


**MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO**  
**COMPRESORES**

PDVSA N °	TITULO
<b>MDP-02-K-04</b>	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>

0	MAY.96	APROBADO	49		F.R.	
REV.	FECHA	DESCRIPCION	PAG.	REV.	APROB.	APROB.
APROB.	FECHA MAY.96	APROB.	FECHA MAY.96			

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>				
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	<table border="1"> <tr> <td>REVISION</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td align="center">0</td> <td align="center">MAY.96</td> </tr> </table>	REVISION	FECHA	0	MAY.96
	REVISION	FECHA				
0	MAY.96					
Página 1						

[.Menú Principal](#)


[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

## Indice

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ALCANCE</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERACIONES BASICAS DE DISEÑO</b> .....	<b>2</b>
4.1	Cálculos Manuales .....	2
4.2	Cálculos Mediante Programas de Computación .....	3
4.3	Objetivos del Cálculo .....	3
<b>5</b>	<b>GUIA PARA EL DISEÑO</b> .....	<b>5</b>
5.1	Ecuaciones Básicas .....	5
5.2	Datos de Eficiencia .....	7
5.3	Ajuste de Eficiencia para Compresores Centrífugos con Reciclo a la Línea de Balance .....	7
5.4	Pérdidas Mecánicas y Requerimientos de Potencia al Freno .....	7
5.5	Propiedades Promedio de los Gases .....	8
5.6	Comparación de los Métodos de Cálculos de Compresión para el Diseño de Servicio .....	9
5.7	Aplicabilidad de los Métodos de Cálculos de Compresión para el Diseño de Servicio .....	10
5.8	Detalles del Método Isentrópico .....	10
5.9	Detalles del Método Politrópico .....	13
5.10	Compresión Isotérmica .....	17
5.11	Comparación de los Valores de Eficiencia de Compresión .....	17
5.12	Fuentes de Ineficiencia en Diferentes Tipos de Compresores .....	18
5.13	Problemas Tipo .....	18
5.14	Programas de Computación .....	24
<b>6</b>	<b>NOMENCLATURA</b> .....	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>APENDICE</b> .....	<b>26</b>

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 2		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

## 1 OBJETIVO

El objetivo de este capítulo es presentar los procedimientos de cálculos típicos en los sistemas de compresión.

## 2 ALCANCE

Este capítulo presenta los procedimientos de cálculo para servicio de compresión, recomendados para los tipos de compresores comúnmente utilizados comercialmente. Se incluye una breve explicación de la teoría de cálculo de compresión para ayudar a entender la terminología y abordar los tipos de compresores y situaciones de cálculo no encontrados normalmente.

## 3 REFERENCIAS

### 3.1 *Manual de Diseño de Proceso*

PDVSA-MDP-02-K-02 "Principios Básicos"

### 3.2 *Prácticas de Diseño*

Vol. VII Sec. 11H "Compresores Reciprocantes" (1978)

### 3.3 *Otras Referencias*

International Critical Tables of Data: physics, chemistry and technology, National Research Council, Washington, D.C., 1923-1933.

National Bureau of Standards circular No. 564 (1955).

Keenan, J.H., Kaye, J. John Wiley, "Gas Tables" New York, 1979.

Edmister, W.C., "Applied Hydrocarbon Thermodynamics", Gulf Publishing Company, Vol. 1, 1961, Vol. 2, 1974.

"Elliott Multistage Centrifugal Compressors", Elliott Division of Carrier Corporation, 1966.


Gibbs, C.W., "Compressed Air and Gas", Ingersoll Rand Company, 1969.

Engineering Data Book, Gas Processors Suppliers Association, 9th ed. Tulsa, Oklahoma, 1972, with 1974 and 1976 Revision.

## 4 CONSIDERACIONES BASICAS DE DISEÑO

### 4.1 *Cálculos Manuales*

para cálculos rápidos a mano se utiliza el método isentrópico (adiabático) y datos de relación de calor específico del gas o diagramas de propiedades de los gases

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>				
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	<table border="1"> <tr> <td>REVISION</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td align="center">0</td> <td align="center">MAY.96</td> </tr> </table>	REVISION	FECHA	0	MAY.96
	REVISION	FECHA				
0	MAY.96					
Página 3						

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

(Mollier). Para cálculos a mano se recomienda una forma corta del método de Edmister en la que se omite el procedimiento iterativo para la determinación de la temperatura de descarga. Si se desean resultados más refinados, utilice la base politrópica y el método de Edmister para estimar temperaturas de descarga y el exponente de compresión.


## 4.2 *Cálculos Mediante Programas de Computación*

Los programas para compresores centrífugos usan la base politrópica y el método Edmister; los programas para compresores reciprocantes usan el método isentrópico (adiabático). La elección de una de estas categorías depende del tiempo disponible, la precisión requerida y la disponibilidad de un computador y de los programas necesarios. Variaciones específicas de cada una de estas categorías se resumen en las Tablas 1A y 1B para cubrir la situación práctica encontrada con frecuencia.

## 4.3 *Objetivos del Cálculo*

Los cálculos de compresión se desarrollan con los objetivos siguientes:

Parámetro	Símbolo	Uso del Resultado
Flujo volumétrico a la entrada	$Q_1$	Suministra bases para la selección del tipo de compresor y para la estimación del tamaño físico y del costo  Dimensionamiento de la línea de entrada  Datos para el diseño de la válvula de estrangulamiento.
Flujo volumétrico a la descarga	$Q_2$	Dimensionamiento de la línea de descarga  Factibilidad de uso de un compresor centrífugo
Cabezal	$H_{is}$	Suministra bases para estimar el número de etapas requeridas; y para compresores dinámicos, estima el tamaño físico, así como los costos
	$H_{poli}$	Usado en cálculos de requerimiento de potencia.  Usado como base para la especificación de requerimientos de la forma de la curva de un compresor centrífugo.

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>				
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	<table border="1"> <tr> <td>REVISION</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td align="center">0</td> <td align="center">MAY.96</td> </tr> </table>	REVISION	FECHA	0	MAY.96
	REVISION	FECHA				
0	MAY.96					
Página 4						

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Parámetro	Símbolo	Uso del Resultado
Temperatura de descarga de punto normal, estimado	$T_2$	<p>Usado para calcular n en cálculos politrópicos</p> <p>Influye sobre la preparación de diseño.</p> <p>Suministra el estimado de la temperatura del gas para el estimado de la carga requerida del post-enfriador.</p> <p>Suministra bases para establecer criterios de posible ensuciamiento por polimerización.</p> <p>Para compresores enfriados, este cálculo suministra bases de comparación con el caso sin enfriamiento, a fin de verificar el calor requerido del cilindro enfriador</p>
Temperatura máxima de descarga	$T_{2max}$	<p>Selección de la temperatura de diseño de la camisa.</p> <p>Influye sobre la preparación de diseño</p>
Requerimiento de potencia de compresión, o "potencia de gas"	PG	Cálculo de requerimientos de potencia
Requerimiento de potencia de impulso total, o "potencia al freno"	PF	<p>Estima la capacidad requerida del elemento motriz</p> <p>Estima los requerimientos de servicio del elemento motriz.</p> <p>Estudio de optimización del tamaño de la línea.</p> <p>Evalúa el efecto de los cambios de diseño del sistema de proceso sobre el requerimiento de potencia</p>
Relación de presión y flujo volumétrico en el punto de oleaje (estimado, para compresores centrífugos).	$r = \frac{P_{2máx}}{P_1}$	Diseño del sistema de control de oleaje.
	$Q_1$	<p>Especificaciones de la válvula de estrangulamiento a la succión.</p> <p>P2 máxima para la selección de la presión de diseño de la camisa o cuerpo del compresor</p>

## 5 GUIA PARA EL DISEÑO

### 5.1 Ecuaciones Básicas

Para la nomenclatura, ver capítulo PDVSA-MDP-02-K-02.

Parámetro	Ecuación	Comentarios
Flujo Volumétrico,real	$Q_1 = WV_1 \text{ m}^3/\text{sec (pie/min)}$  $Q_2 = WV_2 \text{ m}^3/\text{sec (pie/min)}$	$V_i = \frac{Z_i \bar{R} T_i}{P_i M F_2}$  $R = 8314.34 \frac{\text{J}}{\text{°K Kmol}} \left( 1545 \frac{\text{pie lb}}{\text{°R lbmol}} \right)$ $T = \text{°K (°R)}$ $P = \text{kPa (psia)}$ $W = \text{Kg/s (lb/min)}$ $F_2 = 1000 (144)$
<b>Cabezal</b> Base Isentrópica	$H_{is} = \frac{1}{F_o} \left[ \frac{g_c}{g} \right] \left[ \frac{Z \bar{R} T_1}{M} \right] \left[ \frac{k}{k-1} \right] \left[ \left[ \frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	Z y K son valores promediados entre la entrada y la descarga
Para hidrocarburos $r < 3$	$H_{poli} = \frac{1}{F_o} \left[ \frac{g_c}{g} \right] \left[ \frac{Z \bar{R} T_1}{M} \right] \left[ \frac{n}{n-1} \right] \left[ \left[ \frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	Igual al anterior
Para hidrocarburos $r > 3$	Sustituir $m$ por $\frac{n-1}{n}$ en la anterior ecuación	
Para $Z \approx 1.0$	Sustituir $\frac{k-1}{k \eta_{poli}}$ por $\left( \frac{n-1}{n} \right)$ en la anterior ecuación	Z y K son valores promediados entre la entrada y la descarga
<b>Temperatura de descarga</b>		
Sin enfriamiento, $Z \neq 1.0$ Cálculos rápidos a mano	$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{m_1}$	$T = \text{°K (°R)}$

[.Menú Principal](#)
[Indice manual](#)
[Indice volumen](#)
[Indice norma](#)
**Parámetro**
**Ecuación**
**Comentarios**

Sin enfriamiento,  $Z \neq 1.0$   
Cálculos afinados por computadora

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{m_{\text{prom}}}$$

$m_{\text{prom}}$  y  $T_2$  verificados por una serie de iteraciones.

Sin enfriamiento,  $Z \approx 1.0$ ,  
 $\eta_{\text{poli}}$  disponible

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k \eta_{\text{poli}}}}$$

Evaluar  $k$  y  $T_1$  para mayor brevedad o promediar  $k_1$  y  $k_2$  para mayor exactitud.

Sin enfriamiento,  $Z \approx 1.0$ ,  
 $\eta_{\text{is}}$  disponible

$$T_2 = T_1 \left[ 1 + \frac{\left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_{\text{is}}} \right]$$

Igual a la anterior

Enfriado,  $Z \approx 1.0$ ,  
elevación de la temperatura debido a pérdidas = efecto de enfriamiento

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

Igual a la anterior

Potencia de compresión o requerimiento de potencia de gas.

$$PG = \frac{W H_{\text{poli}}}{F_3 \eta_{\text{poli}} gc} = \frac{W H_{\text{is}}}{F_3 \eta_{\text{is}} gc}$$

Donde:  
 $F_3 = 102$  (33000)

Requerimiento total de potencia de impulso.

$$PF = P_{\text{gas}} + \text{pérdidas mecánicas}$$

Relación de calor específico

$$K = \frac{C_p}{C_v} = \frac{(C_p^\circ + \Delta C_p)}{(C_p^\circ + \Delta C_p) - (C_p - C_v)}$$

Use datos del apéndice para evaluación a las condiciones específicas de presión y temperatura.

Bases de estimación de la caída de presión interetapa para compresores reciprocantes

$$\Delta P = F_4 p^{0.7}$$

Para estimaciones antes de que el equipo interetapa esté diseñado  
 $F_4 = 0.178$  (0.1)

## 5.2 Datos de Eficiencia

- Para compresores centrífugos use la Figura 1 y corrija las pérdidas internas debidas a fugas del balance hidráulico.
- Para compresores axiales, use 8% más de lo indicado por la Figura 1 con valores hasta 50 m<sup>3</sup>/s (100000 pie<sup>3</sup>/min) real, y 6% más para valores por encima de 50 m<sup>3</sup>/s (100000 pie<sup>3</sup>/min) real, antes que sean obtenidas las estimaciones específicas por el suplidor.
- Para compresores reciprocantes, utilice la Figura 2.
- Para compresores de tornillo helicoidal de alta presión, utilice  $\eta_{\text{mecánico}}=0.96$  y  $\eta_{\text{poli}} = 0.75$  antes de obtener las estimaciones por el suplidor. (ver figura 3)
- Para eficiencia mecánica de unidades de engranaje use la Figura 4.
- Para conversión entre eficiencia politrópica e isentrópica, use la Figura 5.

## 5.3 Ajuste de Eficiencia para Compresores Centrífugos con Reciclo a la Línea de Balance

El método de balance de empuje hidráulico empleado en el diseño de compresores centrífugos da por resultado algo de fuga continua de la descarga de gas a través del laberinto del tambor de balance y a través de la “línea de balance hidráulico”, de regreso hacia la entrada de la etapa de baja presión. Este flujo de fuga interna varía con la capacidad de la máquina y la elevación de la presión a través de la máquina. Esto no está permitido para el valor de eficiencia politrópica básica, pero posee el efecto de reducir la eficiencia global de compresión. Para cálculos a mano y para propósitos de diseño de servicio, las siguientes reducciones deben hacerse en la eficiencia politrópica de manera de permitir este reciclo interno.


Aumento de Presión	Flujo Volumétrico	
	< 3.75 m <sup>3</sup> /s (8000 Pie <sup>3</sup> /Min) real	> 3.75 m <sup>3</sup> /s (8000 Pie <sup>3</sup> /Min) real
$\Delta P < 1000$ kPa (150 psia)	2%	1%
$\Delta P > 1000$ kPa (150 psia)	4%	3%

## 5.4 Pérdidas Mecánicas y Requerimientos de Potencia al Freno

El requerimiento total de potencia del impulsor, o requerimiento de “potencia al freno” del compresor es la suma de:

- Requerimiento de potencia de compresión, o potencia de gas.
- Pérdidas mecánicas del compresor.



 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 8		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

- Pérdidas de transmisión del elemento motriz.

El requerimiento de potencia de compresión es calculado sobre una base tanto politrópica como isentrópica, dependiendo del tipo de compresor y de la situación de diseño.

Las pérdidas mecánicas para compresores centrífugos y rotativos de más de 750 KW (1000 HP) pueden ser estimados para propósitos de diseño de servicio como:

- 25 kW (35 HP) para cojinetes.
- 25 kW (35 HP) para sellos de eje de tipo aceite.
- Las pérdidas de potencia para los sellos de eje de tipo laberinto pueden ser despreciados en la etapa de diseño de servicio.

Por debajo de 750 kW (1000 HP) las pérdidas por sellos y cojinetes son más bajas. Las pérdidas mecánicas estimadas por el suplidor para los modelos específicos son más confiables que las estimaciones generalizadas.

Las pérdidas mecánicas para compresores reciprocantes son atribuidas a las pérdidas por fricción en el engranaje de marcha y pueden ser estimadas dividiendo el requerimiento de potencia de compresión entre una eficiencia mecánica de 0.88 a 0.95 según la Figura 2.

Para una estimación rápida del requerimiento de potencia de compresores reciprocantes, vea la Figura 6.

Las pérdidas de potencia en unidades de engranaje de marcha pueden ser estimados usando la Figura 4.


## 5.5 *Propiedades Promedio de los Gases*

**Mezcla de Gases** – Los cálculos de compresión efectuados en mezclas de gases requieren el cálculo del promedio o de seudo valores de diferentes propiedades para la mezcla de gases. Los valores de las propiedades requeridas para inclusión en las especificaciones de diseño son:

1. Peso molecular, M.
2. Factor de compresibilidad, Z.
3. Relación de calor específico,  $k = C_p/C_v$

Los valores requeridos para evaluación del exponente de aumento de temperatura, m, son:

1. Presión reducida,  $Pr = P/P_c$ . (Ver Capítulo PDVSA-MDP-02-K-02 para valores "efectivos" o seudo-críticos del hidrógeno y helio).
2. Temperatura reducida,  $Tr = T/T_c$ .
3. Capacidad calorífica de gas ideal a presión constante,  $C_p^\circ$ .

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 9		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

El método recomendado para promediar cada uno de los valores de una mezcla de gases es el método de la fracción molar ponderada. El valor de cada componente en la mezcla sobre el número total de moles en la mezcla. El total de los valores de fracciones molares será el promedio para la mezcla. El método es ilustrado en el problema tipo N° 1.

Debe tenerse en cuenta que este método de cálculo de valores promedio de la mezcla no es el método más exacto disponible, sin embargo representa el compromiso más práctico posible entre exactitud y conveniencia para propósitos de cálculos a mano.

**Condiciones de Entrada y Descarga** – Cuando el factor de compresibilidad, Z, aparece en los cálculos de la elevación de temperatura del cabezal, el valor técnico correcto, es el correspondiente a las condiciones de entrada. Sin embargo, para propósitos de diseño de servicios de compresión, se considerará más confiable usar un promedio del factor de compresibilidad a las condiciones de succión y descarga, en lugar de usar únicamente el valor de entrada.

Cuando la relación de calor específico, k, aparece en los cálculos, se refiere a la compresión a lo largo de la trayectoria completa,  $PV^k=C$ . En consecuencia, el mayor estimado es el promedio de los valores a las condiciones de entrada y salida. Una aproximación aceptable puede ser obtenida usando k1 solamente en cálculos a mano.

Cuando el exponente de aumento de temperatura, m, es evaluado, los valores a las condiciones de succión y descarga son calculados separadamente y luego promediados. Sin embargo, una vez que el procedimiento iterativo ha convergido, el valor final de m describe el proceso global de compresión.

$T_2 = T_1 (P_2/P_1)^m$ , más que una propiedad del gas a la condición final m puede definirse:


$$m = \frac{\log (T_2/T_1)}{\log (P_2/P_1)}$$

Lo mismo es verdadero para el exponente de compresión, n, ya que:

$$n = \frac{\log (P_2/P_1)}{\log (V_2/V_1)}$$

## **5.6 Comparación de los Métodos de Cálculos de Compresión para el Diseño de Servicio**

Ver tabla 1A

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION 0	FECHA MAY.96
		Página 10	

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

## **5.7 Aplicabilidad de los Métodos de Cálculos de Compresión para el Diseño de Servicio**

Ver tabla 1B

## **5.8 Detalles del Método Isentrópico**

### **Generalidades**

Dos métodos básicos de cálculos son aplicados ampliamente para los cálculos prácticos de compresión isentrópico (también llamado adiabático) y politrópico cada uno describe el tipo de trayectoria de compresión usado como base de referencia a fin de calcular el cabezal , requerimiento de potencia y temperatura de descarga.

