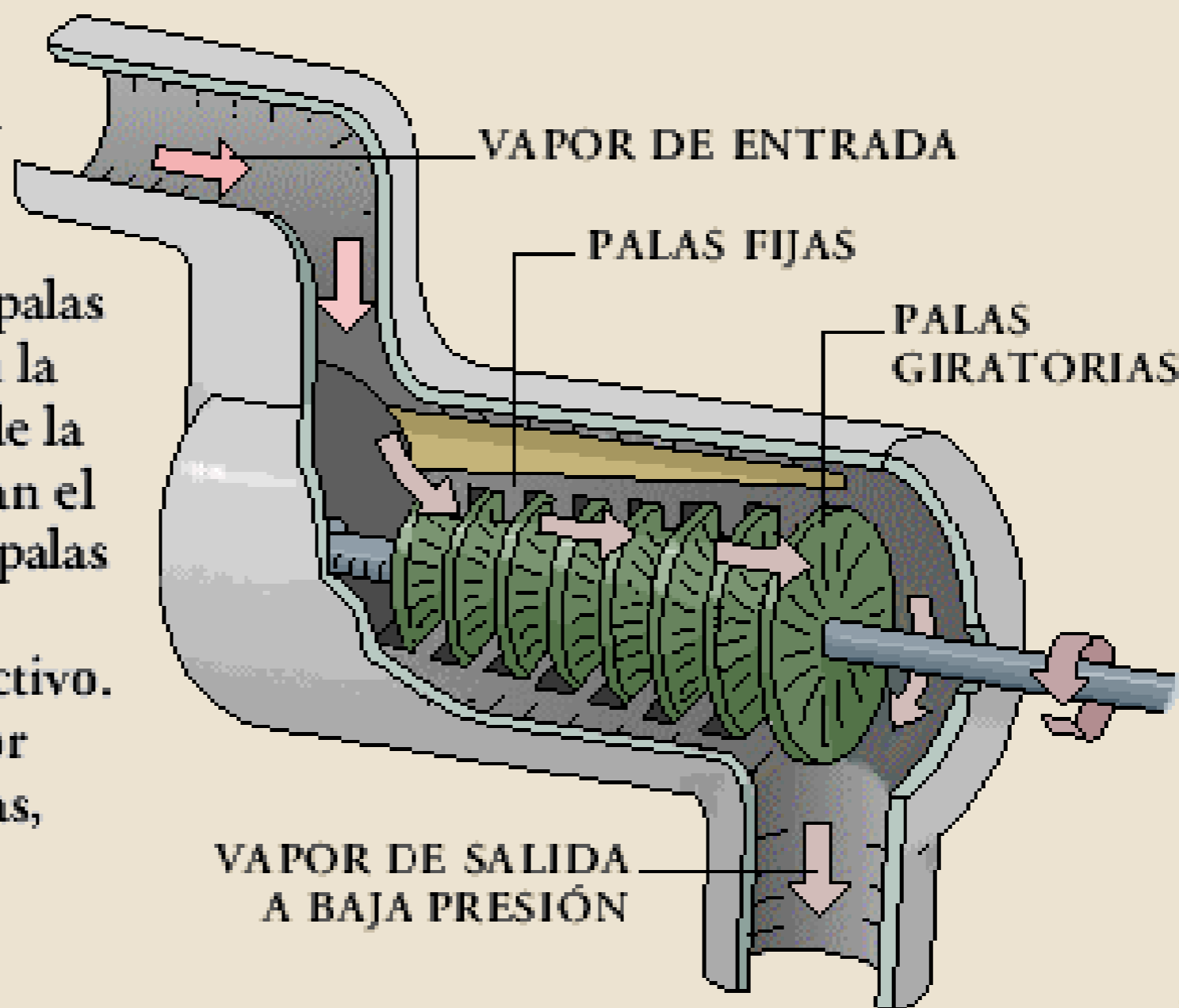
Son aquéllas cuyo fluido de trabajo sufre un cambio de densidad considerable a través de su paso por la máquina. Estas se suelen clasificar en dos subconjuntos distintos debido a sus diferencias fundamentales de diseño:

*Turbinas a vapor.* Su fluido de trabajo puede sufrir un cambio de fase durante su paso por el rodete; este es el caso de las turbinas a mercurio, y el de las turbinas a vapor de agua.

- *Turbinas a gas:* En este tipo de turbinas no se espera un cambio de fase del fluido durante su paso por el rodete.

## TURBINA DE VAPOR

El vapor a alta **presión** empuja las palas de la turbina y las hace girar. Las palas fijas situadas en la pared interior de la turbina canalizan el vapor hacia las palas giratorias en el ángulo más efectivo. Cuando el vapor impulsa las palas, se dilata y baja de presión y **temperatura**.



De acuerdo al diseño del rodete se clasifican en:

- **Turbina Kaplan:** son turbinas axiales, que tienen la particularidad de poder variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento.
- **Turbina Hélice:** son exactamente iguales a las turbinas kaplan, pero a diferencia de estas, no son capaces de variar el ángulo de sus palas.

● **Turbina Pelton:** Son resultado directo de la evolución de los antiguos molinos de agua, y en vez de contar con álabes o palas si dice que tiene *cucharas*.

● **Turbina Francis:** Son turbinas de flujo mixto y de reacción, Están diseñadas para trabajar con saltos de agua medios y caudales medios.

### ***3.-Turbinas eólicas:***

Una turbina eólica es un mecanismo que transforma la energía del viento en otra forma de energía útil como mecánica o eléctrica.

La energía cinética del viento es transformada en energía mecánica por medio de la rotación de un eje. Esta energía mecánica puede ser aprovechada para moler, como ocurría en los antiguos molinos de viento, o para bombear agua, como en el caso del molino multipala. La energía mecánica puede ser transformada en eléctrica mediante un generador eléctrico (un alternador o un dinamo).





