



**Universidad Simón Bolívar**  
Departamento de Conversión y Transporte de Energía  
Turbomáquinas Térmicas. CT-3412

**TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS**  
**CT-3412**

**Libro de Ejercicios**

*Prof. Miguel Alejandro Asuaje Tovar, Dr*

*Marzo 2012*

## Contenido

Introducción .....	3
1. Fundamentos de Termodinámica .....	4
1.1. Gases y Termodinámica .....	4
2. Introducción a las Turbomáquinas .....	6
3. Análisis Dimensional.....	15
4. Rejillas y Turbinas Axiales .....	16
5. Hidráulica de gases .....	20
6. Compresores Axiales.....	20
7. Compresores Centrífugos.....	22

## Introducción

En esta guía, el estudiante encontrará un grupo de problemas de tipo teórico y prácticos, que refuerzan los conceptos impartidos en el curso: Turbomáquinas Térmicas CT-3412. En esta primera versión, algunos errores involuntarios pueden existir, por lo que el autor se disculpa por anticipado. Además, agradece a los estudiantes todos los comentarios que puedan realizar en pro de mejorar el presente material.

## 1. Fundamentos de Termodinámica

### 1.1. Gases y Termodinámica

**Ejercicio 1.1** Un gas ideal ocupa un volumen de 250pies<sup>3</sup> [7.079 m<sup>3</sup>] a una presión de 80psig [551.582 kPa] y temperatura de 45°C [113 °F]. Considere la  $P_{atm}=14.65$ psia [101.009 kPa].

¿Cuál es el volumen que ocuparía el gas a las condiciones  $P=14.7$ psia [101.353 kPa] y  $T=15^{\circ}\text{C}$  [59 °F]?

¿Si el gas es enfriado a 30°C [86 °F], cuál sería la presión de gas para el volumen de gas inicial de 250pies<sup>3</sup> [7.079 m<sup>3</sup>]?

**Ejercicio 1.2.** Determinar el peso específico, volumen específico y la densidad del metano a 100°F [37.778 °C] y 120 psia [827.374 kPa].

**Ejercicio 1.1.3** Se tiene un gas cuyo volumen específico a 90°C [194 °F] y 30 psia [206.84 kPa] es 11.4 pie<sup>3</sup>/lb [0.7117 m<sup>3</sup>/kg]. Se pide determinar la constante del gas R y la densidad  $\rho$ .

**Ejercicio 1.1.4.** Un depósito de aire comprimido tiene un volumen de 0.84 pie<sup>3</sup> [0.0237 m<sup>3</sup>]. Determine la densidad y el peso del aire en el depósito cuando éste se llena de aire a una presión manométrica de 50 psi [344.739 kPa], suponiendo que la temperatura y la presión son 70°F [21.11 °C] y 14.7 psi [101.353 kPa].

**Ejercicio 1.1.5.** Se tiene gas propano a una temperatura de 360°F, con una presión de entrada de 1000 psia y de salida 800 psia. Calcule el factor de compresibilidad por: a) Diagrama de propiedades pseudo-reducidas; b) Método de Dranchuk, Purvis y Robinson.

**Ejercicio 1.1.6.** Se tiene gas isobutano a una temperatura de 494°F, con una presión de entrada de 1000 psia y de salida 800 psia. Calcule el factor de compresibilidad por: a) Diagrama de propiedades pseudo-reducidas; b) Método de Dranchuk, Purvis y Robinson.

**Ejercicio 1.1.7.** A una presión de 100 psig [689,48 kPa] y 75°F [23,89°C] un gas tiene un volumen de 800 ft<sup>3</sup> [22,65 m<sup>3</sup>]. Si el volumen permanece constante y la temperatura del gas aumenta a 100°F [37,78 °C], ¿cuál será la presión final del gas?. Ahora si se mantiene la presión constante en 100 psig [689,48 kPa] y la temperatura aumenta a 100°F [37,78°C], ¿cuál será el volumen final?.

**Ejercicio 1.1.8.** Un depósito de aire comprimido tiene un volumen de  $0,84 \text{ ft}^3$  [ $0,024 \text{ m}^3$ ]. Determine la densidad y el peso del aire en el depósito cuando éste se llena de aire a una presión manométrica de  $50 \text{ psi}$  [ $344,74 \text{ kPa}$ ], suponiendo que la temperatura y la presión son  $70^\circ\text{F}$  [ $21,11 \text{ }^\circ\text{C}$ ] y  $14,7 \text{ psi}$  [ $101,35 \text{ kPa}$ ].

**Ejercicio 1.1.9.** Un gas está alojado en dos cilindros A y B, conectados por émbolo con dos diámetros diferentes. La masa de dicho émbolo es de  $10 \text{ kg}$  [ $22,05 \text{ lb}$ ] y la presión del gas (absoluta) en "A" es de  $200 \text{ kPa}$  [ $29 \text{ psia}$ ]. Calcúlese la presión absoluta del gas en el cilindro "B". Tómese  $D_A = 0,1 \text{ m}$  [ $3,94 \text{ in}$ ] y  $D_B = 0,025 \text{ m}$  [ $0,98 \text{ in}$ ].

**Ejercicio 1.1.10.** Se calienta aire eléctricamente en un tubo de diámetro constante en régimen permanente. A la entrada el aire tiene una velocidad de  $3 \text{ m/s}$  y está a  $3,5 \text{ kgf/cm}^2$  (absolutas) y  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . El aire sale a  $3,2 \text{ kgf/cm}^2$  (absolutas) y  $95 \text{ }^\circ\text{C}$ . Calcúlese la velocidad de salida.

## 2. Introducción a las Turbomáquinas

**Ejercicio 2.1.** Se requiere que un equipo produzca 15m de altura y transporte 0.2 m<sup>3</sup>/min de agua mientras opera en el rango de velocidades de 6000-10000 rpm. ¿Qué tipo de equipo es más adecuado para esta aplicación?

**Ejercicio 2.2.** Un compresor centrífugo es diseñado a  $r_{pts}=7$  y opera con un flujo másico de 0.9 kg/s. ¿Cuál sería un nivel de eficiencia esperado para esta etapa? ¿Cuál sería un rango de operación estable esperado para este compresor?

**Ejercicio 2.3.** Una turbina radial debe ser diseñada con un coeficiente de flujo de 0.30 y un coeficiente de carga de 1.15. ¿Qué eficiencia puede ser esperada para esta etapa?

