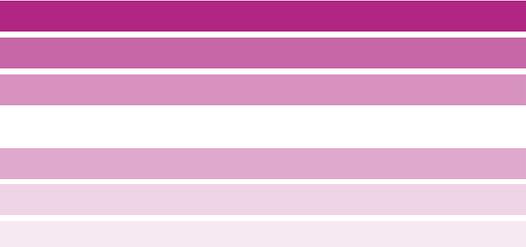


# **Fisicoquímica Ic.**

**Ejercicios y problemas**

**Manuel Antonio Novo**

**Alicia Esther Ares**



**Colección: Cuadernos de Cátedra**



EDITORIAL UNIVERSITARIA



# FISICOQUÍMICA Ic.

## Ejercicios y problemas

DEPARTAMENTO DE FISICOQUÍMICA  
Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales.  
Universidad Nacional de Misiones  
(UNaM)

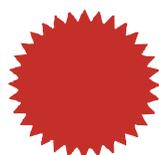


# FISICOQUÍMICA Ic.

## Ejercicios y problemas

Manuel Antonio Novo

Alicia Esther Ares



EDITORIAL UNIVERSITARIA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

EDITORIAL UNIVERSITARIA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

Coronel José Félix Bogado 2160  
Posadas - Misiones - Tel-Fax: (0376) 4428601  
Correo electrónico: ventas@editorial.unam.edu.ar

Colección: Cuadernos de Cátedra

Coordinación de la edición: Claudio O. Zalazar

Preparación para la WEB: Francisco A. Sánchez

Ares, Alicia Esther  
Físico-química Ic.: ejercicios y problemas. - 1a ed. - Posadas:  
EDUNAM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, 2015.  
E-Book.  
  
ISBN 978-950-579-342-6  
  
1. Física. 2. Química. 3. Educación Universitaria. I. Título  
CDD 530.071 1

Fecha de catalogación: 05/09/2014

ISBN: 978-950-579-342-6  
©Editorial Universitaria  
Universidad Nacional de Misiones  
Posadas, Misiones 2014

## Introducción

Dado que resulta imposible tratar de aprender Físicoquímica sin la realización de problemas, el presente cuaderno surge como resultado del trabajo realizado por más de treinta años por los docentes de la asignatura y es un aporte didáctico a la tarea de aprendizaje de los alumnos que cursan Físicoquímica Ic, que no pretende reemplazar a la lectura de los libros específicos, por lo que en cada tema se presentan primero alguno/s problema/s resueltos y luego una propuesta de problemas a resolver. Este trabajo constituye una sugerencia de actividades a realizar durante el cursado de la asignatura y pretende indicar una metodología de estudio de la asignatura.

Se presentan once temas distribuidos de la siguiente manera:

Tema I: Sistemas de Unidades

Tema II: Calorimetría

Tema III: Trabajo y Primer Principio de la Termodinámica

Tema IV: Segundo Principio de la Termodinámica

Tema V: Gases Reales

Tema VI: Equilibrio entre Fases

Tema VII: Termoquímica

Tema VIII: Propiedades Molares Parciales

Tema IX: Grado de Reacción

Tema X: Fugacidad

Tema XI: Equilibrio Químico

Además de los problemas de propia elaboración que se incluyen, se proponen otros, en sus formas originales o modificadas, tomados de la bibliografía recomendada en el programa de la Asignatura.

Se presentan para práctica de los estudiantes y utilización de los docentes en el dictado curricular más de 200 problemas, entre resueltos y propuestos. Se considera un número suficiente para la suma de temas tratados, de manera de poder generar un menú adecuado a cada plan de actividades, pero de ninguna manera es necesario ni sugerido el desarrollo de su totalidad, para un buen cursado o proceso de aprendizaje de la asignatura.

# Tema I

## SISTEMAS DE UNIDADES

- **Magnitudes Primarias, Independientes o Fundamentales:** son aquellas para las que establecemos escalas de medidas arbitrarias.
- **Magnitudes Secundarias, Dependientes o Derivadas:** son aquellas cuyas dimensiones se expresan en función de las fundamentales o primarias.

Para tener un **Sistema de Unidades** debemos elegir:

- i) **Las magnitudes fundamentales,**
- ii) **El patrón de esas magnitudes,**
- iii) **Las unidades del patrón,**
- iv) **Una ley universal que relacione las magnitudes,**
- v) **La constante de proporcionalidad de la ley.**

Las magnitudes fundamentales o dimensiones que se utilizan en Mecánica son el conjunto completo o un subconjunto de  $FML\theta$ .

De esto surgen **tres grandes grupos de Sistemas de Unidades:**

**GRUPO I:  $ML\theta$  → Dinámicos ó absolutos.**

**GRUPO II:  $FL\theta$  → Estático, Técnico, Gravitacional ó Terrestre.**

**GRUPO III:  $FML\theta$  → Mixto ó Ingenieril.**

La Ley Universal utilizada en Mecánica es la Segunda Ley de Newton, que establece que la masa de un objeto, considerado como una partícula por la aceleración que posee es proporcional a la fuerza que actúa sobre él, o sea:

$$\mathbf{F} = \mathbf{K}_N \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

Donde  $K_N$  es la constante de proporcionalidad de la segunda Ley de Newton y compatibiliza dimensionalmente la ecuación.

Los Sistemas que eligen  $K_N$  unitario y adimensional se denominan sistemas compatibles de unidades como el MKS y el cgs.

<b>F = K<sub>N</sub>.m.a</b>	<b>MKS</b>	<b>cgs</b>
$ F  =  M  \cdot \frac{ L }{ t ^2}$	$ F  =  Kg  \cdot \frac{ m }{ s ^2}$	$ F  =  g  \cdot \frac{ cm }{ s ^2}$

Existen sistemas en los cuales la constante de proporcionalidad no es 1, como el caso del mixto europeo. Las escalas de fuerza y masa se eligen de tal modo que el peso de un cuerpo a 45° de latitud y a nivel del mar sea numéricamente igual a su masa.

A 45° de latitud y a nivel del mar se define la aceleración normal de la gravedad:

$$g_g = 9,80665 \text{ m/s}^2.$$

Para este sistema, por lo tanto, como F = K<sub>N</sub>.m.a:

$$1\bar{K}_g = k_N \cdot 1K_g \cdot 9,80665 \frac{m}{s^2}$$

$$k_N = \frac{1}{9,80665} \cdot \frac{\bar{K}_g \cdot s^2}{K_g \cdot m} = \frac{1}{g_c}$$

$$g_c = 9,80665 \cdot \frac{K_g \cdot m}{\bar{K}_g \cdot s^2}$$

Esta constante se conoce con el nombre de constante gravitacional y se deduce de la Segunda Ley de Newton, su valor depende de las unidades de medida elegidas arbitrariamente y no se debe confundir con g<sub>g</sub> que aunque sea numéricamente igual, dimensionalmente no lo es.

g<sub>g</sub> → Aceleración Normal de la Gravedad

g<sub>c</sub> → Constante Gravitacional de la Segunda Ley de Newton

$$\mathbf{F} = \mathbf{K}_N \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{a} = \frac{1}{g_c} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

Se recomienda fuertemente el uso del método del factor unitario adimensional y del sistema internacional de unidades (SI) para la resolución de los problemas.

Principales Sistemas de Unidades para cada grupo.

	G I: M, L, T (DINÁMICO O ABSOLUTO)			G II: F, L, T (TÉCNICO, GRAVITACIONAL O TERRESTRE)		G III: F, M, L, T (MIXTO O INGENIERIL)	
DIMENSIONES FUNDAMENTALES	C.G.S.	M.K.S.	INGLÉS	EUROPEO	INGLES	EUROPEO	INGLÉS
<b>F</b>	DERIVADA	DERIVADA	DERIVADA	$Kg_f$	$lb_f$	$Kg_f$	$lb_f$
<b>M</b>	<b>g</b>	<b>Kg</b>	<b>lb (libra)</b>	DERIVADA	DERIVADA	<b>Kg</b>	<b>lb</b>
<b>L</b>	<b>cm</b>	<b>m</b>	<b>ft (pie)</b>	<b>m</b>	<b>ft</b>	<b>m</b>	<b>ft</b>
<b>θ (tiempo)</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>s</b>
$g_c \left( K_N = \frac{L}{g_c} \right)$	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	$9,80665 \frac{Kg \cdot m}{Kg_f \cdot s^2}$	$32,174 \frac{lb \cdot ft}{lb_f \cdot s^2}$
<b>F</b>	Dina $\left( \frac{g \cdot cm}{s^2} \right)$	Newton $\left( \frac{Kg \cdot m}{s^2} \right)$	Poundal $\left( \frac{lb \cdot ft}{s^2} \right)$	FUNDAMENTAL	FUNDAMENTAL	FUNDAMENTAL	FUNDAMENTAL
<b>M</b>	FUNDAMENTAL	FUNDAMENTAL	FUNDAMENTAL	U.T.M. $\left( \frac{Kg_f \cdot s^2}{m} \right)$	Slug $\left( \frac{lb_f \cdot s^2}{ft} \right)$	FUNDAMENTAL	FUNDAMENTAL
$P = \frac{F}{S}$	Baria $\left( \frac{g}{cm \cdot s^2} \right)$	Pascal $\left( \frac{Kg}{m \cdot s^2} \right)$	$\frac{lb}{ft \cdot s^2}$	$\frac{Kg_f}{m^2}$	$\frac{lb_f}{ft^2}$	$\frac{Kg_f}{m^2}$	$\frac{lb_f}{ft^2}$
<b>ENERGÍA O TRABAJO</b>	Ergio $\left( \frac{g \cdot cm^2}{s^2} \right)$	Joule $\left( \frac{Kg \cdot m^2}{s^2} \right)$	$\frac{lb \cdot ft^2}{s^2}$	$Kg_f \cdot m$	$lb_f \cdot ft$	$Kg_f \cdot m$	$lb_f \cdot ft$
<b>POTENCIA</b>	$\frac{g \cdot cm^2}{s^3}$	Watt (Joule/s) $\left( \frac{Kg \cdot m^2}{s^3} \right)$	$\frac{lb \cdot ft^2}{s^3}$	HP $\left( \frac{Kg_f \cdot m}{s} \right)$	$\frac{lb_f \cdot ft}{s}$	HP $\left( \frac{Kg_f \cdot m}{s} \right)$	$\frac{lb_f \cdot ft}{s}$

# Escalas de Temperatura

## Sistema Métrico

- Escala Celsius o Centígrada
- Escala Kelvin

Ambas escalas son iguales entre sí, es decir:  $1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$ .

## Sistema Inglés:

- Escala Fahrenheit
- Escala Rankine

Ambas escalas son iguales entre sí, es decir:  $1^{\circ}\text{F} = 1 \text{ R}$ .

## Equivalencias entre los Sistemas Métrico e Inglés:

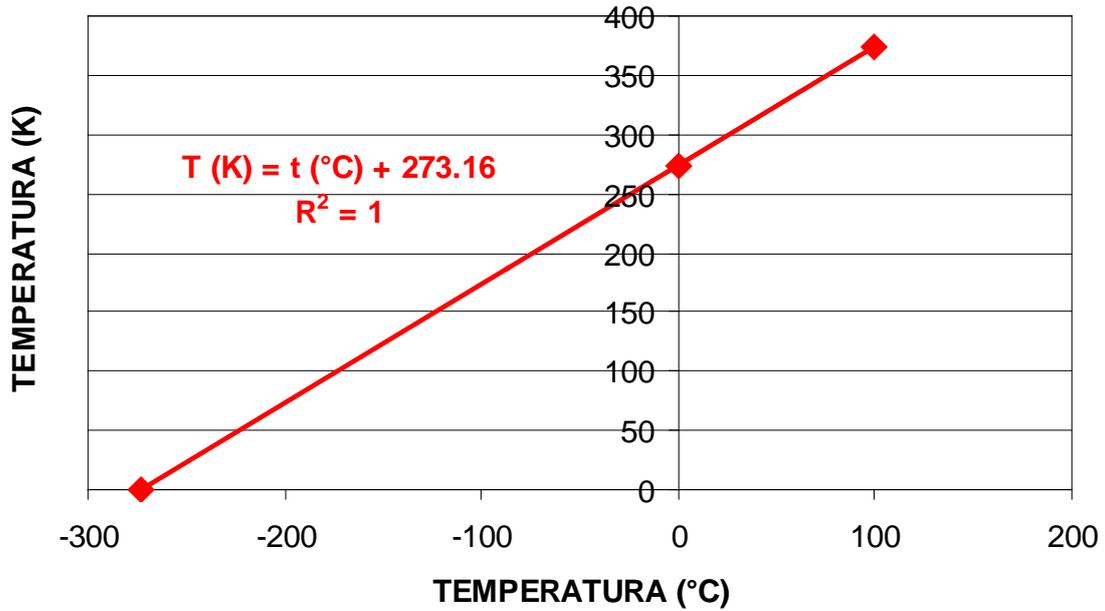
Temperatura del Punto de Hielo: Se define como la temperatura de una mezcla de agua y hielo que está en equilibrio con aire saturado a una presión de 1 atmósfera.

Temperatura del Punto de Vapor: Se define como la temperatura a la se encuentran en equilibrio agua y vapor de agua a una presión de 1 atmósfera.

	Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kelvin (K)	Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ )	Ranking (R)
Punto de Vapor	100	373,16	212	671,69
Punto de Hielo	0	273,16	32	491,69
Cero Absoluto	-273,16	0	-459,69 <sup>(0)</sup>	(459,69) 0

## Conversión de Temperatura y Unidades de Temperatura:

### - Sistema Métrico:



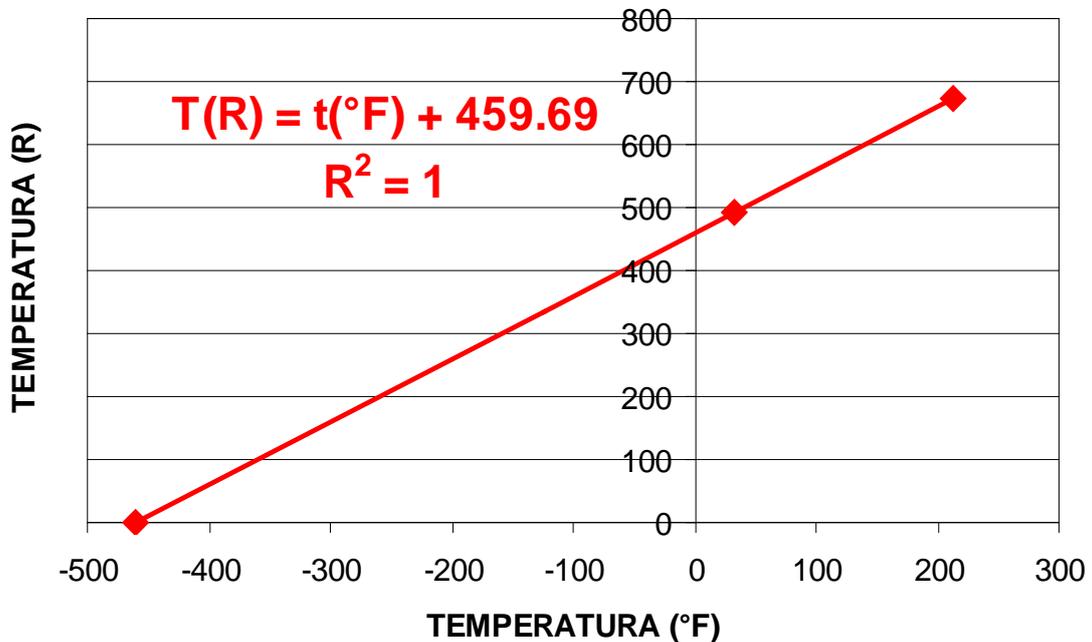
$$\text{Pendiente} = \frac{(273.16 - 0) \text{K}}{[0 - (-273.16)]^{\circ}\text{C}} = 1 \frac{\text{K}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\Delta T_C = \Delta T_K$$

Ordenada al Origen: 273,16 K

$$T_{C_2} - T_{C_1} = T_{K_2} - T_{K_1}$$

### - Sistema Inglés:



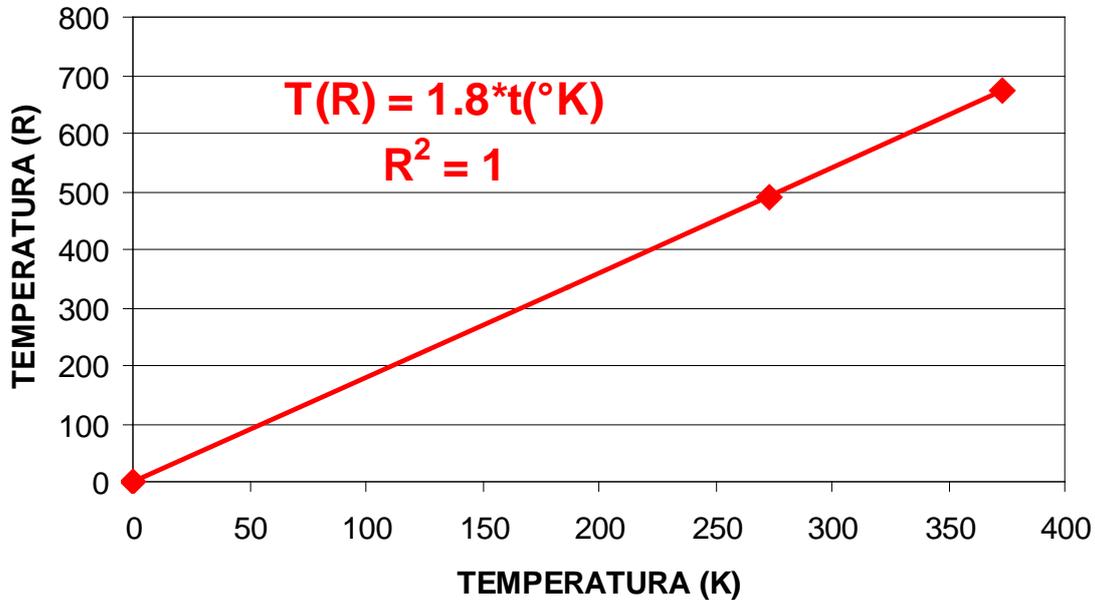
$$\text{Pendiente} = \frac{(459.69 - 0)R}{[0 - (-459.69)]^{\circ}F} = 1 \frac{R}{^{\circ}F}$$

$$\Delta T_F = \Delta T_R$$

$$T_{F_2} - T_{F_1} = T_{R_2} - T_{R_1}$$

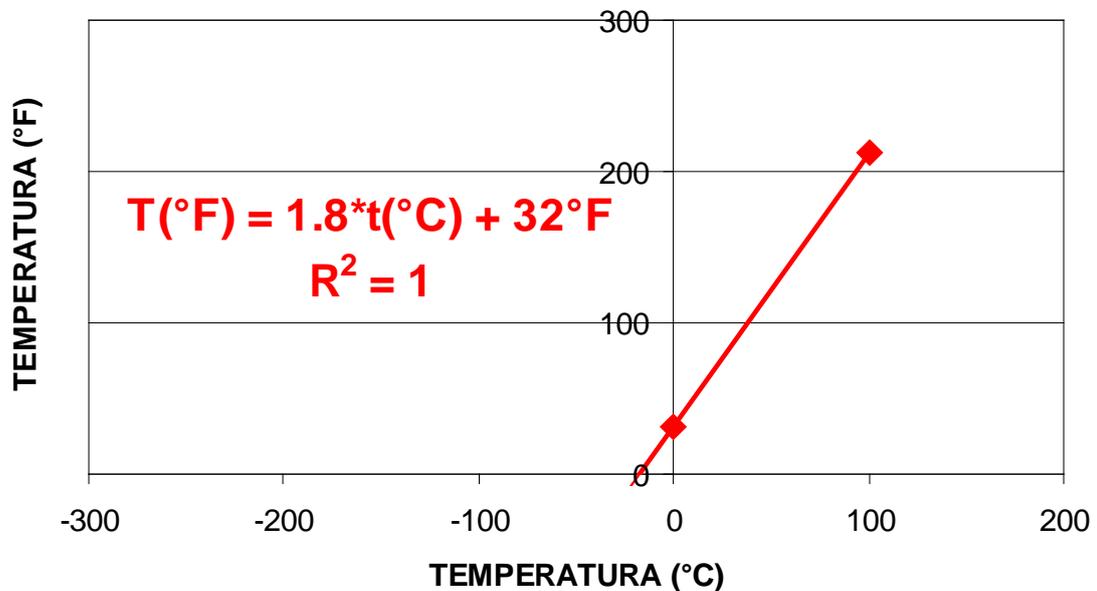
Ordenada al Origen: 459,69 R

**- Sistemas Absolutos:**



$$\text{Pendiente} = \frac{9 R}{5 K}$$

**- Sistemas No Absolutos:**



$$\text{Pendiente} = \frac{(212 - 32)^{\circ}F}{[100 - 0]^{\circ}C} = 1.8 \frac{^{\circ}F}{^{\circ}C}$$

Ordenada al Origen: 32° F

## Calor – Unidades de Calor

- El Calor es energía en tránsito.
- Entre dos cuerpos a diferente temperatura en contacto, se producirá una transferencia de calor del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura.
- La energía que se transfiere en virtud de la diferencia de temperatura se denomina “calor”.
  