## ***4.-Turbinas submarinas:***

Consiste en aprovechar la energía cinética de las Corrientes Submarinas, fijando al fondo submarino turbinas montadas sobre torres prefabricadas para que puedan rotar en busca de las corrientes submarinas, ya que la velocidad de las corrientes submarinas varía a lo largo de un año se han de ubicar en los lugares más propicios en donde la velocidad de las corrientes varían entre 3 km/h y 10 km/h para implantar Centrales turbínicas preferentemente en profundidades lo más someras posibles y que no dañen ningún ecosistema submarino.

- Avances en el diseño de las turbinas.

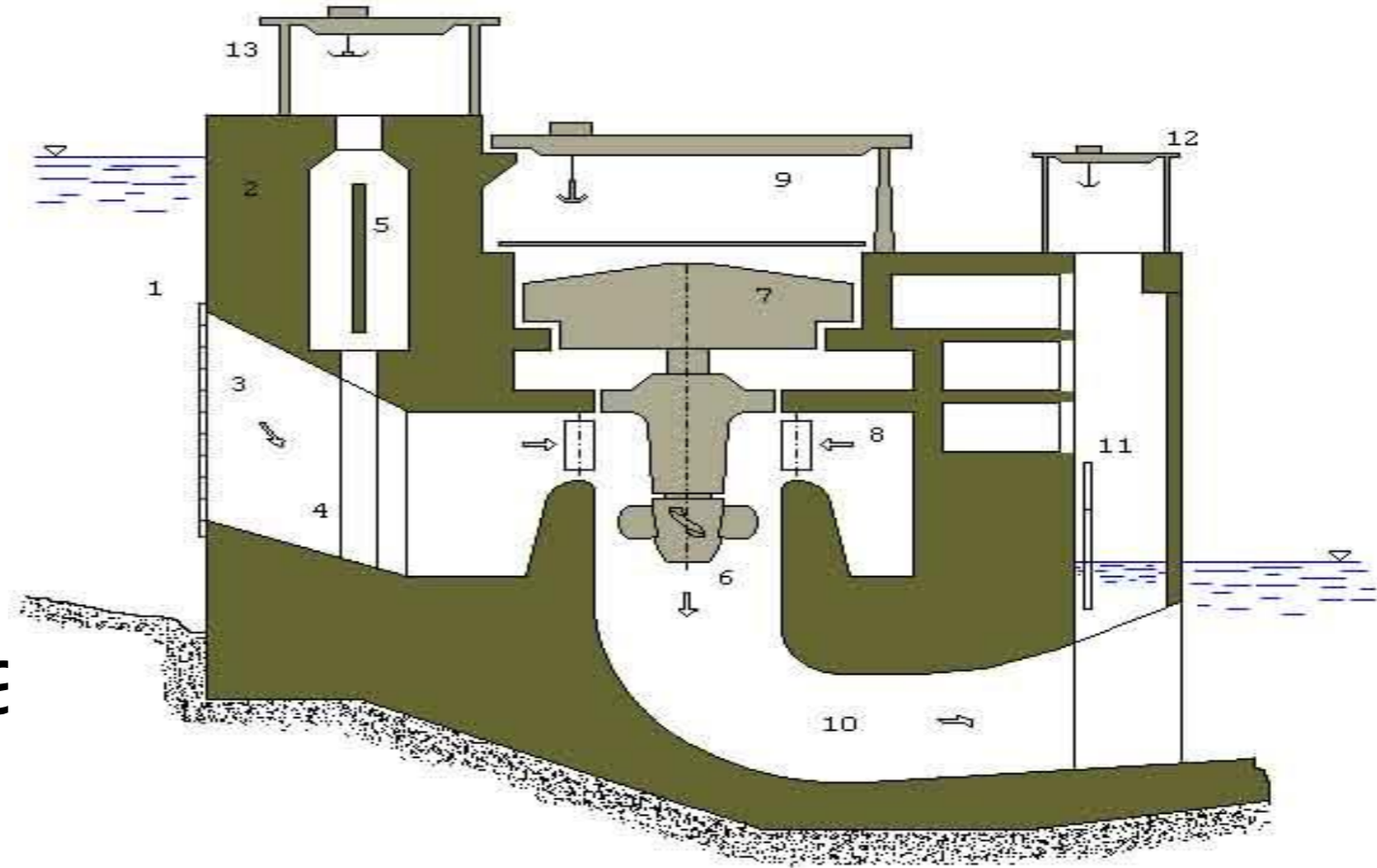
La tendencia en las turbinas hidráulicas modernas es utilizar caídas mayores y máquinas más grandes. Según el tamaño de la unidad, las turbinas Kaplan se utilizan en caídas de unos 60 m, y en el caso de las turbinas Francis de hasta 610 m.

La instalación de caída más alta del mundo (1.770 m) se encuentra en Reisseck, en Austria, y las turbinas más grandes del mundo están en una planta generadora de la presa de Itaipú, entre Paraguay y Brasil, donde se utilizan 18 turbinas de tipo Francis de 700 MW de potencia cada una, que consiguen un total de 12.600 MW.

Se han diseñado turbinas que actúan como bombas cuando funcionan a la inversa, invirtiendo el generador eléctrico para que funcione como un motor. Dado que no es posible almacenar la energía eléctrica de forma económica, este tipo de bombas turbina se utiliza para bombear agua hacia los embalses, aprovechando la energía eléctrica generada por las centrales nucleares y térmicas durante las horas de poco consumo.

El agua embalsada se emplea de nuevo para generar energía eléctrica durante las horas de consumo elevado. En los últimos años se han desarrollado turbinas para caídas de hasta 600 m y con capacidades de más de 400 MW.