**Ejercicio 2.4.** Considere la siguiente figura. ¿Dónde se tiene presente estrangulamiento ó “choke”? ¿Por qué?

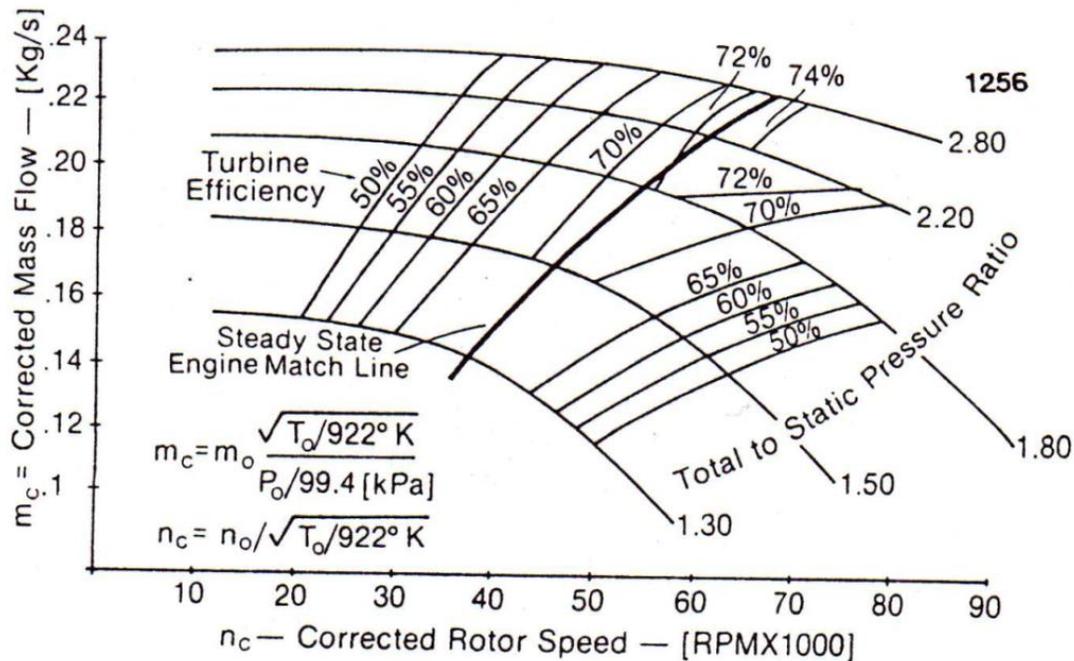
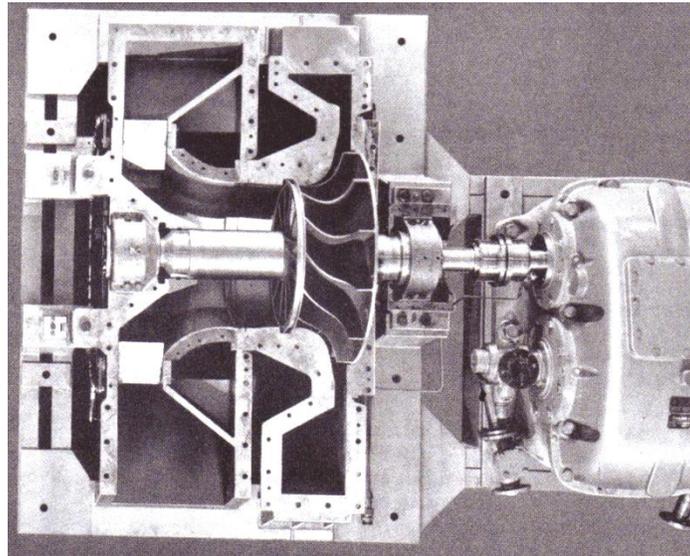
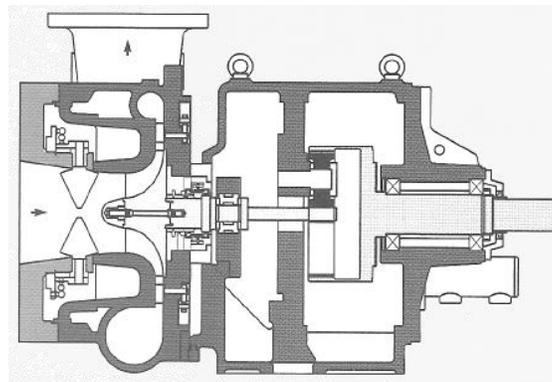
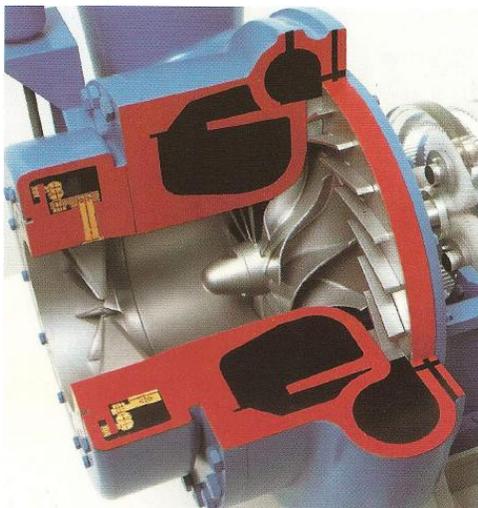


Figura 1. Curvas características de una turbina radial.

**Ejercicio 2.5.** Examine las siguientes figuras. Indique los 4 elementos aerodinámicos de ambos compresor.

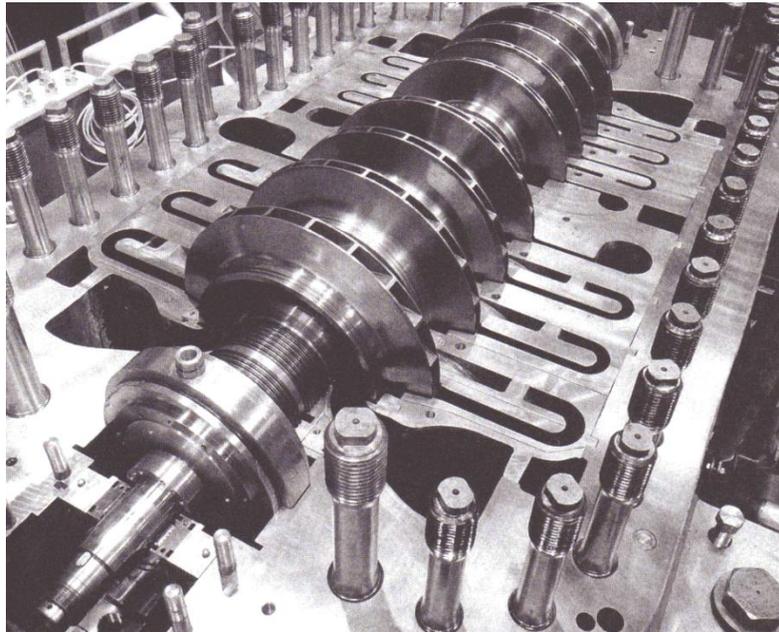


**Figura 2.** Compresor centrífugo de 1 etapa.



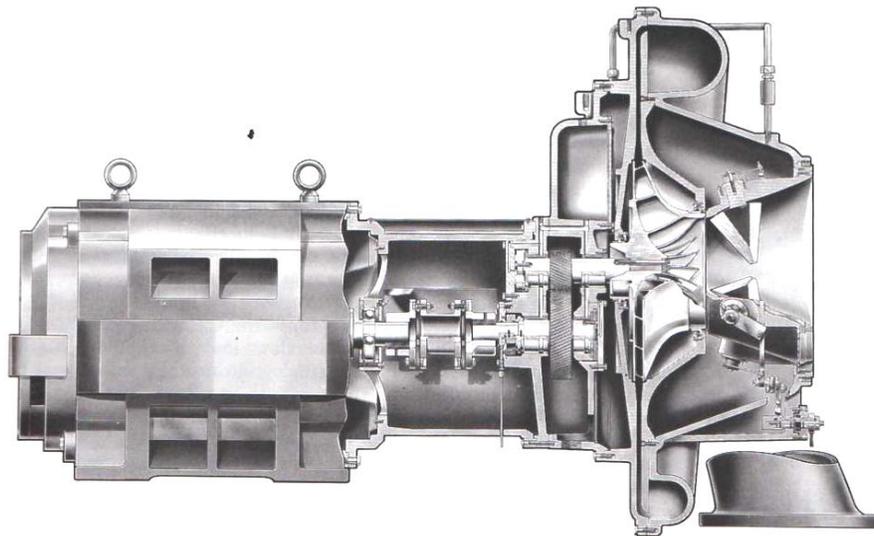
**Figura 3.** Compresor centrífugo de 1 etapa.

**Ejercicio 2.6.** Examine la siguiente figura. Indique las salidas y entradas que están presentes en el compresor multietapa.