El método isentrópico primeramente estima la trayectoria de descarga sobre la base de compresión a lo largo de una trayectoria a entropía constante, y luego ajusta el aumento estimado de temperatura de acuerdo al tipo de máquina, efectividad de enfriamiento y eficiencia de compresión (isentrópica).

El trabajo de entrada (o aumento de entalpía) se calcula también sobre la base de entropía constante para calcular el “cabezal isentrópico”, y luego esto es dividido por la eficiencia “isentrópica” a fin de obtener el trabajo real total de entrada por unidad de masa de gas.


### **La Entropía Constante Caracteriza al Proceso Adiabático Reversible**

La trayectoria a entropía constante ofrece una base de referencia conveniente ya que esta trayectoria es seguida por un proceso perfectamente reversible “adiabático”. “Adiabático” se refiere a un proceso durante el cual no se presenta transferencia de calor.

Las desviaciones a partir de un proceso reversible adiabático son relativamente pequeñas en la práctica para los compresores y se pueden predecir con suficiente exactitud para propósitos de diseño y operación de compresores. Esta aproximación se denomina frecuentemente compresión “adiabática” tanto en la literatura como en la práctica industrial; sin embargo el hecho de asumir una trayectoria a entropía constante (isentrópica) es más representativo para un ingeniero que aplica el método que el hecho de asumir que no se transfiere calor durante el proceso. Por esta razón el término compresión “isentrópica” se prefiere en lugar del término “adiabático”.

Cuando el proceso adiabático es reversible (es decir que la entropía es constante a lo largo de la trayectoria de compresión) la trayectoria para un gas ideal ( $Z= 1.0$ ) se describe mediante la relación:  $PV^k = \text{constante}$ , donde  $k=C_p/C_v$ .

Cuando se usa el método de cálculo isentrópico, la compresión puede ser asumida como enfriada, lo cual es el caso normal en los compresores recíprocos; o

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 11			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

también sin enfriamiento en el caso de los compresores dinámicos. La suposición convencional en la compresión enfriada es que la energía añadida en exceso al gas por encima de la energía que refleja una trayectoria a entropía constante (debido a algo de irreversibilidad) es igual, precisamente, al calor retirado por el cilindro de enfriamiento, determinando la caída de  $T_2$  al final del ciclo de compresión en la trayectoria  $PV^k = C$ . Debe reconocerse, sin embargo, que lo anterior es una suposición convencional conveniente, y no una verdad teórica (esto contradice la definición de un proceso adiabático), y no siempre es una suposición exacta. Muchos diseños actuales de compresores reciprocantes determinan que  $S_2$  (entropía) sea significativamente mayor o menor que  $S_1$ .

Asumir que el exponente de compresión,  $k$ , sea igual a  $C_p/C_v$ , normalmente produce buenos resultados. Sin embargo a altas presiones, especialmente cerca del punto crítico (por ejemplo en servicios de compresión de  $CO_2$ ), los valores de  $C_p/C_v$  resultan extremadamente grandes, y no reflejan la trayectoria de compresión realizada por la máquina. Ya que los valores de  $C_p$  y  $C_v$  han sido determinados de una manera confiable y exacta, lo que está en duda es la validez de la suposición de que el exponente de compresión es siempre igual a  $C_p/C_v$  para gases reales. W.C Edmister ha descrito esta materia a su "Applied Hydrocarbon thermodynamics", Gulf Publishny Co. (pp. 53 hasta 62) y además ha propuesto un método de cálculo alternativo, el cual está descrito en el "Polytropic Method Details".

## Cálculos


Cuando la compresión simula realmente la trayectoria isentrópica, como en el caso de un compresor enfriado con una efectividad promedio de enfriamiento.

$$T_{2real} = T_{2is} = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

La relación de calor específico,  $k$ , puede evaluarse a las condiciones de entrada solamente, dentro del nivel de exactitud alcanzable mediante cálculos isentrópicos.

Cuando el método isentrópico es aplicado a un compresor sin enfriamiento, el aumento real de temperatura es estimado dividiendo el aumento isentrópico de temperatura por la eficiencia isentrópica (o "adiabática").

$$T_{2real} = T_1 + \frac{\Delta T_{is}}{\eta_{is}} = T_1 + \frac{T_{2is} - T_1}{\eta_{is}}$$

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 12			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

$$T_{2\text{real}} = T_1 \left[ 1 + \frac{\left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{\eta_{is}} \right], \text{ donde : } T = \text{ }^\circ\text{K (}^\circ\text{R)}$$

Usando el método isentrópico, se puede demostrar que el cabezal requerido para ambos compresores, enfriados y no enfriados, es:

$$H_{is} = \left( \frac{gc}{g} \right) (P_1 V_1) \left( \frac{k}{k-1} \right) \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \left( \frac{gc}{g} \right) \frac{Z_1 \bar{R} T_1}{M} \left( \frac{k}{k-1} \right) \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \frac{1}{F_o}$$


Las expresiones anteriores contienen solamente unidades SI coherentes. De esta manera, la longitud es expresada en metros (pie), el tiempo en segundos y la cantidad de velocidad en metros por segundo (pie/s). La presión viene dada en Newtons por metro cuadrado, para el cual se usa la unidad denominada pascal (psi). Sin embargo, a través de este manual la unidad de presión es el kilopascal, simbolizado como kPa. Siempre y cuando se usen las anteriores ecuaciones para cálculos reales que involucren la presión, los valores de pascal deben ser multiplicados por  $10^3$  para obtener resultados correctos. Esto es mostrado en los problemas tipo contenidos en esta sección.

El requerimiento de cabezal es igual al incremento de entalpía a lo largo de la trayectoria de compresión a entropía constante. Para calcular la energía total de entrada requerida para compresión, el requerimiento de cabezal isentrópico debe ser dividido por la eficiencia isentrópica.

Cuando se dispone de un diagrama de propiedades de los gases (Mollier) para el gas que se comprime, el mismo puede ser usado para determinar  $H_{is}$  en términos de incremento de entalpía y  $T_{is}$ , y se prefiere sobre el uso de las fórmulas de compresión anteriores.

El método isentrópico es mayormente aplicado a los tipos de compresores enfriados en los cuales las velocidades, turbulencias y deslizamientos (lo cual causa ganancia de entropía) son bajos. Esto se asemeja muy bien la operación de los compresores recíprocos. Para cálculo de diseño de proceso las caídas de presión, a través de la succión del compresor y la válvula de descarga, son despreciadas.

Para situaciones de simulación o de diseño especial, las pérdidas de las válvulas pueden ser estimados a partir de mediciones (carta indicadora) de rendimiento o análisis de diseño de válvulas, y son usadas para estimar la relación de máxima presión. Esto permite un estimado más exacto de la temperatura real de descarga alcanzada precisamente cuando la válvula de descarga comienza a abrir.

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 13			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

### Efectividad de Enfriamiento del Compresor

Un medio adecuado de apreciar la efectividad de enfriamiento de un compresor es comparar la reducción de temperatura real, debida al enfriamiento del cilindro, con la suposición convencional para compresores enfriados, por ejemplo, con la diferencia de las temperaturas de descarga isentrópicas y sin enfriamiento. La relación es descrita mediante el “coeficiente de efectividad de enfriamiento del compresor”,  $K_c$  en la ecuación.

$$T_{2real} = T_1 + \frac{T_{2is} - T_1}{\eta_{is}} - K_c \left[ T_1 + \left( \frac{T_{2is} - T_1}{\eta_{is}} - T_{2is} \right) \right]$$

Para un compresor sin enfriamiento,  $K_c=0$

Para un enfriamiento al límite de una compresión isentrópica,  $K_c=1.0$

Si  $0 < K_c < 1$ , el enfriamiento es menos eficaz que la suposición isentrópica convencional para un compresor reciprocante enfriado (como en los cilindros de acero forjado y también como con las válvulas de alta caída de presión).

Si  $K_c > 1$ , se presenta mayor enfriamiento que en la suposición isentrópica (como en los compresores de servicio al vacío y los cilindros de pequeño diámetro).

Mientras que el rendimiento observado para el enfriamiento de un compresor puede ser usado a fin de evaluar  $K_c$ , los medios generalizados de predecir  $K_c$  no han sido desarrollados todavía. Ver Subsección 11–H Prácticas de Diseño, Vol. VII (versión 1986) para la discusión de varios factores que influyen directamente en la efectividad de enfriamiento del cilindro.

### Temperatura de Descarga Isentrópica para Compresores de Aire


La temperatura real de descarga de los compresores de aire de desplazamiento positivo está usualmente muy cerca de la predicción de la temperatura de descarga sobre una base isentrópica. La Figura 7 permite determinar rápidamente la temperatura de descarga isentrópica para el aire atmosférico

entre  $-18^\circ$  y  $52^\circ$  C ( $0^\circ$  y  $125^\circ$ F) hasta una presión absoluta de descarga de 4200 kPa (600 Psia) y para una, dos o tres etapas del proceso de compresión (interenfriado).

## 5.9 Detalles del Método Politrópico

### Determinación de los exponentes $m$ y $n$

El método politrópico admite que el nivel de entropía cambia realmente durante la compresión de los gases reales en compresores comerciales, debido a la ineficiencia del proceso de compresión y a la desviación del comportamiento del gas perfecto. La trayectoria de compresión se describe mediante la relación:

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 14			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

$PV^n = \text{Constante}$ , donde  $n \neq k$

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

El exponente, n, puede ser evaluado como:

$$n = \frac{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\log\left(\frac{V_1}{V_2}\right)}$$

Donde solamente se desconoce  $V_2$

El volumen específico de la descarga,  $V_2$  depende de  $T_2$

$$V_2 = \left(\frac{1}{P_2}\right) \left(\frac{Z_2 \bar{R} T_2}{M}\right)$$

La temperatura real de descarga,  $T_2$ , es estimada según el método Edmister mediante:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^m \quad \text{donde } m = \frac{\log(T_2/T_1)}{\log(P_2/P_1)}$$

Usando el método Edmister, m es evaluado a partir de los datos de propiedades de los gases y de la eficiencia politrópica como:


$$m = \frac{\frac{RZ}{\eta_{\text{poli}}} + RT_r + \left[\frac{\partial Z}{\partial T_r}\right]_{Pr}}{Cp^\circ \Delta Cp} \quad \text{a las condiciones dadas de } T_r \text{ y presión}$$

Para encontrar un valor de m el cual describe perfectamente el proceso de compresión completo, será necesario comenzar promediando los valores de m evaluados a las condiciones de succión y descarga.

$$m_{\text{prom}} = \frac{m_1 + m_2}{2}$$

Sin embargo, para evaluar  $m_2$  a las condiciones de descarga, debe establecerse una suposición para  $T_2$ , y luego la suposición debe ser verificada contra el valor de  $T_2$  que resulta de:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{m_{\text{prom}}}$$

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b> <b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>				
		<table border="1"> <tr> <td>REVISION</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td align="center">0</td> <td align="center">MAY.96</td> </tr> </table>	REVISION	FECHA	0	MAY.96
	REVISION	FECHA				
0	MAY.96					
	Página 15					

[.Menú Principal](#)

[Índice manual](#)

[Índice volumen](#)

[Índice norma](#)

Normalmente se requiere varias iteraciones antes de que la suposición de la temperatura de descarga y el resultado, converjan satisfactoriamente.

Cuando en los cálculos manuales sea muy necesario la brevedad en la exactitud, podrá evitarse el proceso de iteración evaluando solamente  $m$  y  $T_1$ , y usando el valor de  $T_2$  estimado a fin de evaluar  $V_2$  y por lo tanto,  $n$ .

Puede ahorrarse tiempo adicional con una pérdida pequeña de exactitud usando  $m$  directamente para calcular  $H_{poli}$  en lugar de  $(n-1)/n$ .

Si el tiempo lo permite y si se desea más exactitud del exponente de elevación de temperatura  $m_2$ , puede ser evaluado el valor de  $T_2$  estimado,  $m_{prom}$  puede ser calculado, y un estimado más exacto de  $T_2$  puede ser obtenido.

Normalmente son suficientes tres iteraciones para converger la suposición de  $T_2$  dentro de un rango de  $5^\circ\text{C}$  ( $10^\circ\text{F}$ )

### Detalles del Procedimiento de Iteración

**Paso 1.**

$$m = \frac{\frac{RZ}{\eta_{poli}} + RT_r + \left[ \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right] Pr}{Cp^\circ \Delta Cp}$$

**Paso 2.**

$$m_{prom} = \frac{m_1 + m_2}{2} \quad T_r, P_1; T_r = \frac{T_1}{T_c}, Pr = \frac{P_1}{P_c}$$

Use las tablas de datos para la evaluación.

**Paso 3.** Asuma  $T_2$  (comience con  $120^\circ\text{C}$  ( $250^\circ\text{F}$ ) o  $T_1, +95^\circ\text{C}$  ( $170^\circ\text{F}$ ))

**Paso 4.** Evalúe  $m_{2est}$   $T_{2asumido}$  y  $P_2$

$$m_{2est} = \frac{\frac{RZ}{\eta_{poli}} + RT_r + \left[ \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right] Pr}{Cp^\circ \Delta Cp} @ P_2 \text{ y } T_{2asumido}$$

$$T_r = \frac{T_{2asumido}}{T_c}, Pr = \frac{P_2}{P_c}$$


**Paso 5.**  $(m_{prom})$  1<sup>er</sup> estimado =  $\frac{m_1 + m_{2est}}{2}$

**Paso 6.**  $T_{2est} = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{m_{prom est}}$

**Paso 7.** Si  $T_{2est} \neq T_2$  asumido

reevaluar  $m_2 @ T_{2est}$  por lo tanto:  $T_r = \frac{T_{2est}}{T_c}$



 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>				
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	<table border="1"> <tr> <td>REVISION</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td align="center">0</td> <td align="center">MAY.96</td> </tr> </table>	REVISION	FECHA	0	MAY.96
	REVISION	FECHA				
0	MAY.96					
Página 16						

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**Paso 8.**  $(m_{\text{prom}})_{2\text{do est}} = \frac{m_1 + m_2}{2}$

**Paso 9.**  $T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{m_{\text{prom}}}$

**Paso 10.** Continúe la interacción hasta que  $T_2$  converja cerca de 5 °C (10°F) para propósitos de diseño de servicio

**Paso 11.** Usando el  $T_2$  resultante, calcule

$$V_2 = \left( \frac{1}{P_2} \right) (Z_2) \left( \frac{\bar{R}}{M} \right) (T_2) \text{ y use } V_2 \text{ en}$$

$$n = \frac{\log \left( \frac{P_2}{P_1} \right)}{\log \left( \frac{V_1}{V_2} \right)}$$

**Paso 12.** Evalúe  $\frac{n-1}{n}$  para usarlo en el cálculo de cabezal

### Exponentes para Gases Perfectos y Relaciones a Baja Presión

Para los inertes y otros gases a las condiciones en las cuales se aproximan a los gases ideales ( $Z \approx 1.0$ ), el procedimiento usado para evaluar el exponente de compresión,  $n$ , puede ser abreviado por la aplicación directa de la definición de eficiencia politrópica:

$$\eta_{\text{poli}} = \frac{\left( \frac{k-1}{k} \right)}{\left( \frac{n-1}{n} \right)}$$


Si no es necesario tanta precisión, evalúe  $k$  a las condiciones de entrada.

### Cabezal Politrópico

El cabezal politrópico es calculado como:

$$H_{\text{poli}} = \left( \frac{g_c P_1 V_1}{g} \right) \left( \frac{n}{n-1} \right) \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \left( \frac{g_c}{c} \right) \frac{Z_1 \bar{R} T_1}{M} \left( \frac{n}{n-1} \right) \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \frac{1}{F_o}$$

Este valor no incluye las pérdidas por compresión y debe ser dividido por la eficiencia politrópica para obtener la energía total de entrada por unidad de masa del gas referido para la compresión.

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 17			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

La entalpía a las condiciones de  $P_2$  y  $T_2$  reales.

$$h_{p2, T2} = h_1 + F_5 \left( \frac{H_{poli}}{\eta_{poli}} \right) \text{ donde : } F_5 = 0.0098 \text{ KJ/kgm (BTU/778 lb pie)}$$

### 5.10 **Compresión Isotérmica**

Muy pocos compresores del tipo comercial remueven rápidamente el calor generado por la compresión, ya que la temperatura del gas permanece constante a los aumentos o incrementos de presión. Como ejemplo están los compresores de anillo líquido, los compresores de tornillo helicoidal enfriados por una inyección de aceite, y pequeñas bombas reciprocantes de vacío. El incremento de la entalpía a lo largo de un proceso isotérmico puede ser calculado por:

$$H_{\text{isotérmico}} = \left( \frac{gc}{g} \right) \left( \frac{\bar{R}}{M} \right) T_1 \log \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \frac{1}{F_o}$$

Los datos de eficiencia para convertir este incremento de entalpía a trabajo total realizado son únicos para cada máquina y no pueden ser generalizados. Los vendedores de estos tipos especiales de compresores proveen la mejor fuente de información en cuanto a temperatura de descarga y requerimiento de potencia.

### 5.11 **Comparación de los Valores de Eficiencia de Compresión**

La Figura 5 puede ser usada para convertir indistintamente eficiencias politrópicas y eficiencias isentrópicas.

Cabe destacar que:


$$\frac{H_{is} \text{ (o } \Delta h_{is})}{\eta_{is}} = \frac{h_{poli} \text{ (o } \Delta h_{poli})}{\eta_{poli}} = \text{Energía total de compresión requerida}$$

El valor  $H_{is}$  es típicamente de 2 a 5% más bajo que el valor de  $H_{poli}$ , para idénticas condiciones de servicio, el valor de  $\eta_{is}$  es típicamente de 2 a 5% más bajo que el valor del  $\eta_{poli}$ . La selección de la eficiencia básica no tiene ningún efecto sobre la energía total de compresión requerida.

Cuando se escoge el camino isotérmico como la referencia básica para expresar el rendimiento del compresor, se debe usar el valor de la eficiencia isotérmica. Este valor es típicamente de 6 a 9% más bajo que la eficiencia isentrópica, lo cual está reflejado por:

$$\Delta h_{\text{isotérmico}} < \Delta h_{\text{isentrópico}}$$

Nuevamente, esto no tiene efecto sobre los requerimientos totales de energía para la compresión.