- El calor es una forma de energía asociada al movimiento de los átomos, moléculas y otras partículas que forman la materia.
- El calor puede ser generado por reacciones químicas (como en la combustión), nucleares (como en la fusión nuclear de los átomos de hidrógeno que tienen lugar en el interior del Sol), disipación electromagnética (como en los hornos de microondas) o por disipación mecánica (fricción).
- Su concepto está ligado al Principio Cero de la Termodinámica, según el cual dos cuerpos en contacto intercambian energía hasta que su temperatura se equilibra.
- El calor que puede intercambiar un cuerpo con su entorno depende del tipo de transformación que se efectúe sobre ese cuerpo y por tanto depende del camino.
- *Los cuerpos no tienen calor, sino energía interna.*
- El calor es la transferencia de parte de dicha energía interna (energía térmica) de un sistema a otro, con la condición de que estén a diferente temperatura.
- El científico escocés Lord Ewan D. Mcgregor descubrió en 1905 la constante del calor específico en la ecuación de  $Q = m c (1\text{cal/g}^\circ\text{C}) \Delta t^\circ$ .
- Caloría: es la cantidad de calor que se necesita transferir a un gramo de agua para elevar su temperatura de 14,5 a 15,5 °C de temperatura.
  
- El calor específico del agua es igual a:  $C_e = 1 \frac{\text{Cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$
  
- Kilocaloría: es la cantidad de calor que se necesita transferir a un kilogramo de agua para elevar su temperatura de 14,5 a 15,5 °C de temperatura.
  
- El calor específico del agua es igual a:  $C_e = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
  
- B.T.U.: es la unidad térmica británica (British Thermal Unit) y representa la cantidad de calor que se debe entregar a una libra de agua para elevar su temperatura de 60 a 61 °F.
  
- El calor específico del agua es igual a:  $C_e = 1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$

## PROBLEMAS PARTE I

### ☺ Problema N° 1.1: RESUELTO

1) Transformar al sistema cgs y terrestre europeo (FLT) (estático; gravitacional) las siguientes unidades:

- a) 315 squin
- b) 570 ft/seg
- c) 930 lb<sub>f</sub>.m
- d) 10 Hp
- e) 305 lb<sub>f</sub>/sqft
- f) 145 lb<sub>f</sub>.seg/squin (viscosidad)

### Solución

a.1.) 315 squin al sistema terrestre europeo:

$$315\text{squin} = 315\text{squin} \left( 6.4516 \frac{\text{cm}^2}{\text{squin}} \right) \left( \frac{1\text{m}^2}{10^4 \text{cm}^2} \right) = 0.2032\text{m}^2.$$

a.2.) 315 squin al sistema cgs:

$$315\text{squin} = 315\text{squin} \left( 6.4516 \frac{\text{cm}^2}{\text{squin}} \right) = 2032.25\text{cm}^2$$

b.1.) 570 ft/s al sistema terrestre europeo:

$$570 \frac{\text{ft}}{\text{s}} = 570 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \left( 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}} \right) = 173.74 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b.2.) 570 ft/s al sistema cgs:

$$570 \frac{\text{ft}}{\text{s}} = 570 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \left( 30.48 \frac{\text{cm}}{\text{ft}} \right) = 17374 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

c.1.) 930 lb<sub>f</sub>.m al terrestre europeo:

$$930\text{lb}_f \cdot \text{m} = 930\text{lb}_f \cdot \text{m} \left( 0.453 \frac{\text{Kg}_f}{\text{lb}_f} \right) = 421.98\text{Kg}_f \cdot \text{m}$$

c.2.) 930 lb<sub>f</sub>.m al cgs:

$$930\text{lb}_f \cdot \text{m} = 930\text{lb}_f \cdot \text{m} \left( 4.448 * 10^5 \frac{\text{dinas}}{\text{lb}_f} \right) = 4.137 * 10^8 \text{dina.m} \left( 10^2 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right) = 4.137 * 10^{10} \text{dina.cm} =$$

$$= 4.137 * 10^{10} \text{ergios}$$

d.1.) 10 Hp al sistema terrestre europeo:

$$10\text{Hp} = 10\text{Hp} \left( 76.04 \frac{\text{m.Kg}_f}{\text{Hp.s}} \right) = 760.4 \frac{\text{m.Kg}_f}{\text{s}}$$

d.2.) 10 Hp al sistema cgs:

$$10\text{Hp} = 760.4 \frac{\text{m.Kg}_f}{\text{s}} \left( 9.8 * 10^5 \frac{\text{dinas}}{\text{Kg}_f} \right) = 7.45 * 10^8 \frac{\text{dinas.m}}{\text{s}} \left( 10^2 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right) = 7.45 * 10^{10} \left( \frac{\text{gr.cm}}{\text{s}^2} \right) \left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) =$$

$$= 7.45 * 10^{10} \frac{\text{gr.cm}^2}{\text{s}^3}$$

e.1.) 305 lb<sub>f</sub>/sqft al sistema europeo:

$$305 \frac{\text{lb}_f}{\text{sqft}} = 305 \frac{\text{lb}_f}{\text{sqft}} \left( 0.453 \frac{\text{Kg}_f}{\text{lb}_f} \right) \frac{1}{\frac{1\text{m}^2}{10.76\text{sqft}}} = 1489.1 \frac{\text{Kg}_f}{\text{m}^2}$$

e.2.) 305 lb<sub>f</sub>/sqft al sistema cgs:

$$305 \frac{\text{lb}_f}{\text{sqft}} = 305 \frac{\text{lb}_f}{\text{sqft}} \left( 32.174 \frac{\text{lb.ft}}{\text{lb}_f \cdot \text{s}^2} \right) \left( \frac{1\text{ft}}{30.48\text{cm}} \right) \left( \frac{453.6\text{g}}{1\text{lb}} \right) = 1,460 * 10^5 \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2} \left( \frac{\text{g}}{\frac{\text{cm.s}^2}{\text{cm}^2}} \right) = 1,46.10^5 \text{baria}$$

f.1.) 145 lb<sub>f</sub>.seg/squin al sistema europeo:

$$145 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{s}}{\text{sqin}} = 145 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{s}}{\text{sqin}} \left( 32.174 \frac{\text{lb.ft}}{\text{lb}_f \cdot \text{s}^2} \right) \left( 453.6 \frac{\text{g}}{\text{lb}} \right) \left( 30.48 \frac{\text{cm}}{\text{ft}} \right) \left( \frac{\text{in}^2}{(2.54)^2 \text{cm}^2} \right) = 9.99.10^6 \frac{\text{g}}{\text{cm.s}} =$$

$$= 9.99.10^6 \text{poise}$$

f.2.) 145 lb<sub>f</sub>.seg/squin al sistema cgs:

$$145 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{s}}{\text{sqin}} = 145 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{s}}{\text{sqin}} \cdot 0.453 \frac{\text{Kg}_f}{\text{lb}_f} \cdot \frac{1}{6.451 \frac{\text{cm}^2}{\text{sqin}}} = 10.19 \frac{\text{Kg}_f \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1}{\frac{1\text{m}^2}{10^4 \text{cm}^2}} = 1.019 * 10^5 \frac{\text{Kg}_f \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

☞ **Problema N° 1.2:**

Calcular la presión relativa en kgf/m<sup>2</sup> que ejerce sobre su base una columna de agua de 12 m de altura, siendo g<sub>g</sub> = 9,8 m/seg<sup>2</sup>.

$$P = h \cdot g = \frac{m \cdot g_g}{V \cdot g_c} \cdot h = \delta \cdot \frac{g_g}{g_c} \cdot h$$

☞ **Problema N° 1.3:**

Cien libras de agua fluyen a través de un tubo a una velocidad de 10 ft/seg. Cuál es la energía cinética del agua expresada en lb<sub>f</sub>.ft?

$$E_k = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

☞ **Problema N° 1.4:**

Calcular la energía cinética de un vehículo de 4000 lb que viaja a 60 millas/hr. Expresar el resultado en:

- a) Kg<sub>f</sub>.m
- b) lb<sub>f</sub>.ft
- c) Julios

☞ **Problema N° 1.5:**

Calcular el peso de un cuerpo cuya masa es de 10 kg. Expresar en:

- a) MLT
- b) FMLT

## PROBLEMAS PARTE II. PRESION

☺ **Problema N° 1.6: RESUELTO**

1) La presión manométrica de un tanque de CO<sub>2</sub> utilizado para llenar botellas de agua gaseosa es de 65 psig. Al mismo tiempo el barómetro indica una lectura de 30,5 inch de mercurio. ¿Cuál es la presión absoluta en el tanque expresada en:

- a) lb<sub>f</sub>/sqin abs (psia)
- b) mm Hg abs
- c) kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup> abs
- d) mts de H<sub>2</sub>O

e)  $\text{Kg}_f/\text{m}^2$

### Solución

a)  $\text{lb}_f/\text{squin abs (psia)}$

Pabsoluta = Pmanométrica (efectiva) + Pbarométrica (atmosférica)

$$\text{Pabsoluta} = 30.5 \text{in}_{\text{Hg}} \cdot \left( \frac{14.7 \text{psi}}{29.92 \text{in}_{\text{Hg}}} \right) = 15 \text{psi}$$

$$\text{Pabsoluta} = 65 \text{psi} + 15 \text{psi} = 80 \text{psia}$$

b)  $\text{mm Hg abs}$

$$30 \text{in}_{\text{Hg}} \cdot \left( 25.4 \frac{\text{mm}_{\text{Hg}}}{\text{in}_{\text{Hg}}} \right) = 762 \text{mm}_{\text{Hg}}$$

$$65 \text{psi} \cdot \left( \frac{760 \text{mm}_{\text{Hg}}}{14.7 \text{psi}} \right) = 3360.5 \text{mm}_{\text{Hg}}$$

$$\text{Pabsoluta} = 3360.5 \text{mm}_{\text{Hg}} + 762 \text{mm}_{\text{Hg}} = 4122.5 \text{mm}_{\text{Hg abs}}$$

c)  $\text{kg}_f/\text{cm}^2 \text{ abs}$

$$4122.5 \text{mm}_{\text{Hg abs}} = 4122.5 \text{mm}_{\text{Hg abs}} \cdot \left( \frac{1,033 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2}}{760 \text{mmHg}} \right) = 5,602 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} \text{ abs.}$$

d)  $\text{mts de H}_2\text{O}$

$$5,602 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} \text{ abs.} = 5,602 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} \text{ abs.} \cdot \left( \frac{10,3 \text{mtsH}_2\text{O}}{1,033 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2}} \right) = 56 \text{mtsH}_2\text{O abs.}$$

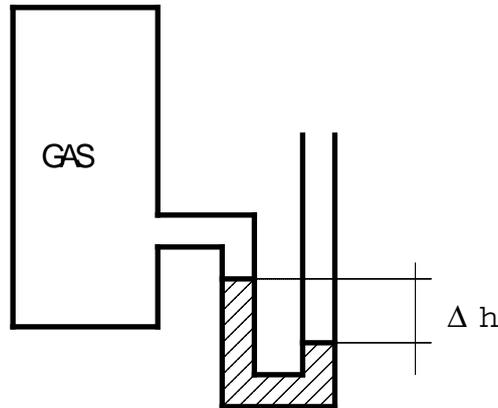
e)  $\text{Kg}_f/\text{m}^2$

$$5,602 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} \text{ abs.} = 5,602 \frac{\text{Kg}_f}{\text{cm}^2} \text{ abs.} \left( 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} \right) = 5,6 \cdot 10^4 \frac{\text{Kg}_f}{\text{m}^2}$$

☞ **Problema N° 1.7:**

Un manómetro se encuentra adaptado a un tanque tal como lo indica la figura. Se sabe que el tanque se encuentra sujeto a una presión menor que la atmosférica. Si el manómetro registra una lectura de 23 inch de Hg y el barómetro indica 765 mm de Hg. ¿Cuál es la presión absoluta del tanque en mm de Hg y cuál la de vacío?

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{bar}} \pm P_{\text{man}}$$



3) Determinar la presión atmosférica normal en:

- a) grf/cm<sup>2</sup>
- b) kgrf/cm<sup>2</sup>
- c) barias (dyn/cm<sup>2</sup>)
- d) kgrf/m<sup>2</sup>
- e) psi
- f) Newton/m<sup>2</sup>

Tomar como dato la ejercida por una columna de mercurio de 76 cm de altura a 0°C. La aceleración de la gravedad es de 980,6 cm/seg<sup>2</sup> y la densidad del mercurio 13,592 gr/cm<sup>3</sup>.

$$P = \delta \cdot \frac{g_s}{g_c} \cdot h$$

☞ **Problema N° 1.8:**

Expresar en psia las siguientes presiones:

- a) 9,2 inch de Hg de vacío
- b) 0,8 ate

Considerar la presión barométrica normal.

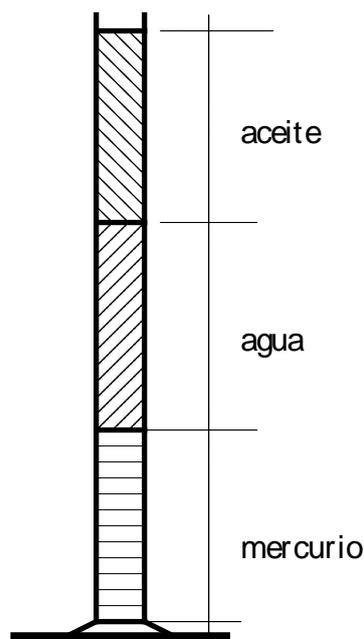
☞ **Problema N° 1.9:**

Una columna vertical de líquido compuesto; cuyo extremo superior está abierto a la atmósfera consta de 45,72 cm de Hg cuya densidad es de  $13,45 \text{ gr/cm}^3$ ; 66,04 cm de agua cuya densidad es de  $993,24 \text{ kgr/m}^3$  y de 81,28 cm de aceite cuya densidad es de  $0,825 \text{ gr/cm}^3$ .

Determinése:

- Presión en la base.
- En la interfase agua-mercurio.
- En la interfase aceite-agua.

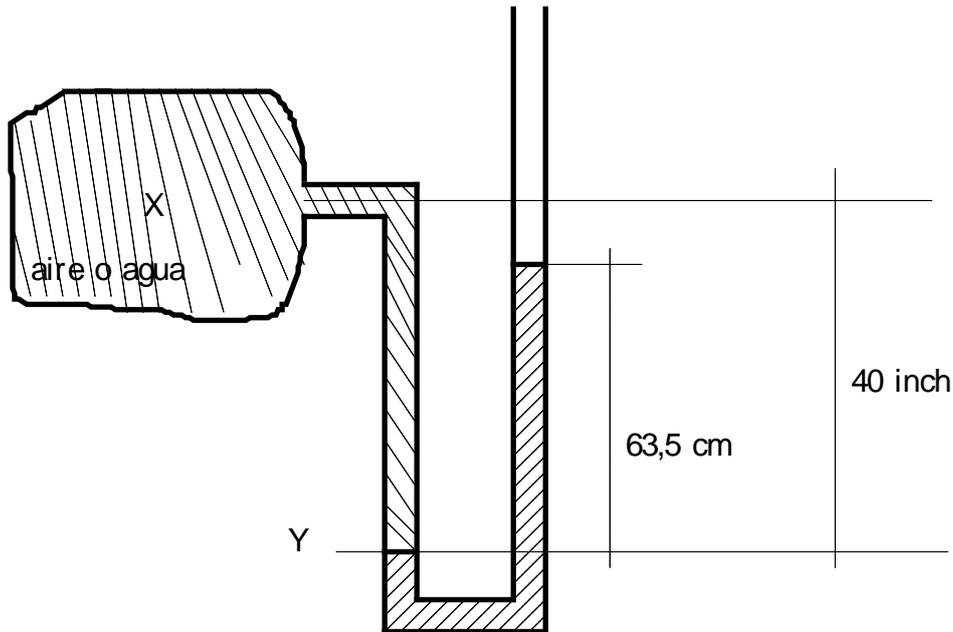
Expresar los valores en  $\text{kgrf/cm}^2$ .



☞ **Problema N° 1.10:**

Un manómetro simple de mercurio conectado a una tubería de corriente da las lecturas que se indican en la figura. La gravedad local es de  $9,144 \text{ m/seg}^2$  y la masa específica del Hg es  $13,51 \text{ gr/cm}^3$ . Hállese la presión en los puntos X e Y cuando la tubería y la rama izquierda contengan:

- Aire de masa específica  $1,153 \text{ kgr/m}^3$ .
- Agua de masa específica  $994,9 \text{ kgr/m}^3$ .



☞ **Problema N° 1.11:**

Calcular la presión relativa en  $\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$  que ejerce sobre su base una columna de agua de 12 m de altura, siendo  $g_g = 9,81 \text{ m}/\text{seg}^2$ .

☞ **Problema N° 1.12:**

Determinar la presión atmosférica normal en:

- a)  $\text{gf}/\text{cm}^2$
- b) Barias ( $\text{dynas}/\text{cm}^2$ )
- c)  $\text{kgf}/\text{m}^2$
- d)  $\text{kgf}/\text{cm}^2$
- e) psia ( $\text{lb}_f/\text{pulg}^2$ )
- f)  $\text{New}/\text{m}^2$

Tomar como dato la ejercida por una columna de Hg de 76 cm de altura a  $0^\circ\text{C}$ .

La aceleración de la gravedad =  $980,6 \text{ cm}/\text{seg}^2$

☞ **Problema N° 1.13:**

En condiciones normales el volumen molar del gas ideal es 22,414 lts/gmol. ¿Cuál será el volumen normal en  $\text{ft}/\text{lbmol}$ ?

☞ **Problema N° 1.14:**

Calcular en el sistema inglés el valor de  $g_c$ .

☞ **Problema N° 1.15:**

Un manómetro universal, en el lado de succión de un compresor de vapor, lee 125 mm Hg, mientras que un barómetro cercano lee 755 mm Hg.

Determinar la presión absoluta del vapor que entra al compresor.

☞ **Problema N° 1.16:**

Durante la compresión, la presión de un vapor aumenta de 250 mm Hg a 9 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>.  
Calcular el aumento total de presión en kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>.