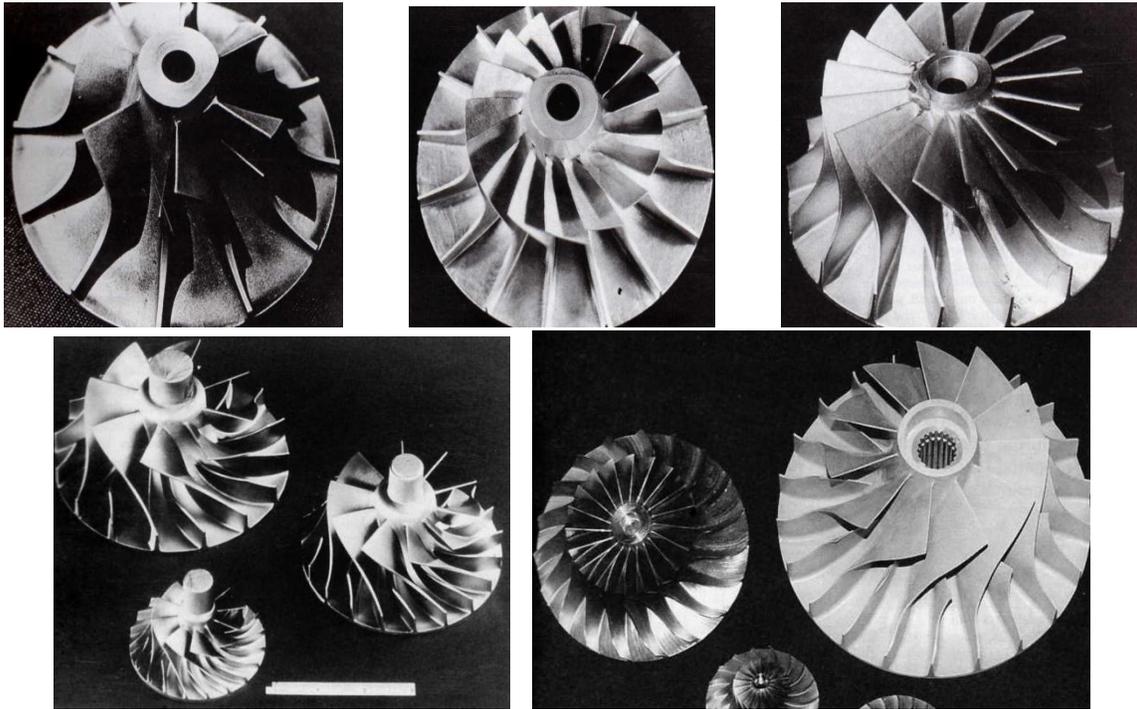
**Figura 4.** Compresor multietapa.

**Ejercicio 2.7.** Considere la siguiente figura. Identifique los 4 principales trayectos del flujo e identifique los principales elementos mecánicos (6 a 10).



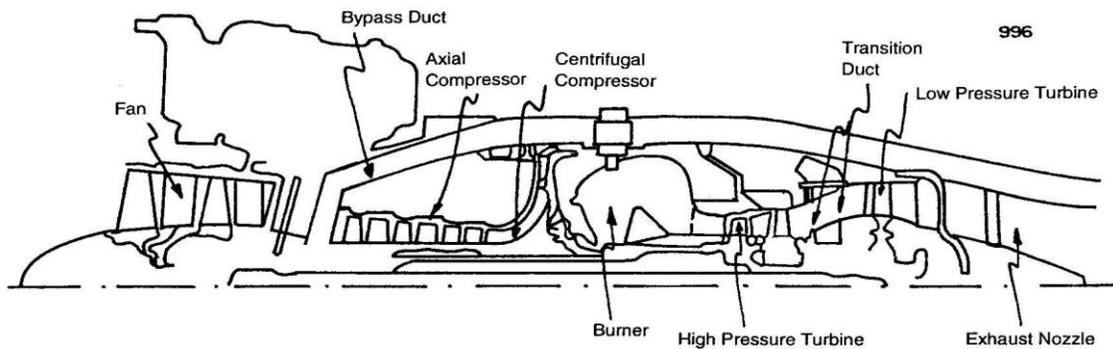
**Figura 5.** Compresor para aire acondicionado.

**Ejercicio 2.8.** Estudie las siguientes figuras. Describa en un párrafo las principales diferencias observadas en la evolución de los rotores de compresores centrífugos.



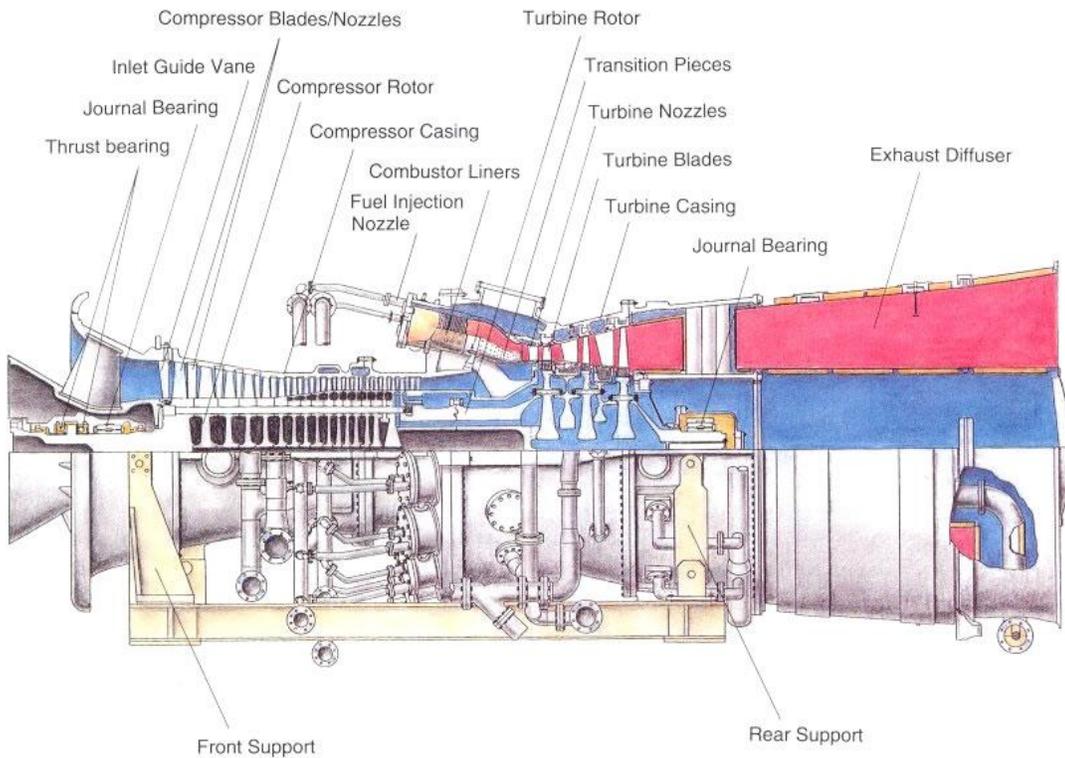
**Figura 6.** Evolución de rotores de compresor centrífugo.

**Ejercicio 2.9.** Contraste las siguientes figuras. Escriba un párrafo de las principales diferencias en los 2 tipos de turbinas.



**Figura 7.** Elementos típicos en una turbina a gas para propulsión de un misil.

### ■ Main Components



**Figura 8.** Turbina a Gas de uso industrial (heavy-duty MS7001FA).

**Ejercicio 2.10.** Examine la siguiente figura. ¿Cuál es la diferencia entre la primera y el resto de las etapas? ¿Por qué existe esta diferencia?