•Aplicación



1 Embalse

2 Presa de contención

3 Entrada de agua a las máquinas (toma),  
con reja

4 Conducto de entrada del agua

22-1. Una turbina Pelton trabaja bajo una altura neta de 240 m;  $c_1 = 0,98 \sqrt{2gH}$ . El diámetro del chorro es de 150 mm y el del rodete de 1.800 mm;  $\alpha_1 = 0^\circ$ ,  $\beta_2 = 15^\circ$ ,  $w_2 = 0,70 w_1$  y  $u_1 = 0,45 c_1$ .

Calcular:

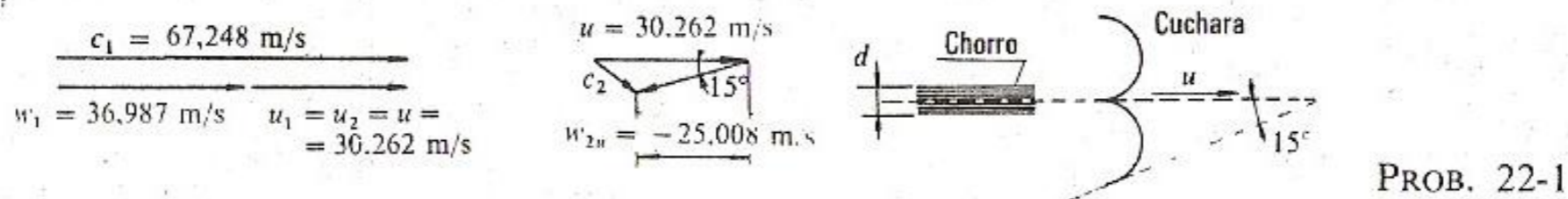
- a) la fuerza tangencial ejercida por el chorro sobre las cucharas;
- b) la potencia transmitida por el agua al rodete;
- c) rendimiento hidráulico de la turbina;
- d) si el rendimiento mecánico es 0,97, calcular el rendimiento total de la turbina.



a) Tomando como eje  $x$  la dirección de la velocidad periférica del rodete en el punto en que el eje del chorro corta a éste, la fuerza tangencial ejercida por el chorro sobre las cucharas es igual y de sentido contrario a la que las cucharas ejercen sobre el fluido. Por tanto (véase Sec. 16.3.2):

$$F = Q\rho(w_{1u} - w_{2u}) \quad (1)$$

Calculemos los triángulos de velocidad a la entrada y salida del rodete de esta turbina (véase figura):



*Triángulo de entrada:*

$$c_1 = 0,98 \sqrt{2gH} = 0,98 \sqrt{19,62 \cdot 240} = 67,248 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$u = u_1 = u_2$  (las turbinas Pelton son turbinas tangenciales y en ellas la velocidad periférica a la entrada y salida es la misma)

$$u = 0,45 c_1 = 30,262 \text{ m/s}$$

Siendo  $\alpha_1 = 0$

$$w_1 = w_{1u} = c_1 - u = 36,987 \text{ m/s}$$

*Triángulo de salida:*

$$w_2 = 0,7 w_1 = 25,891 \text{ m/s}$$

$$w_{2u} = -w_2 \cos \beta_2 = -25,008 \text{ m/s}$$

Por otra parte

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} c_1 =$$

$$= 1,188 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sustituyendo los valores hallados en la Ec. (1) tendremos:

$$F = 73.673 \text{ N}$$



b) La potencia transmitida por el agua al rodete, según la conocida ecuación de la mecánica

$$P = Fu$$

será (esta potencia es la potencia interna,  $P_i$ ):

$$\begin{aligned} P_i &= 2.229 \cdot 10^6 \text{ W} = \\ &= 2.229 \text{ kW} \end{aligned}$$

c)

$$\eta_h = \frac{H_u}{H}$$

$$\begin{aligned} H_u &= \frac{P_i}{Q\rho g} = \\ &= 191,241 \text{ m} \end{aligned}$$

Por tanto

$$\eta_h = 79,68 \%$$

d)

$$\eta_{tot} = \eta_m \eta_h = 0,97 \eta_h = 0,7729 \quad \text{ó} \quad 77,29 \%$$

## MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

- CICLOS MECÁNICOS Y TERMICOS 4
- SISTEMAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA 3
- SESIÓN EN LABORATORIO

# REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

- GENERALIDADES, CICLO MECÁNICO
- SESIÓN EN LABORATORIO
- AIRE ACONDICIONADO
- CARTA PSICROMÉTRICA
- SESIÓN EN LABORATORIO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR DE TEPEJI DEL RIO



MATERÍA: MAQUINAS TERMICAS

TEMA: REFRIGERADORES

ALUMNA: JESSICA ANGÉLICA RUIZ MORALES

# CONCEPTO

**Un refrigerador es una máquina que funciona a la inversa de una máquina térmica, es decir, es una máquina que mediante la realización de un trabajo toma calor de una región fría y lo cede a una caliente. Para extraer el calor se aprovechan dos procesos que transcurren con absorción de calor: la evaporación de un líquido y la expansión de un gas.**



# ANTECEDENTES

**HISTÓRICOS**  
Históricamente la refrigeración con hielo o nieve natural se practicaba desde la más remota antigüedad, en Mesopotamia, para fines lúdicos (fiestas cortesanas) y terapéuticos. En cuanto a la refrigeración artificial, en 1755 un profesor de química en Edimburgo (William Cullen) logró producir hielo por contacto con un recipiente con éter que era aspirado con una bomba de vacío.

Pero el problema era que el sistema sólo funcionaba mientras quedaba éter. Fue J. Perkins quien en 1834 patentó en Londres el primer frigorífico de compresión de vapor, funcionando también con éter.