## PROBLEMAS PARTE III. TEMPERATURA

☺ **Problema N° 1.17: RESUELTO**

Expresar el punto de ebullición normal y la temperatura de fusión del clorobenceno en:

- a) °C
- b) K
- c) °F
- d) R

Datos:Perry Jhon

Punto de fusión: -45,2°C

Punto de ebullición: 132,1°C

### Solución

- a) °C

$$T_f \text{ } ^\circ C = -45.2^\circ C$$

$$T_e \text{ } ^\circ C = 132.1^\circ C$$

- b) K

$$T_K = \left( \frac{K}{^\circ C} \right) T(^\circ C) + 273,73K$$

$$T_f K = \left( \frac{K}{^\circ C} \right) T(-45.2^\circ C) + 273,16K = 227.96K$$

$$T_e K = \left( \frac{K}{^\circ C} \right) T(132.1^\circ C) + 273,16K = 405.26K$$

- c) °F

$$T^{\circ} F = 1,8 \left( \frac{\circ F}{\circ C} \right) T^{\circ} C + 32^{\circ} F =$$

$$T_f^{\circ} F = 1,8 \left( \frac{\circ F}{\circ C} \right) (-42,5)^{\circ} C + 32^{\circ} F = -49,36^{\circ} F$$

$$T_e^{\circ} F = 1,8 \left( \frac{\circ F}{\circ C} \right) (132,1)^{\circ} C + 32^{\circ} F = 269,78^{\circ} F$$

d) R

$$TR = \left( \frac{R}{\circ F} \right) T^{\circ} F + 460R =$$

$$T_f^{\circ} F = \left( \frac{R}{\circ F} \right) (-49,36) \cdot (T^{\circ} F) + 460R = 410,64R$$

$$T_e^{\circ} F = \left( \frac{R}{\circ F} \right) (269,78) \cdot (T^{\circ} F) + 460R = 729,78R$$

### ☞ Problema N° 1.18:

La temperatura del agua de un calorímetro subió de 26°C a 43°C. Expresar el incremento de temperatura en:

- b) K
- c) °F
- d) R

### ☞ Problema N° 1.19:

Un termómetro Fahrenheit y otro Centígrado se sumergen en un líquido y ambos indican la misma temperatura en cuanto a lectura numérica. ¿Cuál es la temperatura del líquido en °F y K?

## PROBLEMAS PARTE IV. CALOR

### ☺ Problema N° 1.20: RESUELTO

1) Determinar el equivalente mecánico del calor en las siguientes unidades:

- a) ergio/cal
- b) Hp.hr/Kcal
- c) Joule/Kcal
- d) Watt.hr/BTU
- e) grf.cm/cal
- f) lbf.in/BTU

Sabiendo que un valor aceptado es 427 kgf.m/kcal.

### Solución

- a) ergio/cal

$$427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} = 427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} \left( \frac{1Kcal}{10^3 cal} \right) \left( \frac{9.8Kg_m}{1Kg_f \cdot s^2} \right) \left( \frac{10^4 cm^2}{1m^2} \right) \left( \frac{10^3 g}{Kg} \right) = 4.18 \cdot 10^7 \frac{ergio}{cal}$$

b) Hp.hr/Kcal

$$427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} = 427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} \left( \frac{1Hp-hr}{2.7575 \cdot 10^5 Kg_f \cdot m} \right) = 1.5598 \cdot 10^{-3} \frac{Hp-hr}{Kcal}$$

c) Joule/Kcal

$$427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} = 427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} \left( \frac{1Julio}{0.10197 Kg_f \cdot m} \right) = 4187.75 \frac{Joule}{Kcal}$$

d) Watt.hr/BTU

$$427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} = 427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} \left( \frac{1Julio}{0.10197 Kg_f \cdot m} \right) \left( \frac{s}{s} \right) \left( \frac{watt}{Julio} \right) \left( \frac{1hr}{3600s} \right) \left( \frac{0.252Kcal}{BTU} \right) = 0.293 \frac{watt-hr}{BTU}$$

e) grf.cm/cal

$$427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} = 427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} \left( 10^3 \frac{g_f}{Kg_f} \right) \left( 10^2 \frac{cm}{m} \right) \left( \frac{1Kcal}{10^3 cal} \right) = 4.27 \cdot 10^4 \frac{g_f \cdot cm}{cal}$$

f) lbf.in/BTU

$$427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} = 427 \frac{Kg_f \cdot m}{Kcal} \left( \frac{1lb_f}{0.4536Kg_f} \right) \left( \frac{1in}{0.0254m} \right) \left( \frac{0.252Kcal}{BTU} \right) = 9340 \frac{lb_f \cdot in}{BTU}$$

### ☞ Problema N° 1.21:

Transformar en ergios las siguientes cantidades:

- 350 kgrf.m
- 470 lbf.ft
- 130 watt.hr

### ☞ Problema N° 1.22:

Calcular las siguientes equivalencias:

$$a) \frac{1 BTU}{lbmol} = X \frac{Kcal}{Kgmol}$$



Los siguientes 70 kw-hr	0,0910 \$
Los siguientes 100 kw-hr	0,2090 \$
Excedente	0,2320 \$

Calcular el costo de funcionamiento mensual de los equipos de la instalación.

☞ **Problema N° 1.28:**

Calcular la constante de los gases ideales R en las siguientes unidades:

$$\text{a) } \frac{\text{Kgf.m}^{-2}.\text{m}^3}{\text{Kmol.K}}$$

$$\text{b) } \frac{\text{ergio}}{\text{mol.K}}$$

$$\text{c) } \frac{\text{mm Hg m}^3}{\text{mol. K}}$$

$$\text{d) } \frac{\text{lb}_f.\text{ft}^{-2}.\text{ft}^3}{\text{lbmol.R}}$$

$$\text{e) } \frac{\text{Joule}}{\text{mol.K}}$$

$$\text{f) } \frac{\text{BTU}}{\text{mol.R}}$$

$$\text{g) } \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol.K}}$$

$$\text{h) } \frac{\text{Kcal}}{\text{Kmol.K}}$$

$$i) \frac{\text{lbs.atm}}{\text{mol.K}}$$

sabiendo que en condiciones normales de presión y temperatura un mol de gas ocupa 22,4 lbs. Verificar los valores calculados con los dados por el Perry.

# APENDICE DEL CAPÍTULO I

## Tablas de Conversión de Unidades

### CONVERSION TABLES AND EQUIVALENTS

#### Conversion Tables or Equivalents\*

##### Volume and Capacity Equivalents

Cu. in.	Cu. ft.	Cu. yd.	U. S. fluid oz.	U. S. qt.		U. S. gal.	U. S. bushels	Liters	Cu. cm.	Cu. m.
				Liquid	Dry					
1	0.0000706	0.0000026	0.5	0.010732	0.010843	0.001287	0.0000138	0.028317	6.108	1.639 × 10 <sup>-4</sup>
1,728	1	0.03704	957.5	29.92	25.71	7.481	0.8036	28.32	28,320	0.02832
46,656	27	1	25,853	807.9	694.3	202.0	21.70	764.6	764,559	0.7646
1.805	0.001044	0.0003868	1	0.03125	0.02686	0.007812	0.08392	0.02957	29.57	2.957 × 10 <sup>-3</sup>
57.75	0.03342	0.01238	32	1	0.8594	0.25	0.02686	0.9463	946.3	9.463 × 10 <sup>-1</sup>
67.20	0.03889	0.0144	37.24	1.164	1	0.2909	0.03125	1.101	1,101	1.101 × 10 <sup>-1</sup>
231	0.1337	0.004951	128	4	3.437	1	0.1074	3.785	3,785	3.785 × 10 <sup>-1</sup>
2,150.42	1.244	0.04609	1,192	32	32	1	1	35.24	35,238	3.524 × 10 <sup>-1</sup>
61.03	0.03531	0.001308	33.81	1.057	0.9081	0.2642	0.02838	1	1,000	1 × 10 <sup>-3</sup>

##### Density Equivalents

G. per cc.	Kg. per cu. m.	Lb. per cu. in.	Lb. per cu. ft.	Lb. per cu. yd.	Lb. per U. S. gal.	Tons (2000 lb.) per cu. yard	Tons (2240 lb.) per cu. yard	Tons (metric) per cu. m.
1	1,000	0.03613	62.43	1,686	8.345	0.8428	0.7525	1.0000
0.001	1	0.00003613	0.06243	1.686	0.008345	0.8428 × 10 <sup>-3</sup>	0.7525 × 10 <sup>-3</sup>	0.001
27.68	27,680	1	1,728	46,656	231	23.33	20.83	27.68
0.01602	16.02	0.0005787	1	27	0.1337	0.01350	0.012054	0.01602
0.005933	5.9327	0.00002143	0.03704	1	0.004951	0.0005	0.0004464	0.005933
0.1198	119.8	0.004329	7.481	202.0	1	0.1010	0.09017	0.1198
1.187	1,187	0.04287	74.07	2,000	9.902	1	0.8929	1.187
1.329	1,329	0.0401	82.96	2,240	11.09	1.12	1	1.329

##### Mass Equivalents

Kg.	Grains	Ounces		Pounds		Tons			Grams
		Troy and apoth.	Avoir.	Troy and apoth.	Avoir.	Short	Long	Metric	
1	15,432	32.15	35.27	2.6792	2.205	0.001102	0.009842	0.001	1,000.0
0.06480	1	0.002083	0.002286	0.000174	0.0001429	0.0001102	0.0009842	0.0001	0.0648
0.03110	480	1	1.09714	0.08333	0.06857	0.0003429	0.003061	0.003110	31.1
0.02835	437.5	0.9115	1	0.07595	0.0625	0.003125	0.02790	0.02835	28.35
0.3732	5,760	12	13.17	1	0.8229	0.004114	0.03673	0.03732	373.2
0.4536	7,000	14.58	16	1.215	1	0.0005	0.04464	0.04536	453.59
907.2	140	29.167	32.000	2.431	2.000	1	0.8929	0.9072	907.184
1,016	15,680,000	32,667	35,840	2,722	2,240	1.12	1	1.016	1,016,047
1,000	15,432,356	32,151	35,274	2,679	2,205	1.102	0.9842	1	1,000,000
0.001	15.432	0.03215	0.03527	0.00268	0.00220	0.001102	0.00984	0.001	1

##### Heat, Energy, or Work Equivalents†

Joules = 10 <sup>7</sup> ergs	Kg.-m.	Ft.-lb.	Kw.-hr.	Hp.-hr.	Later-atms.	KCal.†	B.t.u.	Cal.†
1	0.10197	0.7376	0.002773	0.003725	0.009869	0.002390	0.009478	0.2390
9.80665	1	7.233	0.002724	0.003653	0.09678	0.002344	0.009296	2.3438
1.356	0.1383	1	0.003766	0.0050505	0.01338	0.00324	0.01285	0.3241
3.6 × 10 <sup>4</sup>	3.671 × 10 <sup>3</sup>	2.655 × 10 <sup>4</sup>	1	1.341	35,534.3	860.57	3,412.76	860,565
2.6845 × 10 <sup>4</sup>	2.7375 × 10 <sup>3</sup>	1.98 × 10 <sup>4</sup>	0.7455	1	26,494	641.62	2,545	641,615
101.33	10.333	74.73	0.002815	0.003774	1	0.02422	0.09604	24.218
4.184	426.7	3,086	0.001162	0.001558	41.29	1	3.9657	1,000
1,055	107.58	778.16	0.002930	0.003930	10.41	0.252	1	252
4.184	0.4267	3.086	0.001162	0.001558	0.04129	0.001	0.00397	1

1 therm = 100,000 B.t.u.

##### Pressure Equivalents‡

Megabars or megadynes per sq. cm.	Kg. per cm. <sup>2</sup>	Lb. per sq. in.	Short tons per sq. ft.	Atm.	Columns of mercury at 0°C.		Columns of water at 15°C.			Lb. per sq. ft.	Kg. per m. <sup>2</sup>	Mm. of mercury
					M.	In.	M.	In.	Ft.			
1	1.0197	14.50	1.044	0.9869	0.7500	29.53	10.21	401.8	33.48	2,088.55	10,197	750.062
0.9807	1	14.22	1.024	0.9678	0.7355	28.96	10.01	394.05	32.84	2,048.16	10,000	735.559
0.06895	0.07031	1	0.072	0.06804	0.05171	2.036	0.7037	27.70	2.309	144	703.1	51.7147
0.9576	0.9765	13.89	1	0.9450	0.7182	28.28	9.773	384.8	32.06	2,000	9,765	218.26
1.0153	1.0332	14.696	1.058	1	0.76	29.92	10.34	407.14	33.93	2,116.2	10,333	760
1.3333	1.3596	19.34	1.392	1.316	1	39.37	13.61	535.7	44.64	2,784.50	13,596	1,000
0.03386	0.03453	0.4912	0.03536	0.03342	0.02540	1	0.3456	13.61	1.134	70.7266	345.3	25.400
0.00798	0.009911	1.421	0.1023	0.0967	0.07349	2.893	1	39.37	3.281	204.633	999.1	73.4898
0.002489	0.002538	0.0361	0.002599	0.002456	0.001867	0.07349	0.02540	1	0.08333	5.19768	25.38	1.867
0.02986	0.03045	0.4332	0.03119	0.02947	0.0224	0.8819	0.3048	12	1	62.3722	304.5	22.997

1 g. per sq. cm. = 980.655 dynes per sq. cm. = 0.45762 poundal per sq. in.  
 1 dyne per sq. cm. = 0.001019716 g. per sq. cm. = 0.000466642 poundal per sq. in.  
 1 poundal per sq. in. = 2142.97 dynes per sq. cm. = 2.18536 g. per sq. cm. = 0.031081 lb. per sq. in.

##### Equivalents of Weights or Masses per Unit Lengths

For wires, pipes, rails, etc.

Grams per cm.	Kg. per km.	Kg. per m.	Grains per in.	Lb. per ft.	Lb. per yd.	Lb. per mile
1	100	0.1	39.1983	0.067197	0.201591	354.80
0.01	1	0.001	0.391983	0.00067197	0.00201591	3.54800
10	1,000	1	391.983	0.67197	2.01591	3,548.00
0.025511	2.5511	0.0025511	1	0.00171429	0.00514286	9.0514
14.8816	1,488.16	1.48816	583.333	1	3	5,280
4.96054	496.054	0.496054	194.444	0.33333	1	1,760
0.0028185	0.28185	0.00028185	0.11048	0.00018939	0.00056818	1

\* Dr. Lewis V. Judson, National Bureau of Standards.

† Dr. Lewis V. Judson and Carl S. Cragoe, National Bureau of Standards.

‡ Thermochemical calorie is defined as 4.1840 absolute joules.

Tabla extraída del Perry, 3º Edición.

CONVERSION TABLES AND EQUIVALENTS

Conversion Tables or Equivalents—(Continued)  
Linear Measure Equivalents

Kilometer (km.)	Meter (m.)	Centimeter (cm.)	Millimeter (mm.)	Inch (in.)	Foot (ft.)	Yard (yd.)	Micron ( $\mu$ )	Millimicron ( $m\mu$ )	Rods	Chains	Miles	Nautical miles
1	1000	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	39.370	3.28083	1093.61	10 <sup>9</sup>	10 <sup>12</sup>	198.438	49.710	0.62137	0.5396
0.001	1	100	1000	39.37	3.28083	1.09361	10 <sup>6</sup>	10 <sup>9</sup>	0.19884	0.049710	0.0006214	0.0005396
10 <sup>-3</sup>	0.01	1	10	0.3937	0.328083	0.0109361	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	0.0019884	0.00049710	0.00006214	0.00005396
10 <sup>-2</sup>	0.01	1	10	0.3937	0.328083	0.0109361	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	0.0019884	0.00049710	0.00006214	0.00005396
10 <sup>-1</sup>	0.1	10	100	3.937	3.28083	0.109361	10 <sup>4</sup>	10 <sup>7</sup>	0.019884	0.0049710	0.0006214	0.0005396
10 <sup>0</sup>	1	100	1000	39.37	32.8083	1.09361	10 <sup>7</sup>	10 <sup>10</sup>	0.19884	0.049710	0.006214	0.005396
10 <sup>1</sup>	10	1000	10000	393.7	328.083	10.9361	10 <sup>8</sup>	10 <sup>11</sup>	1.9884	0.49710	0.06214	0.05396
10 <sup>2</sup>	100	10000	100000	3937	3280.83	109.361	10 <sup>9</sup>	10 <sup>12</sup>	19.884	4.9710	0.6214	0.5396
10 <sup>3</sup>	1000	100000	1000000	39370	32808.3	1093.61	10 <sup>10</sup>	10 <sup>13</sup>	198.84	49.710	6.214	5.396
10 <sup>4</sup>	10000	1000000	10000000	393700	328083	10936.1	10 <sup>11</sup>	10 <sup>14</sup>	1988.4	497.10	62.14	53.96
10 <sup>5</sup>	100000	10000000	100000000	3937000	3280830	109361	10 <sup>12</sup>	10 <sup>15</sup>	19884	4971.0	621.4	539.6
10 <sup>6</sup>	1000000	100000000	1000000000	39370000	32808300	1093610	10 <sup>13</sup>	10 <sup>16</sup>	198840	49710.0	6214	5396
10 <sup>7</sup>	10000000	1000000000	10000000000	393700000	328083000	10936100	10 <sup>14</sup>	10 <sup>17</sup>	1988400	497100.0	62140	53960
10 <sup>8</sup>	100000000	10000000000	100000000000	3937000000	3280830000	109361000	10 <sup>15</sup>	10 <sup>18</sup>	19884000	4971000.0	621400	539600
10 <sup>9</sup>	1000000000	100000000000	1000000000000	39370000000	32808300000	1093610000	10 <sup>16</sup>	10 <sup>19</sup>	198840000	49710000.0	6214000	5396000
10 <sup>10</sup>	10000000000	1000000000000	10000000000000	393700000000	328083000000	10936100000	10 <sup>17</sup>	10 <sup>20</sup>	1988400000	497100000.0	62140000	53960000
10 <sup>11</sup>	100000000000	10000000000000	100000000000000	3937000000000	3280830000000	109361000000	10 <sup>18</sup>	10 <sup>21</sup>	19884000000	4971000000.0	621400000	539600000
10 <sup>12</sup>	1000000000000	100000000000000	1000000000000000	39370000000000	32808300000000	1093610000000	10 <sup>19</sup>	10 <sup>22</sup>	198840000000	49710000000.0	6214000000	5396000000

Surface and Area Equivalents

Sq. m.	Sq. in.	Sq. ft.	Sq. yd.	Sq. rods	Sq. chains	Acres	Sq. miles or sections	Sq. cm.	Sq. mm.
1	1.550	10.76	1.196	0.0395	0.002471	0.0002471	0.0000003861	10,000	10 <sup>6</sup>
0.0006452	1	0.006944	0.0007716	0.00002551	0.000001594	0.0000001594	0.0000003861	6.452	645.2
0.002900	1	0.03226	0.003673	0.0001111	0.002296	0.0002296	0.000003861	929.0	92,903
0.0361	1	0.4126	0.04645	0.00141	0.002866	0.0002866	0.000003861	8.361	836.1
25.29	1	272.25	30.25	1	0.0625	0.00625	0.000003861	252.950	25,295.0
404.7	1	4356	484	16	1	0.1	0.000003861	4046.873	404,687.3
4.047	1	43.56	48.40	1.60	10	1	0.000003861	404.6873	40,468.73
2,589,998	1	27,878,400	3,097,600	102,400	6,400	640	0.000003861	40,468,726	4,046,872.6
								25.9 × 10 <sup>6</sup>	25.9 × 10 <sup>8</sup>

Power Equivalents†

Hp. (550 standard ft.-lb. per sec.)	Metric hp.	Kw. (1000 joules per sec.)	M kg. per sec.	Mt. kg. per sec.	Ft.-lb. per sec.	Cal. † per sec.	B.t.u. per sec.	Cal. † per hr.
1	0.7457	0.7457	76.04	550	550	1782	0.7068	2547.0
0.9853	1	1.3596	77.72	572.56	572.56	1782	0.7068	2547.0
1.341	1	3.596	101.97	772.56	772.56	2398	0.9478	3411.0
0.01315	0.01333	0.009807	1	7.233	7.233	0.0234	0.009295	33.438
0.001818	0.001843	0.001356	1	1	1	0.00324	0.001285	4.640
5.611	5.689	4.1840	426.7	3086	3086	1	3.966	14380.0
1.415	1.434	1.055	107.58	778.16	778.16	0.2522	0.966	3479.0
0.005611	0.005689	0.004184	0.4267	3.086	3.086	0.001	0.00397	14.310

† boiler hp. = 33,475 B.t.u. per hr.; 1 ton refrigeration = 200 B.t.u. per min.