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 18		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

## 5.12 Fuentes de Ineficiencia en Diferentes Tipos de Compresores

Mientras más se comprenden las fuentes de ineficiencia en cada tipo de compresor, mejor se entenderán los cálculos de compresión y el análisis de los problemas más comunes relativos a rendimiento. Cada tipo de máquina tiene como ejemplo las clasificaciones principales en cuanto a pérdida de energía hidráulica y mecánica, pero el fenómeno específico de trabajo y la división entre las pérdidas mecánicas e hidráulicas difieren principalmente en cada tipo de máquina.

En la Tabla 2 se resume en términos cualitativos las principales fuentes de pérdidas mecánicas e hidráulicas.

## 5.13 Problemas Tipo

### Problema 1

El problema N° 1 ilustra los cálculos para evaluar la compresión de una mezcla de C<sub>3</sub> con trazas de otros dos hidrocarburos, etano y isobutano. La composición del gas ha sido dada en base de fracción molar.

Si el hidrógeno está presente, se deben usar los valores de de T<sub>c</sub> y P<sub>c</sub> (46°K y 2255kPa (83°R y 327 psi) respectivamente). Si se tienen otros inertes presentes, sus propiedades también deberán ser mezcladas sobre la misma base de fracción molar para mayor simplicidad, a pesar de que algunos errores pueden ser cometidos.

Se ilustran dos iteraciones, lográndose una convergencia de 2°C (3°F).

### Dado:

W=14.5 Kg/s (115000 lb/h),

P<sub>1</sub> = 219 kPa abs (31.8 Psia)

T<sub>1</sub> = 21°C (70°F),

P<sub>2</sub> = 1725 kPa abs (250 Psia)

Tipo de compresor: centrífugo

Elemento motriz: turbina a vapor

Composición de Gas			Propiedades del Gas			
Componente	Moles/m	Fracción Molar, y	M	(1) T <sub>c</sub> , °k	(2) P <sub>c</sub> . kPa abs	(3) C <sub>p</sub> ° T <sub>1</sub>
Etano	No especificado	0.01	30	306	4881	52.3
Propileno	No especificado	0.34	42	365	4599	63.2
Propano	No especificado	0.64	44	370	4254	72.8
Isobutano	No especificado	0.01	58	408	3647	95.9

Total No especificado

1. Para convertir de °K a °R, use °R = (°K-273) 1.8 + 492

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

- Para convertir de kPa a Psia, divide entre 6.894757
- Para convertir KJ/Kg °K en BTU/lb °R, divide entre 4.1868

**Encontrar:**

Temperatura de salida, T2 y la potencia.

**Solución.**

Propiedades de la Mezcla de gases:

Componente	(y) (M)	(y) (Tc)	(y) (Pc)	(y) (Cp°)
Etano	00.30	3.05	48.8	0.523
Propileno	14.30	130.50	1565.1	21.480
Propano	28.20	236.90	2723.4	46.600
Isobutano	0.58	4.08	36.5	0.958
Mezcla Final	43.38	374.5	4373.8	69.561
Valor Redondeado	43.4	375	4374	70.0

$$T_{r1} = \frac{T_1}{T_c} \frac{(273 + 21)}{374^\circ\text{K}} \text{ °K} = 0.786 \text{ (a las condiciones de entrada)}$$

$$P_{r1} = \frac{P_1}{P_c} \frac{219 \text{ kPa abs}}{4374 \text{ kPa abs}} = 0.0501 \text{ (a las condiciones de entrada)}$$

De la tabla 5


$$RZ = 7996.7; RT_r \left( \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right)_{Pr} = 921.0; \Delta C_p = 3.62$$

$$Z_1 = \frac{RZ}{R} = \frac{7996.7}{8314.3} = 0.961$$

$$V_1 = \frac{\bar{R}T_1 Z_1}{P_1 M} = \left( \frac{8314.3}{219} \right) \left( \frac{294}{10^3} \right) \left( \frac{0.96}{43.4} \right) = 0.247 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (3.96 npie}^3/\text{lb)}$$

$$Q_1 = W \times V_1 = 14.5 \text{ kg/s} \times 0.247 = 3.58 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (7580 pie}^3/\text{min)} \quad \text{condiciones de entrada}$$

De la Figura 1, se obtiene que la eficiencia politrópica para un compresor centrífugo con este flujo es de  $\eta_p = 0.74$

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 20			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

(Una reducción del 4% normalmente debe ser hecha ya que  $m^3/s$  real  $< 3.75$  y  $P > 1000$  kPa ( $pie^3/min$  real  $> 8000$  y  $P > 150$  psia), pero esta corrección fue omitida para este ejemplo).

$$m_1 = \frac{\frac{RZ}{\eta p} + RT_r \left( \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right)_{Pr}}{Cp^\circ + \Delta Cp} = \frac{\left( \frac{7996.7}{0.74} \right) + 921.0}{(70 + 3.62) \times 10^3 (*)} = 0.16$$

\* El factor  $10^3$  se usa dado que el calor específico está generalmente expresado en k Joule/kg $^\circ$ K, mientras que la constante de gas emplea. Joule/kg  $^\circ$ k (ésto es válido sólo en unidades métricas).

### 1er Tanteo para $T_2$

Estimar  $T_2$  con base a  $m_1$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{m_1} = 294 \left( \frac{1725}{219} \right)^{0.16} = 409^\circ k = 136^\circ C$$

$$T_r = \frac{409}{374} = 1.09; P_r = \frac{1725}{4371} = 0.395$$

De la Tabla 5

$$RZ = 7339; RT_r \left( \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right)_{Pr} = 3504.3; Cp = 6.95$$

$$m_{2est} = \frac{\frac{7339}{0.74} + 3504}{(91.0 + 6.95) \times 10^3} = 0.137$$

$$m_{prom_{est}} = \frac{0.16 + 0.137}{2} = 0.148$$


$$T_{2est} = 294 \left( \frac{1725}{219} \right)^{0.148} = 399^\circ k = 126^\circ C \text{ (10}^\circ \text{ menor por el valor de 136}^\circ C)$$

$$719^\circ R = 259^\circ F \text{ (18}^\circ \text{ menor por el valor asumido de 277}^\circ F)$$

### 2do. Tanteo para $T_2$

Asuma  $T_2 = 126^\circ C = 399$  K ( $259^\circ F = 719^\circ R$ )

Calcule  $Cp^\circ$  @ $126^\circ C$  ( $259^\circ F$ ) (de la Tabla 4 A)

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION 0	FECHA MAY.96
		Página 21	

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Componente	Cp° @126°C(1) (kj/kg°K)	y	y Cp°(1)
Etano	65.7	0.01	0.7
Propileno	80.0	0.34	27.2
Propano	94.2	0.64	60.3
Isobutano	124.3	0.01	1.2
			89.4

(1) para convertir kj/kg°K en BTU/lb°R divide entre 4.1868

$$T_r = \frac{399}{374} = 1.07 \quad P_r = \frac{1725}{4374} = 0.394$$

De la Tabla 5

$$RZ = 7264; \quad RT_r \left( \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right)_{Pr} = 3852; \quad \Delta C_p = 8.37$$

$$m_{2est} = \frac{\left( \frac{7264}{0.74} \right) + 3852}{(89.4 + 8.37) \times 10^3} = \frac{9816 + 3852}{97770} = 0.140$$

$$m_{prom} = \frac{0.16 + 0.14}{2} = 0.15$$

$$T_{2est} = 294 \times \left( \frac{1725}{219} \right)^{0.150} = 294 \times (7.88)^{0.150} = (294) (1.363) = 401^\circ K = 128^\circ C \quad (722^\circ R = 262^\circ F)$$

2°C (3°F) por encima del valor asumido de 126°C (259°F), la exactitud es aceptable, puesto que T<sub>2</sub> converge dentro de un rango aceptable, m<sub>prom</sub> = 0.150

$$Z_2 = \frac{RZ}{R} = \frac{7264}{8314} = 0.874$$

$$V_2 = \frac{Z_2 \bar{R} T_2}{P_2 M} = \left[ \frac{0.874}{1725} \right] \left[ \frac{8314}{10^3} \right] \left[ \frac{401}{43.4} \right] = 0.039 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (0.625 \text{ pie}^3/\text{lb})$$

$$Z_{avg} = \frac{Z_1 + Z_2}{2} = \frac{0.960 + 0.874}{2} = 0.917$$

Si P<sub>2</sub>/P<sub>1</sub> > 3, m es recomendado para el cálculo del cabezal.

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Si  $P_2/P_1$  es  $< 3$ ,  $n$  debe ser evaluado para usarse en el cálculo del exponente  $\frac{n-1}{n}$  por:

$$n = \frac{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\log\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} = \frac{\log\left(\frac{1725}{219}\right)}{\log\left(\frac{0.274}{0.039}\right)}$$

$$H_{poli} = \left(\frac{gc}{g}\right) \frac{Z_1 \bar{R} T_1}{M} \left(\frac{1}{m}\right) \left[ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^m - 1 \right] \frac{1}{F_o}$$

$$H_{poli} = \frac{gc}{g} \left(\frac{0.918 \times 8314 \times 294}{43.4}\right) \frac{1}{0.150} \left[ \left(\frac{1725}{219}\right)^{0.150} - 1 \right] \frac{1}{9.806} = 35.150 \times 0.362 = 12724m (41800pie)$$

$$PG = \frac{W \times H_{poli} \times g}{F_3 \times \eta_{poli} \times gc} = \frac{14.5 \times 12.724}{102 \times 0.74} = W = 2445 \text{ kW}$$

$$Q_2 = W \times V_2 = 14.5 \times 0.039 = 0566 \text{ m}^3/\text{s} (1200 \text{ pie}^3/\text{min}) \text{ (real)}$$

### Potencia Total Requerida del Compresor

	<b>kW</b>	<b>HP</b>
PG	2445	3280
Pérdida en los Sellos, 25 kW (35HP)	25	35
Pérdida en los Cojinetes, 25 kW (35HP)	25	35
Pérdidas en los Engranajes	<u>0</u>	<u>0</u>
P F=	2495	3350


### Problema 2

Este problema muestra los cálculos para evaluar la compresión del aire. Las propiedades de los componentes de una mezcla típica de aire están ampliamente disponibles.

El flujo es dado en base volumétrica real, en preferencia a flujo másico, debido a que este problema usa la curva del compresor en términos de flujo volumétrico real.

### Dado:

$$Q_1 = 13.2 \text{ m}^3/\text{s} (2899 \text{ pie}^3/\text{min}) \text{ real}$$

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 23			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

$P_1 = 99 \text{ kPa abs. (14.4 psia)}$   
 Gas = aire  
 $T_1 = 32^\circ\text{C (90}^\circ\text{F)}$   
 $P_2 = 208 \text{ kPa abs. (30.2 Psia)}$

**Calcule:**

Temperatura de salida  $T_2$  y potencia de embarque.

**Solución:**

Obteniéndose:

$\eta_p = 0.752$  (Figura 1)

$(C_p/C_v) P_1 T_1 = 1.402$  (Tabla 7)

$Z_1 = 1.000$  (Tabla 7)

(Una reducción del 1% en la eficiencia politrópica es recomendable para bajar el balance por pérdidas en la línea, pero en este ejemplo se ha omitido dicha corrección).

$$m_1 = \frac{\left[\frac{k-1}{k}\right]}{\eta_p} = \frac{\left[\frac{0.402}{1.402}\right]}{0.752} = 0.381$$

**1er. Tanteo para  $T_2$**

Primero, estimar  $T_2$  basado en el  $m_1$  anterior.

$$T_2 = T_1 \left[ \frac{P_2}{P_1} \right]^{m_1} = 306 \left[ \frac{208}{99} \right]^{0.381} = 406^\circ\text{K} = 133^\circ\text{C (729}^\circ\text{R} = 269^\circ\text{F)}$$

Si se desea una mayor precisión aplique el procedimiento iterativo.

**2do. Tanteo para  $T_2$**


$C_p/C_v$  a 208 kPa abs (30.2 psia) y 133°C (269°F) = 1.397

$$m_2 = \frac{\left[\frac{k-1}{k}\right]}{\eta_p} = \frac{\left[\frac{0.397}{1.397}\right]}{0.752} = 0.379$$

$$m_{\text{prom}} = \frac{m_1 + m_2}{2} = \frac{0.381 + 0.379}{2} = 0.380$$

$T_2 = (306) (2.1)^{0.380} = 405.6^\circ\text{K} = 132.6^\circ\text{C (728}^\circ\text{R} = 268^\circ\text{F)}$  (0.4°C (1°F)) más bajo que el valor asumido de 133°C (269°F), precisión aceptada.



 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION 0	FECHA MAY.96
		Página 24	

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

$$V_1 = \left[ \frac{Z_1 \bar{R} T_1}{P_1 M} \right] = \left[ \frac{1.000}{99} \right] \left[ \frac{8314}{10^3} \right] \left[ \frac{306}{29} \right] = 0.886 \text{ m}^3 / \text{kg} \text{ (14.1 pie}^3 / \text{lb)}$$

$$W_1 = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{13.2 \text{ m}^3/\text{s}}{0.886 \text{ m}^3/\text{kg}} = 14.9 \text{ kg/s (1985lb/min)}$$

Para los inertes, en el cálculo del cabezal use el mismo exponente utilizado en el cálculo de T<sub>2</sub>:

$$H_{\text{poli}} = \left[ \frac{gc}{g} \right] \left[ \frac{Z \bar{R} T_1}{M} \right] \left[ \frac{1}{m_{\text{prom}}} \right] \left[ \left[ \frac{P_2}{P_1} \right]^{m_{\text{prom}}} - 1 \right] \frac{1}{F_o} =$$

$$\left[ \frac{1}{9.806} \right] \left[ \frac{1.00 \times 8314 \times 306}{29} \right] \left[ \frac{1}{0.38} \right] \left[ (2.1)^{0.38} - 1 \right] = (23543) (0.326) = 7675 \text{ m (25200 pie)}$$

$$PG = \frac{(W) (H) \times g}{F_3 (\eta_p) gc} \left[ \frac{14.9}{0.752} \right] [7675] \left[ \frac{1}{102} \right] = 1491 \text{ kW}$$

$$PF = 1491 \text{ kw (2015 Hp)} + \text{pérdidas por fugas}$$

### Potencia Total Requerida


	<u>En unidades métricas</u>	<u>En unidades inglesas</u>
PG	1491 kW	2015 HP
Pérdidas en los sellos de laberintos	0 kW	0 HP
Pérdidas en cojinetes	25 kW	35 HP
	<hr/> 1516 kW	<hr/> 2050 HP

### 5.14 Programas de Computación

A continuación se presentan los programas de computación disponibles para el momento en la industria:

- Pro II, versión 4.01, SIMSCI Latinoamericana, c.a.
- Provisión, versión 4.1, SIMSCI Latinoamericana, c.a.

Estos programas son simuladores de proceso, los cuales dentro de las operaciones unitarias que manejan, poseen la subrutina compresor. Esta

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 25		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

subrutina simula una etapa de compresión isentrópica. Las condiciones de salida y los requerimientos de potencia pueden calcularse usando la eficiencia adiabática o politrópica. El Procedimiento de cálculo usado por default es el método del GPSA Engineering Data Book.


Si se desea mayor precisión en los cálculos, es decir, tomando propiedades promedio de entrada y salida en el factor de compresibilidad y el exponente politrópico o isentrópico, según sea el caso. Debe seguirse el procedimiento iterativo mostrado en los ejemplos.

– INTEVEP, S.A.

Dispone de 2 programas para el cálculo de compresores centrífugos y reciprocantes, los cuales se basan en el procedimiento iterativo mostrado en los ejemplos. Estos programas están ubicados en la base de cálculo Procalc.

## 6 NOMENCLATURA

Ver capítulo [PDVSA-MDP-02-K-02](#).

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>	<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>	REVISION	FECHA
		0	MAY.96
Página 26			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

## 7 APENDICE

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 1A COMPARACION DE LOS METODOS DE CALCULO DE COMPRESION PARA DISEÑO POR SERVICIO**

Método No.	Manual o por computadora	Relación de presión	Enfriado o No enfriado	Pasos de Compresión y eficiencia	Entrada de Cálculos	Cálculos de $T_2$	Exponente del Cabezal de compresión y Cálculo de HP	Fuente de Datos para el Gas
1	Manual (1)	Cualquiera	No Enfriado	Isentrópico	Un paso por etapa de procesos	$T_1 \left[ 1 + \frac{\frac{k-1}{r-1}}{\eta_{is}} \right]$	$\frac{k-1}{k}$	Edmister
2	Manual (1)	Cualquiera	Enfriado	Isentrópico	Un paso por etapa de procesos	$T_1 (r) \frac{k-1}{k}$	$\frac{k-1}{k}$	Edmister
3	Manual Diagrama de propiedades del gas	Cualquiera	Enfriado	Isentrópico	Un paso por etapa de procesos	Gráfico $T_1 + \frac{T_{2t} - T_1}{\eta_{is}}$	Gráfico $H_{is} = h_2 - h_1$	Cualquier fuente calificada
4	Manual Diagrama de propiedades del gas (Mollier)	Cualquiera	Enfriado	Isentrópico	Un paso por etapa de procesos	Gráfico $T @ P_2, S_2 = S_1$	Gráfico $H_{is} = h_2 - h_1$	Cualquier fuente calificada
5	Manual (1) Edmister	< 3	No Enfriado	politrópico	Un paso por etapa de procesos	$T_1 (r)^{m_{prom}}$	$\frac{n-1}{n}$	Edmister
6	Manual (1) Edmister	> 3	No Enfriado	politrópico	Un paso por etapa de procesos	$T_1 (r)^{m_{prom}}$	$m_{prom}$	Edmister
7	Manual (1) Edmister	Cualquiera	No Enfriado	politrópico	Un paso por etapa de procesos	$T_1 (r) \frac{k-1}{k\eta_p}$	$\frac{k-1}{k\eta_p}$	Edmister

1. Los cálculos manuales tienen opción de evaluar solamente k y m a las condiciones de entrada, para abreviar u obtener por medio de iteraciones, valores promedios reales para encontrar el valor de  $T_2$ , para una mejor precisión.
2. Programa de eficiencia para el uso de aplicaciones de compresión para diseño de servicio

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)


[Indice norma](#)

**TABLA 1B APLICABILIDAD DE LOS METODOS DE CALCULO DE COMPRESION PARA DISEÑO POR SERVICIO**

Método N°	Gases	Tipo de Compresor para el cual el Método es Aplicable			Alta Presión en el Tornillo Esfuerzo Helicoidal	Precisión	Requerido	Usos Recomendados
		Centrífugo	Axial	Reciprocante				
1	Todos	X	X	X	X	Ligera a moderada	Rápido	Verificación sensitiva
2	Todos			X	(2)	Ligera (influenciado por efectividad en el enfriamiento)	Rápido	Verificación sensitiva
3	Gases puros y mezclas muy comunes	X	X	X	X	Buena	Rápido	Para todos los propósitos, excepto el diseño final
4	Gases puros y mezclas muy comunes			X		Moderado (influenciado por efectividad en el enfriamiento)	Rápido	Para todos los propósitos, excepto diseño final. Se requieren las guías del suplidor para el cálculo del diseño básico.
5	Mezcla de hidrocarburos	X (1)	X		X	Moderado a bueno (1)	Laborioso	Requiere una precisión de moderada a buena. Usese cuando no haya acceso al computador y no se disponga de un diagrama apropiado del gas
6	Mezcla de hidrocarburos	X (1)	X		X	Moderada a buena (1)	Laborioso	Requiere una precisión de moderada a buena. Usese cuando no haya acceso al computador y no se disponga de un diagrama apropiado del gas.
7	Inertes y otros gases con $Z \approx 1$	X	X		X	Buena (1)	Laborioso	Se requiere precisión. Usese cuando no haya acceso al computador y no se disponga de un diagrama apropiado del gas.