**La ventaja del éter es que, siendo líquido a temperatura ambiente, tiene una presión de vapor relativamente alta (59 kPa a 20 °C, frente a 2,3 kPa para el agua a 20°C), por lo que cuesta poco aspirarlo, aunque al tener que trabajar en depresión es fácil que entre aire y se formen mezclas explosivas.**

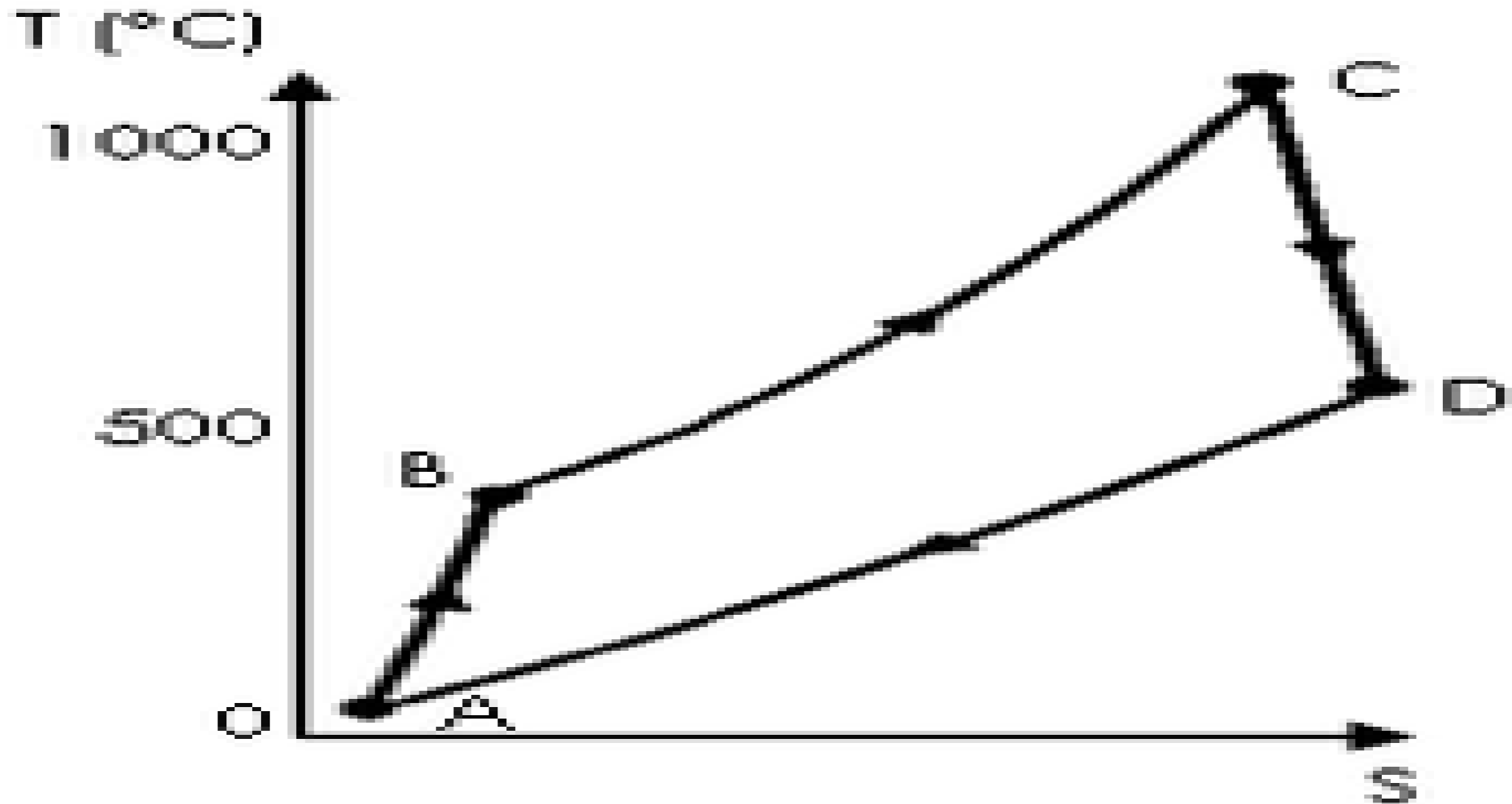
**Por esta razón, posteriormente empezaron a usarse gases comprimidos: primero dióxido de azufre, cuya presión de saturación a 20°C es de 320 kPa, aunque es altamente tóxico; luego amoníaco (Linde-1870), cuya presión de saturación a 20°C es de 850 kPa, aunque es irritante; y por último dióxido de carbono, que aunque es inocuo, tiene tan elevada presión de saturación (5600 kPa a 20 °C) que da lugar a problemas mecánicos (pese a ello, ha sido la sustancia de trabajo más utilizada para refrigeración en barcos, por razones de seguridad).**

**La refrigeración por expansión de aire se desarrolló también en el siglo XIX. Ya en 1828 Trevithick describió una máquina de expansión de aire comprimido, previamente enfriado al ambiente, en un pistón, y Gorrie en 1844 en Florida construyó máquinas según este principio, correspondiente al ciclo Brayton.**

# CICLO BRAYTON

**Se denomina ciclo Brayton a un ciclo termodinámico de compresión, calentamiento y expansión de un fluido compresible, generalmente aire, que se emplea para producir trabajo neto y su posterior aprovechamiento como energía mecánica o eléctrica. En la mayoría de los casos el ciclo Brayton opera con fluido atmosférico o aire, en ciclo abierto, lo que significa que toma el fluido directamente de la atmósfera para someterlo primero a un ciclo de compresión, después a un ciclo de calentamiento y, por último, a una expansión. Al emplear como fluido termodinámico el aire, el ciclo Brayton puede operar a temperaturas elevadas, por lo que es idóneo para aprovechar fuentes térmicas de alta temperatura y obtener un alto rendimiento termodinámico.**

Diagrama del ciclo Brayton en una turbina de gas, en función de la entropía  $S$  y la temperatura  $T$ .