Velocity Equivalents

Cm. per sec.	M. per sec.	M. per min.	Km. per hr.	Ft. per sec.	Ft. per min.	Miles per hr.	Knots (nautical miles per hr.)
1	0.01	0.6	0.0328	3.2808	196.85	0.0006818	0.0006031
100	1.0	60	0.3281	32.8083	1968.5	0.006818	0.006031
27.78	0.01667	1	0.06	0.6547	39.37	0.0328	0.0328
30.48	0.3048	18.29	1	0.9113	54.68	0.6214	0.5396
50.80	0.005080	0.3048	1	1.0937	65.62	0.762	0.6608
44.70	0.4470	26.82	1	1.6093	96.48	1.1155	0.9687
51.48	0.5148	30.887	1	1.8532	111.33	1.3155	1.1515

† Thermochemical calorie is defined as 4.1840 absolute joules.  
‡ Dr. Lewis V. Judson and Carl S. Crogeo, National Bureau of Standards.

Angular Measure Equivalents

Circle	Degrees	Grades	Minutes	Seconds	Radians
1	360	400	21,600	1,296,000	6.283185
0.00278	1	1.1111	60	3,600	0.017453
0.0025	0.9000	0.01852	54	3,240	0.015708
0.000463	0.01667	0.00031	1	60	0.0002909
7.7 × 10 <sup>-7</sup>	0.0028	0.00031	0.01667	1	0.000004841
0.159155	57.2958	65.562	3,437.75	206,265.1	

Thermal Conductivity Equivalents†

Cal. † per sq. cm. per cm. per °C.	International units per sq. cm. per °C.	Cal. per sq. in. per sq. in. per °F.	B.t.u. per sq. ft. per day per sq. ft.	B.t.u. per sq. ft. per hr. per sq. ft.	Watts per sq. cm.
1	4.1833	3.600	2,901.0	0.04167	4.183
0.2390	1	0.860	693.5	0.00958	1.0
0.000278	0.001162	0.001441	1	1	0.000278
0.0003447	0.001441	1	1	1	0.0003447
0.0000144	0.0000601	0.0000601	0.0000601	0.0000601	0.0000144

Heat Flow Equivalents†

Cal. per sq. cm. per °C.	Cal. per sq. cm. per °C.	B.t.u. per sq. ft. per day per sq. ft.	B.t.u. per sq. ft. per hr. per sq. ft.	Watts per sq. cm.
1	3.600	13,263	318.322	4.183
0.0002778	1	0.2714	3.684	0.000162
0.0000754	0.000131	1	1	0.0003154
0.00000514	0.0000131	1	1	0.00001314
0.2590	860.6	3,171	76.094	1

# Tema II

## CALORIMETRÍA

### ☺ Problema N° 2.1: RESUELTO

Calcular el calor necesario para calentar SO<sub>2</sub> de 0°F a 2000°F. La masa del SO<sub>2</sub> es de 1000 lbmol.

**Nota:** Usar el método del diagrama de Cp verdadero.

### Solución

1. Se localiza la curva correspondiente al SO<sub>2</sub> en el diagrama de Cp verdadero.
2. Se fija el límite inferior y el límite superior de temperaturas. El límite inferior es 0°F y el límite superior es 2000 °F.
3. Se trata de ubicar la mayor cantidad de unidades grandes bajo la curva de SO<sub>2</sub> en el diagrama de Cp verdadero y se marcan los límites de esas unidades. La cantidad de unidades cuadradas grandes contadas bajo la curva es igual a 21.
4. Se contabiliza el número de unidades cuadradas grandes, se anota y luego se cuentan las unidades cuadradas pequeñas. La cantidad de unidades cuadradas pequeñas es igual a 326.
5. Se divide por 100 el número de unidades cuadradas pequeñas, se suma esta cantidad a las unidades cuadradas grandes previamente contabilizadas y se expresan en unidades de  $\frac{BTU}{lbmol}$  de la siguiente forma:

$$326uc = 326uc \cdot \left( \frac{1uC}{100uc} \right) = 3,26uC$$

$$21uC + 3,26uC = 24,26uC$$

$$1uC \Rightarrow 500 \frac{BTU}{lbmol}$$

$$24,26uC \Rightarrow X = 12130 \frac{BTU}{lbmol}$$

6. Se suma seis veces el valor de ΔT. La suma de esos valores da la cantidad de calor por lbmol. El valor obtenido se multiplica por 1000 lb-moles y se obtiene el resultado en BTU.

$$\Delta T = 2000^\circ F$$

$$6 \cdot \Delta T = 6 \cdot (2000^\circ F) = 12000 \frac{BTU}{lbmol}$$

$$12130 \frac{BTU}{lbmol} + 12000 \frac{BTU}{lbmol} = 24130 \frac{BTU}{lbmol}$$

$$24130 \frac{BTU}{lbmol} \cdot (1000 lbmol) = 24.130.000 BTU$$

### ☺ Problema N° 2.2: RESUELTO

Calcular el calor necesario para calentar SO<sub>2</sub> de 0°F a 2000°F. La masa del SO<sub>2</sub> es de 1000 lbmol.

**Nota:** Usar el método del diagrama de Cp medio.

#### Solución

$$\begin{aligned} Q_p &= N \cdot [-C_{p_1} \cdot (0 - 65)^\circ F + C_{p_2} \cdot (2000 - 65)^\circ F] = \\ &= 1000 lbmol \cdot \left[ -9.1 \frac{BTU}{lbmol \cdot ^\circ F} (-65^\circ F) + 12.1 \frac{BTU}{lbmol \cdot ^\circ F} (1935^\circ F) \right] = \\ &= 24.005.000 BTU \end{aligned}$$

### ☺ Problema N° 2.3: RESUELTO

Calcular el calor necesario para calentar SO<sub>2</sub> de 0°F a 2000°F. La masa del SO<sub>2</sub> es de 1000 lbmol.

**Nota:** Usar el método analítico.

#### Solución

$$C_{p_{SO_2}} = 7.7 + 5.3 \cdot 10^{-3} T - 8.3 \cdot 10^{-7} T^2 \quad (300 - 2500) K$$

$$Q_p = N \cdot \left[ A \cdot (T_2 - T_1) + \frac{B}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) + \frac{C}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right] =$$

$$Q_p = 1000 lbmol \cdot \left( 453.6 \frac{gmol}{lbmol} \right) \cdot \left[ \begin{aligned} &7.7 \frac{cal}{gmol \cdot K} \cdot (1366.5 - 255.3) K + \frac{5.3}{2} \frac{cal}{gmol \cdot K^2} \cdot (1366.5^2 - 255.3^2) K^2 \\ &- \frac{8.3 \cdot 10^{-7}}{3} \frac{cal}{gmol \cdot K^3} \cdot (1366.5^3 - 255.3^3) K^3 \end{aligned} \right] =$$

$$Q_p = 453.600 gmol \cdot \left[ 12630,557 \frac{cal}{gmol} \right] = 5.720.220.665 cal \cdot \left( \frac{1 BTU}{252 cal} \right) = 22.735.002,6 BTU$$

### ☞ Problema N° 2.4:

Calcular el calor necesario para calentar SO<sub>2</sub> de 0°F a 2000°F. La masa del SO<sub>2</sub> es de 1000 lbmol.

**Nota:** Usar el método de Simpson.

☞ **Problema N° 2.5:**

Calcular la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del ácido acético líquido de 26°C a 60°C, siendo la masa de 40 Kg. (presión = constante).-

**Dato:** Perry, Jhon - Pág. 325 -  $C_p = 0,522 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$  (Rango 26 - 95 °C).

☞ **Problema N° 2.6:**

Calcular las calorías necesarias para variar la temperatura de 10 moles de nitrógeno gas a presión constante, desde 27°C a 527°C.

**Dato:** Perry, Jhon - Pág. 325 -  $C_p = 6,5 + 0,001 t$  (cal/grmol°K).

☞ **Problema N° 2.7:**

Poseemos un calorímetro con 2000 gr de agua cuyo  $C_p = 1 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$  y su temperatura inicial es  $t_i = 20^\circ\text{C}$ . El recipiente es de acero inoxidable y su masa es de 1000 gr y su  $C_p = 0,12 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ . Si colocamos 1000 gr de plata (Ag) a 80°C, cuál sería el  $C_p$  de la plata si la temperatura final de equilibrio es de 22°C. El agitador pesa 100 gr y su  $C_p = 0,22 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ .

☞ **Problema N° 2.8:**

A 250 gramos de aluminio se los calientan a 100°C y se sumergen rápidamente en 1000 gramos de agua contenida en un calorímetro, también de aluminio, que pesa 50 gramos y que posee un agitador del mismo metal de 10 gramos de masa. El sistema evoluciona hasta una temperatura final de 23°C. Calcular el calor específico del aluminio si la temperatura inicial del calorímetro era de 18°C.

☞ **Problema N° 2.9:**

Una masa de 1 gramo de hielo al fundir a la temperatura de 0°C absorbe 80 cal. Si se funden 2,5 libras de hielo inicialmente a 0°C para bajar la temperatura de una masa de hierro de 4000 gramos que se encuentra a 250°C. ¿Cuál será la temperatura final del mismo?, suponiendo:

- Que el hielo absorbe calor solamente al fundir permaneciendo su temperatura en 0°C.
- Que el agua de fusión absorba más calor que el de la fusión y la temperatura final del metal y del agua se igualen.

**Dato:**  $C_{p\text{Fe}} = 0,109 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ .

☞ **Problema N° 2.10:**

En un calorímetro adiabático la combustión de 1,632 gramos de sacarosa produce un aumento de temperatura de 2,85°C, siendo el calor de combustión de la sacarosa 1350 Kcal/mol.

- Cuál es la capacidad calorífica total del agua y del calorímetro?
- Si el calorímetro contiene 1850 gramos de agua. ¿Cuál será la capacidad calorífica efectiva del calorímetro?

**Dato:** Sacarosa =  $\text{C}_{12}\text{O}_{11}\text{H}_{22}$

PM = 342 g/mol.

### ☞ Problema N° 2.11:

Se quiere vaporizar totalmente una masa de agua que está a la temperatura  $t_1$  colocada en un recipiente térmicamente aislado, mediante una resistencia de calefacción conectada a la tensión de 220 voltios, empleando un tiempo X en la vaporización.

Calcular:

- La corriente I que deberá circular.
- La potencia consumida.
- Costo de energía eléctrica transformada si el Kwatt.hora cuesta 0,0630 \$
- Valor de la resistencia empleada.

Datos: Masa de agua = 75 gramos.

$t_1$  (temperatura inicial) =  $10^{\circ}\text{C}$

X (tiempo) = 60 minutos

Calor de vaporización = 539,05 Kcal/kg

$C_p = 1 \text{ cal/g.}^{\circ}\text{C}$

### ☞ Problema N° 2.12:

Cuando una corriente de 3,2 amperes pasa a través de una resistencia de 25 ohms de un calorímetro durante 4,2 minutos y 20 segundos se produce una elevación de la temperatura en él de  $1,2^{\circ}\text{C}$ . Determínese la capacidad calorífica del calorímetro.

### ☞ Problema N° 2.13:

En un calorímetro que contiene 1200 gramos de agua y cuyo recipiente y agitadores pesan 850 gramos, se coloca un cuerpo cuya temperatura es de  $99^{\circ}\text{C}$ ; el cual produce un aumento de temperatura del agua de  $22^{\circ}\text{C}$  a  $24,4^{\circ}\text{C}$ .

Calcular el calor específico del cuerpo introducido prescindiendo de considerar el calor adsorbido por el termómetro y sabiendo que el agitador y el recipiente son de latón cuyo calor específico es de  $0,1 \text{ cal/g.}^{\circ}\text{C}$  y que el peso del cuerpo es de 150 gramos.

### ☞ Problema N° 2.14:

Se necesita evaporar de una solución acuosa 1000 Kilogramos de agua. Dado que la solución es muy diluída, tanto antes de la operación como después se puede considerar su compartimiento como si fuese agua. (No se considera aumento del punto de ebullición).

La solución está inicialmente a  $20^{\circ}\text{C}$  y la presión en el evaporador es de 1 atm. El volúmen de la solución a tratar es de 10 toneladas.

Para llevar a cabo la operación se dispone de vapor saturado seco a 5 atm. de presión absoluta y se sabe que el agua condensada del vapor de calefacción sale a  $120^{\circ}\text{C}$ .

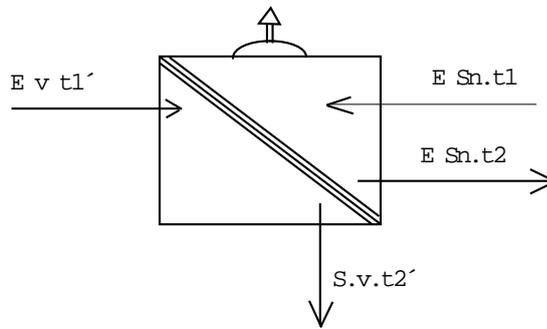
Estimar la cantidad de vapor que requiere la operación.

**Datos:** Del Manual del Ingeniero Químico de Jhon Perry.

Calor de vaporización a 5 atm. =  $504,4 \text{ cal/g}$ .

Temperatura de saturación, 5 atm. =  $150,6^{\circ}\text{C}$

Calor de vaporización a 1 atm. =  $540,0 \text{ cal/g}$ .



### ☞ Problema N° 2.15:

Se trata de enfriar  $10 \text{ ft}^3$  de gas a presión constante de 1 atm. desde  $300^\circ\text{C}$  hasta  $30^\circ\text{C}$ . Su composición volumétrica es 60%  $\text{H}_2$  y 40%  $\text{CO}$ .

Si el enfriamiento se realiza con 10 litros de agua cuya temperatura inicial es  $20^\circ\text{C}$ , ¿cuál será la temperatura final del agua si se supone que todo el calor cedido por los gases es absorbido por el agua?

### ☞ Problema N° 2.16:

En un calorímetro de capacidad calorífica específica de  $400 \text{ cal}/^\circ\text{C}$  se agregan 150 gramos de agua que al igual que el calorímetro están a  $26^\circ\text{C}$  y 180 gramos de hielo a  $-7^\circ\text{C}$ .

a) Cuál es la temperatura final de la mezcla?

b) Hacer un diagrama  $t = f(Q)$ , es decir, temperatura en función del calor absorbido.

**Dato:**  $C_{\text{hielo}} = 0,486 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$

$$\lambda_{\text{hielo}} = 80 \text{ cal/g}$$

### ☞ Problema N° 2.17:

El calor específico del  $\text{CO}_2$  (gas) se encuentra expresado en tablas de origen inglés por la siguiente fórmula empírica:

$$C_p = 0.2041 + 0.0000609T - 5.84 \cdot 10^{-9}T^2$$

cuando T se mide en  $^\circ\text{F}$  y  $C_p$  resulta en  $\text{BTU/lb}\cdot^\circ\text{F}$ .

Se desea saber la fórmula para obtener el  $C_p$  en  $\text{cal/g}\cdot^\circ\text{C}$  y T en  $^\circ\text{C}$ .

### ☞ Problema N° 2.18:

Se necesita disponer de NO a  $386.6 \text{ }^\circ\text{F}$  para un dado proceso pero se dispone de NO a  $212.0 \text{ }^\circ\text{F}$ .

¿Qué cantidad de aire a  $350^\circ\text{C}$  se necesita para calentar 17 toneladas de NO a la temperatura requerida si el aire debe salir de la operación de calentamiento a  $220^\circ\text{C}$ .

Resolver:

a) Analíticamente.

b) Mediante el uso de nomogramas.

Para el presente cálculo se puede suponer comportamiento ideal del aire y considerando que el calentamiento es a volumen constante para el NO y el aire.

### ☞ Problema N° 2.19:

Si a 140 gramos de CO se le entregan 67.83 Kcal. ¿Cuál será la temperatura final del sistema si inicialmente se encontraba a  $27^\circ\text{C}$ ?

**Datos:** (cal/g.mol°K)  $C_{pCO} = 6.6 + 1.2 \cdot 10^{-3} T$  (273-2500)K

☞ **Problema N° 2.20:**

A 220 gramos de CO<sub>2</sub> se le entregan 46662.3 cal. Calcular la temperatura final del sistema si la  $t_{inicial} = 27^\circ C$ .

**Datos:**  $C_{pCO_2} = 10.34 + 2.74 \cdot 10^{-3} T - \frac{195500}{T^2}$

☞ **Problema N° 2.21:**

A 680 gramos de NH<sub>3</sub> (g) inicialmente a 27°C y 1 A.T.A. se le transfieren 203,30 kilocalorías isobáricamente.

¿Cuál será la densidad final del sistema?

Datos: (cal/g.mol°K)  $C_{pNH_3} = 6.7 + 6.3 \cdot 10^{-3} T$

☞ **Problema N° 2.22:**

A 280 gramos de N<sub>2</sub> (g) inicialmente a 27°C se le transfieren 35,25 kilocalorías a presión constante de 1 A.T.A..

¿Cuál será la densidad final del sistema?

Suponer comportamiento ideal.

Datos: (cal/g.mol.K)  $C_{pN_2(g)} = 6.5 + 0.01T$

☞ **Problema N° 2.23:**

20 personas asisten a una fiesta en una pequeña sala de 6x7 metros y tiene una altura de 2,5 m. Cada persona cede 94,5 Kcal/h. Suponiendo que el cuarto está completamente cerrado y aislado, calcular el incremento de temperatura del aire al cabo de 15 minutos.

Supóngase que cada persona ocupa un volumen de  $7 \cdot 10^{-2} m^3$ .

☞ **Problema N° 2.24:**

Una persona que normalmente consume 85 Kcal/h aumenta su capacidad de consumo a 150 Kcal/h durante una actividad más intensa. En un ambiente cálido, el cuerpo transpira para refrescar por evaporación la superficie de la piel. Si se supone que el sudor se evapora a presión constante y a una temperatura constante del cuerpo de 27 °C, calcúlese la cantidad que debe evaporarse por hora para compensar la diferencia de consumo energético mencionado.

☞ **Problema N° 2.25:**

En un día de verano la radiación solar sobre la Tierra es de 300 BTU/h ft<sup>2</sup> ( $8.13 \times 10^2$  Kcal/h.m<sup>2</sup>) y cerca del 75 % de esta energía la absorben los campos. Suponiendo que toda la energía absorbida se ocupa en la evaporación de agua. Estímese la cantidad de agua de irrigación necesaria para compensar la pérdida por evaporación en un campo de 10 Ha. suponiendo un período de 9 horas de radiación a una temperatura media de 35 °C. ( $\lambda_{35^\circ C} = 578$  cal/g).