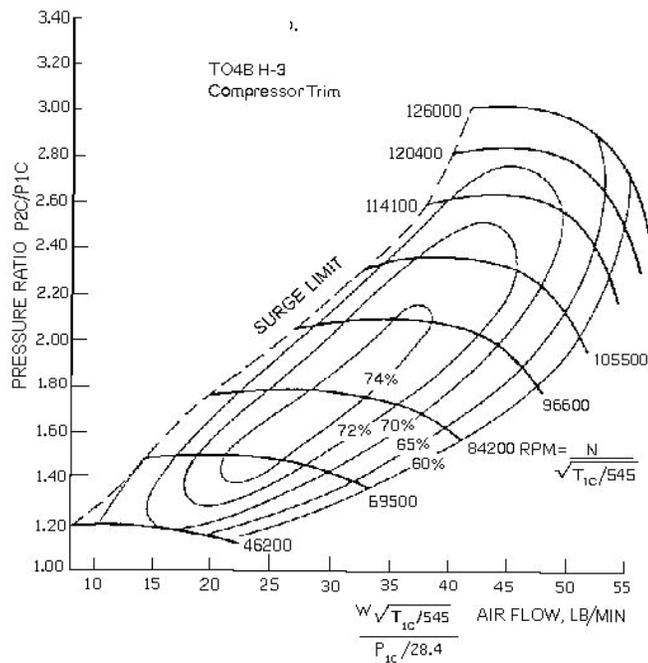
**Figura 9.** Compresor centrífugo multietapa de succión simple.

**Ejercicio 2.11.** Considere la siguiente figura. Intente recrear el posible recorrido del flujo en las vistas del compresor centrífugo multietapa en línea.



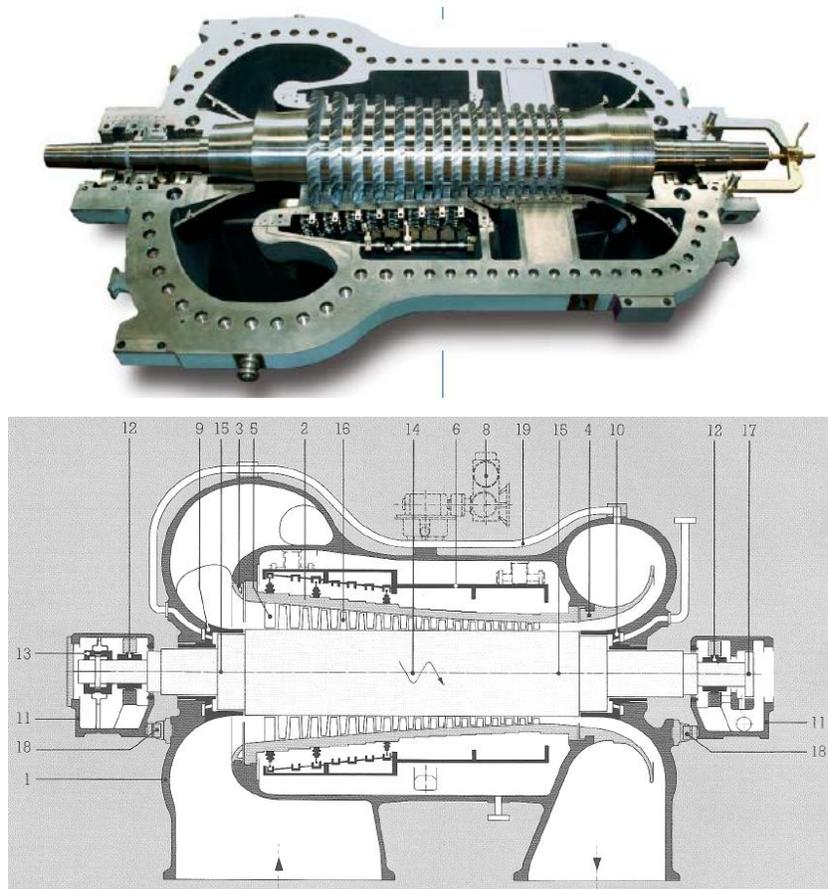
**Figura 10.** Compresor centrífugo multietapa en línea, para transporte de gas natural.

**Ejercicio 2.12.** Considere el siguiente mapa de operación con un flujo másico corregido de 55 lb/min y una  $rp = 2.4$ . ¿Cuál sería el desempeño del compresor para este punto de operación?



**Figura 11.** Curva característica de un compresor centrífugo.

**Ejercicio 2.13.** En la siguiente figura de un compresor axial señale los componentes aerodinámicos. ¿Para qué aplicación se diseñan los compresores axiales, i.e. flujo volumétrico y presión?



**Figura 12.** Compresor axial

**Ejercicio 2.14.** Un compresor es ensayado durante primavera cuando las condiciones en la succión eran moderadas. La temperatura total en la succión es de 15°C y la presión atmosférica es de 1 bar. Es necesario repetir las pruebas durante el invierno cuando la temperatura en la succión puede ser -25°C y la presión atmosférica cambia a 0.96 bar. Establezca los valores correctos de  $\delta$  y  $\theta$  para corregir las nuevas condiciones a las condiciones iniciales.

**Ejercicio 2.15.** Un compresor es escalado para al ser incrementado en diámetro por un factor de 3, manteniendo la velocidad de giro constante. El equipo original tiene un número de Reynolds de  $0.15 \times 10^6$ . De manera aproximada ¿Cómo varía la eficiencia del compresor?

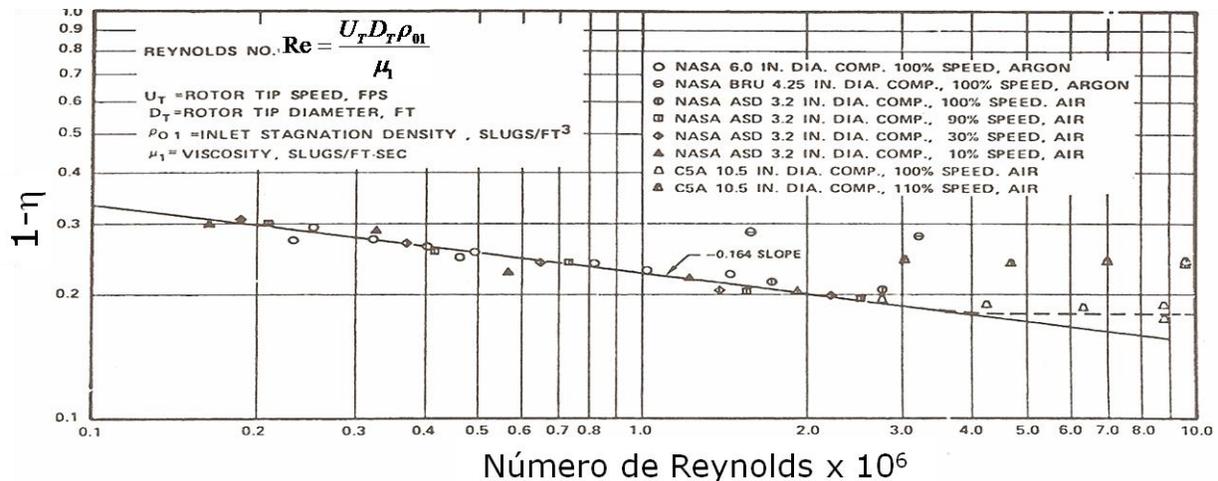


Figura 13. Influencia del numero de Reynolds en la eficiencia global de compresores centrífugos

**Ejercicio 2.16.** Un compresor centrífugo, cuyas características se muestran en la figura anexa, tiene un rotor con un diámetro exterior de 35cm y produce una relación de presión de estancamiento de 1.8 con un flujo de masa adimensional de 0.04. Las condiciones de estancamiento a la entrada son de 1bar y 20°C. Si el fluido es aire, se pide calcular: a) El flujo de masa, en kg/s; b) La potencia requerida, en kW; c) La velocidad de rotación, en rpm.