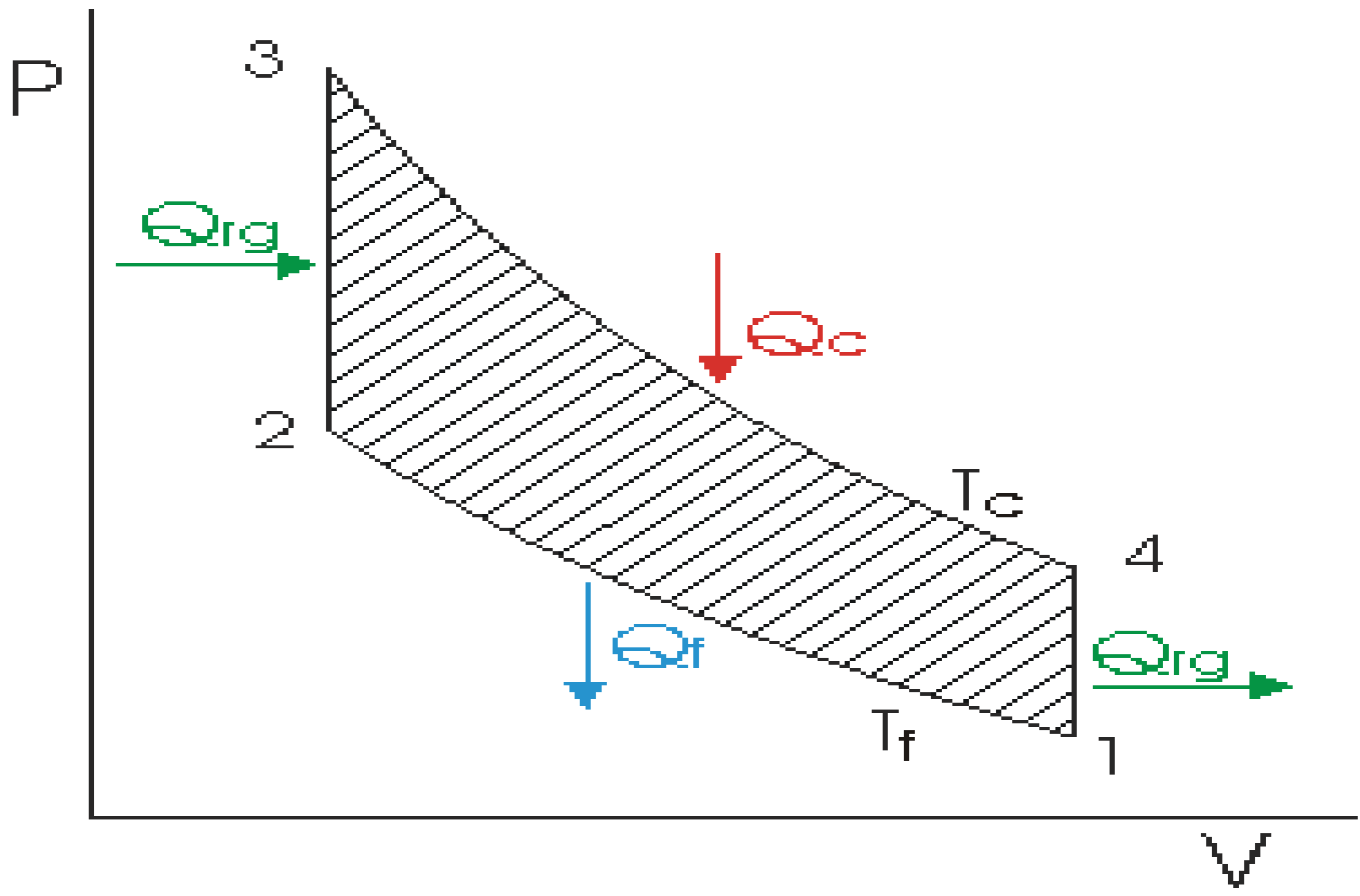


**Aunque en 1862 Kirk produjo una máquina refrigerante basada en un ciclo Stirling, que es termodinámicamente superior al ciclo Brayton sólo en nuestros días se ha vuelto a considerar este tipo de ciclos, sobre todo para la refrigeración criogénica.**

# CICLO STIRLING

**El ciclo teórico de Stirling consta de las 4 etapas: 2 transformaciones isocoras en las que el gas de trabajo pasa a través de un regenerador absorbiendo o cediendo calor, y 2 transformaciones isotermas, en las que el gas está en contacto con una fuente caliente o una fría, a  $T_c$  y a  $T_f$  respectivamente.**

- ❖ **1-2: Compresión isoterma del gas a la temperatura inferior,  $T_f$ . Durante este proceso se cede al exterior una cantidad de calor,  $Q_f$ , a la fuente fría.**
- ❖ **2-3: Absorción de calor a volumen constante. El gas absorbe del regenerador una cantidad de calor  $Q_{rg}$  y aumenta su temperatura, lo que provoca un aumento de presión.**
- ❖ **3-4: Expansión isoterma del gas a alta temperatura,  $T_c$ . Durante este proceso se absorbe una cantidad de calor  $Q_c$  de la fuente caliente.**
- ❖ **4-1: Cesión de una cantidad de calor  $Q_{rg}$  al regenerador a volumen constante, disminuyendo la temperatura del fluido.**