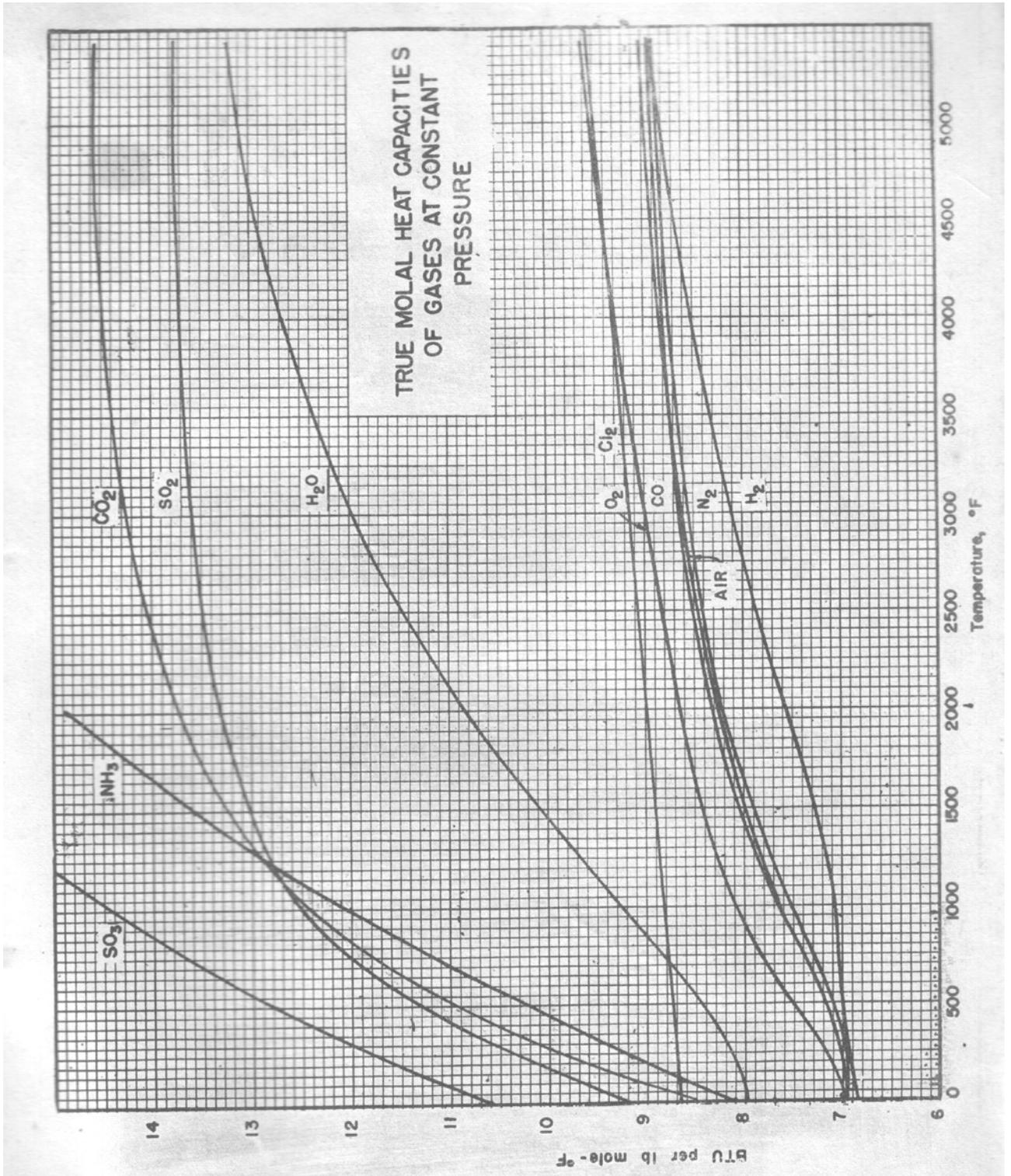
**☞ Problema N° 2.26:**

Un esquema de utilización de energía emplea un colector solar de 5 x 5 m ; en el espacio, para absorber la energía solar en celdas especiales que convierten la energía radiante en eléctrica que luego se transforma a microondas que se transmite a la Tierra. La eficiencia de las celdas es del 12%, el 88% restante se irradia al espacio. Calcular la capacidad de producción de potencia eléctrica.

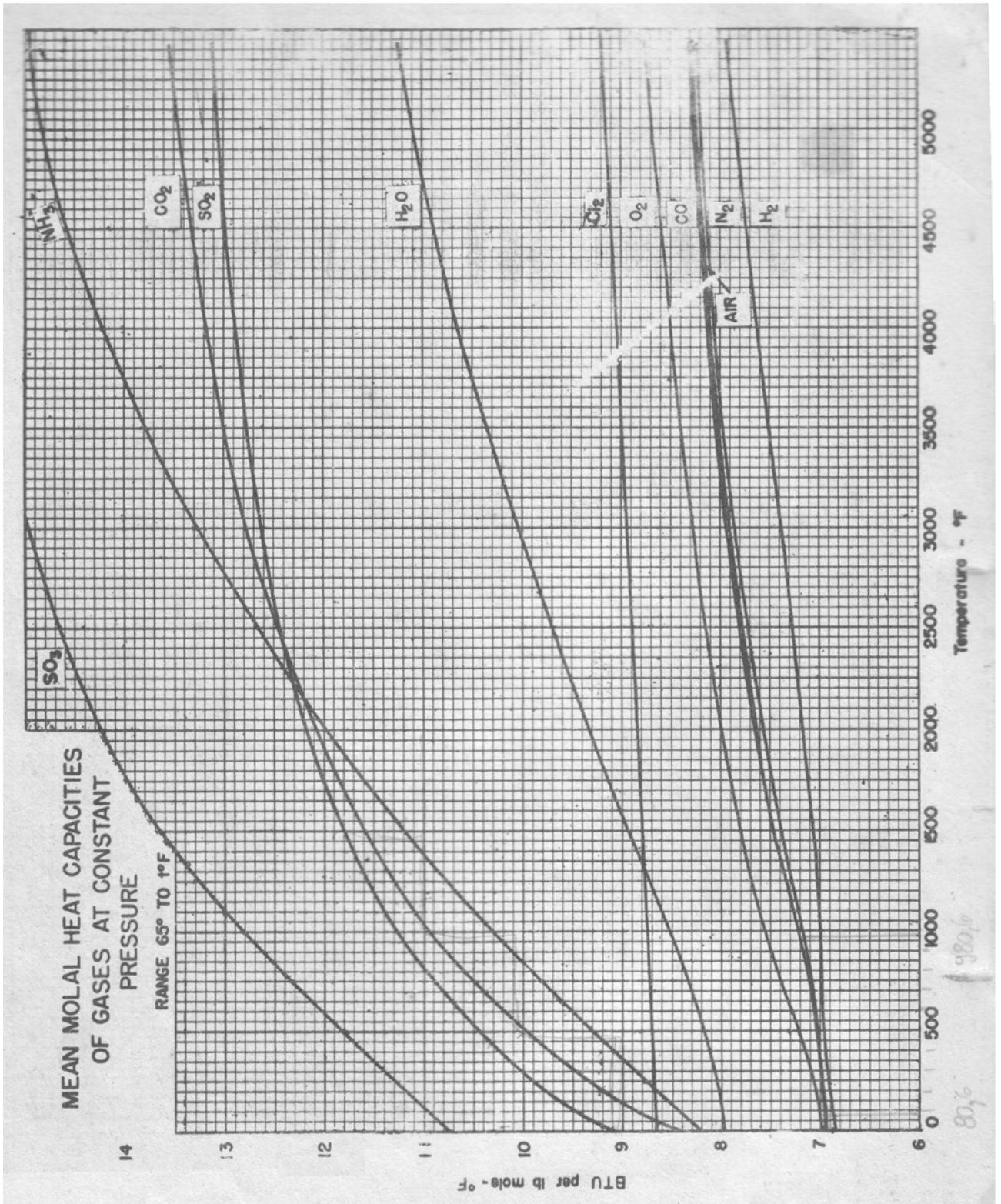
Constante Solar: Flujo de energía que llega al borde de la atmósfera:  $444.2 \text{ BTU/h ft}^2$

## APENDICE DEL CAPÍTULO II

### Gráficas de Cp verdadero y Cp medio



Gráfica extraída de Watson, Hougén, Ragatz. 1982. Principios De Los Procesos Químicos. Termodinámica. Ed. Reverté.



Gráfica extraída de Watson, Hougén, Ragatz. 1982. Principios De Los Procesos Químicos. Termodinámica. Ed. Reverté.

# Tema III

## TRABAJO Y PRIMER PRINCIPIO

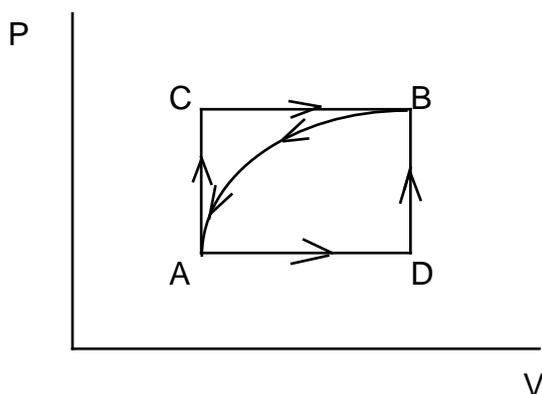
### ☺ Problema N° 3.1: RESUELTO

Cuando un sistema pasa del estado A al estado B a lo largo de la trayectoria ACB, absorbe un flujo calorífico de 20.000 calorías y realiza un trabajo de 7500 calorías.

a) Qué flujo calorífico absorbe el sistema a lo largo de la trayectoria ADB si el trabajo realizado es de 2500 calorías.

b) Cuando el sistema vuelve de B a A a lo largo de la trayectoria curva; el trabajo realizado sobre el sistema es de 5000 calorías. ¿Absorbe o libera calor el sistema, y en qué cantidad?

c) Si  $U_A=0$  y  $U_D=10.000$  calorías; calcúlese el calor absorbido por los procesos AD y DB.



### Solución

a)

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q_{AB} = U_B - U_A + W_{AB}$$

$$U_B - U_A = Q_{AB} - W_{AB} = 20000\text{cal} - 7500\text{cal} = 12500\text{cal}$$

$$Q_{ADB} = 15000\text{cal}$$

b)

Cuando el sistema vuelve de B a A, el trabajo es realizado sobre el sistema,  $W = -5000$  cal.

$$Q_{BA} = U_A - U_B + W_{BA}$$

$$Q_{BA} = -12500\text{cal} - 5000\text{cal} = -17500\text{cal}$$

Se liberan 17500 cal.

c)

$$U_D - U_A = 10000\text{cal}$$

$$Q_{DB} = U_B - U_D$$

$$U_B - U_A = 12500\text{cal} = (U_B - U_D) + (U_D - U_A)$$

$$(U_B - U_D) = 12500\text{cal} - (U_D - U_A) = 12500\text{cal} - 10000\text{cal} = 2500\text{cal}$$

$$Q_{DB} = 2500\text{cal}$$

$$Q_{ADB} = Q_{AD} + Q_{DB}$$

$$Q_{AD} = Q_{ADB} - Q_{DB} = 15000\text{cal} - 2500\text{cal} = 12500\text{cal}$$

$$Q_{AD} = 12500\text{cal}$$

### ☞ Problema N° 3.2:

Cinco libras de gas se comprimen politrópicamente desde una presión absoluta de 15 psia y 40°F hasta 83,5 psia. La constante R es igual a 50 ft<sup>3</sup>.lb/ft<sup>2</sup>.lb.°R y el c<sub>p</sub>=0,25 BTU/lb°F.

El exponente n = 1,3.

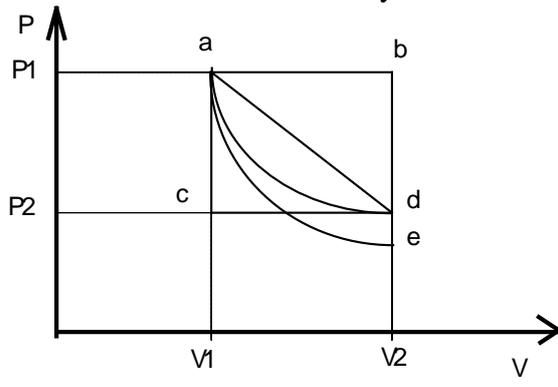
Calcular: V<sub>i</sub> (ft<sup>3</sup>), T<sub>f</sub>(°F) y W, ΔU, Q y ΔH expresados en ft<sup>3</sup>.psia.-

### ☞ Problema N° 3.3:

Las transformaciones de la figura se aplican a un gas ideal. El punto "a" tiene una temperatura de T<sub>a</sub>=300°K, P<sub>1</sub>=3 atm y V<sub>1</sub>=8 m<sup>3</sup>. La curva AD es una isoterma y V<sub>2</sub>=24 m<sup>3</sup>. La transformación AE es adiabática (γ = 1,4)

a) Hallar la temperatura correspondiente a los puntos B, C, y E.

b) Hallar el trabajo del gas en las cinco (5) transformaciones ABD, ACD, AED y en las transformaciones isotérmica y en la lineal AD.



☞ **Problema N° 3.4:**

Un gas ideal en el cual  $c_v=5/2R$  se lleva desde el punto A al B por tres caminos: ACB, ADB y AB. Sea  $P_2=2V_1$ . Calcular la cantidad de calor entregado al gas por mol en cada una de las transformaciones anteriores y expresar el resultado en función de R y  $T_a$ .

☞ **Problema N° 3.5:**

Si la ecuación de estado de un gas es:

$$\left( P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT$$

donde a y b son las constantes de Van der Waals. Calcular el trabajo de expansión por mol de gas cuando evoluciona desde un volumen de 10 litros hasta uno de 22,4 litros a  $0^\circ\text{C}$ .

$$a = 1,4 \cdot 10^{12} \text{ dinas.cm}^4/\text{mol}^2$$

$$b = 32 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

Expresar el trabajo en Joule/mol.

☞ **Problema N° 3.6:**

Se conoce el estado inicial de una evolución

$$P_1 = 2 \text{ atm.}$$

$$V_1 = 0,1 \text{ m}^3 = 100 \text{ l}$$

como así también el estado final

$$P_2 = 12 \text{ atm}$$

$$V_2 = 0,02 \text{ m}^3 = 20 \text{ l}$$

Determinar el exponente de la politrópica y trazar la evolución en un diagrama P-V con los siguientes datos intermedios (9 atm, 6 atm y 4 atm).

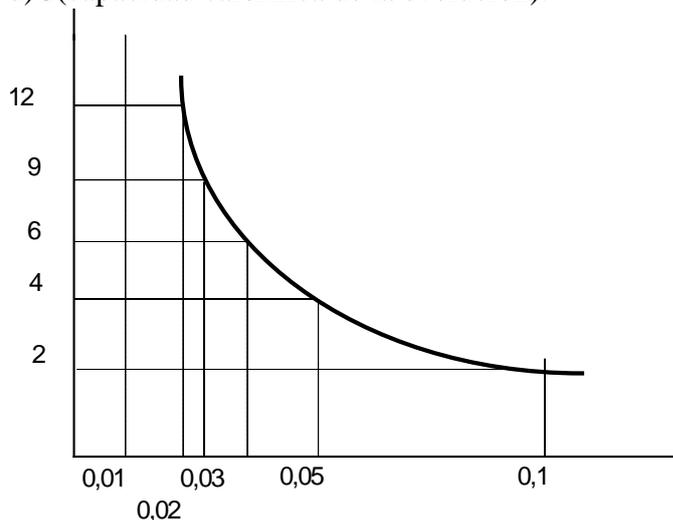
Considerar luego que la evolución anterior la cumple un gas biatómico y calcular:

a)  $\Delta U$

b)  $W_{\text{ext}}$

c) Q (intercambio térmico)

d) C (capacidad calorífica de la evolución).



☞ **Problema N° 3.7:**

Calcular  $\Delta H$  y  $\Delta U$  para un gas ideal que sufre un proceso desde un estado inicial de  $40^\circ\text{F}$  y  $10$  ata hasta  $140^\circ\text{F}$  y  $1$  ata.

El valor de  $c_p=7$  cal/grmol.  $^\circ\text{K}$ .

El  $\Delta H$  y el  $\Delta U$  deben ser calculados utilizando una evolución que una el estado inicial con el final en el diagrama P-V y deben ser dados en BTU/lbmol.

☞ **Problema N° 3.8:**

Para el Helio  $c_p/c_v=1,659$ . Si  $1000$  BTU se le suministran a  $2$  libras de este gas a volumen constante; siendo la temperatura inicial de  $100^\circ\text{F}$ , calcular:

- a) Temperatura final
- b)  $\Delta H$
- c)  $\Delta U$
- d)  $W$

☞ **Problema N° 3.9:**

Quince libras de nitrógeno evolucionan según los distintos procesos de la gráfica.

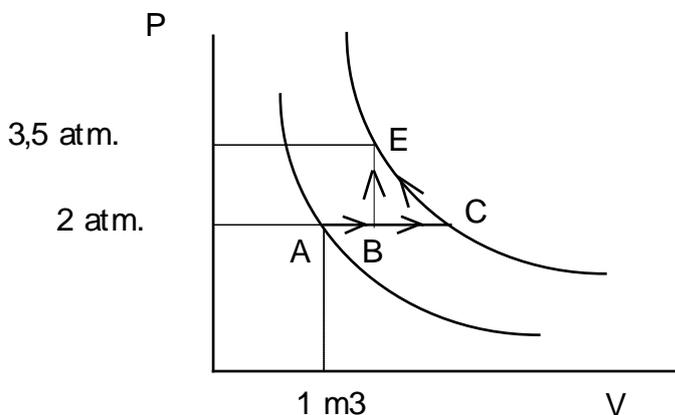
Si  $P_A = 2$  atm       $V_A = 1$  m<sup>3</sup>

$P_E = 3,5$  atm       $T_E = 351,3$  °K

Calcular:

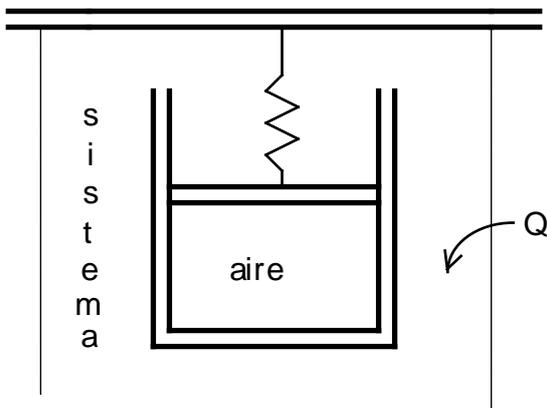
- a) La cantidad de calor involucrado en el proceso ABE
- b) La variación de entalpía en el proceso ABE
- c) Si el proceso fuese ABCE, cuál sería la variación de entalpía y energía interna en la porción CE del proceso.

Se puede suponer que el nitrógeno se comporta idealmente.



☞ **Problema N° 3.10:**

Un cilindro provisto de un pistón contiene aire. El área transversal es de  $4$  cm<sup>2</sup> y el volumen inicial es de  $20$  cm<sup>3</sup>. El aire se encuentra inicialmente a  $1$  atm y  $20^\circ\text{C}$ . Al pistón se conecta un resorte cuya constante de deformación es  $k_s= 100$  N/cm, el cual inicialmente no experimenta deformación. Cuánto calor debe adicionarse al aire para incrementar la presión a  $3$  atm. Para el aire  $c_v=0,1715$  BTU/lb.  $^\circ\text{F}$  y el aparato está rodeado de aire atmosférico.



☞ **Problema N° 3.11:**

A 320 g de  $O_2(g)$  a  $27^\circ C$  se le transfieren 47306,5 cal a presión constante de 1 ATA. Calcular:

- $\Delta U$
- W

☞ **Problema N° 3.12:**

Calcular Q, W,  $\Delta U$  y  $\Delta H$  para las siguientes transformaciones de 1 mol  $H_2O$ :

- La fusión de hielo a  $0^\circ C$  y 1 ata.
- El calentamiento reversible isobárico a 1 ata de  $H_2O(l)$  de  $0^\circ$  a  $100^\circ C$ .
- La vaporización a  $100^\circ C$  y 1 ata.