Unidades: Sistema internacional, MKS

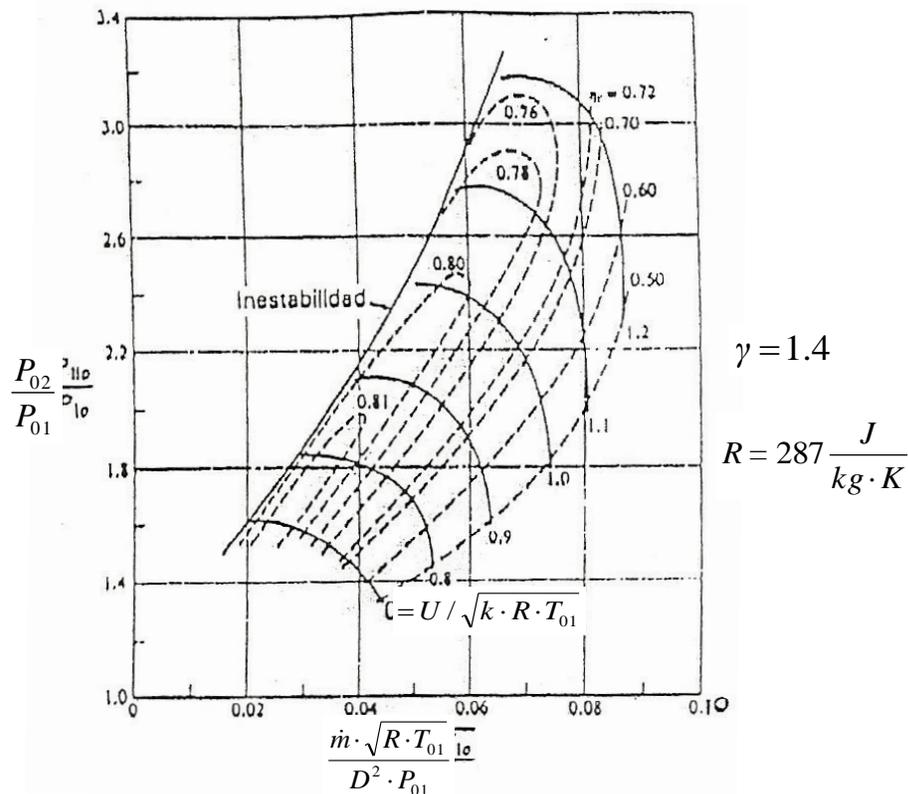


Figura 14. Curvas características de un compresor centrífugo.

**Ejercicio 2.17.** La Turbina a Gas de doble tobera y doble eje de la figura siguiente, está diseñada para producir cerca de 84000 lbf de empuje en el despegue. Las turbinas de baja y alta presión alimentan a los compresores de baja y alta presión, respectivamente. El flujo másico que maneja la primera tobera “fan” es de 610 kg/s, mientras que el flujo que maneja la tobera interna (compresores y turbinas de baja y alta presión) es de 120 kg/s. La temperatura de entrada del flujo a la Turbina a Gas es  $T_o=300$  K. La relación de compresión del “fan” es  $rp_f = 1.396$ , y la relación de compresión global de los compresores es  $rp_c=37.56$  (LPC+HPC). ¿Cuál será la potencia total del eje para mantener el sistema de compresión?

$Cp_f=1008$  J/kg-K,  $Cp_c=1050$  J/kg-K,  $\gamma = 1.4$

Tip: Suponer procesos termodinámicos ideales

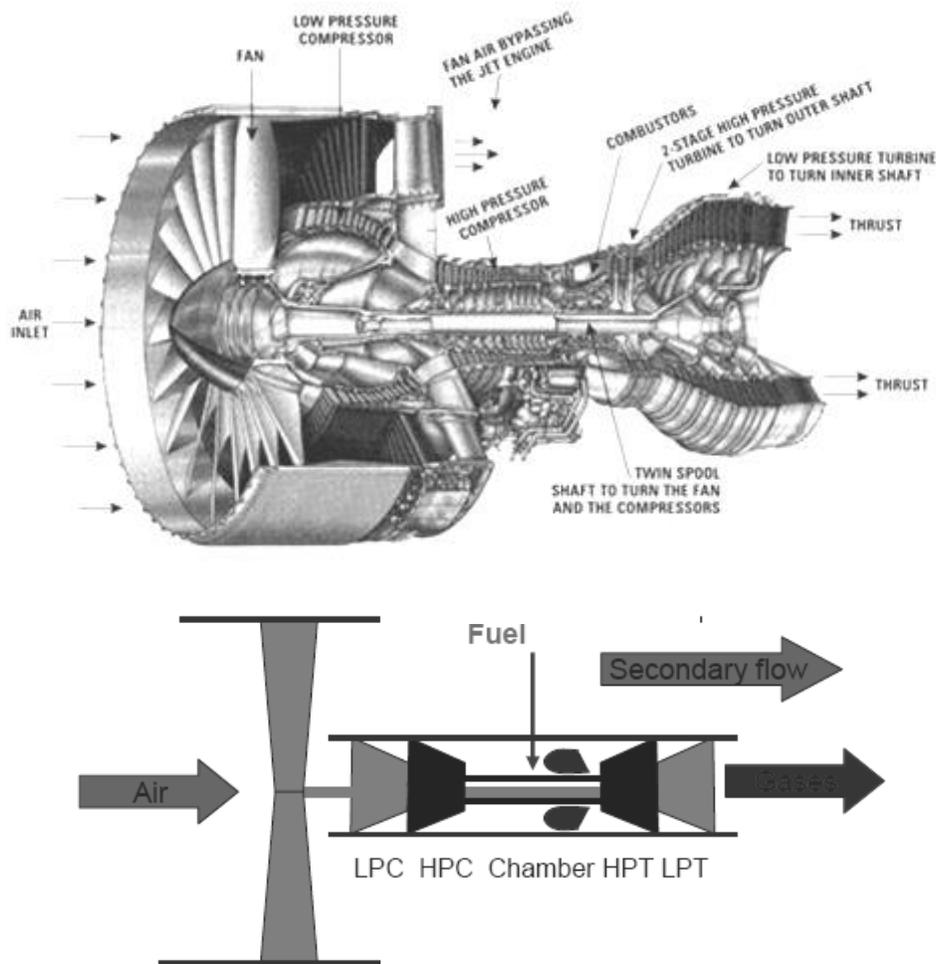


Figura 15. Turbina a Gas Pratt and Whitney 4084.

### 3. Análisis Dimensional

**Ejercicio 3.1.** Se dispone de un compresor centrífugo que gira a 2.900 rpm trabajando con un flujo de hidrógeno ( $R_h=4,124 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}=453,76 \text{ Btu}/^\circ\text{F} \cdot \text{lb}$ ) de 18 Kg/s [39,68 lb/s]. Las condiciones de estancamiento a la entrada son de 300 K [540°R] y 101 kPa [14,65 psia]. Si se deseara trabajar el mismo compresor con aire a 288 K [518,4°R] ¿Cuál sería la velocidad de giro del mismo y el flujo de aire que manejaría?

**Ejercicio 3.2.** Un compresor que trabaja con 20 Kg/s de aire [44,09 lb/s] a 15°C [59°F] y 101,3 kPa [14,69 psia] gira a 4.000 rpm. Si las condiciones ambientales cambian y ahora el mismo compresor trabaja a 20°C [68°F] ¿cuál será la nueva velocidad de giro y el flujo de aire manejado?

**Ejercicio 3.3.** Después de 25 años de operación, se le cambia la propela a un bote de recreación. La nueva propela tiene 30plg de diámetro y la antigua 25plg. En operación, el nuevo sistema presenta un aumento de 2700 rpm a 2900 rpm. ¿Cuánta potencia adicional se consiguió con la actualización?

**Ejercicio 3.4.** El compresor de la siguiente figura es diseñado para trabajar con 0.4 kg/s,  $r_p=4$ , y opera a  $N = 80000 \text{ rpm}$ . Una operación similar requiere, a la misma presión de descarga, un aumento del 25% del flujo másico. ¿Cuáles son los cambios en las dimensiones de la nueva etapa?