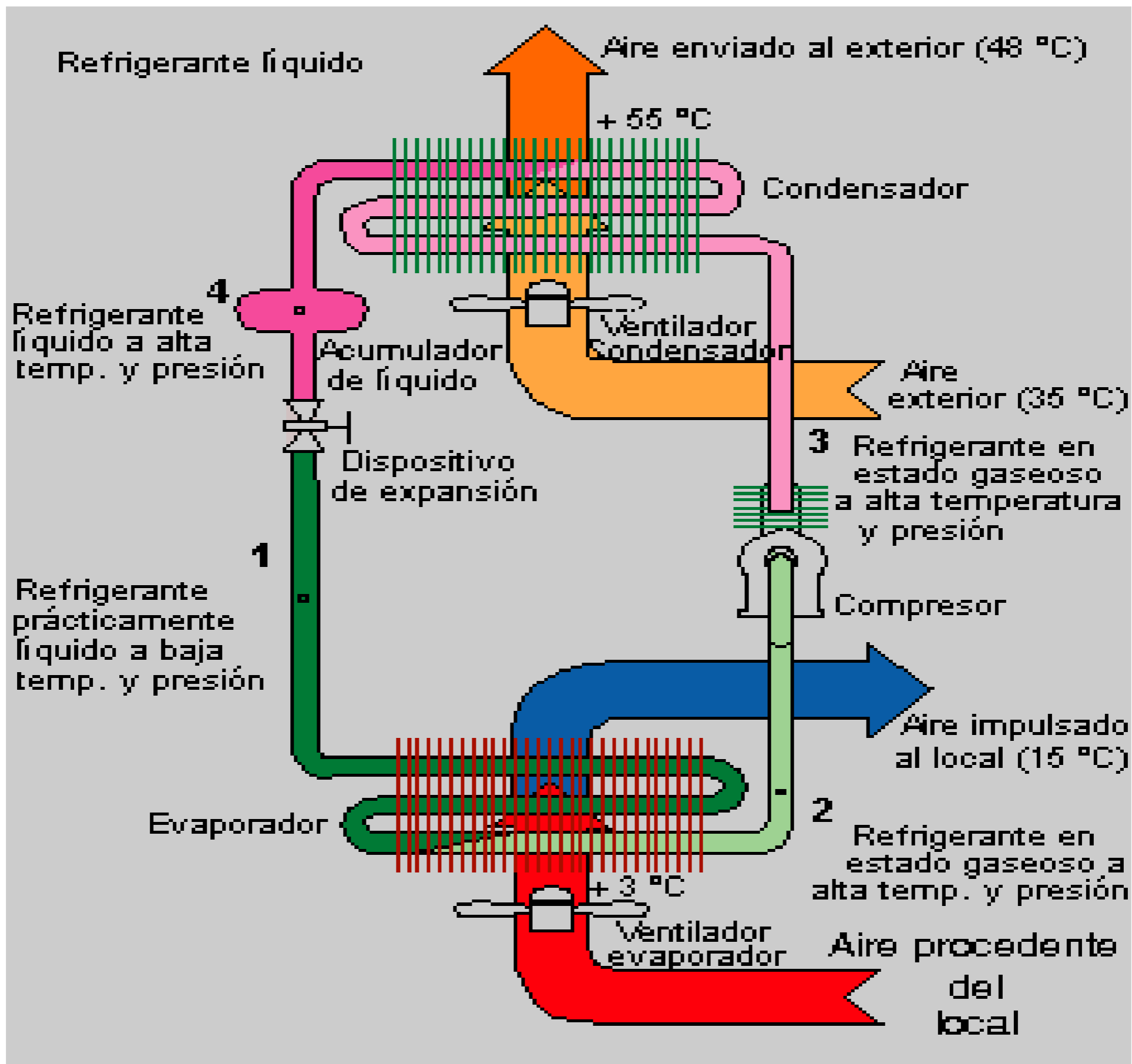


**Sin embargo, todos estos fluidos refrigerantes fueron siendo desplazados con la llegada, hacia 1930, de los fluidos refrigerantes sintéticos a base de hidrocarburos halogenados (también llamados compuestos clorofluorocarbonados, o cloro-fluoro-carbonos, o simplemente CFC), principalmente el dicloro-diflúor-metano, los cuales son químicamente inertes.**

# PARTES DE UN FRIGORIFICO

- ❖ COMPRESOR: Es el elemento que suministra energía al sistema. El refrigerante llega en estado gaseoso al compresor y aumenta su presión.
- ❖ CONDENSADOR: El condensador es un intercambiador de calor, en el que se disipa el calor absorbido en el evaporador (más adelante) y la energía del compresor. En el condensador el refrigerante cambia de fase pasando de gas a líquido.
- ❖ SISTEMA DE EXPANSIÓN: El refrigerante líquido entra en el Dispositivo de expansión donde reduce su presión. Al reducirse su presión se reduce bruscamente su temperatura.
- ❖ EVAPORADOR: El refrigerante a baja temperatura y presión pasa por el evaporador, que al igual que el condensador es un intercambiador de calor, y absorbe el calor del recinto donde está situado. El refrigerante líquido que entra al evaporador se transforma en gas al





# FUNCIONAMIENTO

**Todas las máquinas refrigerantes basadas en la vaporización de un líquido funcionan de manera análoga: el líquido tiende a enfriarse por la vaporización y puede extraer calor de una carga, pero para que la máquina funcione cíclicamente es necesario reciclar el vapor producido y devolverlo a su fase líquida, lo que se puede hacer por compresión mecánica del vapor, por compresión dinámica en un inyector, o por absorción y desorción química con otro fluido.**

**Los refrigeradores más comunes son los de compresión mecánica de vapor. Los de absorción se usan cuando sólo se dispone de calor o éste es muy barato; los de chorro de vapor se usan cuando hay mucho vapor barato; los de ciclo de gas se usan en el acondicionamiento de cabinas de aviones; los termoeléctricos se usan cuando la baja eficiencia no es problema y la carga térmica es muy pequeña, y se desea un equipo diminuto y sin partes móviles.**