**NOTAS:**

1. La precisión es mejorada por el uso de impulsores por etapas, pero con un incremento grande en el tiempo requerido.
2. El enfriamiento de la carcasa en los compresores rotatorios remueve pequeñas cantidades de calor, por lo que la compresión puede ser asumida como, sin enfriamiento.
3. Las propiedades del gas deben ser obtenidas separadamente.
4. La eficiencia del compresor debe ser suministrada al programa.

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		<b>PDVSA MDP-02-K-04</b>	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 29			

[.Menú Principal](#)


[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 2 FUENTES DE INEFICIENCIA Y PERDIDA POR FRICCION MECANICA EN DIFERENTES TIPOS DE COMPRESORES**

<b>Tipo de Compresor</b>	<b>Fuente Importantes de Ineficiencia</b>	<b>Otras Fuentes Hidráulicas de Ineficiencia</b>	<b>Otras Pérdidas de Fricción Mecánicas</b>
Centrífugo	Irreversibilidad en la conversión de altas velocidades a presión, al factor de fricción superficial y a la turbulencia ocasionada por los cambios de dirección y de altas velocidades del fluido.	Fugas en los laberintos de las inter-etapas; balance hidráulico del flujo de reciclo; pérdida total de presión entre las pestañas y el rotor (en la entrada y en la voluta de descarga) debido a los cambios de velocidad, dirección y turbulencia.	Cojinetes (2 por carcaza) y el contacto de los bujes de aceite con el tipo de sello del eje.
Axial	Lo mismo de arriba	Fugas por tolerancias entre los extremos del alabe de estator y el rotor, pérdidas en la voluta	Cojinetes (2 por carcaza) y sellos del eje
Reciprocantes Tipo Pistón	Irreversibilidad en la caída de presión a través de las válvulas; irreversibilidad den la re-expansión del gas comprimido dentro del espacio correspondiente del cilindro; fricción entre los anillos del pistón y el revestimiento y entre el vástago y su empaque	Por escapes de gases en el pistón; fugas en la válvula. Así como el incremento de las pérdidas por decrecimiento del peso molecular	Fricción en el cigüeñal, en las crucetas y deslizamientos en los cojinetes
Embolo	Lo mismo que para el tipo pistón	Fugas en válvulas	Lo mismo de arriba
Diafragma	Lo mismo que para el tipo pistón	Fugas en válvulas	Lo mismo de arriba
Rotatorios Tipo Tornillo	Deslizamiento del flujo (descarga a la entrada) entre los rotores y entre cada rotor y la carcaza	Irreversibilidad como resultado de los cambios de velocidad del gas de entrada y las cavidades de salida del rotor	Cojinetes (4 por carcaza), sello del eje, regulación de los engranajes
Anillo Líquido	Fricción del fluido y turbulencia del líquido del anillo del rotor dentro de la carcaza	Lo mismo de arriba	Cojinetes (2 por carcaza)

 <b>PDVSA</b>	<b>MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO</b>		PDVSA MDP-02-K-04	
	<b>CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION</b>		REVISION 0	FECHA MAY.96
	Página 30			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 3 TEMPERATURAS Y PRESIONES CRITICAS PARA  
SUSTANCIAS COMUNES**

SUSTANCIA	FORMULA	PESO MOLECULAR	TEMPERATURA CRITICA 5C (1)	T <sub>C</sub> 5K (2)	P <sub>C</sub> KPa (3)	PUNTO DE EBULLICION NBP,5C (1)
METANO	CH <sub>4</sub>	16.0	82.6	190.6	4604	-161.5
ACETILENO	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26.0	35.2	308.3	6139	-83.9
ETILENO	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.1	9.2	282.4	5032	-103.7
ETANO	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.1	32.3	305.4	4879	-88.6
PROPILENO	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.1	91.6	364.8	4613	-47.7
PROPANO	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.1	96.7	369.8	4249	-42.1
ISOBUTILENO	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.1	144.7	417.9	4000	-6.9
I-BUTENO	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.1	146.4	419.6	4020	-6.3
ISOBUTANO	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.1	135.0	408.1	3648	-11.7
N-BUTANO	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.1	152.0	425.2	3797	-0.5
ISOPETANO	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.1	187.2	460.4	3381	27.8
N-PENTANO	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.1	196.5	469.7	3369	36.1
N-HEXONO	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.2	234.2	507.4	3012	68.7
N-HEPTANO	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	267.0	540.2	2736	98.4
HIDROGENO	H <sub>2</sub>	2.0	-240.0	33.2	1316	-252.8
NITROGENO	N <sub>2</sub>	28.0	-146.9	126.3	3398	-195.8
OXIGENO	O <sub>2</sub>	32.0	-118.4	154.8	5081	-183.0
MONOXIDO DE CARBONO	DE CO	28.0	-140.2	132.9	3499	-191.5
DIOXIDO DE CARBONO	DE CO <sub>2</sub>	44.0	31.1	304.2	7382	-78.4
SULFURO DE HIDROGENO	DE H <sub>2</sub> S	34.1	100.4	373.6	9008	-60.3
DIOXIDO DE AZUFRE	DE SO <sub>2</sub>	64.1	157.5	430.7	7883	-10.0
TRIOXIDO DE AZUFRE	DE SO <sub>3</sub>	80.1	218.3	491.4	8491	44.8

**NOTA:**

1. Para convertir de °C a °F use lo siguiente °F = 1.8 °C + 32
2. Para convertir de °k a °R multiplique por 1.8
3. Para convertir de Kpa a Psia divide entre 6.894757



[Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 4a CAPACIDAD CALORIFICA DE UN GAS EN ESTADO IDEAL, Cp° PARA PARAFINAS Y OLEFINAS, KJ / Kmol (UNIDADES METRICAS)**

°C	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	nC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	nC <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	°C
-100	33.3	33.4	35.2	41.1	47.3	50.9	59.5	60.4	66.8	68.9	73.3	76.9	95.0	111.1	-100
-90	33.4	34.4	34.9	41.6	48.4	52.8	62.1	61.3	68.6	72.1	77.0	80.4	98.8	115.2	-90
-80	33.4	35.4	34.9	42.3	49.5	54.5	64.5	62.6	70.6	74.9	80.8	83.9	102.6	119.4	-80
-70	33.5	36.3	35.1	43.0	50.7	56.3	67.0	64.1	72.7	77.4	84.5	87.4	106.4	123.7	-70
-60	33.6	37.2	35.6	43.8	51.9	58.0	69.4	65.9	74.9	79.8	88.2	90.9	110.2	128.0	-60
-50	33.8	38.1	36.2	44.7	53.2	59.8	71.8	67.9	77.3	82.1	91.9	94.4	114.1	132.5	-50
-40	34.0	38.9	37.0	45.6	54.5	61.5	74.1	70.1	79.7	84.2	95.6	97.9	117.9	136.9	-40
-30	34.2	39.7	37.8	46.6	55.9	63.3	76.5	72.4	82.3	86.3	99.2	101.3	121.8	141.4	-30
-20	34.4	40.5	38.8	47.7	57.3	65.1	78.8	74.7	84.8	88.4	102.8	104.8	125.7	145.9	-20
-10	34.6	41.3	39.7	48.8	58.7	66.9	81.1	77.1	87.5	90.5	106.4	108.2	129.6	150.5	-10
0	34.9	42.0	40.8	49.9	60.2	68.8	83.4	79.5	90.1	92.6	110.0	111.6	133.5	155.0	0
10	35.2	42.8	41.8	51.0	61.7	70.7	85.7	82.0	92.9	94.8	113.5	115.0	137.4	159.5	10
20	35.6	43.5	42.9	52.2	63.2	72.6	88.0	84.4	95.6	97.0	117.0	118.4	141.3	164.0	20
30	35.9	44.2	44.0	53.4	64.7	74.6	90.2	86.8	98.3	99.3	120.5	121.8	145.2	168.5	30
40	36.3	44.8	45.1	54.6	66.3	76.6	92.5	89.2	101.1	101.6	124.0	125.1	149.1	173.0	40
50	36.8	45.5	46.2	55.8	67.8	78.6	94.7	91.6	103.8	104.0	127.4	128.4	153.0	177.4	50
60	37.2	46.2	47.2	57.1	69.4	80.6	96.9	93.9	106.6	106.5	130.8	131.7	156.8	181.9	60
70	37.7	46.8	48.3	58.3	71.0	82.6	99.1	96.2	109.3	109.0	134.1	134.9	160.7	186.3	70
80	38.2	47.4	49.3	59.6	72.6	84.7	101.3	98.5	112.0	111.6	137.5	138.2	164.5	190.7	80
90	38.7	48.0	50.3	60.8	74.2	86.7	103.5	100.7	114.7	114.1	140.8	141.4	168.3	195.0	90
100	39.2	48.6	51.3	62.1	75.8	88.8	105.6	102.9	117.4	116.7	144.0	144.6	172.1	199.3	100
110	39.7	49.1	52.3	63.4	77.3	90.8	107.7	105.1	120.1	119.4	147.3	147.8	175.9	203.7	110
120	40.3	49.7	53.3	64.7	78.9	92.9	109.8	107.2	122.7	122.0	150.5	150.9	179.6	207.9	120
130	40.8	50.2	54.3	65.9	80.4	94.9	111.9	109.4	125.4	124.6	153.7	154.0	183.2	212.2	130
140	41.4	50.7	55.3	67.2	82.0	96.9	113.9	111.5	128.0	127.1	156.8	157.1	186.9	216.4	140
150	42.0	51.2	56.2	68.5	83.5	98.8	116.0	113.7	130.5	129.7	159.9	160.2	190.5	220.6	150
160	42.6	51.7	57.2	69.8	85.0	100.8	117.9	115.8	133.1	132.2	163.0	163.2	194.0	224.8	160
170	43.2	52.1	58.2	71.1	86.5	102.7	119.9	117.9	135.6	134.6	166.1	166.2	197.5	228.9	170
180	43.8	52.5	59.1	72.3	87.9	104.5	121.8	120.0	138.1	137.0	169.1	169.2	201.0	233.0	180
190	44.4	52.9	60.1	73.6	89.4	106.3	123.7	122.1	140.5	139.4	172.1	172.1	204.4	237.0	190
200	44.9	53.3	61.1	74.8	90.8	108.1	125.6	124.2	142.9	141.7	175.0	175.0	207.8	241.0	200
210	45.5	53.7	62.0	76.1	92.2	109.9	127.5	126.3	145.3	144.0	177.9	177.8	211.1	244.9	210
220	46.1	54.1	62.9	77.3	93.6	111.7	129.3	128.3	147.6	146.2	180.8	180.6	214.5	248.8	220
230	46.7	54.4	63.8	78.5	95.0	113.4	131.2	130.3	149.9	148.5	183.7	183.3	217.8	252.5	230
240	47.3	54.8	64.7	79.6	96.4	115.1	133.0	132.2	152.2	150.7	186.5	186.0	221.0	256.2	240
250	47.9	55.1	65.4	80.7	97.8	116.9	134.8	134.0	154.3	153.1	189.2	188.5	224.3	259.7	250
260	48.5	55.4	66.2	81.8	99.2	118.7	136.6	135.7	156.5	155.5	192.0	191.0	227.5	263.1	260





[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 4b CAPACIDAD CALORIFICA DE UN GAS EN ESTADO IDEAL, Cp° PARA PARAFINAS Y OLEFINAS, KJ / Kmol °K (UNIDADES METRICAS)**

°C	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	°C
-150	26.4	29.1	29.1	29.1	29.8	33.1	32.9	33.1	35.9	-150
-140	26.5	29.1	29.1	29.1	29.9	33.2	32.9	33.5	36.7	-140
-130	26.5	29.1	29.1	29.1	30.1	33.2	33.0	33.9	37.6	-130
-120	26.7	29.1	29.1	29.1	30.4	33.2	33.0	34.2	38.4	-120
-110	26.8	29.1	29.1	29.1	30.7	33.2	33.1	34.6	39.3	-110
-100	27.0	29.1	29.1	29.1	31.1	33.3	33.2	35.0	40.1	-100
-90	27.1	29.1	29.1	29.1	31.5	33.3	33.2	35.4	41.0	-90
-80	27.3	29.1	29.1	29.1	32.0	33.3	33.3	35.8	41.8	-80
-70	27.5	29.1	29.1	29.1	32.4	33.3	33.4	36.2	42.6	-70
-60	27.7	29.1	29.1	29.1	32.9	33.3	33.5	36.6	43.5	-60
-50	27.9	29.1	29.1	29.1	33.4	33.3	33.6	36.9	44.3	-50
-40	28.0	29.1	29.2	29.1	33.9	33.3	33.7	37.3	45.1	-40
-30	28.2	29.1	29.2	29.1	34.4	33.4	33.8	37.7	46.0	-30
-20	28.3	29.1	29.2	29.1	34.9	33.4	33.9	38.1	46.8	-20
-10	28.5	29.1	29.2	29.1	35.4	33.4	34.0	38.5	47.7	-10
0	28.6	29.1	29.3	29.1	35.9	33.5	34.1	38.9	48.5	0
10	28.7	29.1	29.3	29.1	36.4	33.5	34.2	39.3	49.3	10
20	28.8	29.1	29.3	29.1	36.9	33.5	34.3	39.7	50.1	20
30	28.9	29.1	29.4	29.1	37.4	33.6	34.4	40.0	51.0	30
40	28.9	29.1	29.5	29.1	37.8	33.6	34.5	40.4	51.8	40
50	29.0	29.1	29.5	29.2	38.3	33.7	34.6	40.8	52.6	50
60	29.0	29.1	29.6	29.2	38.7	33.8	34.8	41.2	53.4	60
70	29.1	29.1	29.6	29.2	39.1	33.8	34.9	41.6	54.2	70
80	29.1	29.2	29.7	29.2	39.5	33.9	35.0	41.9	55.1	80
90	29.1	29.2	29.8	29.2	40.0	34.0	35.2	42.3	55.8	90
100	29.1	29.2	29.9	29.3	40.4	34.0	35.3	42.7	56.6	100
110	29.1	29.2	30.0	29.3	40.7	34.1	35.5	43.0	57.4	110
120	29.2	29.2	30.0	29.3	41.1	34.2	35.6	43.4	58.2	120
130	29.2	29.3	30.1	29.3	41.5	34.3	35.8	43.7	58.9	130
140	29.2	29.3	30.2	29.4	41.9	34.4	35.9	44.1	59.7	140
150	29.2	29.3	30.3	29.4	42.2	34.5	36.1	44.4	60.4	150
160	29.2	29.3	30.4	29.5	42.6	34.5	36.2	44.7	61.1	160
170	29.2	29.4	30.5	29.5	42.9	34.6	36.4	45.1	61.8	170
180	29.2	29.4	30.6	29.5	43.2	34.7	36.6	45.4	62.5	180
190	29.3	29.4	30.7	29.6	43.6	34.8	36.8	45.7	63.2	190
200	29.3	29.5	30.8	29.6	43.9	34.9	36.9	46.0	63.8	200
210	29.3	29.5	30.9	29.7	44.2	35.0	37.1	46.2	64.4	210
220	29.3	29.6	31.0	29.8	44.5	35.1	37.3	46.5	65.0	220
230	29.3	29.6	31.1	29.8	44.7	35.2	37.5	46.8	65.6	230
240	29.3	29.7	31.2	29.9	44.9	35.3	37.6	47.0	66.2	240
250	29.3	29.7	31.3	29.9	45.1	35.5	37.8	47.2	66.7	250
260	29.3	29.7	31.4	30.0	45.3	35.6	38.0	47.4	67.3	260



**MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO**  
**CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION**

PDVSA MDP-02-K-04

REVISION	FECHA
0	MAY.96

Página 33

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 4c CAPACIDAD CALORIFICA DE UN GAS EN ESTADO IDEAL, Cp° PARA PARAFINAS Y OLEFINAS, (Btu / lbmol °F) UNIDADES INGLESAS**