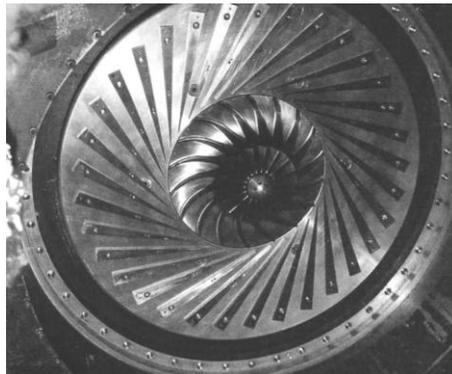


Figura 1. Etapa de Compresor centrífugo.

#### 4. Rejillas y Turbinas Axiales

**Ejercicio 4.1.** La rejilla de álabes del estator de un compresor axial tiene los siguientes datos:

Velocidad del aire a la entrada	75 m/s
Angulo de entrada del aire	48°
Angulo de salida del aire	25°
Relación paso/cuerda	1,1
Perdida de presión total ( $\Delta P_o$ )	11 mm W.G.
Densidad del aire	1,25 kg/m <sup>3</sup>

Determine el coeficiente de pérdida de presión total de la cascada referido a la velocidad axial ( $\zeta$ ), el coeficiente de sustentación y arrastre ( $C_L$ ,  $C_D$ ), el coeficiente de aumento de presión ( $C_p$ ) y la eficiencia del difusor ( $\eta$ ).

**Ejercicio 4.2.** Un compresor de aire tiene 8 etapas de la misma relación de compresión igual a 1,35 el flujo de masa es de 50 kg/s y la eficiencia total a total es igual a 82%. Si las condiciones de entrada del aire son 1,0 bar y 40 °C (estancamiento),

Determinar:

- El estado del aire a la salida del compresor
- La eficiencia politrópica
- La eficiencia adiabática cada de etapa
- La potencia requerida para accionar el compresor asumiendo una eficiencia mecánica del 90%
- La eficiencia global del compresor

En otro escenario, si todas las etapas del compresor aportan el mismo aumento de temperatura, determine la relación de presión y la eficiencia de cada etapa.

**Ejercicio 4.3.** Una turbina a gas genera 2447 KW a la temperatura de entrada ( $T_{01}$ ) de 1000 K y posee las siguientes características.

- Eficiencia mecánica: 0,98
- Etapa normal
- Flujo másico: 15 kg/s
- Velocidad del álabe en radio medio: 340 m/s
- Angulo de entrada del flujo hacia el rotor,  $\alpha_2 = 60^\circ$
- Coeficiente de flujo: a) 0,8      b) 0,7      c) 0,6

Completar la siguiente tabla, mediante una hoja de cálculo, para los diferentes valores del coeficiente de flujo.

U	$\Delta w_s$	$\psi$	$\phi$	$C_x$	$\alpha_2$	$C_{y2}$	$C_{y3}$	$W_{y2}$
$W_{y3}$	$\beta_2$	$\beta_3$	$C_2$	$W_3$	$C_3$	$\alpha_3$	$\alpha_1$	$\epsilon_N$
$\xi_N^*$	$\epsilon_R$	$\xi_R^*$	$T_{03}$	$T_3$	$T_{02}$	$T_2$	$\eta_{tt}$	$\eta_{ts}$

**Ejercicio 4.4.** Una etapa de acción de una turbina de vapor ( $R=0$ ) es diseñada para una caída isoentrópica de entalpía en la tobera de 58 kJ/kg con un flujo de másico de 0,3 kg/s. El vapor que sale de la tobera entra al rotor con un ángulo absoluto de  $75^\circ$  medido desde la dirección axial. A través de la rejilla de álabes de rotor, la velocidad relativa disminuye un 5%. Si la velocidad periférica de los álabes en el plano medio es 173 m/s y la velocidad de salida del flujo de la tobera es de 333,8 m/s calcule:

- El ángulo de entrada del flujo relativo al rotor.
- La potencia desarrollada por la etapa.
- El empuje tangencial en los álabes del rotor.

**Ejercicio 4.5.** En la siguiente tabla son mostrados valores de presión (kPa) medidos en varias estaciones de una etapa de turbina a gas de reacción cero, todos a la altura media del álabe:

<i>Presión de Estancamiento</i>	<i>Presión Estática</i>
Entrada de la tobera: 414	Salida del rotor: 200
Salida de la tobera: 400	---

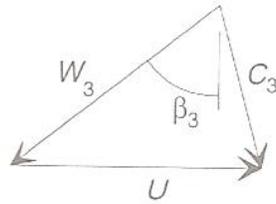
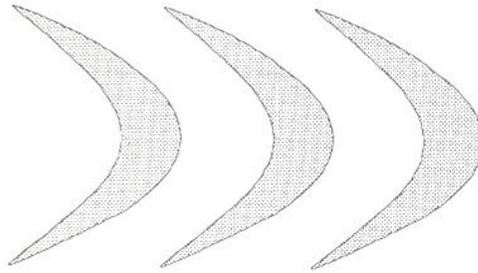
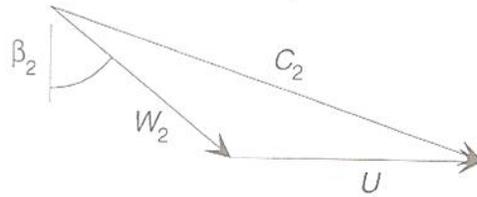
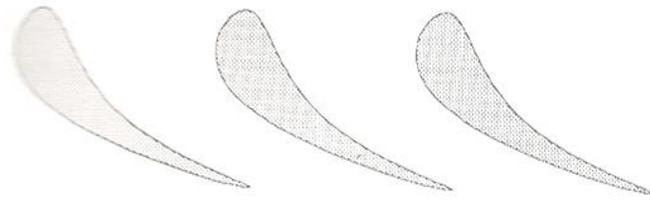
La velocidad periférica media del alabe es 250 m/s, la temperatura de estancamiento a la entrada 1100 K. El ángulo del flujo a la salida de la tobera es 65° medidos desde la dirección axial y la temperatura estática a la salida de la tobera es 935 K. Asumiendo que la magnitud y dirección de la velocidad a la entrada y salida de la etapa son las mismas, determine la eficiencia total a total de la etapa. Asuma un gas ideal con  $C_p=1168$  J/kg-K y  $R=290$  J/kg-K.

**Ejercicio 4.6.** Para una turbina axial con grado de reacción de 0,5; coeficiente de carga de 1,3 y coeficiente de flujo de 0,6. Calcular los ángulos de entrada y salida del flujo relativo al rotor si la velocidad  $U=1470$  ft/s. Calcular el trabajo de salida por unidad de masa. Estime la eficiencia total a total de la etapa utilizando el diagrama de Smith respectivo.

**Ejercicio 4.7.** Para el caso de la etapa de turbina axial de impulso ( $R=0$ ) mostrada en la figura, demuestre que para un radio y velocidad axial constante,  $|W_2|=|W_3|$  y  $|\beta_2|=|\beta_3|$  la expresión para trabajo específico en la salida es:  $W = 2U(C_2\text{sen}(\alpha_2) - U)$ .