# TIPOS DE FRIGORÍFICO DE COMPRESIÓN DE VAPOR FRIGORIFICOS

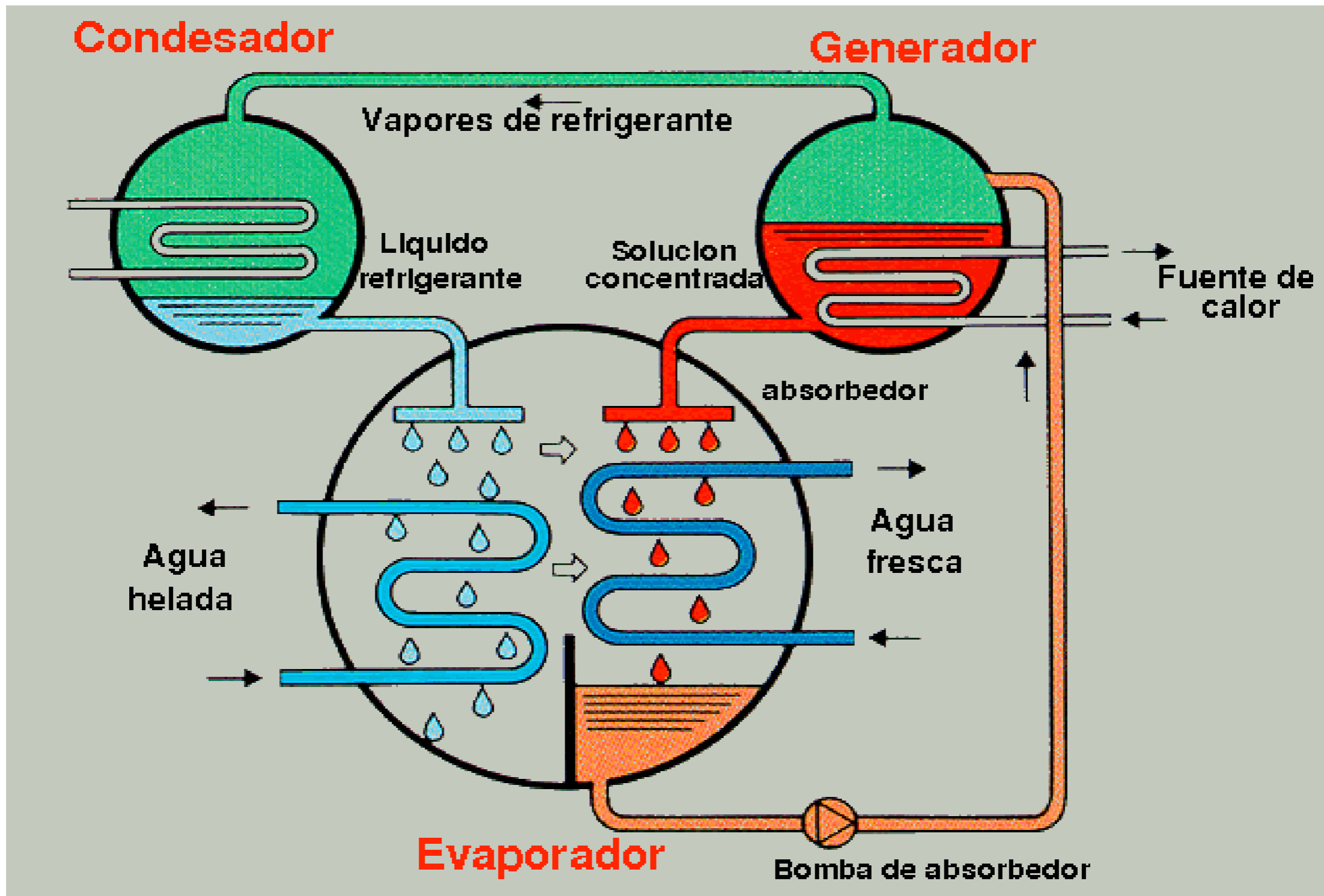
**El trabajo mecánico para el ciclo de compresión del vapor acciona un compresor, que mantiene baja presión en un evaporador y una presión más alta en un condensador.**

**La temperatura a la cual se evapora un líquido (o se condensa un vapor) depende de la presión; así pues, si se hace trabajar la máquina con un fluido adecuado, éste se evaporará a una baja temperatura en el evaporador de baja presión (tomando calor de su entorno) y se condensará a una temperatura más alta en el condensador de alta presión (desprendiendo calor a su entorno).**

**El líquido de alta presión formado en el condensador precisa devolverse al evaporador con un gasto controlado.**

# FRIGORIFICOS DE ABSORCIÓN

**Los frigoríficas de compresión mecánica de vapor son los más usados, pero requieren bastante potencia eléctrica que a veces no está disponible (y es cara) y su funcionamiento es ruidoso por culpa del compresor. En la refrigeración por absorción se sustituye el compresor de vapor por un circuito con otra sustancia de trabajo, en fase líquida, que absorbe los vapores del evaporador (con desprendimiento de calor a la atmósfera); este líquido es bombeado a la presión del condensador, y con una fuente térmica a alta temperatura se desabsorbe la sustancia original de trabajo, la cual pasa al condensador mientras que la solución pobre se devuelve a través de una válvula al absorbedor. Como conviene que el absorbedor esté lo más frío posible, la solución se hace pasar por un intercambiador de calor con la solución que va a entrar al generador de vapor, con lo que disminuye el calor que es necesario aportar.**





**Una máquina frigorífica utiliza el ciclo estándar de compresión de vapor. Produce 50 kW de refrigeración utilizando como refrigerante R-22, si su temperatura de condensación es 40°C y la de evaporación -10°C, calcular:**

- ❖ **Caudal de refrigerante**
- ❖ **Potencia de compresión**
- ❖ **Coeficiente de eficiencia energética**