°F	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	nC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	nC <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	°F
-100	8.00		8.37	10.2	12.0	13.3	15.8	15.2	17.2	18.3	19.9	20.6	25.1	29.2	-100
-90	8.02		8.42	10.3	12.2	13.6	16.1	15.4	17.5	18.6	20.4	21.1	25.6	29.8	-90
-80	8.04		8.48	10.4	12.4	13.8	16.4	15.6	17.8	18.9	20.9	21.5	26.1	30.4	-80
-70	8.06		8.55	10.5	12.5	14.0	16.7	15.9	18.1	19.2	21.4	22.0	26.6	30.9	-70
-60	8.08		8.64	10.6	12.7	14.2	17.1	16.1	18.4	19.5	21.9	22.5	27.1	31.5	-60
-50	8.09		8.72	10.8	12.9	14.5	17.4	16.4	18.7	19.8	22.3	22.9	27.7	32.1	-50
-40	8.12		8.82	10.9	13.1	14.7	17.7	16.7	19.0	20.1	22.8	23.4	28.2	32.7	-40
-30	8.15		8.93	11.1	13.2	14.9	18.0	17.0	19.4	20.4	23.3	23.8	28.7	33.3	-30
-20	8.17		9.04	11.2	13.4	15.2	18.3	17.3	19.7	20.7	23.8	24.3	29.2	33.9	-20
-10	8.20		9.17	11.3	13.6	15.4	18.6	17.6	20.1	21.0	24.3	24.8	29.7	34.5	-10
0	8.23	9.68	9.32	11.4	13.7	15.6	18.9	18.0	20.4	21.3	24.8	25.2	30.2	35.1	0
10	8.26	9.79	9.46	11.6	13.8	15.9	19.2	18.3	20.7	21.5	25.2	25.7	30.7	35.7	10
20	8.29	9.90	9.60	11.7	14.1	16.1	19.5	18.6	21.1	21.8	25.7	26.2	31.3	36.3	20
30	8.33	10.0	9.74	11.9	14.3	16.4	19.9	19.0	21.5	22.1	26.2	26.6	31.8	36.9	30
40	8.37	10.1	9.88	12.0	14.5	16.6	20.2	19.3	21.8	22.4	26.6	27.0	32.3	37.5	40
50	8.41	10.2	10.0	12.2	14.7	16.9	20.5	19.6	22.2	22.6	27.1	27.5	32.8	38.1	50
60	8.45	10.3	10.2	12.3	14.9	17.1	20.8	19.9	22.5	22.9	27.6	27.9	33.3	38.7	60
70	8.49	10.4	10.3	12.5	15.1	17.4	21.1	20.2	22.9	23.2	28.0	28.4	33.8	39.3	70
80	8.54	10.5	10.4	12.6	15.3	17.6	21.4	20.5	23.2	23.4	28.5	28.8	34.4	39.8	80
90	8.59	10.6	10.6	12.8	15.5	17.9	21.6	20.9	23.6	23.7	28.9	29.3	34.9	40.4	90
100	8.65	10.7	10.7	13.0	15.8	18.2	22.0	21.2	24.0	24.1	29.4	29.7	35.4	41.1	100
110	8.70	10.8	10.9	13.1	16.0	18.4	22.2	21.5	24.3	24.4	29.8	30.1	35.9	41.7	110
120	8.76	10.9	11.0	13.3	16.2	18.7	22.5	21.8	24.7	24.8	30.3	30.6	36.4	42.2	120
130	8.82	11.0	11.1	13.4	16.4	19.0	22.8	22.1	25.0	25.1	30.8	31.0	37.0	42.8	130
140	8.88	11.1	11.3	13.6	16.6	19.2	23.1	22.4	25.4	25.5	31.2	31.5	37.5	43.4	140
150	8.95	11.1	11.4	13.8	16.8	19.5	23.4	22.7	25.8	25.8	31.7	31.9	38.0	44.0	150
160	9.01	11.2	11.5	13.9	17.0	19.8	23.7	23.0	26.1	26.1	32.1	32.3	38.5	44.6	160
170	9.08	11.3	11.7	14.1	17.2	20.1	24.0	23.3	26.5	26.5	32.6	32.7	39.0	45.2	170
180	9.14	11.4	11.8	14.3	17.4	20.4	24.3	23.6	26.9	26.8	33.0	33.2	39.5	45.8	180
190	9.21	11.5	11.9	14.5	17.6	20.6	24.6	24.0	27.2	27.2	33.4	33.6	40.0	46.4	190
200	9.28	11.5	12.1	14.6	17.8	20.9	24.9	24.2	27.6	27.5	33.9	34.0	40.5	46.9	200
210	9.35	11.6	12.2	14.8	18.1	21.2	25.2	24.5	27.9	27.9	34.3	34.5	41.0	47.5	210
220	9.42	11.7	12.4	15.0	18.3	21.4	25.4	24.8	28.3	28.2	34.7	34.9	41.5	48.1	220
230	9.49	11.8	12.5	15.1	18.5	21.7	25.7	25.1	28.7	28.5	35.2	35.3	42.0	48.7	230
240	9.56	11.8	12.6	15.3	18.7	22.0	26.0	25.4	29.0	28.9	35.6	35.7	42.5	49.2	240
250	9.64	11.9	12.8	15.5	18.9	22.2	26.3	25.7	29.4	29.2	36.0	36.1	43.0	49.8	250
260	9.71	12.0	12.9	15.7	19.1	22.5	26.5	26.0	29.7	29.6	36.4	36.5	43.4	50.4	260
270	9.78	12.0	13.0	15.8	19.3	22.8	26.8	26.3	30.1	29.9	36.9	37.0	43.9	50.9	270
280	9.85	12.1	13.1	16.0	19.5	23.0	27.1	26.6	30.4	30.2	37.3	37.4	44.4	51.5	280
290	9.92	12.2	13.3	16.2	19.7	23.3	27.4	26.9	30.8	30.6	37.7	37.7	44.9	52.0	290
300	10.0	12.2	13.4	16.3	19.9	23.6	27.6	27.1	31.1	30.9	38.1	38.2	45.4	52.6	300
310	10.1	12.3	13.5	16.5	20.1	23.8	27.9	27.4	31.5	31.2	38.5	38.6	45.8	53.2	310
320	10.2	12.3	13.7	16.7	20.3	24.1	28.1	27.7	31.8	31.6	38.9	39.0	46.3	53.7	320
330	10.2	12.4	13.8	16.8	20.5	24.3	28.4	28.0	32.1	31.9	39.4	39.4	46.8	54.2	330
340	10.3	12.4	13.9	17.0	20.7	24.6	28.7	28.3	32.5	32.2	39.8	39.8	47.3	54.8	340
350	10.4	12.5	14.0	17.2	20.9	24.8	29.0	28.5	32.8	32.5	40.2	40.2	47.7	55.3	350
360	10.5	12.6	14.2	17.3	21.1	25.1	29.2	28.8	33.1	32.8	40.5	40.5	48.2	55.9	360
370	10.6	12.6	14.3	17.5	21.3	25.3	29.4	29.1	33.4	33.2	40.9	40.9	48.7	56.4	370
380	10.6	12.7	14.4	17.7	21.5	25.6	29.7	29.4	33.7	33.5	41.3	41.3	49.1	56.9	380
390	10.7	12.7	14.5	17.8	21.7	25.8	29.9	29.6	34.0	33.8	41.7	41.7	49.6	57.5	390
400	10.8	12.8	14.7	18.0	21.8	26.0	30.2	29.9	34.4	34.1	42.1	42.1	50.0	58.0	400
410	10.9	12.8	14.8	18.2	22.0	26.3	30.4	30.1	34.7	34.4	42.5	42.4	50.5	58.5	410
420	11.0	12.9	14.9	18.3	22.2	26.5	30.7	30.4	35.0	34.7	42.9	42.8	50.9	59.0	420
430	11.0	12.9	15.0	18.5	22.4	26.8	30.9	30.6	35.3	35.0	43.3	43.2	51.3	59.5	430
440	11.1	13.0	15.2	18.6	22.6	27.0	31.2	30.9	35.6	35.3	43.7	43.6	51.8	60.0	440
450	11.2	13.0	15.3	18.8	22.8	27.2	31.4	31.2	35.9	35.6	44.0	43.9	52.2	60.5	450
460	11.3	13.1	15.4	19.0	23.0	27.5	31.7	31.4	36.2	35.9	44.4	44.3	52.7	61.0	460
470	11.4	13.1	15.5	19.1	23.1	27.7	31.9	31.6	36.5	36.2	44.7	44.6	53.1	61.5	470
480	11.4	13.1	15.6	19.3	23.3	27.9	32.2	31.9	36.8	36.5	45.1	45.0	53.5	61.9	480
490	11.5	13.2	15.7	19.4	23.5	28.1	32.4	32.2	37.1	36.8	45.5	45.3	53.9	62.4	490



[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 4d CAPACIDAD CALORIFICA DE UN GAS EN ESTADO IDEAL, Cp° PARA PARAFINAS Y OLEFINAS, (Btu / Lb mol °F) UNIDADES INGLESAS**

°F	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	°F
-200	6.35	6.95	6.95	6.95	7.20		7.88	8.10	9.00	-200
-190	6.34	6.95	6.95	6.95	7.25		7.88	8.14	9.11	-190
-180	6.35	6.95	6.95	6.95	7.28		7.90	8.20	9.22	-180
-170	6.36	6.95	6.95	6.95	7.32		7.90	8.24	9.33	-170
-160	6.39	6.95	6.95	6.95	7.37		7.91	8.30	9.45	-160
-150	6.42	6.95	6.95	6.95	7.42		7.92	8.35	9.56	-150
-140	6.44	6.95	6.95	6.95	7.47		7.93	8.40	9.67	-140
-130	6.47	6.95	6.95	6.95	7.53		7.94	8.45	9.77	-130
-120	6.50	6.96	6.96	6.95	7.59		7.95	8.50	9.90	-120
-110	6.53	6.96	6.96	6.95	7.65		7.96	8.56	10.0	-110
-100	6.56	6.96	6.96	6.95	7.71		7.97	8.61	10.1	-100
-90	6.58	6.95	6.96	6.95	7.78		7.98	8.66	10.2	-90
-80	6.61	6.95	6.96	6.95	7.84		7.99	8.71	10.3	-80
-70	6.63	6.95	6.96	6.95	7.90		8.00	8.76	10.4	-70
-60	6.66	6.95	6.96	6.95	7.97		8.02	8.81	10.6	-60
-50	6.68	6.95	6.96	6.95	8.03		8.03	8.87	10.7	-50
-40	6.70	6.95	6.97	6.95	8.11		8.04	8.91	10.8	-40
-30	6.72	6.95	6.97	6.95	8.18		8.05	8.97	10.9	-30
-20	6.75	6.95	6.97	6.95	8.25		8.06	9.01	11.0	-20
-10	6.77	6.95	6.97	6.95	8.33		8.08	9.06	11.1	-10
0	6.78	6.95	6.98	6.95	8.38	7.96	8.09	9.12	11.2	0
10	6.80	6.95	6.98	6.95	8.45	7.99	8.10	9.18	11.3	10
20	6.82	6.95	6.98	6.95	8.51	7.99	8.12	9.23	11.4	20
30	6.83	6.95	6.99	6.96	8.58	8.00	8.13	9.28	11.6	30
40	6.85	6.95	6.99	6.96	8.65	8.00	8.15	9.33	11.7	40
50	6.86	6.95	7.00	6.96	8.70	8.00	8.16	9.38	11.8	50
60	6.87	6.95	7.00	6.96	8.76	8.01	8.17	9.43	11.9	60
70	6.88	6.95	7.01	6.96	8.83	8.02	8.19	9.48	12.0	70
80	6.89	6.96	7.02	6.96	8.89	8.02	8.20	9.53	12.1	80
90	6.90	6.96	7.02	6.96	8.96	8.03	8.22	9.59	12.2	90
100	6.90	6.96	7.03	6.96	9.01	8.03	8.24	9.64	12.3	100
110	6.91	6.96	7.03	6.96	9.06	8.04	8.25	9.69	12.4	110
120	6.92	6.96	7.04	6.97	9.12	8.05	8.27	9.74	12.6	120
130	6.92	6.96	7.05	6.97	9.19	8.06	8.28	9.79	12.7	130
140	6.93	6.96	7.06	6.97	9.24	8.06	8.30	9.84	12.8	140
150	6.93	6.96	7.07	6.97	9.30	8.07	8.32	9.89	12.9	150
160	6.94	6.96	7.08	6.97	9.35	8.08	8.34	9.94	13.0	160
170	6.94	6.96	7.09	6.98	9.40	8.09	8.36	9.98	13.1	170
180	6.94	6.96	7.10	6.98	9.46	8.10	8.38	10.0	13.2	180
190	6.95	6.96	7.11	6.98	9.51	8.11	8.39	10.1	13.3	190
200	6.95	6.97	7.12	6.98	9.57	8.12	8.41	10.1	13.4	200
210	6.96	6.97	7.13	6.99	9.62	8.13	8.43	10.2	13.5	210
220	6.96	6.97	7.14	6.99	9.66	8.14	8.45	10.2	13.6	220
230	6.96	6.98	7.15	7.00	9.72	8.15	8.47	10.2	13.7	230
240	6.97	6.98	7.16	7.00	9.77	8.16	8.49	10.3	13.8	240
250	6.97	6.98	7.18	7.00	9.82	8.17	8.51	10.4	13.9	250
260	6.97	6.99	7.19	7.01	9.86	8.18	8.53	10.4	14.0	260
270	6.97	6.99	7.20	7.01	9.91	8.19	8.55	10.4	14.1	270
280	6.97	6.99	7.21	7.02	9.96	8.20	8.57	10.5	14.2	280
290	6.98	6.99	7.22	7.02	10.0	8.22	8.59	10.5	14.3	290
300	6.98	7.00	7.24	7.03	10.1	8.23	8.62	10.6	14.4	300
310	6.98	7.00	7.25	7.03	10.1	8.24	8.64	10.6	14.5	310
320	6.98	7.01	7.26	7.04	10.2	8.25	8.66	10.6	14.6	320
330	6.98	7.01	7.28	7.04	10.2	8.26	8.68	10.7	14.7	330
340	6.98	7.02	7.29	7.05	10.2	8.28	8.70	10.7	14.8	340
350	6.98	7.02	7.30	7.05	10.3	8.29	8.72	10.8	14.9	350
360	6.98	7.02	7.32	7.06	10.3	8.30	8.75	10.8	15.0	360
370	6.98	7.02	7.33	7.07	10.4	8.31	8.77	10.8	15.1	370
380	6.98	7.03	7.34	7.07	10.4	8.33	8.79	10.9	15.2	380
390	6.99	7.04	7.36	7.08	10.4	8.34	8.82	10.9	15.2	390
400	6.99	7.05	7.37	7.09	10.5	8.35	8.84	11.0	15.3	400
410	6.99	7.05	7.38	7.09	10.5	8.37	8.87	11.0	15.4	410
420	6.99	7.05	7.40	7.10	10.6	8.38	8.89	11.0	15.5	420
430	6.99	7.06	7.41	7.11	10.6	8.40	8.91	11.1	15.6	430
440	6.99	7.07	7.42	7.12	10.6	8.41	8.93	11.1	15.7	440
450	6.99	7.07	7.44	7.12	10.7	8.42	8.96	11.2	15.7	450
460	6.99	7.08	7.45	7.13	10.7	8.44	8.98	11.2	15.8	460
470	6.99	7.08	7.46	7.14	10.8	8.45	9.00	11.2	15.9	470
480	6.99	7.09	7.48	7.15	10.8	8.46	9.02	11.3	16.0	480
490	6.99	7.10	7.49	7.15	10.8	8.48	9.05	11.3	16.0	490



MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO

PDVSA MDP-02-K-04

CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION

REVISION 0

FECHA MAY.96

Página 35

[Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

TABLA 5a PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LOS GASES PARA LOS CALCULOS DE COMPRESION Y EXPANSION (UNIDADES METRICAS)