**Datos:**

$$l_{\text{Fusión}} = 80 \text{ cal/gr}$$

$$l_{\text{Vaporización}} = 540 \text{ cal/gr}$$

$$C_{pH_2O(l)} = 1 \text{ cal/gr}$$

$$r_{(s)0^\circ C} = 0,917 \text{ gr/cm}^3$$

$$r_{(l)0^\circ C} = 1,000 \text{ gr/cm}^3$$

$$r_{(l)100^\circ C} = 0,958 \text{ gr/cm}^3$$

☞ **Problema N° 3.13:**

5 moles de gas ideal se expanden isotérmicamente a  $300^\circ K$  desde 500 a  $1500 \text{ cm}^3$ . Calcular Q, W,  $\Delta U$  y  $\Delta H$  si la expansión fuese:

- Reversible
- Contra el vacío.

# Tema IV

## SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

### ☺ Problema N° 4.1: RESUELTO

288 gramos de aire a 27 °C y 1 ata contenidos en un recipiente rígido se calientan a 527 °C poniéndolos en contacto con un foco calorífico a 227 °C y posteriormente con un foco calorífico a 527 °C. Suponiendo que los gases se comportan idealmente y que no hay reacción química, calcular  $\Delta S_{\text{Univ.}}$ .

#### Datos

Aire: mezcla  $N_2 / O_2$  20% molar de  $O_2$

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3}T$
$O_{2(g)}$	$8,27 + 2,58 \cdot 10^{-4}T - \frac{187700}{T^2}$

#### Solución

$\Delta S_{\text{Sistema}}$ :

$$TdS = N \cdot C_v \cdot dT + P \cdot dV$$

$$dS_v = NC_v \frac{dT}{T}$$

$$n_{\text{AIRE}} = \frac{288}{28,8} = 10 \text{ moles}$$

$$\Delta S_{\text{Sistema}} = N_{N_2} \cdot \int_{300}^{800} (4,5 + 10^{-3} T) \frac{dT}{T} + N_{O_2} \cdot \int_{300}^{800} (6,27 + 2,58 \cdot 10^{-4} T - \frac{187700}{T^2}) \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S_{\text{Sistema}} = 8 \cdot \left[ 4,5 \cdot \ln \frac{800}{300} + 10^{-3} (800 - 300) \right] + 2 \cdot \left[ 6,27 + \ln \frac{800}{300} + 2,58 \cdot 10^{-4} (800 - 300) + \frac{187700}{2} \left( \frac{1}{800^2} - \frac{1}{300^2} \right) \right]$$

$$\Delta S_{\text{Sistema}} = 39,31 + 10,76 = 50,1 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$\Delta S_{\text{Focos}}$ :

$$\Delta S_{F_1} = \frac{- \left[ 8 \int_{300}^{800} (4,5 + 10^{-3} T) \frac{dT}{T} + 2 \int_{300}^{800} (6,27 + 2,58 \cdot 10^{-4} T - \frac{187700}{T^2}) \frac{dT}{T} \right]}{500}$$

$$\Delta S_{F_1} = \frac{1}{500} \left\{ -8 \left[ 4,5(500 - 300) + \frac{10^{-3}}{2} (500^2 - 300^2) \right] - 2 \left[ 6,27(500 - 300) + \frac{2,58 \cdot 10^{-4}}{2} (500^2 - 300^2) + 187700 \left( \frac{1}{500} - \frac{1}{300} \right) \right] \right\}$$

$$\Delta S_{F_1} = \frac{-7840 - 2048,75}{500} = -19,8 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{F_2} = \frac{1}{800} \left\{ -8 \left[ 4,5(800 - 500) + \frac{10^{-3}}{2} (800^2 - 500^2) \right] - 2 \left[ 6,27(800 - 500) + \frac{2,58 \cdot 10^{-4}}{2} (800^2 - 500^2) + 187700 \left( \frac{1}{800} - \frac{1}{500} \right) \right] \right\}$$

$$\Delta S_{F_2} = \frac{-12360 - 3581,1}{800} = -19,9 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{\text{Focos}} = \Delta S_{\text{Foco}_1} + \Delta S_{\text{Foco}_2} = -39,7 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{\text{Universo}} = \Delta S_{\text{Sistema}} + \Delta S_{\text{Focos}} = (50,1 - 39,7) \frac{\text{cal}}{\text{K}} = 10,4 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

### ☺ Problema N° 4.2: RESUELTO

2) 20 moles de aire a 27 °C y 1 ata evolucionan hasta 327 °C y 3 ata. Suponiendo comportamiento de gases ideales. Calcular:

a)  $\Delta U_{\text{Sistema}}$

b)  $\Delta S_{\text{Sistema}}$

#### Datos

Aire: mezcla N<sub>2</sub> / O<sub>2</sub> 20% molar de O<sub>2</sub>

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
N <sub>2(g)</sub>	6,5 + 10 <sup>-3</sup> T
O <sub>2(g)</sub>	6,72 - 8,79.10 <sup>-7</sup> T + 4,17.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>

### Solución

$\Delta U_{\text{Sistema}}$ :

$$\Delta U_{\text{Sistema}} = n_{N_2} \cdot \int_{300}^{600} C_{V_{N_2}} \cdot dT + n_{O_2} \cdot \int_{300}^{600} C_{V_{O_2}} \cdot dT$$

$$\Delta U_{\text{Sistema}} = 16 \cdot \int_{300}^{600} (4,5 + 10^{-3} \cdot T) dT + 4 \cdot \int_{300}^{600} (4,7 - 8,8 \cdot 10^{-7} + 4,2 \cdot 10^{-6} \cdot T^2) dT$$

$$\Delta U_{\text{Sistema}} = 16 \cdot \left( 4,5(600 - 300) + \frac{10^{-3}}{2} (600^2 - 300^2) \right) + 4 \cdot \left[ 4,7 \left( 600 - 300 - \frac{8,8 \cdot 10^{-7}}{2} (600^2 - 300^2) \right) + \frac{4,2 \cdot 10^{-6}}{3} (600^3 - 300^3) \right]$$

$$\Delta U_{\text{Sistema}} = 23760 + 6697,9 = 30467,9 \text{ cal}$$

$\Delta S_{\text{Sistema}}$ :

$$\Delta S_{S_i} = n_i \cdot \left[ \int C_{p_i} \frac{dT}{T} - R \cdot \ln \frac{p_f}{p_i} \right]; \quad p_{i_{N_2}} = 1 \text{ atm} \cdot 0,8 = 0,8; \quad p_{f_{N_2}} = 3 \text{ atm} \cdot 0,8 = 2,4$$

$$\Delta S_{N_2} = 16 \cdot \left[ \int_{300}^{600} (6,5 + 10^{-3} \cdot T) \frac{dT}{T} - 2 \cdot \ln \frac{2,4}{0,8} \right]$$

$$\Delta S_{N_2} = 16 \cdot \left( 6,5 \cdot \ln \frac{600}{300} + \frac{10^{-3}}{2} (600 - 300) \right) - 2 \ln 3 = 41,73 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{O_2} = 4 \cdot \left[ 6,7 \cdot \ln \frac{600}{300} - 8,8 \cdot 10^{-7} (600 - 300) + \frac{4,2 \cdot 10^{-6}}{2} (600^2 - 300^2) - 2 \ln 3 \right]$$

$$\Delta S_{O_2} = 12,05 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{\text{Sistema}} = \Delta S_{N_2} + \Delta S_{O_2} = (41,73 + 12,05) \frac{\text{cal}}{\text{K}} = 53,78 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

### ☺ Problema N° 4.3: RESUELTO

180 gramos de agua gaseosa a 2 ata y 477 °C se transforman en hielo a -10 °C y 1 ata. Suponiendo que la fase gaseosa se comporta idealmente, calcular:

- $\Delta H_{\text{Sistema}}$
- $\Delta S_{\text{Sistema}}$

### Datos

$$\lambda_{\text{fusión}}^{\text{lata}} = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

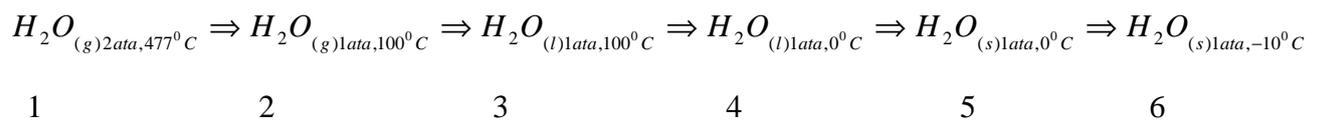
$$\lambda_{\text{vaporización}}^{\text{lata}} = 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$c_{p_{\text{H}_2\text{O}(s)}} = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_{p_{\text{H}_2\text{O}(l)}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_{p_{\text{H}_2\text{O}(g)}} = (8,22 + 1,5 \cdot 10^{-4} T + 1,34 \cdot 10^{-6} T^2) \frac{\text{cal}}{\text{molK}}$$

### Solución



### $\Delta S_{\text{Sistema}}$

$$\Delta S_{Si} = n_i \cdot \left[ \int C_{p_i} \frac{dT}{T} - R \cdot \ln \frac{p_f}{p_i} \right]$$

$$\Delta S_{12} = 10 \left[ \int_{750\text{K}}^{373\text{K}} (8,22 + 1,5 \cdot 10^{-4} T + 1,34 \cdot 10^{-6} T^2) \frac{dT}{T} - 2 \ln \frac{1}{2} \right]$$

$$\Delta S_{12} = 10 \cdot \left[ 8,22 \cdot \ln \frac{373}{750} + 1,5 \cdot 10^{-4} (373 - 750) + \frac{1,34 \cdot 10^{-6}}{2} (373^2 - 750^2) + 2 \ln 2 \right]$$

$$\Delta S_{12} = -46,95 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{23} = \Delta S_{\text{COND.}} = \frac{-m \cdot \lambda_{\text{VAP.}}}{T_{\text{VAP.}}} = \frac{-180\text{g} \cdot 540\text{cal/g}}{373\text{K}} = -260,59 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{34} = m \cdot \int C_{p_L} \frac{dT}{T} = 180\text{g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \ln \frac{273}{373} = -56,18 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{45} = \frac{-m \cdot \lambda_{\text{FUSIÓN}}}{T_{\text{FUSIÓN}}} = \frac{180\text{g} \cdot 80\text{cal/g}}{273\text{K}} = -52,75 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{56} = m \cdot \int C_{p_s} \frac{dT}{T} = 180\text{g} \cdot 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \ln \frac{263}{273} = -3,36 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{\text{H}_2\text{O}} = -419,83 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$\Delta H_{\text{Sistema}}$

$$\Delta H_{12} = N \int C_p dT = 10 \left[ 8,22(373 - 750) + \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{2} (373^2 - 750^2) + \frac{1,34 \cdot 10^{-6}}{3} (373^3 - 750^3) \right]$$

$$\Delta H_{12} = -32959,5 \text{ cal} = -32,96 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{23} = -m \cdot \lambda_{\text{VAP.}} = -180 \text{ g} \cdot 540 \text{ cal/g} = -97200 \text{ cal} = -97,2 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{34} = -m \cdot c_{pL} \cdot (273 - 373) = 180 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ \text{K}} \cdot -100 \text{ K} = -18000 \text{ cal} = -18 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{45} = -m \cdot \lambda_{\text{FUSIÓN}} = -180 \text{ g} \cdot 80 \text{ cal/g} = -14400 \text{ cal} = -14,4 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{56} = -m \cdot c_{pS} \cdot (263 - 273) = 180 \text{ g} \cdot 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ \text{K}} \cdot -10 \text{ K} = -900 \text{ cal} = -0,9 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{H_2O} = -163,46 \text{ Kcal}$$

## PARTE I. ENTROPÍA

### ☞ Problema N° 4.4:

Un motor eléctrico de 1 Kwatt acciona un agitador en un baño a 200°C durante tres horas. ¿Cuál es el cambio de entropía suponiendo que no haya pérdidas de calor y que la capacidad calorífica del baño es muy grande frente a la energía agregada?

**Caso:** Absorción de energía por un cuerpo a temperatura constante.

### ☞ Problema N° 4.5:

El n-hexano hierve a 68,7 °C y el calor de vaporización a presión constante es de 6896 calorías por mol a esta temperatura. ¿Cuál es el cambio de entropía por kilogramo de hexano?

**Caso:** Cambios de fase.

### ☞ Problema N° 4.6:

Calcular el cambio de entropía de 5 Kg de óxido ferroso que se enfrían reversiblemente desde 600°K a 300°K a la presión constante de 1 atm.

De J. Perry (pág.321) para el óxido ferroso entre 273°K y 1173°K es válida la ecuación:

$$C_p = 12,62 + 1,492 \cdot 10^{-3} T - 76200 T^{-2} \text{ cal/grmol} \cdot ^\circ \text{K}$$

**Caso:** Calentamiento o enfriamiento de un cuerpo sin reacción química.

### ☞ Problema N° 4.7:

Tres litros de agua a 100°C son mezclados con dos litros de agua a 20°C.

Hallar el cambio de entropía sabiendo que

$$C_p H_2O = 1 \text{ cal/gr} \cdot \text{K}$$

**Caso:** Mezcla isobárica de dos fluidos a distintas temperaturas.

☞ **Problema N° 4.8:**

Un recipiente rígido de 200 litros que contiene 1 Kg de monóxido de carbono es calentado desde 300°K hasta 400°K. Calcular la variación de entropía del gas suponiendo que se comporta idealmente.

☞ **Problema N° 4.9:**

Un gas contenido inicialmente en un recipiente de 1 litro a 27°C y 3 atm de presión, se expande libremente en forma adiabática hasta ocupar un volumen de tres litros. Calcular la variación de la entropía.

☞ **Problema N° 4.10:**

La capacidad calorífica del plomo entre 0°C y 300°C está dada por:

$$C_p = 5,29 + 2,8 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0,23 \cdot 10^{-5} / T^2$$

Calcular el cambio de entropía de 100 grs. de plomo enfriados desde 300°C a 0°C bajo la presión constante de 1 atm.

Del Physical Chemistry de Eggers, Gregory y Rabinovitch (pág. 214).

☞ **Problema N° 4.11:**

10 gramos de nitrógeno (N<sub>2</sub>)(presuma comportamiento ideal) se expanden libremente desde un volumen de un litro hasta un volumen de cinco litros a temperatura constante de 27°C. Calcular el cambio de entropía del:

- Nitrógeno
- Medio ambiente.

Del Physical Chemistry de Eggers, Gregory y Rabinovitch (pág. 214).

☞ **Problema N° 4.12:**

Cinco moles de un gas perfecto  $C_p = 7 \text{ cal/mol.K}$  se expanden adiabáticamente desde una presión de 10 atm. y una temperatura inicial de 127°C a una presión final de 5 atm. Calcular el cambio de entropía si:

- La expansión ocurre reversiblemente.
- La expansión es tal que 500 Julios de trabajo son hechos durante el proceso.

Del Physical Chemistry de Eggers, Gregory y Rabinovitch (pág. 214).

☞ **Problema N° 4.13:**

Establezca una ecuación integrada que muestre el cambio de entropía cuando 1 mol de gas cambia desde 27°C y 10 atm. de presión hasta 7°C y 1 atm. de presión si

$$\bar{C}_p = 7 + 0,005 \cdot T \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ \text{K}}$$

$$\bar{V} = \frac{R \cdot T}{P} + 0,05 \frac{\text{litro}}{\text{mol}}$$

Del Physical Chemistry de Eggers, Gregory y Rabinovitch (pág. 214).

**☞ Problema N° 4.14:**

Demuéstrese que la entropía de un gas perfecto de capacidades caloríficas constantes, puede expresarse como:

$$S = C_v \cdot \ln P + C_p \cdot \ln V + \text{constante}$$

**☞ Problema N° 4.15:**

Demostrar que la variación de entropía para un gas perfecto se puede calcular mediante la expresión (considerando  $C_p$  y  $C_v$  constantes):

$$S - S_0 = C_v \cdot \ln T/T_0 + R \cdot \ln V/V_0$$

**☞ Problema N° 4.16:**

Una masa  $m$  de un líquido a una temperatura  $T_1$  se mezcla con una masa igual del mismo líquido a una temperatura  $T_2$ . El sistema está aislado térmicamente. Demostrar que la variación de la entropía del universo es:

$$\Delta S_u = 2 \cdot m \cdot C_p \cdot \ln \frac{T_1 + T_2}{2 \cdot \sqrt{T_1 \cdot T_2}}$$

**☞ Problema N° 4.17:**

Un mol de oxígeno sufre una expansión libre desde un volumen de 5 litros hasta uno de 10 litros a temperatura constante.

- Cuál es el cambio de entropía del oxígeno?
- Cuál el del universo?
- Si la expansión se hubiera llevado a cabo reversiblemente, ¿Cuál hubiese sido el cambio de entropía del oxígeno y del universo?

Suponga comportamiento ideal.

**☞ Problema N° 4.18:**

Diez kilogramos de agua a  $20^\circ\text{C}$  se transforman en hielo a  $-10^\circ\text{C}$  a presión atmosférica constante. Supóngase que el calor específico del agua y del hielo a presión constante son constantes e iguales a  $4180 \text{ Julio/Kg.grado}$  y  $2090 \text{ Julio/Kg.grado}$  respectivamente.

El calor de fusión del hielo a presión atmosférica es  $3,34 \cdot 10^5 \text{ Julio/Kg}$ .

Hallar la variación de entropía del sistema.

**☞ Problema N° 4.19:**

Una resistencia de  $20 \text{ ohm}$  que conduce una corriente de  $10 \text{ A}$  es mantenida a  $27^\circ\text{C}$  por una corriente de agua fría, en el tiempo de un segundo.

- Cuál es el cambio de entropía de la resistencia?
- Cuál es el cambio de entropía del universo?

### ☞ Problema N° 4.20:

Una resistencia de 20 ohm térmicamente aislada, transporta una corriente de 10 A durante un segundo. La temperatura inicial de la resistencia es de 10°C, su masa de 5 gramos y su calor específico de 850 Julio/Kg.grado.

- Cuál es la variación de entropía de la resistencia?
- Cuál es la variación de entropía del universo?

### ☞ Problema N° 4.21:

Un kilogramo de agua a 0°C se pone en contacto con una gran fuente térmica a 100°C a presión atmosférica constante.

- Cuando el agua ha alcanzado 100°C. Cuál ha sido la variación de la entropía del agua, cuál la de la fuente térmica y cuál la del universo?
- Si el agua se hubiera calentado desde 0°C a 100°C poniéndola en contacto con un foco a 50°C y luego con otro a 100°C. Cuál habría sido la variación de entropía del universo?
- Explicar cómo se podría calentar de 0°C a 100°C sin variación de la entropía del universo?.

### ☞ Problema N° 4.22:

Un gas que cumple con la ecuación de estado:

$$P.V = n.R.T.(1 + B.P) \quad B = 2.10^{-3} \text{ atm}^{-1}$$

sufre la siguiente transformación:

- Expansión isobárica a 10 atm. desde  $T_i = 300 \text{ K}$  hasta  $T_f = 500 \text{ K}$ .
- Compresión isotérmica a  $T_f = 500^\circ\text{K}$  desde  $P_i = 10 \text{ atm}$ . hasta  $P_f = 100 \text{ atm}$ .

Calcular la variación de entropía de la transformación para cinco moles de dicho gas. El calor específico a presión constante viene expresado por:

$$C_p = 8 + 0,0003.T \text{ cal/mol.K}$$

Comparar los resultados con los que se obtendrían si se considerase gas ideal.