Escriba una expresión para la eficiencia de la etapa que relacione al trabajo real de salida y la energía cinética disponible a la entrada del rotor. ( $\eta = \frac{W}{\frac{1}{2} C_2^2}$ )

Demuestre que la máxima eficiencia se encuentra cuando  $U/C_2 = \frac{1}{2} \text{sen}(\alpha_2)$  y obtenga expresiones simples para la eficiencia máxima y el máximo trabajo específico



## 5. Hidráulica de gases

**Ejercicio 5.1.** Utilizando el método AGA, calcule el factor de transmisión y de fricción para un flujo de gas en una tubería DN 500 [19,69 in] de espesor 12 mm [0,47 in]. El flujo es de 6 Mm<sup>3</sup>/día [211,89 Mscf/día], la gravedad específica es de 0,6 y la viscosidad de 0,00012 Poise [8,05e-6 lb/ft.s]. La rugosidad absoluta es 0,02 mm [0,00079 in]. Asuma un índice BI de 60°, presión base de 101kPa [14,7 psia] y temperatura base de 15°C [59°F]. Para una tubería de 60 km [37,28 mi], calcule la presión necesaria para mantener una presión aguas debajo de 5 Mpa (abs) [725,19 psia]. Asuma una temperatura uniforme de 20°C [68°F] y un factor de compresibilidad de 0,85. Desprecie los cambios en elevación.

## 6. Compresores Axiales

**Ejercicio 6.1.** Se requiere un compresor de aire con relación de compresión global igual a 4. Si la eficiencia politrópica es 0.88, la temperatura de estancamiento de entrada es 290K y el aumento de temperatura de estancamiento por etapa no debe exceder los 25K, calcule el número mínimo de etapas necesarias y la relación de presión para la primera y última etapa.

**Ejercicio 6.2.** Para un ventilador axial en el cual la compresibilidad es despreciable, muestre que la diferencia en la entalpía de salida y que la compresión isoentrópica equivalente está relacionada con el cambio de presión de estancamiento relativa como sigue:

$$h_2 - h_{2s} = \frac{(P_{01rel} - P_{02rel})}{\rho}$$

**Ejercicio 6.3.** Un compresor entrega una relación de presión total de 6, la presión y temperatura estática de entrada son 59.2psia y 52°F respectivamente, y la eficiencia isoentrópica del compresor es 0.82. El grado de reacción es de 0.5 y el trabajo en cada etapa es el mismo. En una etapa particular, la velocidad de los álabes en el radio medio es 600ft/s y la velocidad axial es 561ft/s. el ángulo absoluto del flujo de entrada al rotor en esta etapa es 15°. Determine:

- El ángulo relativo de flujo en la entrada del rotor

- b) Número de etapas necesarias
- c) Temperatura de estancamiento del aire en la entrada del rotor
- d) El número de Mach relativo en la entrada del rotor

**Ejercicio 6.4.** Un turbocompresor axial de una turbina a gas de aviación gira a 20000rpm. El diámetro del tambor del rotor es de 20cm y la altura del álabe es de 2.25cm. El aire tiene una velocidad absoluta de 150m/s a la entrada de la primera etapa con un ángulo de 30°. La máquina opera con triángulos de velocidades simétricos. Las condiciones de temperatura y presión del aire a la entrada son: 5°C y 900mbar, respectivamente. Se pide:

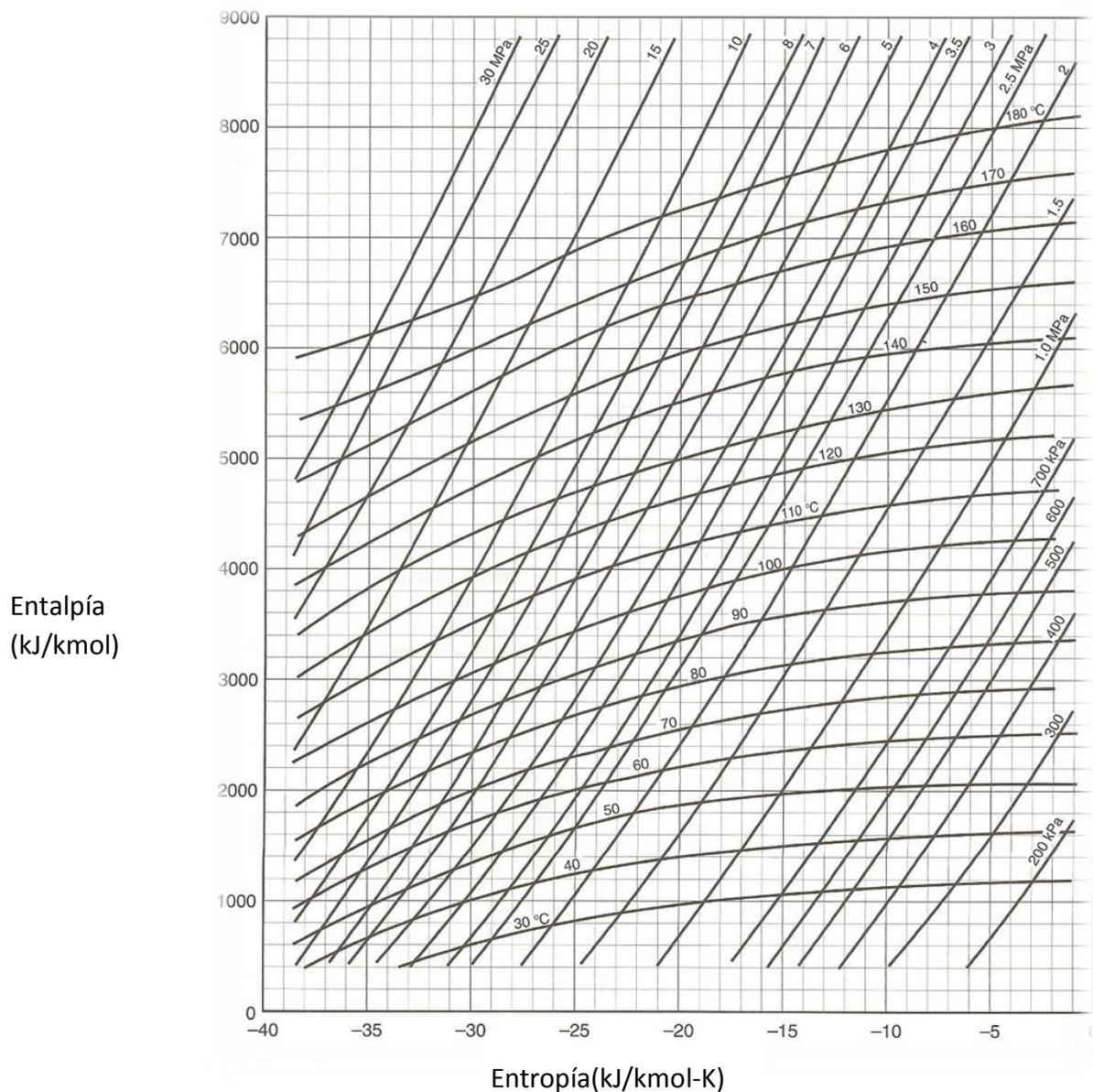
- a) Representar los triángulos de velocidades de base común
- b) Calcular la velocidad periférica del rotor para el diámetro medio
- c) Calcular las componentes axial y tangencial de la velocidad a la entrada
- d) Determinar la energía transferida en la etapa
- e) Determine el incremento de presión en la etapa
- f) Que ocurriría, si el compresor de la turbina del avión opera bajo las mismas condiciones fluidodinámicas al despegar en Maiquetía

**Ejercicio 6.5.** Aire entra a la primera etapa de un turbocompresor axial sin pre-rotación (velocidad netamente axial) con una velocidad de 100m/s. A 65cm de diámetro del rotor, la velocidad periférica es igual a 185m/s. Los ángulos relativos de entrada y salida del rotor son 75° y 35°, respectivamente. Las condiciones estáticas de entrada del aire son: 1bar y 20°C. Se pide:

- a) Representar los diagramas de velocidades de base común
- b) Cuál es la velocidad de giro del compresor
- c) Calcular la velocidad periférica del rotor para el diámetro medio
- d) Calcular el grado de reacción
- e) Calcular el incremento de presión en el escalonamiento