T <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	RZ	RT <sub>1</sub> (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> ) <sup>1/γ</sup>	C <sub>p</sub> - C <sub>v</sub>	ΔC <sub>p</sub>	-ΔH/T <sub>1</sub>	-ΔS'
0.80	0.05	7996.8	921.1	10.01	3.62	0.89	0.78
0.80	0.10	7620.0	2051.5	12.10	7.54	1.85	1.65
0.80	0.15	7243.2	3349.4	14.86	11.89	2.89	2.63
0.80	0.20	6824.5	5024.2	19.05	17.04	4.07	3.72
0.85	0.05	8038.7	837.4	9.71	2.98	0.77	0.62
0.85	0.10	7745.6	1591.0	11.14	6.11	1.59	1.30
0.85	0.15	7423.2	2625.1	12.98	9.71	2.46	2.03
0.85	0.20	7117.6	3766.1	15.28	13.82	3.39	2.83
0.85	0.25	6791.0	5141.4	18.34	18.59	4.40	3.77
0.85	0.30	6405.8	6922.0	29.10	24.58	5.57	4.82
0.90	0.05	8080.5	626.0	9.42	2.37	0.66	0.50
0.90	0.10	7850.2	1310.8	10.59	4.94	1.34	1.04
0.90	0.15	7586.5	2126.9	12.10	7.75	2.06	1.59
0.90	0.20	7320.4	3014.5	13.82	10.93	2.83	2.19
0.90	0.25	7067.3	4069.6	16.12	14.74	3.64	2.86
0.90	0.30	6782.6	5275.4	19.26	19.30	4.52	3.62
0.90	0.35	6489.5	6741.7	24.49	25.04	5.51	4.46
0.90	0.40	6133.7	8892.9	33.49	32.57	6.59	5.42
0.95	0.05	8122.4	586.2	9.13	1.81	0.56	0.40
0.95	0.10	7913.1	1017.3	10.17	3.71	1.13	0.81
0.95	0.15	7703.7	1842.2	11.39	5.82	1.72	1.25
0.95	0.20	7494.4	2595.8	12.73	8.16	2.43	1.70
0.95	0.25	7285.0	3633.2	14.32	10.84	2.98	2.20
0.95	0.30	7075.7	4321.4	16.29	13.98	3.68	2.71
0.95	0.35	6865.4	5380.0	18.84	17.63	4.37	3.32
0.95	0.40	6615.1	6531.4	22.02	22.82	5.15	3.98
0.95	0.45	6363.9	8038.7	25.75	28.97	4.37	4.71
0.95	0.50	6091.8	9776.2	30.77	36.38	6.99	5.55
0.95	0.55	5798.7	11469.4	37.26	47.69	8.08	6.45
0.95	0.60	5484.7	14277.0	46.89	62.17	9.29	7.54
0.95	0.65	5128.8	18977.5	62.38	82.06	10.70	8.79
0.95	0.70	4772.9	19718.9	87.92	109.69	12.48	10.36
1.00	0.05	8143.3	523.3	9.13	1.21	0.48	0.32
1.00	0.10	7975.9	1025.8	9.92	2.51	0.96	0.65
1.00	0.15	7824.3	1591.0	10.80	3.94	1.45	0.98
1.00	0.20	7661.8	2177.1	11.76	5.48	1.98	1.36
1.00	0.25	7494.4	2847.0	12.98	7.33	2.49	1.72
1.00	0.30	7318.5	3587.2	14.24	9.36	3.06	2.14
1.00	0.35	7138.5	4375.2	15.70	11.72	3.62	2.55
1.00	0.40	6958.5	5267.0	17.33	14.95	4.25	3.01
1.00	0.45	6770.1	6259.9	19.26	18.00	4.86	3.48
1.00	0.50	6584.9	7335.3	21.44	21.73	5.94	3.98
1.00	0.55	6347.2	8557.8	24.12	27.21	6.28	4.52
1.00	0.60	6129.5	10039.9	27.21	32.99	7.03	5.07
1.00	0.65	5880.6	11814.2	31.82	41.03	7.83	5.78
1.00	0.70	5631.2	13800.6	38.31	51.08	8.69	6.49
1.00	0.80	5066.0	17668.3	69.50	84.57	10.91	8.37
1.00	0.90	4270.5	23990.4	167.47	157.42	14.24	11.51
1.00	1.30	1800.3	9420.3	167.47	305.64	35.17	25.96
1.00	1.60	1884.1	6824.5	90.02	251.21	36.01	34.33
1.00	1.50	1988.7	5463.8	79.13	219.81	36.43	25.96
1.00	1.60	2093.4	4563.6	74.11	198.87	36.84	25.92
1.00	1.70	2206.4	3906.3	70.76	182.13	37.26	25.87
1.00	1.80	2302.7	3516.9	67.83	169.57	37.47	25.83
1.00	1.90	2415.8	3152.7	65.73	159.10	37.68	25.79
1.00	2.00	2512.1	2909.8	64.48	152.82	37.68	25.75
1.00	2.20	2721.4	2553.9	61.55	140.26	37.89	25.67
1.00	2.40	2918.2	2357.2	59.03	133.98	38.10	25.62
1.00	2.60	3119.2	2191.0	56.94	127.70	38.31	25.46
1.00	2.80	3299.2	2143.6	55.27	123.93	38.52	25.33
1.00	3.00	3475.0	2093.4	53.59	120.58	38.52	25.12
1.00	3.50	3935.6	2051.5	51.92	116.39	38.73	24.70
1.00	4.00	4438.0	1967.8	50.24	112.21	38.94	24.28
1.05	0.05	8164.3	376.8	9.00	0.86	0.43	0.28
1.05	0.10	8038.7	879.2	9.59	1.78	0.86	0.57
1.05	0.15	7904.7	1348.1	10.24	2.76	1.26	0.88
1.05	0.20	7745.6	1884.1	11.01	3.85	1.76	1.16
1.05	0.25	7615.8	2432.5	11.81	5.11	2.20	1.51
1.05	0.30	7469.2	3039.2	12.69	6.41	2.70	1.78
1.05	0.35	7326.9	3642.5	13.69	7.95	3.16	2.14
1.05	0.40	7180.4	4249.6	14.78	9.55	3.68	2.45
1.05	0.45	7033.8	4940.4	16.04	11.30	4.19	2.81
1.05	0.50	6878.9	5635.6	17.38	13.31	4.73	3.19
1.05	0.55	6724.0	6464.4	18.92	15.49	5.28	3.56
1.05	0.60	6560.7	7335.5	20.72	18.21	5.84	3.96
1.05	0.65	6401.6	8294.0	22.69	20.93	6.45	4.35
1.05	0.70	6225.8	9349.1	25.12	24.79	7.08	4.86
1.05	0.80	5865.7	11886.3	31.82	33.79	8.45	5.85
1.05	0.90	5476.3	14955.2	41.87	46.05	9.94	7.00
1.05	1.00	5032.5	18539.1	59.87	65.31	11.81	8.46
1.05	1.10	4542.7	24346.2	92.11	100.48	14.36	10.26
1.05	1.20	4956.5	33724.7	167.47	157.00	17.79	12.98
1.05	1.50	2595.8	28405.2	209.34	188.41	26.38	20.52
1.05	1.60	2533.0	21459.8	171.66	171.66	27.21	21.27
1.05	1.70	2533.0	17144.9	144.44	156.17	28.47	21.98
1.05	1.80	2576.9	13335.0	124.77	144.44	29.10	22.44
1.05	1.90	2671.2	10307.9	108.86	136.07	29.73	22.57
1.05	2.00	2763.3	7913.1	97.55	129.79	30.14	22.65
1.05	2.20	2951.7	5421.9	81.22	114.32	30.98	22.73
1.05	2.40	3140.1	4354.3	69.92	111.37	31.82	22.82
1.05	2.60	3307.6	3726.3	61.55	105.51	32.24	22.82
1.05	2.80	3475.0	3307.6	54.43	100.48	32.66	22.82
1.05	3.00	3642.5	3056.4	49.82	96.30	33.08	22.69
1.05	3.50	4069.6	2671.2	38.94	88.76	33.49	22.61
1.05	4.00	4521.7	2426.3	34.33	83.32	33.70	22.40
1.10	0.05	8185.2	355.9	8.92	0.71	0.40	0.24
1.10	0.10	8080.5	795.5	9.34	1.47	0.80	0.49
1.10	0.15	7963.3	1163.9	9.88	2.22	1.18	0.75
1.10	0.20	7841.9	1620.3	10.51	3.06	1.62	1.00
1.10	0.25	7724.6	2030.6	11.22	3.89	2.00	1.26
1.10	0.30	7599.0	2491.1	11.89	4.86	2.45	1.51
1.10	0.35	7469.2	2997.7	12.60	5.86	2.86	1.78
1.10	0.40	7339.5	3504.4	13.48	6.95	3.32	2.05
1.10	0.45	7222.2	3998.4	14.44	8.16	3.71	2.34
1.10	0.50	7100.8	4580.4	15.49	9.29	4.20	2.64
1.10	0.55	6974.4	5162.3	16.54	10.68	4.56	2.93
1.10	0.60	6858.0	5828.0	17.75	12.14	5.15	3.27
1.10	0.65	6732.4	6456.0	19.05	13.82	5.53	3.60
1.10	0.70	6615.1	7159.4	20.52	15.62	6.15	3.94
1.10	0.80	6355.6	8716.9	24.28	19.85	7.23	4.65
1.10	0.90	6070.9	10508.9	29.31	25.12	8.57	5.44
1.10	1.00	5769.4	12443.2	36.63	32.28	9.63	6.32
1.10	1.10	5463.8	14507.3	46.05	41.03	10.89	7.24
1.10	1.20	5149.8	16621.6	56.20	50.94	12.52	8.37
1.10	1.30	4814.8	24492.8	73.69	77.04	14.24	9.63
1.10	1.40	4479.9	29307.6	93.37	94.20	15.91	11.14
1.10	1.50	4165.9	33934.0	121.42	110.55	18.00	12.81
1.10	1.60	3860.2	28796.8	154.91	118.49	20.10	14.65
1.10	1.70	3613.2	25903.7	161.19	121.00	21.77	16.12
1.10	1.80	3433.2	22943.6	146.54	120.16	22.90	17.00
1.10	1.90	3288.5	20326.9	128.95	116.39	23.86	17.71
1.10	2.00	3167.6	18045.1	115.14	111.79	24.70	18.42
1.10	2.20	3349.4	14444.5	94.62	102.58	26.17	19.26
1.10	2.40	3433.2	11639.3	79.97	91.27	27.05	19.89
1.10	2.60	3542.0	9457.0	69.08	82.48	27.84	20.52
1.10	2.80	3684.4	7494.4	61.13	76.20	28.47	20.64
1.10	3.00	3822.5	5974.6	54.43	71.18	29.10	20.77
1.10	3.50	4207.7	3872.8	45.22	64.06	29.81	20.72
1.10	4.00	4647.3	2888.9	40.19	60.71	30.35	20.60
1.15	0.05	8206.1	293.1	8.88	0.60	0.36	0.22
1.15	0.10	8130.8	661.5	9.25	1.24	0.73	0.44
1.15	0.15	8017.7	1025.8	9.76	1.88	1.11	0.67
1.15	0.20	7913.1	1381.6	10.26	2.59	1.47	0.89
1.15	0.25	7804.2	1750.1	10.89	3.31	1.87	1.11
1.15	0.30	7703.7	2135.3	11.47	4.08	2.22	1.34
1.15	0.35	7599.0	2533.0	12.02	4.94	2.63	1.57
1.15	0.40	7502.7	2964.3	12.69	5.78	2.98	1.84
1.15	0.45	7402.3	3399.7	13.44	6.78	3.40	2.05
1.15	0.50	7293.4	3843.5	14.24	7.70	3.77	2.30



PDVSA

MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO

CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION

PDVSA MDP-02-K-04

REVISION

0

FECHA

MAY.96

Página 36

.Menú Principal

Indice manual

Indice volumen

Indice norma

TABLA 5a PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LOS GASES PARA LOS CALCULOS DE COMPRESION Y EXPANSION (UNIDADES METRICAS)

Table with 12 columns: T, P, RZ, RT, Cp - Cv, ΔCp, ΔHT, ΔS. It contains two main data blocks, one for temperatures 1.20 to 1.40 and another for 1.40 to 1.60, with various pressure and RZ values.



**MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO**  
**CALCULOS EN SISTEMAS DE COMPRESION**

PDVSA MDP-02-K-04

REVISION FECHA

0 MAY.96

Página 37

Menú Principal

Indice manual

Indice volumen

Indice norma

**TABLA 5b PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LOS GASES PARA LOS CALCULOS DE COMPRESION Y EXPANSION (UNIDADES INGLESAS)**

$T_r$	$P_r$	RZ	$RT_r \left( \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right) / P_r$	$C_p \cdot C_v$	$\Delta C_p$	$-\Delta H/T_c$	$-\Delta S'$
0.80	0.05	1.910	0.220	2.33	0.695	0.213	0.187
	0.10	1.820	0.430	2.63	1.80	0.412	0.295
	0.15	1.730	0.600	3.55	2.84	0.631	0.627
	0.20	1.630	1.200	4.65	4.07	0.971	0.588
	0.25	1.530	1.870	5.35	5.87	1.330	1.152
0.85	0.05	1.920	0.200	2.32	0.711	0.164	0.148
	0.10	1.850	0.350	2.60	1.46	0.303	0.310
	0.15	1.773	0.627	3.10	2.32	0.507	0.484
	0.20	1.700	0.990	3.65	3.30	0.820	0.677
	0.25	1.622	1.278	4.38	4.44	1.050	0.560
0.90	0.05	1.930	0.150	2.25	0.506	0.167	0.120
	0.10	1.875	0.315	2.53	1.180	0.320	0.246
	0.15	1.812	0.508	2.87	1.850	0.492	0.379
	0.20	1.750	0.720	3.50	2.610	0.676	0.524
	0.25	1.688	0.972	3.85	3.52	0.869	0.672
0.95	0.05	1.940	0.140	2.18	0.433	0.133	0.095
	0.10	1.890	0.280	2.43	0.886	0.263	0.194
	0.15	1.840	0.440	2.72	1.390	0.410	0.298
	0.20	1.790	0.620	3.04	1.95	0.560	0.407
	0.25	1.740	0.820	3.42	2.59	0.712	0.526
1.00	0.05	1.940	0.125	2.18	0.288	0.114	0.077
	0.10	1.905	0.245	2.37	0.600	0.230	0.155
	0.15	1.870	0.330	2.59	0.940	0.348	0.235
	0.20	1.820	0.520	2.81	1.310	0.474	0.325
	0.25	1.790	0.695	3.10	1.750	0.564	0.410
1.05	0.05	1.940	0.090	2.15	0.208	0.102	0.068
	0.10	1.920	0.210	2.29	0.428	0.206	0.138
	0.15	1.898	0.322	2.45	0.660	0.302	0.210
	0.20	1.850	0.460	2.63	0.920	0.420	0.277
	0.25	1.819	0.551	2.82	1.22	0.525	0.360
1.10	0.05	1.940	0.075	2.12	0.144	0.087	0.053
	0.10	1.942	0.158	2.21	0.295	0.174	0.104
	0.15	1.915	0.245	2.33	0.450	0.266	0.160
	0.20	1.899	0.330	2.45	0.616	0.350	0.212
	0.25	1.894	0.418	2.60	0.790	0.446	0.265
1.15	0.05	1.980	0.070	2.12	0.144	0.087	0.053
	0.10	1.942	0.158	2.21	0.295	0.174	0.104
	0.15	1.915	0.245	2.33	0.450	0.266	0.160
	0.20	1.899	0.330	2.45	0.616	0.350	0.212
	0.25	1.894	0.418	2.60	0.790	0.446	0.265
1.20	0.05	1.950	0.090	2.15	0.208	0.102	0.068
	0.10	1.920	0.210	2.29	0.428	0.206	0.138
	0.15	1.898	0.322	2.45	0.660	0.302	0.210
	0.20	1.850	0.460	2.63	0.920	0.420	0.277
	0.25	1.819	0.551	2.82	1.22	0.525	0.360
1.25	0.05	1.950	0.075	2.12	0.144	0.087	0.053
	0.10	1.942	0.158	2.21	0.295	0.174	0.104
	0.15	1.915	0.245	2.33	0.450	0.266	0.160
	0.20	1.899	0.330	2.45	0.616	0.350	0.212
	0.25	1.894	0.418	2.60	0.790	0.446	0.265
1.30	0.05	1.950	0.060	2.08	0.102	0.068	0.040
	0.10	1.920	0.120	2.18	0.208	0.138	0.080
	0.15	1.898	0.180	2.28	0.314	0.210	0.120
	0.20	1.850	0.280	2.48	0.420	0.277	0.160
	0.25	1.819	0.380	2.68	0.526	0.340	0.200
1.35	0.05	1.950	0.045	2.01	0.068	0.040	0.030
	0.10	1.920	0.090	2.11	0.144	0.087	0.053
	0.15	1.898	0.135	2.21	0.220	0.138	0.080
	0.20	1.850	0.210	2.31	0.296	0.210	0.120
	0.25	1.819	0.285	2.41	0.372	0.277	0.160
1.40	0.05	1.950	0.030	1.94	0.030	0.030	0.020
	0.10	1.920	0.060	2.04	0.060	0.060	0.040
	0.15	1.898	0.090	2.14	0.090	0.090	0.060
	0.20	1.850	0.150	2.24	0.150	0.150	0.100
	0.25	1.819	0.210	2.34	0.210	0.210	0.140
1.45	0.05	1.950	0.015	1.87	0.015	0.015	0.010
	0.10	1.920	0.030	1.97	0.030	0.030	0.020
	0.15	1.898	0.045	2.07	0.045	0.045	0.030
	0.20	1.850	0.075	2.17	0.075	0.075	0.050
	0.25	1.819	0.105	2.27	0.105	0.105	0.070
1.50	0.05	1.950	0.005	1.80	0.005	0.005	0.005
	0.10	1.920	0.010	1.90	0.010	0.010	0.005
	0.15	1.898	0.015	2.00	0.015	0.015	0.005
	0.20	1.850	0.025	2.10	0.025	0.025	0.005
	0.25	1.819	0.035	2.20	0.035	0.035	0.005



.Menú Principal

Indice manual

Indice volumen

Indice norma

TABLA 5b (cont.) PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LOS GASES PARA LOS CALCULOS DE COMPRESION Y EXPANSION (UNIDADES INGLESAS)