### ☞ Problema N° 4.23:

Se mezclan adiabáticamente y a presión de 1 atm. H<sub>2</sub>O a -5°C con H<sub>2</sub>O a 80°C obteniéndose 650 gr de H<sub>2</sub>O a 20°C.

Calcular:

- $\Delta H$  para c/u de las masas y para la mezcla.
- $\Delta S_{\text{MEZCLA}}$

como consecuencia de la mezcla.

**Datos:**

$$\bar{C}_{p_{\text{H}_2\text{O}(l)}} = 75,31 \frac{\text{Joule}}{\text{grmol}^\circ\text{C}}$$

$$\bar{C}_{p_{\text{H}_2\text{O}(s)}} = 37,65 \frac{\text{Joule}}{\text{grmol}^\circ\text{C}}$$

$$\Delta_{\text{FUSION}} = 6024,92 \text{ Joule/grmol}$$

## PARTE II. CICLOS TERMODINÁMICOS

### ☞ Problema N° 4.24:

Helio líquido hierve a alrededor de 4 K e hidrógeno líquido hierve a 20 K.

- Cuál es el rendimiento de un motor térmico reversible operando entre estos dos focos a estas temperaturas?
- Si queremos la misma eficiencia como en a) para una máquina con un foco frío a temperatura ordinaria (300 K). Cuál debe ser la temperatura del foco caliente?

Del Physical Chemistry de Castellan (pág. 151)

### ☞ Problema N° 4.25:

Una máquina de Carnot que funciona entre 482°C y 32°C produce un trabajo de 11000 Kg<sub>f</sub>.m.

Determinése:

- El calor suministrado.
- El cambio de entropía durante la expulsión del calor.
- El rendimiento térmico de la máquina.

Del Problemas de Termodinámica de Faires (pág. 34)

### ☞ Problema N° 4.26:

Actúa nitrógeno gaseoso en un ciclo de Carnot de potencia en el cual los volúmenes respectivos en sus cuatro esquinas seguidas partiendo de la expansión isotérmica son:  $V_1 = 0,0101$ ;  $V_2 = 0,0145$ ;  $V_3 = 0,2270$  y  $V_4 = 0,1580 \text{ m}^3$ . Cuál es el rendimiento térmico?

### ☞ Problema N° 4.27:

Un cuerpo de masa finita originalmente a temperatura  $T_1$  que es mayor que la temperatura de la fuente  $T_2$ .

Supóngase un motor operando en un ciclo entre el cuerpo y la fuente hasta bajar la temperatura del cuerpo de  $T_1$  a  $T_2$  extrayendo el calor  $Q$  del cuerpo. Si el trabajo generado por el motor es  $W$ , el mismo libera  $(Q - W)$  a la fuente  $T_2$ .

Aplicando el principio de la entropía, demostrar que el máximo trabajo obtenido es:

$$W_{\text{máx.}} = Q - T_2(S_1 - S_2)$$

donde  $S_1$  y  $S_2$  se refieren al cuerpo.

### ☞ Problema N° 4.28:

Un ciclo de Carnot en el cual el sistema consiste en un mol de gas ideal de volumen  $V$ , se lleva a cabo en la siguiente forma:

- Expansión isotérmica a 100°C hasta un volumen  $3V$ .
- Expansión adiabática hasta un volumen  $6V$ .
- Compresión isotérmica.
- Compresión adiabática hasta el estado inicial.

Determinar el trabajo ejecutado en cada una de las etapas isotérmicas y el rendimiento del ciclo. El gas es biatómico.

☞ **Problema N° 4.29:**

Cuál es el camino más efectivo para aumentar el rendimiento de una máquina de Carnot: Aumentar  $T_2$  manteniendo  $T_1$  fijo o disminuir  $T_1$  manteniendo  $T_2$  fijo?

☞ **Problema N° 4.30:**

Un inventor pretende haber descubierto un motor que absorbe 25000 Kcal a una temperatura de 400 K y cede 10000 Kcal a una temperatura de 200 K, suministrando 15 Kwatt.hr de trabajo mecánico.

¿Aconsejaría usted invertir dinero en lanzar este motor al mercado?

☞ **Problema N° 4.31:**

Una máquina frigorífica de rendimiento igual a la mitad de la correspondiente máquina frigorífica de Carnot, funciona entre dos fuentes de temperaturas que están a 200 K y 400 K. Si absorbe 600 Joule de la fuente fría. Cuánto calor entrega a la fuente caliente?

Del Termodinámica de Sears (pág. 115/N° 5).

☞ **Problema N° 4.32:**

Se han desarrollado ciclos de refrigeración para calentar edificios. Se absorbe calor de la tierra mediante un fluido que circula en cañerías empotradas, y se entrega calor a una temperatura más alta en el interior del edificio. Si se dispusiera de una máquina frigorífica de Carnot para esta operación funcionando entre una temperatura exterior de 0°C y una temperatura interior de 25°C, Cuántos Kwatt-hora de calor se entregan al edificio por cada Kwatt-hora de energía eléctrica necesaria para hacer funcionar la máquina frigorífica?

Del Termodinámica de Sears (pág. 115/N°7).

## PARTE III. COMPRESION Y EXPANSION DE SISTEMAS NO IDEALES

### Coeficientes de dilatación isobárica y de compresibilidad isotérmica

☞ **Problema N° 4.33:**

Calcular la variación de temperatura de una mol de mercurio cuando se aumenta isoentrópicamente la presión desde 0 a 1000 atm. La temperatura inicial es de 0°C.

$$\bar{C}_{p_{\text{Hg}}} = 6,7 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ \text{K}};$$

$$B = 1,78 \cdot 10^{-4} (\text{°K})^{-1}$$

$$\bar{V} = 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}$$

### ☞ Problema N° 4.34:

Si cuatro moles de mercurio se someten a un aumento de presión de 2000 atm. sabiendo que el proceso se lleva a cabo adiabáticamente y reversiblemente, calcular el incremento de entropía si la temperatura inicial es de 0°C.

$$\bar{C}_{\text{P}_{\text{Hg}}} = 28 \frac{\text{Joule}}{\text{mol.K}};$$

$$B = 1,78 \cdot 10^{-4} (\text{K})^{-1}$$

$$\bar{V} = 14,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}$$

## PARTE IV. FUNCIONES TRABAJO Y ENERGIA LIBRE

### ☞ Problema N° 4.35:

1) Se somete a un gas a una expansión libre desde 20 ata. y 298 K hasta 1 ata. Si se supone que el gas se comporta idealmente, calcular para un mol de dicho gas:

- a)  $\Delta U$
- b)  $\Delta H$
- c)  $\Delta S$
- d)  $\Delta A$
- e)  $\Delta G$

### ☞ Problema N° 4.36:

Un gas cumple con la ecuación de estado  $P.V = R.T(1 + B.P)$ , donde  $B = 2 \cdot 10^{-3} \text{atm}^{-1}$ . Calcular las variaciones de la función trabajo y energía libre para la compresión isotérmica de 1 grmol de dicho gas entre 10 y 100 atm. realizada a 300 K.

### ☞ Problema N° 4.37:

Calcular el incremento de A y G en la compresión isotérmica de 1 Kg de vapor de agua a 43°C desde 0,049 atm. hasta 10,55 atm. Considerar que el vapor se comporta idealmente.

### ☞ Problema N° 4.38:

Una mol de vapor se comprime reversiblemente hasta agua líquida en el punto de ebullición, 100°C. El calor de vaporización del agua a 100°C y 760 mm Hg es de 539,7 cal/gr. Calcular W, Q y cada una de las cantidades termodinámicas  $\Delta U$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta A$ ,  $\Delta G$ .

**Dato:** Según el Manual del Ingeniero Químico de Jhon H. Perry; pág.413 a 100°C:

$$V_{\text{líqu.}} = 0,001044 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$V_{\text{vap.}} = 1,67 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Del: Fisicoquímica de Daniels y Alberty (pág. 128).

☞ **Problema N° 4.39:**

Una mol de un gas ideal a 27°C se expande isotérmica y reversiblemente de 10 atm. hasta 1 atm. contra una presión que se reduce gradualmente. Calcular Q, W y cada una de las cantidades termodinámicas  $\Delta U$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta A$ ,  $\Delta G$ .

Cuáles serían los valores de las propiedades ya calculadas si en el recipiente se hubiera hecho el vacío de manera que el gas se expande desde 2,462 litros hasta 24,62 litros. Es un proceso isotérmico pero no reversible.

Del: Físicoquímica de Daniels y Alberty (pág. 128).

☞ **Problema N° 4.40:**

Un litro de un gas ideal a 300 K, tiene una presión inicial de 15 atm. y se le hace expandir isotérmicamente hasta un volumen de 10 litros. Calcular:

- El trabajo máximo que puede obtenerse de esta expansión,
- $\Delta U$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta A$ ,  $\Delta G$ .

## PROBLEMAS COMBINADOS DE PRIMER Y SEGUNDO PRINCIPIO

☞ **Problema N° 4.41:**

$N_2$  a 2 atm y  $\rho = 1,3658$  g/lt experimenta las siguientes transformaciones consecutivas:

- Compresión adiabática hasta 599 °C
- Expansión politrópica hasta 3,5 atm y 163 °C
- Expansión lineal P-V hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento ideal, calcular por mol de gas:

- W
- $\Delta S$

para cada transformación.

☞ **Problema N° 4.42:**

160 g de  $O_2$  a 1 ata y 27 °C experimentan las siguientes transformaciones que conforman un ciclo:

- Compresión lineal P-V según  $P = -0,012V + 2,493$  (P =atm, V =lts) hasta  $P = 2$  atm.
- Compresión politrópica hasta 4 ata.
- Expansión isotérmica hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento ideal, calcular para cada transformación:

- W
- $\Delta S$

3) 340 g de  $NH_3$  en su punto de fusión normal alcanzan isobáricamente el equilibrio termodinámico con un foco calorífico a 127 °C.

Calcular:

- $\Delta H$
- $\Delta S_U$

### Datos

A 1 atm:

$$T_{\text{Fusión}} = -77,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Ebullición}} = -33,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda_{\text{Fusión}} = 1352 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$\lambda_{\text{Vaporización}} = 5581 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$Cp_{(L)} = 1,5 \frac{\text{Cal}}{\text{g } ^{\circ}\text{C}}$$

$$Cp_{(G)} = 6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T \left( \frac{\text{Cal}}{\text{mol.K}} \right)$$

### ☞ Problema N° 4.43:

1357 cm<sup>3</sup> de un gas a 100,5 ata y -121,8 °C evolucionan de acuerdo a las siguientes transformaciones consecutivas:

I) Calentamiento isobárico hasta -71,4 °C

II) Expansión isotérmica hasta 33,5 atm.

Calcular para la evolución el Q<sub>int</sub>.

### Datos

$$P_c = 33,5 \text{ ata}$$

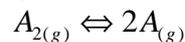
$$T_c = -147 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Cp^* = 6,5 + 10^{-3} T \left( \frac{\text{Cal}}{\text{mol.K}} \right)$$

### ☞ Problema N° 4.44:

Una mezcla de A<sub>2(g)</sub> y A<sub>(g)</sub> tiene una ρ = 2,0325 g/lit a 1 ata y 27 °C, cuando alcanza el equilibrio isotérmicamente la presión es de 2 ata.

Calcular a qué temperatura el grado de reacción se incrementará en un 20% partiendo de iguales condiciones iniciales si la presión de equilibrio es de 3 ata para la reacción



### Datos

$$\Delta S_r^0 \Big|_{300K} = 5,685 \frac{\text{Cal}}{\text{molK}}$$

$$\Delta h_r^0 \Big|_{300K} = 1117,2 \frac{\text{Cal}}{\text{molK}}$$

$$\bar{C}p_{A_2} = 7 \frac{\text{Cal}}{\text{molK}}$$

$$\bar{C}p_A = 3,5 \frac{\text{Cal}}{\text{molK}}$$

$$M_{M_{A_2}} = 60$$

☞ **Problema N° 4.45:**

60 lts de  $N_2$  a 1 ata y  $27^{\circ}C$  evolucionan de acuerdo a las siguientes transformaciones:

- I) Calentamiento isocórico hasta 2 ata,
- II) Expansión lineal P-V hasta  $177^{\circ}C$  y 0,75 ata,
- III) Compresión politrópica hasta el estado inicial.

Calcular:

- a)  $W_{neto}$
- b)  $\Delta S$

Suponer comportamiento ideal.

**Datos**

$$C_{pN_2} = 6,5 + 10^{-3}T \left( \frac{Cal}{mol.K} \right)$$

☞ **Problema N° 4.46:**

20 moles de aire a  $27^{\circ}C$  y 1 ata evolucionan hasta  $327^{\circ}C$  y 3 ata. Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular:

- a)  $\Delta U_{SIST.}$
- b)  $\Delta S_{SIST.}$

**Datos**

Aire: mezcla  $N_2 / O_2$  20% molar de  $O_2$

	$C_p$ ( $Cal.mol^{-1}.K^{-1}$ )
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3}T$
$O_{2(g)}$	$6,72 - 8,79.10^{-7}T + 4,17.10^{-6}T^2$

☞ **Problema N° 4.47:**

Para la transformación de 90 g de  $H_2O_{(l,100^{\circ}C,1ata)} \rightarrow H_2O_{(g,527^{\circ}C,2ata)}$ .

Calcular  $\Delta S_{Sistema}$  y  $\Delta S_{Medio Ambiente}$  si la transformación se lleva a cabo:

- a) Reversiblemente
- b) Colocando el sistema en un recipiente rígido en contacto con un foco calorífico a  $627^{\circ}C$ .

**Datos**

$$\Delta H_{vap}^{1ata} = 9729 \frac{cal}{mol}$$

	$C_p$ ( $Cal.mol^{-1}.K^{-1}$ )
$H_2O_{(g)}$	$8,22 + 1,5.10^{-4}T + 1,34.10^{-6}T^2$

Suponer que la fase gaseosa se comporta idealmente.

**☞ Problema N° 4.48:**

Un recipiente aislado y rígido se encuentra dividido por un tabique en dos compartimientos.

Uno de ellos contiene 5 moles de un gas a  $27^{\circ}\text{C}$  y 2 ata cuyo  $C_p = 7 + 2 \cdot 10^{-2} T \left( \frac{\text{cal}}{\text{mol.K}} \right)$ . El

otro compartimiento contiene 3 moles de un gas de  $C_p = 5 + 4 \cdot 10^{-2} T \left( \frac{\text{cal}}{\text{mol.K}} \right)$  a  $627^{\circ}\text{C}$  y 2

ata. Posteriormente se elimina el tabique permitiendo que se alcance el equilibrio termodinámico.

Calcular:

a)  $\Delta H_M$

b)  $\Delta S_M$

Suponer comportamiento de gases ideales.

**☞ Problema N° 4.49:**

280 g de  $\text{N}_2$  a 2 ata y con  $\rho = 1,3658$  g/lit experimentan las siguientes transformaciones consecutivas que conforman un ciclo reversible:

I) Compresión adiabática hasta  $599^{\circ}\text{C}$ ,

II) Expansión politrópica hasta 3,5 ata y  $163^{\circ}\text{C}$ ,

III) Expansión lineal P-V hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento de gas ideal, calcular:

a) W

b)  $\Delta S$  para cada transformación

**☞ Problema N° 4.50:**

160 g de  $\text{O}_2$  a 1 ata y  $27^{\circ}\text{C}$  experimentan las siguientes transformaciones que conforman un ciclo:

I) Compresión lineal P-V según  $P = -0,012V + 2,493$  ( $P = \text{ata}$ ;  $V = \text{lt}$ ) hasta  $P = 2$  ata,

II) Compresión politrópica hasta 4 ata,

III) Expansión isotérmica hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento de gas ideal, calcular para cada transformación:

a) W

b)  $\Delta S$

**☞ Problema N° 4.51:**

Un recipiente rígido aislado adiabáticamente se encuentra dividido en dos compartimientos por un tabique de espesor despreciable. En uno de ellos se encuentran 5 moles de un gas de  $C_p = 7 + 0,1 \cdot T$  cal/mol.K a  $127^{\circ}\text{C}$  y 1 ata. En el otro compartimiento se encuentran 2 moles de un gas de  $C_p = 5 + 0,01 \cdot T$  a  $527^{\circ}\text{C}$  y 2 ata.

Calcular la variación de entropía del universo si se elimina el tabique que divide al recipiente.

**☞ Problema N° 4.52:**

10 moles de aire a  $27^{\circ}\text{C}$  y 1 ata contenidos en un recipiente rígido se calientan a  $527^{\circ}\text{C}$  poniéndolos en contacto con un foco calorífico a  $227^{\circ}\text{C}$  y posteriormente con un foco calorífico a  $527^{\circ}\text{C}$ . Suponiendo que los gases se comportan idealmente y que no hay reacción química, calcular  $\Delta S_{\text{Univ.}}$ .

## Datos

Aire: mezcla  $O_2 / N_2$  80% molar de  $N_2$

	$C_p$ ( $\text{Cal.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3}T$
$O_{2(g)}$	$8,27 + 2,58.10^{-4}T - \frac{187700}{T^2}$

### ☞ Problema N° 4.53:

56 gramos de  $N_{2(g)}$  a  $-23^\circ\text{C}$  y 1 ata experimentan las siguientes transformaciones consecutivas que conforman un ciclo:

I) Compresión politrópica hasta 3 ata y  $102^\circ\text{C}$ ,

II) Expansión lineal P – V hasta 82 lts,

III) Compresión politrópica con  $C_e = \frac{C_p + C_u}{2}$

Suponiendo que el gas se comporta idealmente, calcular para cada transformación:

- W
- $\Delta S$

### ☞ Problema N° 4.54:

123 litros de  $N_{2(g)}$  a 1 ata y  $27^\circ\text{C}$  experimentan las siguientes transformaciones que conforman un ciclo:

I) Compresión lineal P – V hasta  $-75^\circ\text{C}$  y 2 ata,

II) Compresión politrópica hasta 4 ata,

III) Expansión isotérmica hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento de gas ideal, calcular para cada transformación:

- W
- $\Delta S$

### ☞ Problema N° 4.55:

280 g de  $N_{2(g)}$  a 1 ata y  $27^\circ\text{C}$  experimentan las siguientes transformaciones consecutivas:

a) Compresión isoentrópica hasta  $327^\circ\text{C}$ ,

b) Expansión isotérmica reversible hasta 2 ata,

c) Expansión isoentrópica hasta  $27^\circ\text{C}$ ,

d) Compresión isotérmica reversible hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento ideal, calcular para cada transformación:

- Sus estados inicial y final,
- W
- $\Delta S$

☞ **Problema N° 4.56:**

5 moles de un gas ideal biatómico ocupan un volumen de 123 litros a 1 atm, al recibir 4,5 kcal, evolucionan politrópicamente hasta 327 °C. Calcular:

- W
- $\Delta S_{\text{Sistema}}$

☞ **Problema N° 4.57:**

Un sistema compuesto por 750 g de agua en equilibrio termodinámico con un foco calorífico a 150 °C se obtuvo por mezcla de dos porciones de dicha sustancia a – 20 °C y a 10 °C, respectivamente. Verificándose que el sistema absorbió 516,15 kcal del foco al alcanzar isobáricamente a 1 ata el equilibrio.

Calcular  $\Delta S_U$  como consecuencia de la mencionada transformación.

**Datos**

$$\lambda_{\text{Fusión}} = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$\lambda_{\text{Vaporización}} = 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$\bar{C}p_{\text{H}_2\text{O}_{(s)}} = 0,48 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

$$\bar{C}p_{\text{H}_2\text{O}_{(g)}} = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

☞ **Problema N° 4.58:**

Un recipiente aislado adiabáticamente se encuentra dividido en dos compartimientos por un pistón adiabático. Uno de ellos contiene 5 moles de un gas biatómico inicialmente a 1 ata y 77 °C.