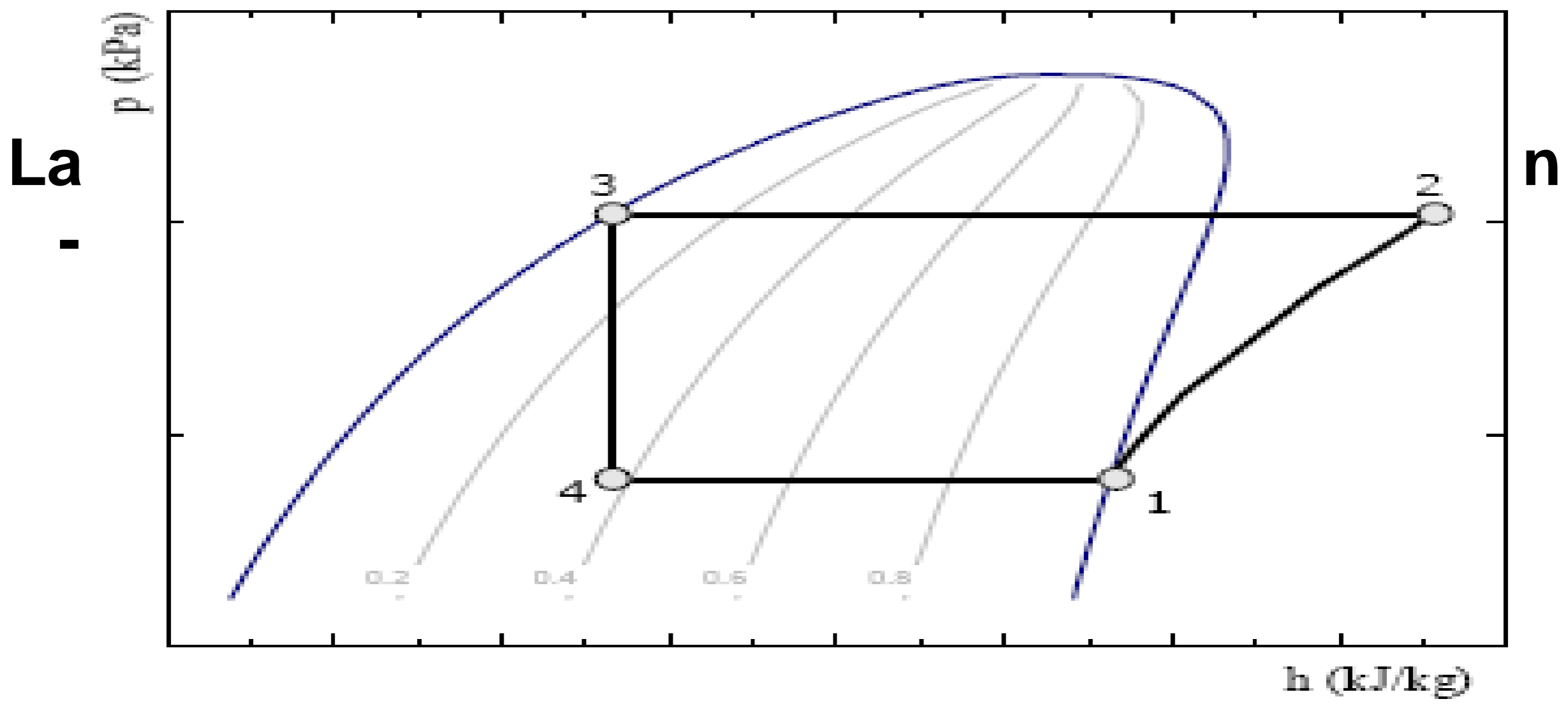


Figura 1.2: Diagrama presión – entalpía del ciclo

Si trasladamos las temperaturas de evaporación ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) y condensación ( $40^{\circ}\text{C}$ ) sobre el diagrama P-h del R-22, usando las tablas de las propiedades del R-22 saturado, obtenemos los siguientes valores:

**Presiones:**

$$P_{cond}=1534,1 \text{ kPa}$$

$$P_{evap}=354,9 \text{ kPa}$$

**Punto 1 vapor saturado a la presión de evaporación:  $h_1=401,1 \text{ KJ/k}$**

**Punto 3 líquido saturado a la presión de condensación:  $h_3=h_4=249,8 \text{ kJ/kg}$**

Para obtener la entalpía del punto 2 debemos usar las tablas de vapor sobrecalentado del R-22 y localizar el punto que se encuentra a la presión de condensación y con una entropía igual a la del punto 1,  $s_2=s_1=1,765$  kJ/Kg·K.

In te	T (°C)	s (kJ/kg·K)	h (kJ/kg)
	60	1,756	434,9
	63,5	1,765	437,9
	70	1,782	443,6

## A. Caudal de refrigerante:

Realizando un balance de energía sobre el evaporador obtenemos el caudal de refrigerante

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_R (h_1 - h_4) \quad \text{a}$$

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}_f}{(h_1 - h_4)} = \frac{50 \text{ kW}}{(401,1 - 249,8) \text{ kJ/kg}} = 0,330 \text{ kg/s}$$

## B. Potencia de compresión:

Realizando un balance sobre el compresor y conocido ya el caudal de refrigerante que circula por el ciclo, obtenemos la potencia de

$$\dot{W}_c = \dot{m}_R (h_2 - h_1) = 0,330 \text{ kg/s} (437,9 - 401,1) \text{ kJ/kg} = 12,14 \text{ kW}$$



## C. Coeficiente de eficiencia energética:

Si utilizamos nuestra máquina para producción de frío, el coeficiente de eficiencia energética tiene la sig

$$COP = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{W}_e} = \frac{50 \text{ kW}}{12,14 \text{ kW}} = 4,12$$