## 7. Compresores Centrífugos

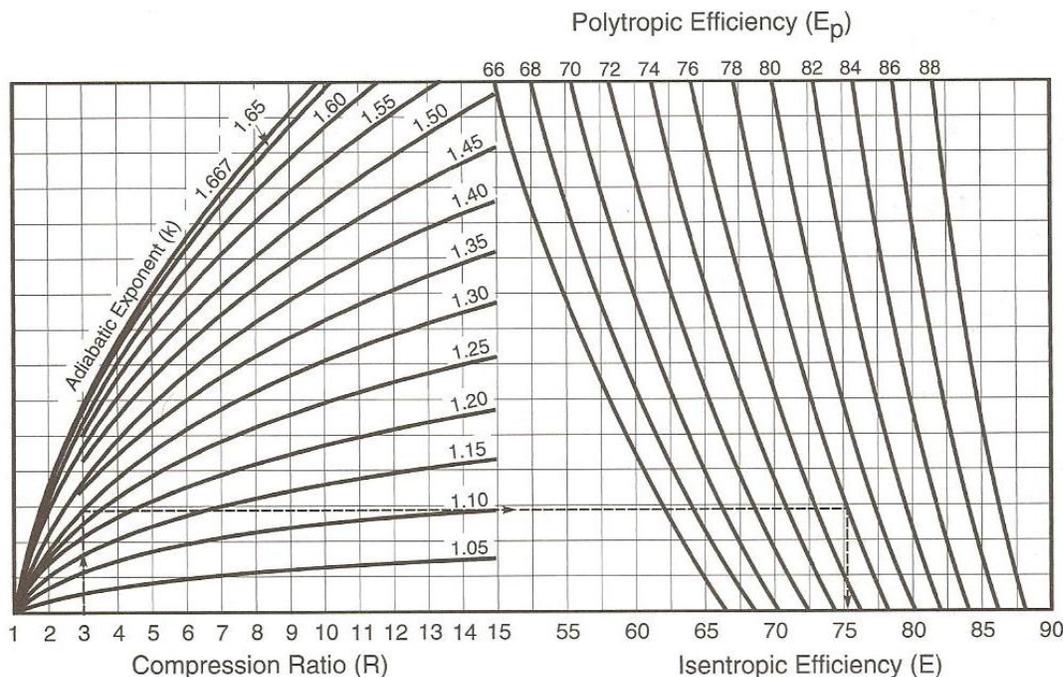
**Ejercicio 7.1.** Un Compresor se usa para comprimir  $1 \times 10^6$  std  $m^3/d$ , desde una presión de 1 MPa a 3 MPa. La temperatura de succión es  $30^\circ C$ . Las propiedades del gas son:  $\gamma = 1.4$  y  $Z_{av} = 0.98$ . La eficiencia isoentrópica es 78% y la eficiencia global es 75%. Calcule la potencia y la temperatura de descarga. Utilice el diagrama h-s de la figura, para gases dentro del rango:  $\gamma = 0.65$  a  $0.75$ .



**Ejercicio 7.2.** Un Compresor se usa para comprimir  $1 \times 10^6$  std  $m^3/d$ , desde una presión de 1 MPa a 3 MPa. La temperatura de succión es  $30^\circ C$ . Las propiedades del gas son:

$\gamma_g = G = 0.7$   $Z_{av} = 0.98$   $k = 1.25$ . La eficiencia isoentrópica es 78% y la eficiencia global es 75%. Calcule la potencia y la temperatura de descarga a través de las ecuaciones pertinentes.

**Ejercicio 7.3.** El fabricante de un compresor reporta un rendimiento politrópico de 77%. Si la relación de compresión es  $r_p=4$  y el coeficiente  $k=1.3$ , estime la eficiencia isoentrópica.



**Ejercicio 7.4.** Un compresor centrífugo es requerido para comprimir un flujo de gas natural estándar de  $2.5 \times 10^6$   $sm^3/d$  y  $\gamma_g=0.65$  desde una presión de 1500 a 4500 kPa. La temperatura de succión es  $35^\circ C$ , el factor de compresibilidad es 0.95 y  $k=1.27$ . La eficiencia politrópica es 78%. Considere pérdidas mecánicas como 50 KW.

Calcule:

- Carga entálpica politrópica del Compresor ( $\square$ hp)
- Cabezal politrópico del compresor (Hp)
- Potencia requerida en el eje
- Temperatura de Descarga
- Número de impulsores requeridos
- Diámetro externo aproximado del impulsor
- Velocidad aproximada del eje

**Ejercicio 6.5.** Aire a condiciones de estancamiento de 100 kPa y 25 °C, entra al impulsor de un compresor centrífugo con una velocidad netamente axial de 100 m/s. A la salida del rotor, el ángulo relativo medido desde la dirección radial es 26.6°; la componente radial de la velocidad es 120 m/s y la velocidad periférica de los álabes radiales es 400 m/s. La eficiencia total a total del impulsor es 80%. Calcule la potencia requerida para accionar el compresor cuando el flujo de aire es 2.5 kg/s y la eficiencia mecánica es del 95%. Si la relación de radios del ojo del impulsor es 0.3; calcule el diámetro de la bóveda a la entrada del mismo. Calcule la relación de presión total del compresor. Asuma que no existe deslizamiento en la salida del impulsor.  $C_p=1005\text{J/kg-K}$

**Ejercicio 6.6.** Un compresor centrífugo que maneja aire a condiciones de estancamiento en la succión de 15°C y 101 kPa, tiene una velocidad periférica a la salida del impulsor de 366 m/s. Los álabes del impulsor son de salida radial. Determine el número de Mach absoluto del flujo que abandona los álabes radiales del impulsor cuando la componente radial de la velocidad absoluta en este punto es 30.5 m/s y el factor de deslizamiento es 0.9. Dado que el área del canal a la salida del impulsor es 0.1 m<sup>2</sup> y la eficiencia total a total del impulsor es 90%, calcule el flujo másico.  $C_p=1005\text{ J/kg-K}$

**Ejercicio 6.7.** Un compresor centrífugo toma aire ambiental a 101 kPa y 15°C. En el ojo del impulsor, el diámetro del cubo (*hub*) es 0.13m y de la bóveda (*shroud*) 0.30m. Si el flujo másico es 8 kg/s y la velocidad de rotación es 16200 rpm, calcule el ángulo relativo del flujo a la entrada del impulsor en el cubo y la bóveda, y el número de Mach relativo en la bóveda del ojo. Asuma que no hay pre-rotación en la entrada.

**Ejercicio 6.8.** El impulsor de un compresor centrífugo tiene 17 álabes radiales de diámetro externo 165 mm. Este gira a 46000 rpm y el flujo de aire es 0.6 kg/s sin pre-rotación a la entrada. Los álabes del impulsor son de salida radial. A la entrada del impulsor, el radio en el cubo es 19.25mm; mientras que en la bóveda es 44.25mm. La presión y temperatura estáticas a la entrada del impulsor son 93 kPa y 293 K, respectivamente. Calcule:

- Calcule la potencia transferida al aire
- El ángulo relativo a la entrada del impulsor en el radio medio
- La temperatura de estancamiento a la salida del impulsor
- La presión de estancamiento a la salida del impulsor si la eficiencia total a total del impulsor es 90%

*Tip: Utilice la expresión de Stanitz para estimar el factor de deslizamiento y luego,  $C_{02}$*

$$\sigma = 1 - 0.63\pi/Z \quad (\text{En donde, } Z \text{ es el número de álabes del impulsor})$$

$$\text{Calcule el radio medio del ojo con la siguiente expresión: } r_m = \sqrt{\frac{r_{h1}^2 + r_{s1}^2}{2}} \quad (\text{Radio de Euler})$$