$T_r$	$P_r$	RZ	$RT_r \left( \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right) / P_r$	$C_p \cdot C_v$	$\Delta C_p$	$-\Delta H/T_c$	$-\Delta S'$
1.2	0.05	1.995	0.065	2.11	0.127	0.090	0.045
	0.10	1.991	0.130	2.18	0.262	0.100	0.091
	0.15	1.992	0.201	2.29	0.400	0.242	0.130
	0.20	1.994	0.282	2.40	0.542	0.325	0.165
	0.25	1.997	0.363	2.51	0.690	0.403	0.203
	0.30	1.997	0.443	2.63	0.854	0.484	0.278
	0.35	1.997	0.523	2.76	1.020	0.570	0.325
	0.40	1.997	0.611	2.89	1.20	0.652	0.375
	0.45	1.998	0.704	3.03	1.37	0.741	0.423
	0.50	1.998	0.796	3.19	1.55	0.825	0.475
	0.55	1.998	0.885	3.33	1.77	0.915	0.525
	0.60	1.998	0.977	3.50	1.96	1.000	0.575
	0.65	1.998	1.068	3.69	2.20	1.087	0.620
	0.70	1.998	1.155	3.89	2.45	1.180	0.660
	0.75	1.999	1.250	4.24	2.63	1.250	0.690
	0.80	1.999	1.343	4.70	3.46	1.555	0.920
	0.90	1.999	1.549	5.20	4.03	1.740	1.04
	1.00	1.999	1.753	5.80	4.75	1.945	1.18
	1.10	1.999	1.947	6.43	5.46	2.150	1.30
	1.20	1.999	2.190	7.10	6.30	2.40	1.44
	1.30	1.999	2.359	7.85	7.22	2.60	1.59
	1.40	1.999	2.532	8.65	8.10	2.83	1.73
	1.50	1.999	2.700	9.50	9.20	3.03	1.88
	1.60	1.999	2.875	10.40	10.33	3.30	2.04
	1.70	1.999	3.055	11.25	11.70	3.55	2.18
	1.80	1.999	3.240	12.10	12.90	3.75	2.30
	1.90	1.999	3.430	12.60	13.70	4.00	2.45
	2.0	1.999	3.625	13.8	14.40	4.42	2.74
	2.2	1.999	3.820	14.7	14.70	4.76	2.83
	2.4	1.999	4.015	14.7	13.20	5.02	3.15
	2.6	1.999	4.210	13.7	12.50	5.22	3.29
	2.8	1.999	4.405	13.0	11.90	5.40	3.40
	3.0	1.999	4.600	10.8	10.60	5.75	3.59
	3.5	1.999	4.795	8.6	9.50	6.00	3.62
	4.0	1.999	4.990	2.09	0.100	0.066	0.036
				2.15	0.200	0.133	0.072
				2.22	0.310	0.202	0.108
				2.29	0.416	0.268	0.144
				2.37	0.520	0.338	0.180
				2.45	0.644	0.403	0.216
				2.53	0.760	0.475	0.252
				2.62	0.878	0.543	0.289
				2.71	1.02	0.619	0.325
				2.80	1.15	0.684	0.365
				2.90	1.29	0.755	0.400
				3.00	1.43	0.820	0.440
				3.12	1.56	0.900	0.470
				3.23	1.73	0.970	0.520
				3.49	2.03	1.104	0.600
				3.74	2.38	1.250	0.690
				4.02	2.71	1.395	0.760
				4.33	3.10	1.555	0.850
				4.68	3.48	1.705	0.935
				5.03	3.85	1.87	1.02
				5.44	4.27	2.02	1.12
				5.84	4.70	2.18	1.21
				6.30	5.18	2.35	1.31
				6.77	5.69	2.51	1.41
				7.20	6.10	2.70	1.51
				7.75	6.60	2.89	1.61
				8.25	7.00	3.04	1.70
				9.30	7.75	3.35	1.90
				10.10	8.40	3.73	2.07
				10.75	8.80	4.00	2.24
				11.15	9.10	4.23	2.40
				11.10	9.25	4.45	2.53
				11.09	8.90	4.90	2.89
				9.10	8.20	5.19	2.97
1.3	0.05	1.970	0.060	2.09	0.100	0.066	0.036
	0.10	1.957	0.113	2.15	0.200	0.133	0.072
	0.15	1.940	0.160	2.22	0.310	0.202	0.108
	0.20	1.923	0.237	2.29	0.416	0.268	0.144
	0.25	1.910	0.330	2.37	0.520	0.338	0.180
	0.30	1.893	0.437	2.45	0.644	0.403	0.216
	0.35	1.879	0.542	2.53	0.760	0.475	0.252
	0.40	1.863	0.667	2.62	0.878	0.543	0.289
	0.45	1.848	0.807	2.71	1.02	0.619	0.325
	0.50	1.833	0.960	2.80	1.15	0.684	0.365
	0.55	1.820	1.120	2.90	1.29	0.755	0.400
	0.60	1.805	1.290	3.00	1.43	0.820	0.440
	0.65	1.790	1.470	3.12	1.56	0.900	0.470
	0.70	1.775	1.655	3.23	1.73	0.970	0.520
	0.80	1.743	1.945	3.49	2.03	1.104	0.600
	0.90	1.712	2.240	3.74	2.38	1.250	0.690
	1.00	1.684	2.540	4.02	2.71	1.395	0.760
	1.10	1.657	2.830	4.33	3.10	1.555	0.850
	1.20	1.630	3.120	4.68	3.48	1.705	0.935
	1.30	1.603	3.410	5.03	3.85	1.87	1.02
	1.40	1.577	3.700	5.44	4.27	2.02	1.12
	1.50	1.552	4.000	5.84	4.70	2.18	1.21
	1.60	1.528	4.290	6.30	5.18	2.35	1.31
	1.70	1.504	4.590	6.77	5.69	2.51	1.41
	1.80	1.480	4.880	7.20	6.10	2.70	1.51
	1.90	1.458	5.170	7.75	6.60	2.89	1.61
	2.0	1.439	5.460	8.25	7.00	3.04	1.70
	2.2	1.400	5.750	9.30	7.75	3.35	1.90
	2.4	1.363	6.040	10.10	8.40	3.73	2.07
	2.6	1.333	6.330	10.75	8.80	4.00	2.24
	2.8	1.312	6.620	11.15	9.10	4.23	2.40
	3.0	1.300	6.910	11.10	9.25	4.45	2.53
	3.5	1.298	7.500	11.09	8.90	4.90	2.89
	4.0	1.300	8.090	9.10	8.20	5.19	2.97
1.4	0.05	1.975	0.045	2.09	0.090	0.058	0.029
	0.10	1.985	0.095	2.13	0.160	0.115	0.056
	0.15	1.992	0.130	2.16	0.240	0.173	0.094
	0.20	1.940	0.180	2.22	0.320	0.230	0.112
	0.25	1.930	0.230	2.30	0.400	0.290	0.140
	0.30	1.919	0.271	2.36	0.480	0.346	0.170
	0.35	1.908	0.322	2.42	0.570	0.406	0.200
	0.40	1.897	0.363	2.50	0.657	0.464	0.225
	0.45	1.885	0.405	2.57	0.740	0.525	0.255
	0.50	1.875	0.455	2.63	0.840	0.583	0.285
	0.55	1.863	0.497	2.70	0.930	0.643	0.315
	0.60	1.852	0.540	2.76	1.030	0.702	0.346
	0.65	1.841	0.590	2.87	1.130	0.763	0.372
	0.70	1.830	0.630	3.05	1.220	0.825	0.400
	0.80	1.810	0.720	3.11	1.430	0.935	0.450
	0.90	1.789	0.811	3.39	1.610	1.075	0.530
	1.00	1.769	0.902	3.69	1.870	1.160	0.590
1.4	1.10	1.747	0.993	3.70	2.100	1.202	0.650
	1.20	1.727	1.083	3.91	2.350	1.418	0.710
	1.30	1.706	1.169	4.16	2.550	1.540	0.770
	1.40	1.688	1.262	4.40	2.820	1.690	0.840
	1.50	1.670	1.340	4.67	3.050	1.800	0.900
	1.60	1.651	1.449	4.95	3.330	1.910	0.960
	1.70	1.625	1.500	5.20	3.60	2.020	1.05
	1.80	1.600	1.550	5.48	3.83	2.160	1.12
	1.90	1.605	1.686	5.76	4.17	2.29	1.19
	2.0	1.590	1.720	6.05	4.46	2.90	1.26
	2.2	1.565	1.800	6.65	5.10	2.65	1.40
	2.4	1.541	1.979	7.25	5.70	2.90	1.52
	2.6	1.621	2.039	7.75	6.20	3.14	1.67
	2.8	1.505	2.195	8.20	6.60	3.40	1.79
	3.0	1.490	2.270	8.55	6.90	3.65	1.90
	3.5	1.477	2.403	8.70	7.35	4.18	2.15
	4.0	1.490	2.210	8.05	7.20	4.50	2.30
1.5	0.05	1.890	0.030	2.07	0.060	0.050	0.023
	0.10	1.972	0.048	2.11	0.120	0.110	0.047
	0.15	1.963	0.077	2.14	0.160	0.151	0.070
	0.20	1.950	0.110	2.19	0.245	0.200	0.094
	0.25	1.940	0.140	2.25	0.310	0.252	0.119
	0.30	1.933	0.167	2.30	0.370	0.302	0.144
	0.35	1.925	0.195	2.36	0.430	0.352	0.165
	0.40	1.916	0.224	2.41	0.495	0.402	0.188
	0.45	1.907	0.263	2.48	0.560	0.454	0.215
	0.50	1.899	0.291	2.52	0.620	0.504	0.237
	0.55	1.890	0.320	2.59	0.700	0.553	0.263
	0.60	1.881	0.359	2.64	0.760	0.605	0.285
	0.65	1.872	0.388	2.70	0.840	0.659	0.310
	0.70	1.865	0.415	2.77	0.910	0.705	0.334
	0.80	1.848	0.482	2.90	1.000	0.760	0.360
	0.90	1.832	0.548	3.01	1.100	0.815	0.400
	1.00	1.818	0.612	3.17	1.370	1.008	0.49
	1.10	1.802	0.675	3.30	1.510	1.115	0.53
	1.20	1.789	0.741	3.48	1.690	1.209	0.59
	1.30	1.775	0.800	3.63	1.810	1.310	0.63
	1.40	1.762	0.868	3.60	2.050	1.410	0.65
	1.50	1.750	0.930	3.97	2.20	1.510	0.73
	1.60	1.738	0.987	4.14	2.38	1.510	0.79
	1.70	1.727	1.048	4.31	2.57	1.710	0.84
	1.80	1.715	1.105	4.53	2.75	1.810	0.89
	1.90	1.705	1.160	4.66	2.96	1.910	

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 6 RELACION DE CLORES ESPECIFICOS, CP / CV PARA GASES A PRESION ATMOSFERICA**

Componente	Formula	Temperatura °C (*)	Relacion de los Calores Especificos $K = C_p / C_v$
Acetaldehido .....	CH <sub>3</sub> CHO	30	1.14
Acido Acetico .....	CH <sub>3</sub> COOH	136	1.15
Acetileno .....	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-71	1.31
Aire .....		925	1.36
		17	1.403
		-78	1.408
		-118	1.415
Amoníaco .....	NH <sub>3</sub>	15	1.310
Argón .....	Ar	15	1.668
Benceno .....	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	90	1.10
Bromo .....	Br <sub>2</sub>	20-350	1.32
Dioxido de Carbono .....	CO <sub>2</sub>	15	1.304
Disulfuro .....	CS <sub>2</sub>	100	1.21
Monóxido .....	CO	15	1.404
		-180	1.41
Cloro .....	Cl <sub>2</sub>	15	1.355
Cloroformo .....	CHCl <sub>3</sub>	100	1.15
Cianuro .....	(CN) <sub>2</sub>	15	1.256
Ciclohexano .....	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	80	1.08
Dicloro Difluro Metano .....	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	25	1.139
Etano .....	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	100	1.19
		15	1.22
		-82	1.28
Alcohol Etílico .....	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	90	1.13
Eter .....	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	35	1.086
Etileno .....	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	100	1.18
		15	1.255
		-91	1.35



[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Componente	Formula	Temperatura °C (*)	Relacion de los Calores Especificos $K = C_p / C_v$
Helio .....	He	-180	1.660
n-Hexano .....	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	80	1.08
Hidrógeno .....	H <sub>2</sub>	15	1.410
		-76	1.453
		-181	1.597
Brumuro .....	Hb <sub>r</sub>	20	1.42
Acido Clohídrido .....	HCl	15	1.41
		100	1.40
Acido Cianhídrido .....	HCN	65	1.31
		140	1.28
		210	1.24
Yoduro .....	HI	20-100	1.40
Sulfuro de Hidrógeno .....	H <sub>2</sub> S	15	1.32
Iodo .....	I <sub>2</sub>	185	1.30
Isobutana .....	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	19	1.68
Criptón .....	Kr	360	1.67
Mercurio .....	Hg	300	1.16
Metano .....	CH <sub>4</sub>	600	1.113
		300	1.16
		15	1.31
		-80	1.34
		-115	1.41
Metil Acetato .....	CH <sub>3</sub> COOCH <sub>3</sub>	15	1.14
Alcohol Metílico .....	CH <sub>3</sub> OH	77	1.203
Metil Eter .....	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	6-30	1.11
Metilato .....	CH <sub>2</sub> (OCH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	13	1.06
		40	1.09
Neón .....	Ne	19	1.64
Oxido Nítrico .....	NO	15	1.400
Nitrógeno .....	N <sub>2</sub>	15	1.404
		-181	1.47
Oxido Nitroso .....	N <sub>2</sub> O	100	1.28

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Componente	Formula	Temperatura °C (*)	Relacion de los Calores Especificos $K = C_p / C_v$
		15	1.303
		-30	1.31
		-70	1.34
Oxigeno .....	O <sub>2</sub>	15	1.401
		-76	1.415
		-181	1.45
n-Pentano .....	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	86	1.086
Fosforo .....	P	300	1.17
Potacio .....	K	850	1.77
Sodio .....	Na	750-920	1.68
Dioxido de Azufre .....	SO <sub>2</sub>	15	1.29
Xeón .....	Xe	19	1.66

**Fuente, International Critical Tables of Numerical Data: Physics, Chemistry, and Technology.**

**NOTA:** °F =  $\frac{9}{5}$  °C + 32

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 7a RELACION DE LOS CALORES ESPECIFICOS Y FACTORES DE COMPRESIBILIDAD PARA AIRE, HIDROGENO, MONOXIDO Y VAPOR DE AGUA (UNIDADES METRICAS)**

—— Presión, kPa ——					—— Presión, kPa ——				
Temp. °C	100	1000	4000	10.000	Temp. °C	100	1000	4000	10 000
	—Relación de los calores especificos			Cp/Cv—	Aire	—Factor de compresibilidad			Z
-100	1.408	1.470	1.840	2.517	-100	0.996	0.959	0.843	0.701
-50	1.405	1.438	1.572	1.899	-50	0.999	0.985	0.941	0.881
0	1.403	1.422	1.484	1.620	0	1.000	0.995	0.983	0.971
50	1.001	1.414	1.458	1.523	50	1.000	0.999	0.998	1.010
100	1.398	1.408	1.445	1.497	100	1.000	1.000	1.005	1.023
150	1.394	1.401	1.423	1.475	150	1.000	1.003	1.011	1.031
Hidrógeno									
-100	1.461	1.467	1.487	1.518	-100	1001	1.007	1.028	1.078
-50	1.426	1.430	1.439	1.456	-50	1001	1.007	1.028	1073
0	1.410	1.411	1.416	1.425	0	1001	1.006	1.025	1.065
50	1.402	1.403	1.406	1.412	50	1001	1.006	1.023	1.057
100	1.399	1.399	1.401	1.406	100	1000	1.005	1.020	1.051
150	1.397	1.398	1.400	1.402	150	1000	1.005	1.019	1.046
Monóxido de carbono									
-100	1.410	1.476	1.713	2.448	-100	0.996	0.960	0.881	0.681
-50	1.402	1.588	1.991	1.991	-50	0.998	0.982	0.941	0.859
0	1.399	1.513	1.725	1.725	0	0.999	0.994	0.978	0.959
50	1.398	1.469	1.583	1.583	50	1000	0.999	0.998	1.010
100	1.397	1.444	1.513	1.513	100	1000	1.001	1.008	1.031
150	1.394	1.429	1.479	1.479	150	1000	1.003	1.013	1.039
Agua									
Saturación	1.320	1.300	1.270	1.220	Saturación	0.988	0.930	0.830	0.660

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**TABLA 7b RELACION DE LOS CALORES ESPECIFICOS Y FACTORES DE COMPRESIBILIDAD PARA AIRE, HIDROGENO, MONOXIDO Y VAPOR DE AGUA (UNIDADES INGLESAS)**

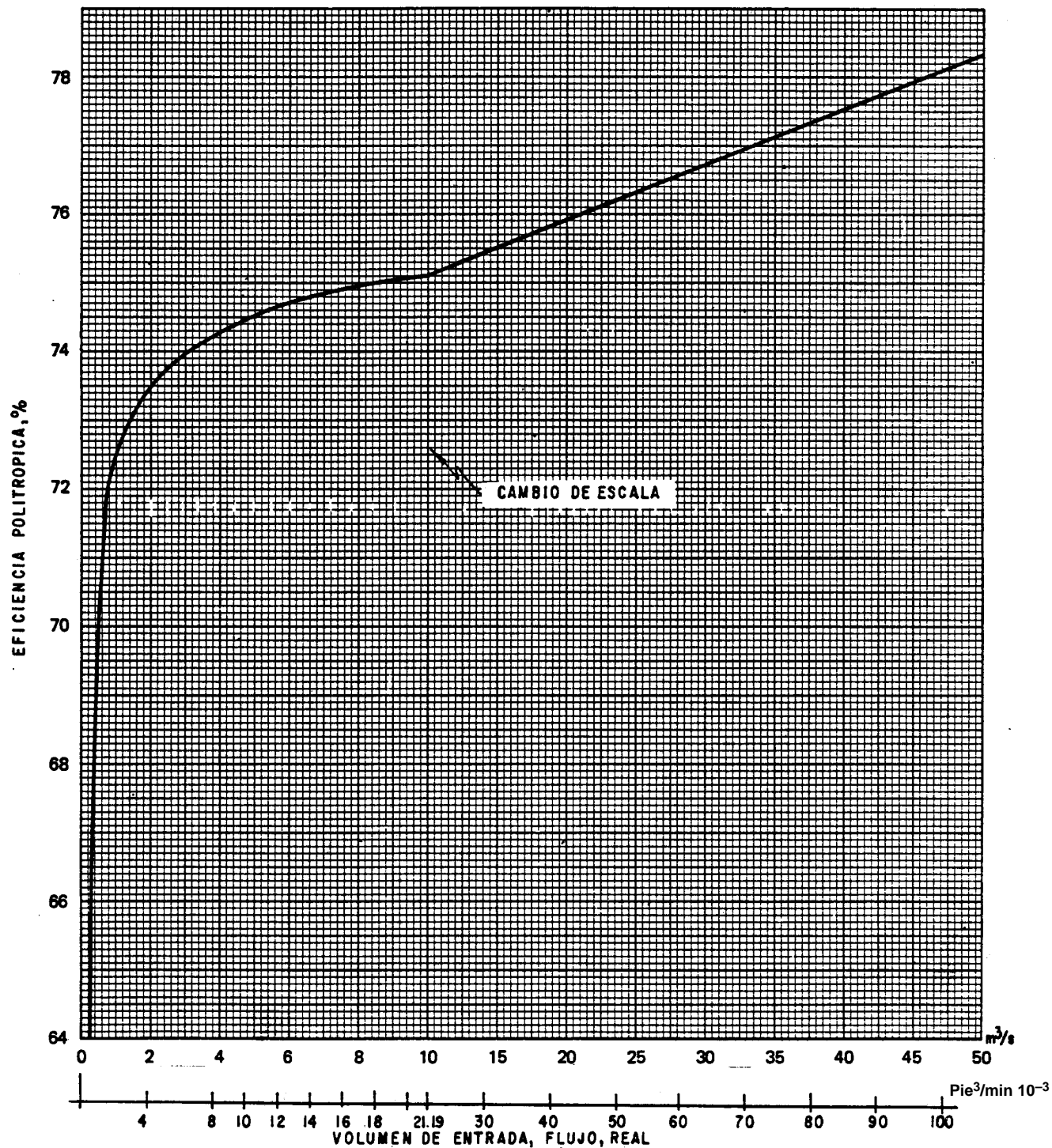
CP/CV					Z				
Relación de los calores específicos					Factor de Compresibilidad				
Aire									
Presión, Atmósferas					Presión, Atmosferas				
<b>Temp., °F</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>100</b>	<b>Temp., °F</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>100</b>
-100	1.406	1.449	1.642	2.020	-100	0.998	0.977	0.908	0.811
0	1.404	1.427	1.512	1.680	0	0.999	0.992	0.970	0.948
100	1.402	1.417	1.463	1.550	100	1.000	0.998	0.994	0.997
200	1.399	1.408	1.441	1.499	200	1.000	1.001	1.005	1.022
300	1.394	1.401	1.424	1.463	300	1.000	1.003	1.010	1.033
Hidrógeno									
Presión, Atmósferas					Presión, Atmósferas				
<b>Temp., °F</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>40*</b>	<b>100</b>	<b>Temp., °F</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>100</b>
-100	1.439	1.444	1.458	1.479	-100	1.000	1.007	1.208	1.076
0	1.415	1.417	1.421	1.434	0	1.000	1.007	1.026	1.067
100	1.404	1.405	1.407	1.415	100	1.000	1.006	1.023	1.060
200	1.400	1.400	1.401	1.406	200	1.000	1.005	1.021	1.052
300	1.398	1.398	1.399	1.402	300	1.000	1.005	1.019	1.047
Monóxido de Carbono									
Presión, Atmósferas					Presión, Atmósferas				
<b>Temp., °F</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>40*</b>	<b>100</b>	<b>Temp., °F</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>100</b>
0	1.403	1.431	1.517	1.688	0	1.000	0.991	0.960	0.949
100	1.401	1.418	1.474	1.577	100	1.000	0.998	0.994	1.000
200	1.398	1.410	1.451	1.526	200	1.000	1.001	1.006	1.027
300	1.394	1.403	1.432	1.484	300	1.000	1.003	1.013	1.039
Agua									
Presión, Atmósferas					Presión, Atmósferas				
<b>Temp., °F</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>100</b>	<b>Temp., °F</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>100</b>
Saturación	1.320	1.300	1.270	1.220	Saturación	0.988	0.930	0.830	0.660

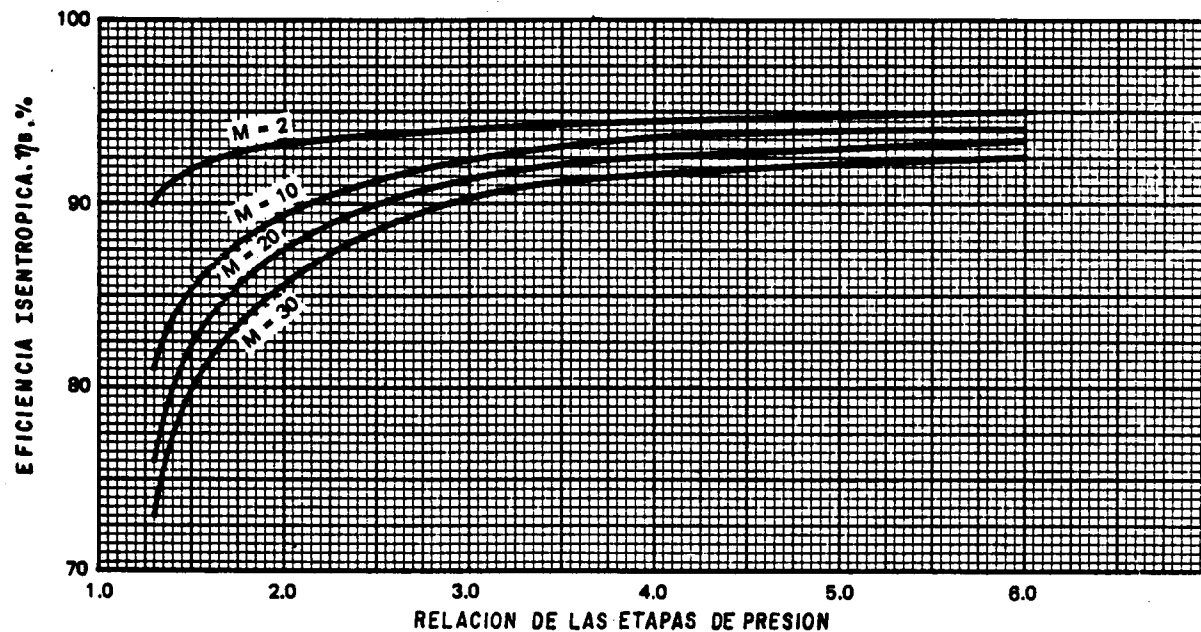
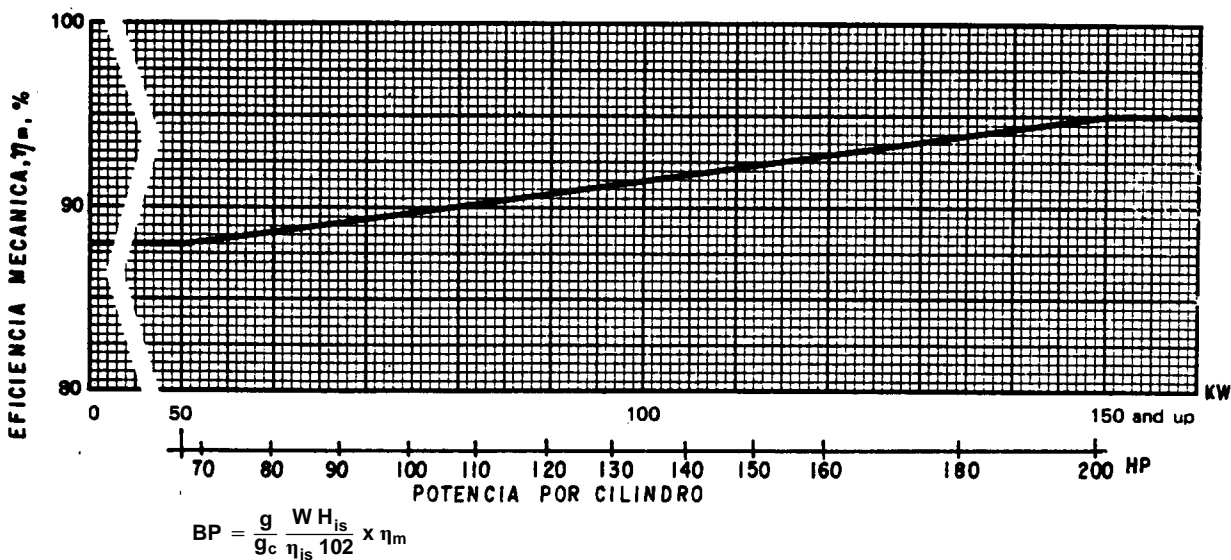
Valores Interpolados

Fuente: Aire H<sub>2</sub> y CO:—National Bureau of Standards Circular No 564 (1955).  
 Agua———Keenan and Keyes, *Thermodynamic Properties of steam* (1958).

[.Menú Principal](#)
[Indice manual](#)
[Indice volumen](#)
[Indice norma](#)

**Fig 1. EFICIENCIA POLITROPICA DE COMPRESORES CENTRIFUGOS SIN ENFRIAMIENTO**



[.Menú Principal](#)
[Indice manual](#)
[Indice volumen](#)
[Indice norma](#)
**Fig 2. EFICIENCIA ISENTROPICA TIPICA DE COMPRESORES RECIPROCANTES**

**Fig 3. EFICIENCIA MECANICA TIPICA DE COMPRESORES RECIPROCANTES**


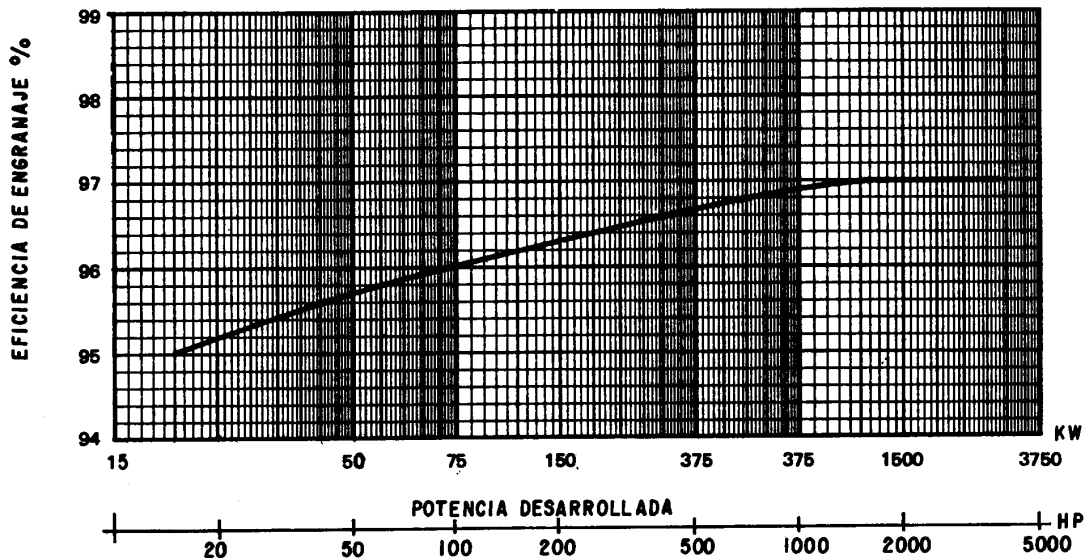
[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

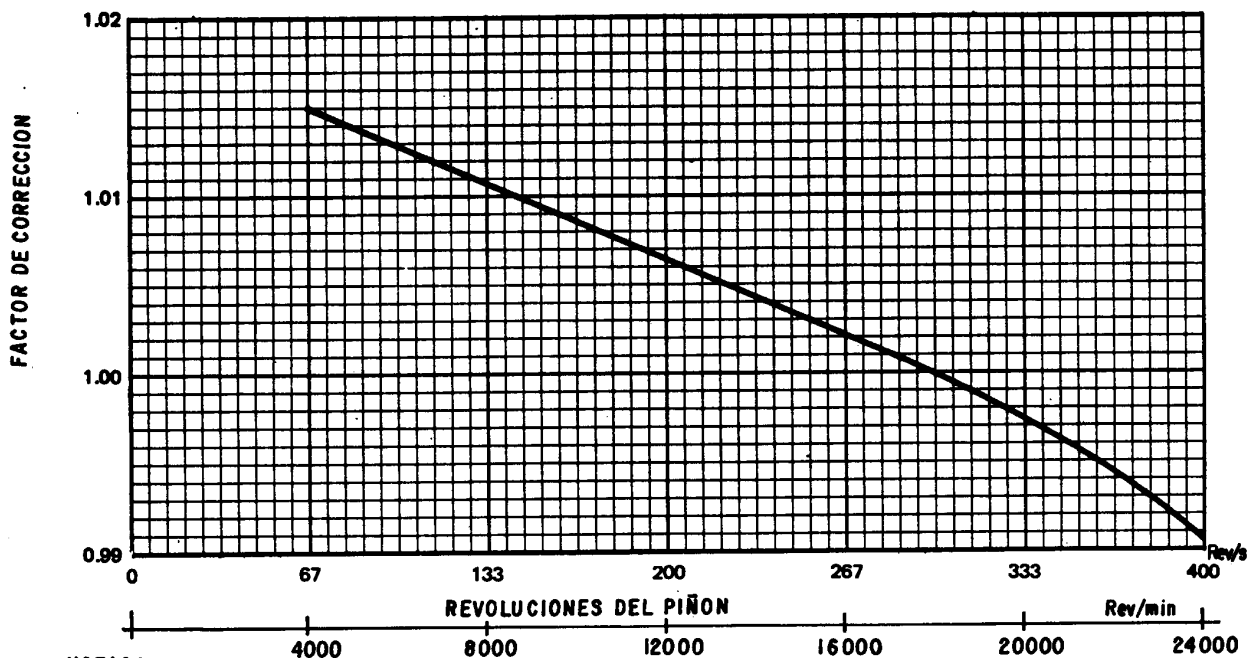
[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

**Fig 4. a EFICIENCIA MECANICA DE UNIDADES DE ENGRANAJE HELICOIDAL A ALTA VELOCIDAD A MAXIMA CARGA**



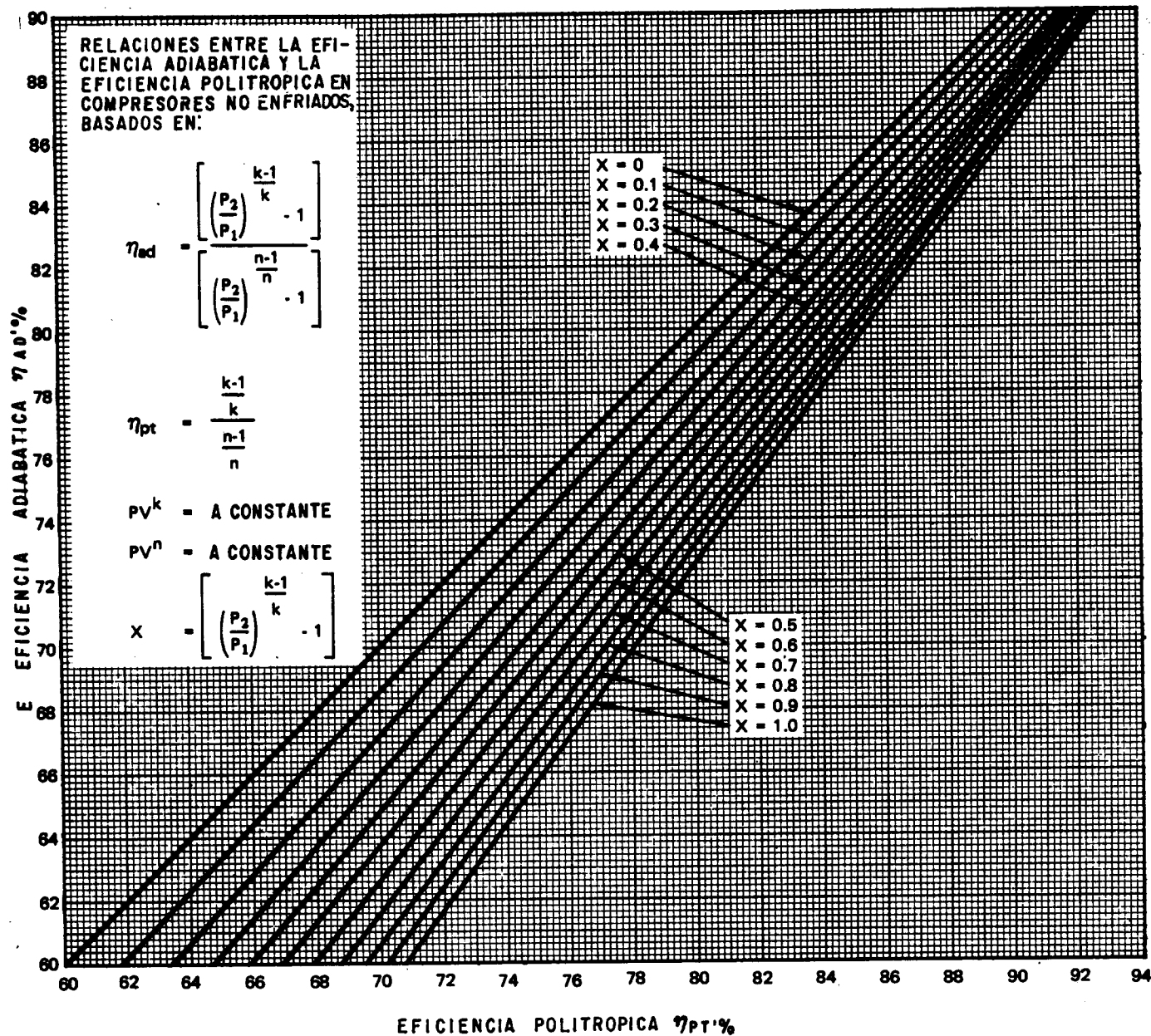
**Fig.4. b CORRECCION DE LA EFICIENCIA DE UNIDADES DE ENGRANAJE PARA VELOCIDADES DE PIÑON (POR ENCIMA DE 750 KW(1000 HP))**



**NOTAS:**  
**PARA ENGRANAJES DE DOBLE REDUCCION, DUPLIQUE EL ESTIMADO DE LAS PERDIDAS MECANICAS**

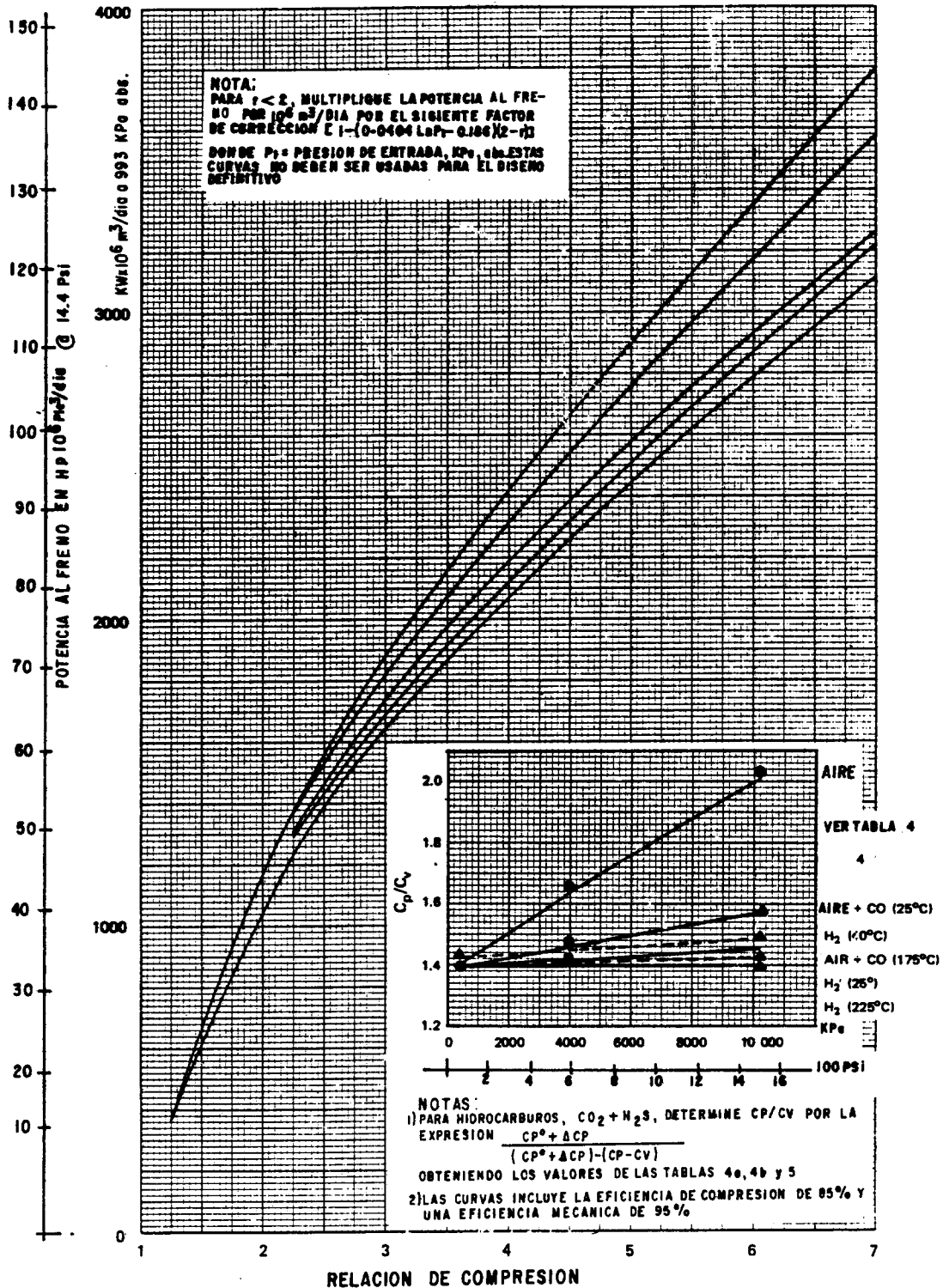
[.Menú Principal](#)
[Indice manual](#)
[Indice volumen](#)
[Indice norma](#)

**Fig 5. CONVERSION DE BASES DE EFICIENCIA**



**Fig 6. CURVAS POTENCIA AL FRENO / CAPACIDAD PARA COMPRESORES RECIPROCANTES TÍPICOS**



[.Menú Principal](#)
[Indice manual](#)
[Indice volumen](#)
[Indice norma](#)


[.Menú Principal](#)
[Indice manual](#)
[Indice volumen](#)
[Indice norma](#)

**Fig 7. TEMPERATURA ISENTROPICA DE DESCARGA, AIRE A NIVEL DEL MAR**