En tanto que en el otro compartimiento 2,5 moles de un gas biatómico inicialmente a 1 ata y 27 °C, se ha dispuesto una resistencia eléctrica a los efectos de transferir calor, cumplimentado esto, el volumen de este compartimiento es 133,25 litros.

Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular:

- $W_{\text{intercambiado}}$
- $\Delta S$  para cada uno de los gases.

☞ **Problema N° 4.59:**

140 gramos de  $\text{N}_2$  a 2 ata y 527 °C evolucionan según las siguientes transformaciones consecutivas conformando un ciclo:

- Compresión politrópica hasta 4 ata y 127 °C,
- Transformación lineal P – V hasta 3 ata y 327 °C,
- Transformación lineal P – V hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento de gas ideal, calcular para cada transformación y para el ciclo:

- W
- $\Delta S$

#### ☞ Problema N° 4.60:

Un recipiente rígido de 20 litros se encuentra dividido por una pared de espesor despreciable en dos compartimientos. Uno de ellos contiene 12,3 litros a 300 K de un gas de  $C_p = 5 + 4 \cdot 10^{-2} T$  (cal/mol.K). En el otro recipiente se encuentra un gas a 700 K cuyo  $C_p = 7 + 2 \cdot 10^{-2} T$  (cal/mol.K). Eliminada la pared que los separa la presión es de 1,45 ata a 442,3 K. Calcular  $\Delta S_M$ .

#### ☞ Problema N° 4.61:

Una muestra de nitrógeno gaseoso inicialmente a 27 °C y  $\rho = 2,2764$  g/lit experimenta las siguientes transformaciones consecutivas:

- Evolución politrópica hasta 327 °C y  $\rho = 4,5528$  g/lit,
- Evolución adiabática hasta una  $\rho = 2,7750$  g/lit,
- Evolución según una relación lineal P – V hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento de gas ideal, calcular para cada transformación el trabajo y la variación de entropía por mol de gas que evoluciona.

#### ☞ Problema N° 4.62:

Un recipiente adiabático y rígido de 17 litros se encuentra dividido en dos compartimientos por una pared de espesor despreciable. Uno de los compartimientos contiene 0,5 moles de un gas a 1 ata y  $C_p = 7 + 10^{-2} T$  (cal/mol.K) en tanto que el otro contiene 0,3 moles de otro gas a 2 ata y  $C_p = 5 + 2 \cdot 10^{-2} T$  (cal/mol.K). Cuando se elimina la pared que separa los compartimientos la temperatura de la mezcla es de 70 °C.

Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular la variación de entropía como consecuencia de la mezcla.

#### ☞ Problema N° 4.63:

255 g de  $\text{NH}_3$  (s) en su punto de fusión normal al alcanzar isobáricamente el equilibrio termodinámico con un foco calorífico absorben 180 kcal.

Calcular la variación de entropía del universo.

#### Datos

$$\lambda_{\text{Fusión}} = 1352 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$\lambda_{\text{Vaporización}} = 5581 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$t_{\text{ebullición}} = -33,4^\circ \text{C}$$

$$t_{\text{fusión}} = -77,7^\circ \text{C}$$

$$\bar{C}_{p(L)} = 1,05 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ \text{C}}$$

$$\bar{C}_{p(G)} = 6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T \frac{\text{cal}}{\text{molK}}$$

☞ **Problema N° 4.64:**

1,2 moles de  $N_{2(g)}$  a 1 ata y 30 lts experimentan las siguientes transformaciones consecutivas que conforman un ciclo:

- Compresión adiabática hasta 4 ata,
- Expansión isotérmica hasta un volumen de 15 lts,
- Transformación lineal P – V hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento ideal, calcular en cada transformación:

- W
- $\Delta S$

☞ **Problema N° 4.65:**

Un sistema compuesto por 357 g de  $NH_3$  a  $-73\text{ }^{\circ}C$  y 1 ata se pone en contacto con un foco calorífico alcanzado isobáricamente el equilibrio cuando el foco le ha transferido 209.186 calorías al sistema. Calcular  $\Delta S_U$ .

**Datos**

$$\lambda_{Fusión} = 1352 \frac{cal}{mol}$$

$$\lambda_{Vaporización} = 5581 \frac{cal}{mol}$$

$$t_{ebullición} = -33,4\text{ }^{\circ}C$$

$$t_{fusión} = -77,7\text{ }^{\circ}C$$

$$\bar{C}_{p(L)} = 1,05 \frac{cal}{g\text{ }^{\circ}C}$$

$$\bar{C}_{p(G)} = 6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T \frac{cal}{molK}$$

☞ **Problema N° 4.66:**

65,6 litros de  $N_{2(g)}$  a  $127\text{ }^{\circ}C$  y 5 ata evolucionan de acuerdo a las siguientes transformaciones consecutivas:

- Expansión isotérmica hasta 3 ata,
- Expansión adiabática hasta  $27\text{ }^{\circ}C$ ,
- Compresión lineal P – V hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento de gas ideal, calcular en cada transformación:

- W
- $\Delta S$

☞ **Problema N° 4.67:**

40 litros de  $N_2$  a 2 ata y  $27\text{ }^{\circ}C$  experimentan las siguientes transformaciones:

- Compresión adiabática hasta  $127\text{ }^{\circ}C$ ,
- Expansión isotérmica hasta 30 litros,
- Expansión lineal P – V hasta el estado inicial.

Suponiendo comportamiento de gas ideal, calcular para cada transformación:

- W
- $\Delta S$

# Tema V

## CÁLCULO CON GASES REALES. CORRECCIÓN DE PROPIEDADES

### ☞ Problema N° 5.1:

20 litros de  $N_2$  a  $100^\circ C$  y 40 atm. son comprimidos hasta 80 atm. y enfriados a  $-80^\circ C$ .

Calcular el volúmen final haciendo uso del diagrama generalizado.

De Perry, pág. 291 obtenemos las ctes. críticas para el  $N_2$ .

$$P_c = 33,5 \text{ atm.}$$

$$T_c = -147,1^\circ C = 126,06 \text{ K.}$$

### ☞ Problema N° 5.2:

Cloruro de metilo para uso en refrigeradores domésticos se envasa en pequeños cilindros de  $0,15 \text{ ft}^3$ .

Calcular el peso de  $ClCH_3$  gaseoso contenido en el cilindro si la presión es 68 psia y la temperatura es  $68^\circ F$ .

Usar el método del factor de compresibilidad.

De Perry, pág. 293:

$$T_c = 143,1^\circ C = 416,26 \text{ K}$$

$$P_c = 65,8 \text{ atm.}$$

### ☞ Problema N° 5.3:

Usando gráficos generalizados para Z determinar el volúmen específico del  $H_2$  a 5000 psia y  $80^\circ F$ .

De Perry, pág. 292:

$$T_c = -239,9^\circ C$$

$$P_c = 12,8 \text{ atm.}$$

### ☞ Problema N° 5.4:

Calcúlese la presión que existe en un cilindro que posee un volúmen de 360 lts. y contiene 70 Kgr de anhídrido carbónico a  $62^\circ C$ .

$$T_c = 304,2^\circ K$$

$$P_c = 72,9 \text{ atm.}$$

$$PM = 44 \text{ gr/grmol.}$$

## CÁLCULO DEL VOLÚMEN POR DIAGRAMA GENERALIZADO

### ☞ Problema N° 5.5:

Usando graficos generalizados del factor de compresibilidad, determinar el volumen específico en cc/gr del H<sub>2</sub> a la presión de 250 atm. y 40°C.

S/Tablas p/H<sub>2</sub>:

$$T_c = 33,1 \text{ K} + 8 \text{ K}$$

$$P_c = 12,8 \text{ atm.}$$

## CÁLCULO DE LA PRESIÓN POR DIAGRAMA GENERALIZADO

### ☞ Problema N° 5.6:

Calcular la presión necesaria para comprimir 75 lts. de N<sub>2</sub> que están a 10 atm y 25°C hasta 900 cc. y -100°C.

### ☞ Problema N° 5.7:

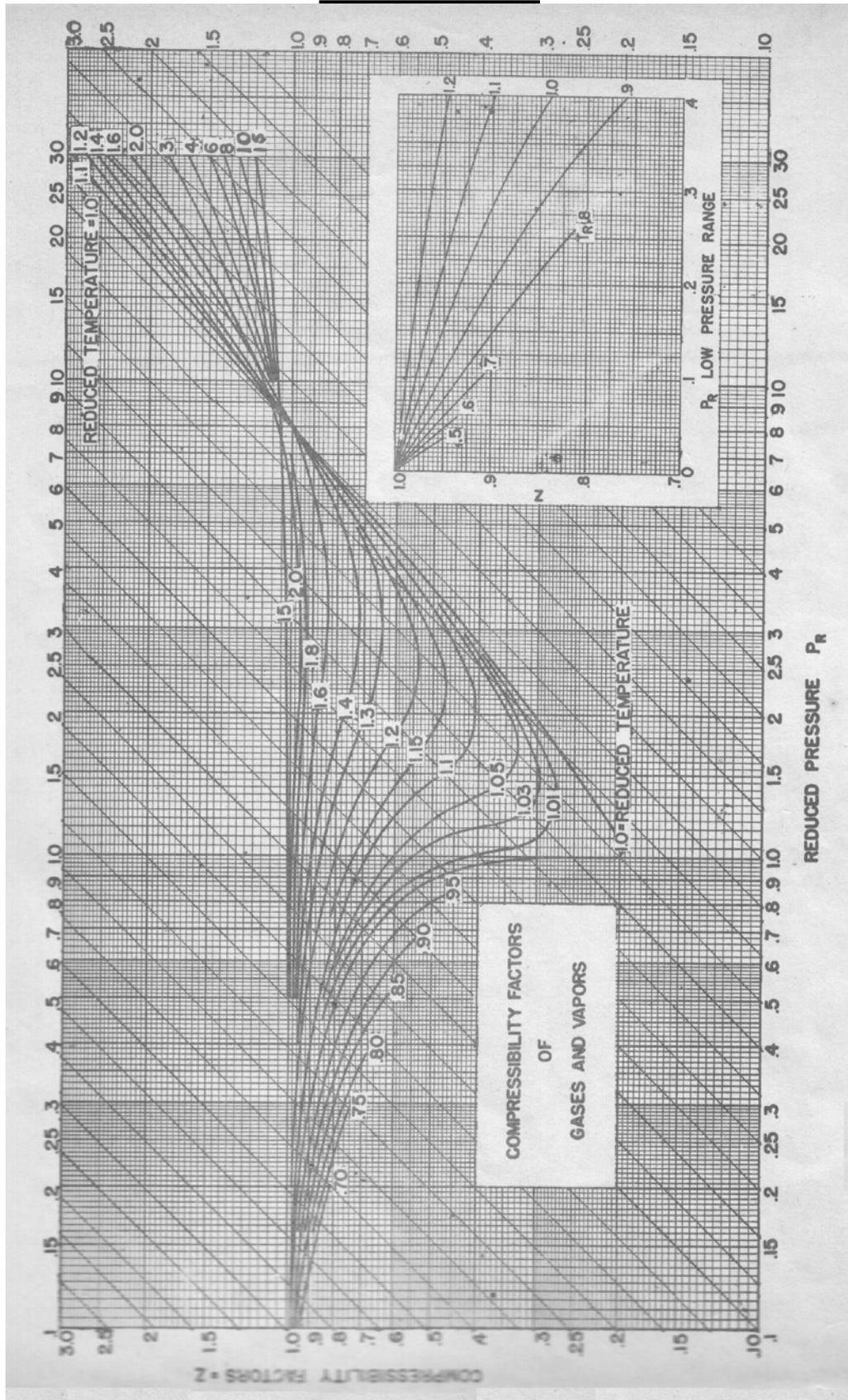
La entropía absoluta del CO<sub>2</sub> en un estado ideal a 25°C y 1 atm. es de 51,06 cal/grmol.K.

Para la temperatura de 40°C y 50 atm. Calcular la entropía absoluta; la entalpía y la capacidad calorífica usando métodos generalizados.

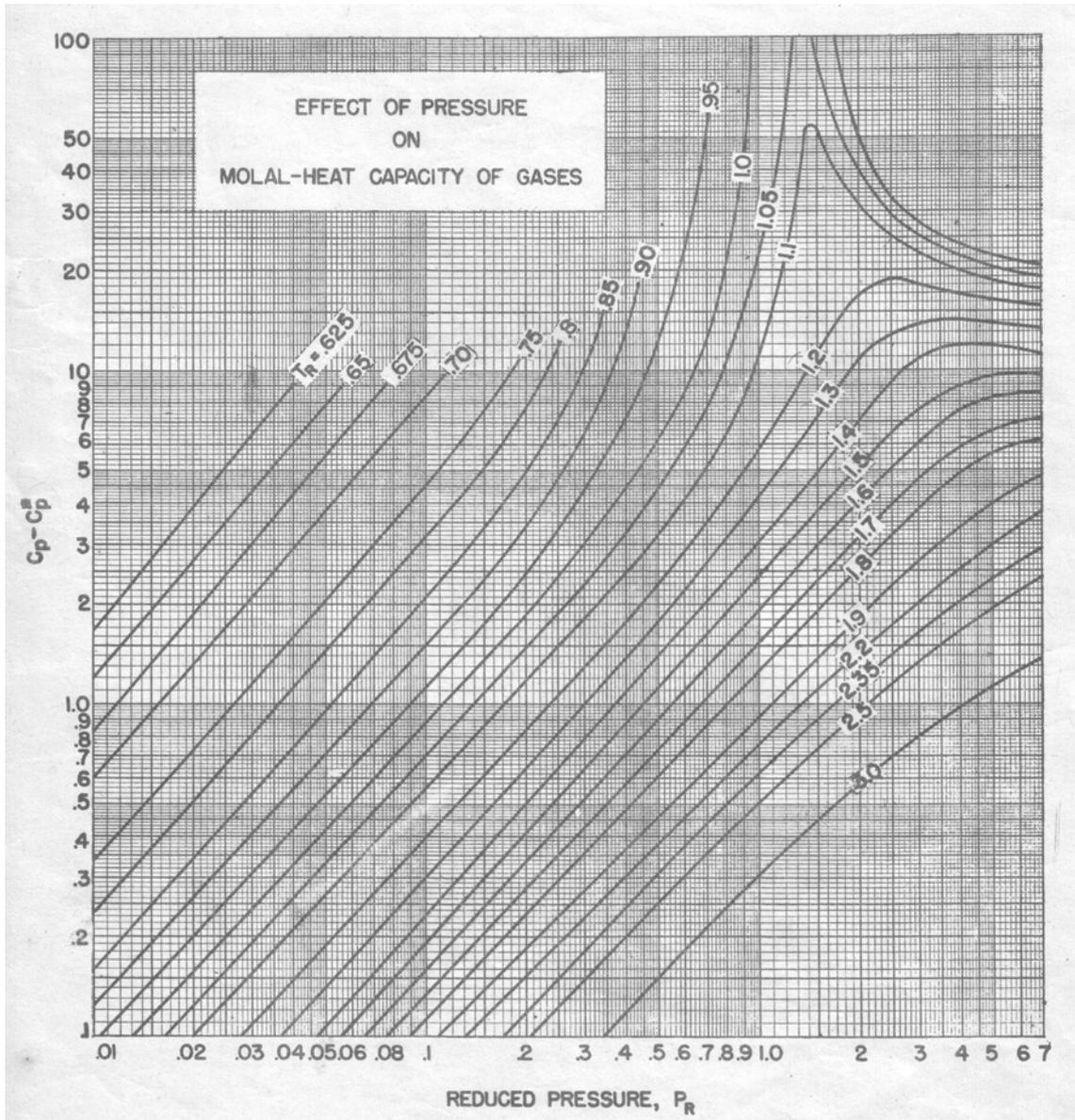
$h_0 = 0$  a 25°C y 1 atm.

## APENDICE DEL CAPÍTULO V

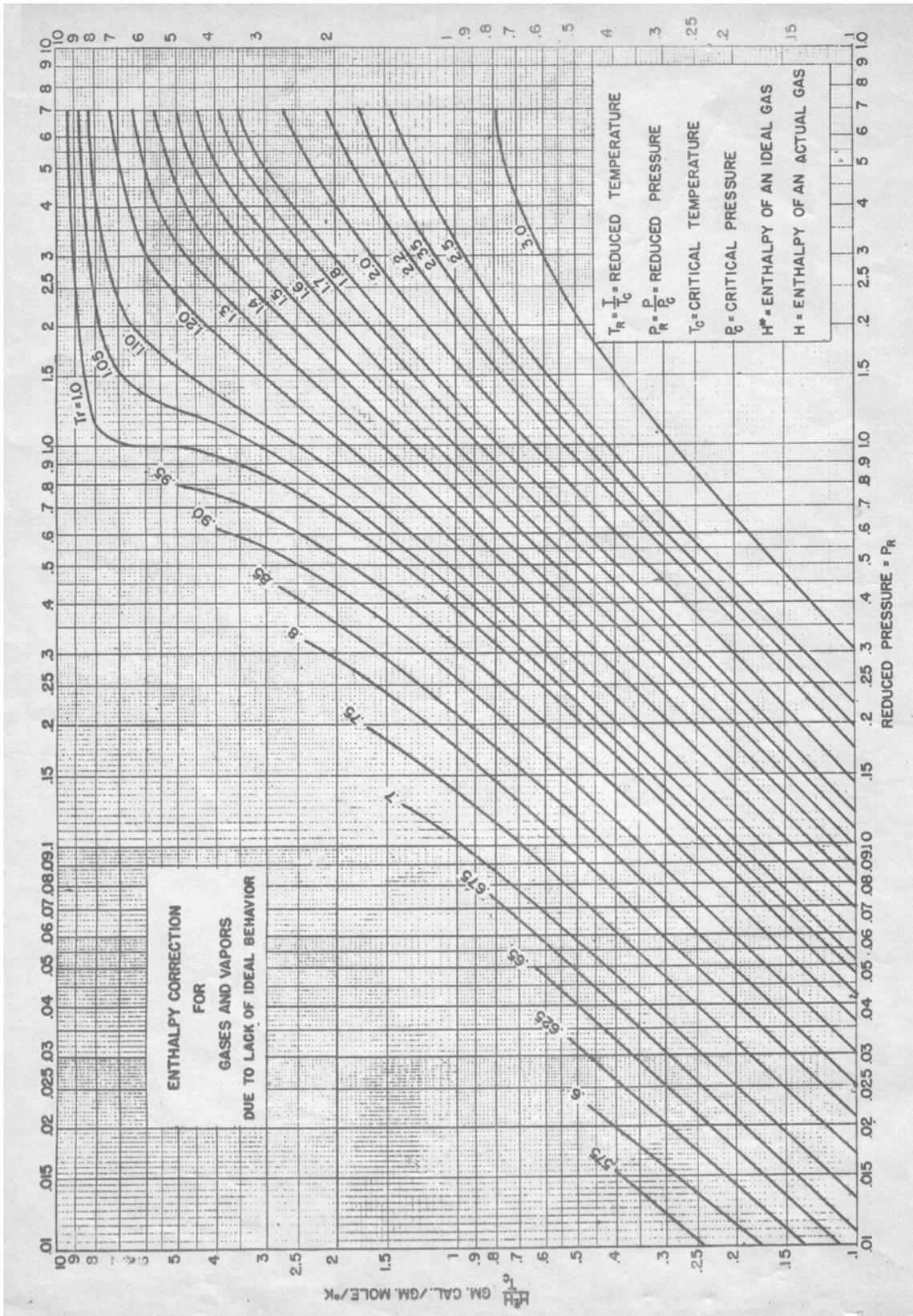
### Gráficas de determinación del factor de compresibilidad, Cp, H y S en función de variables reducidas



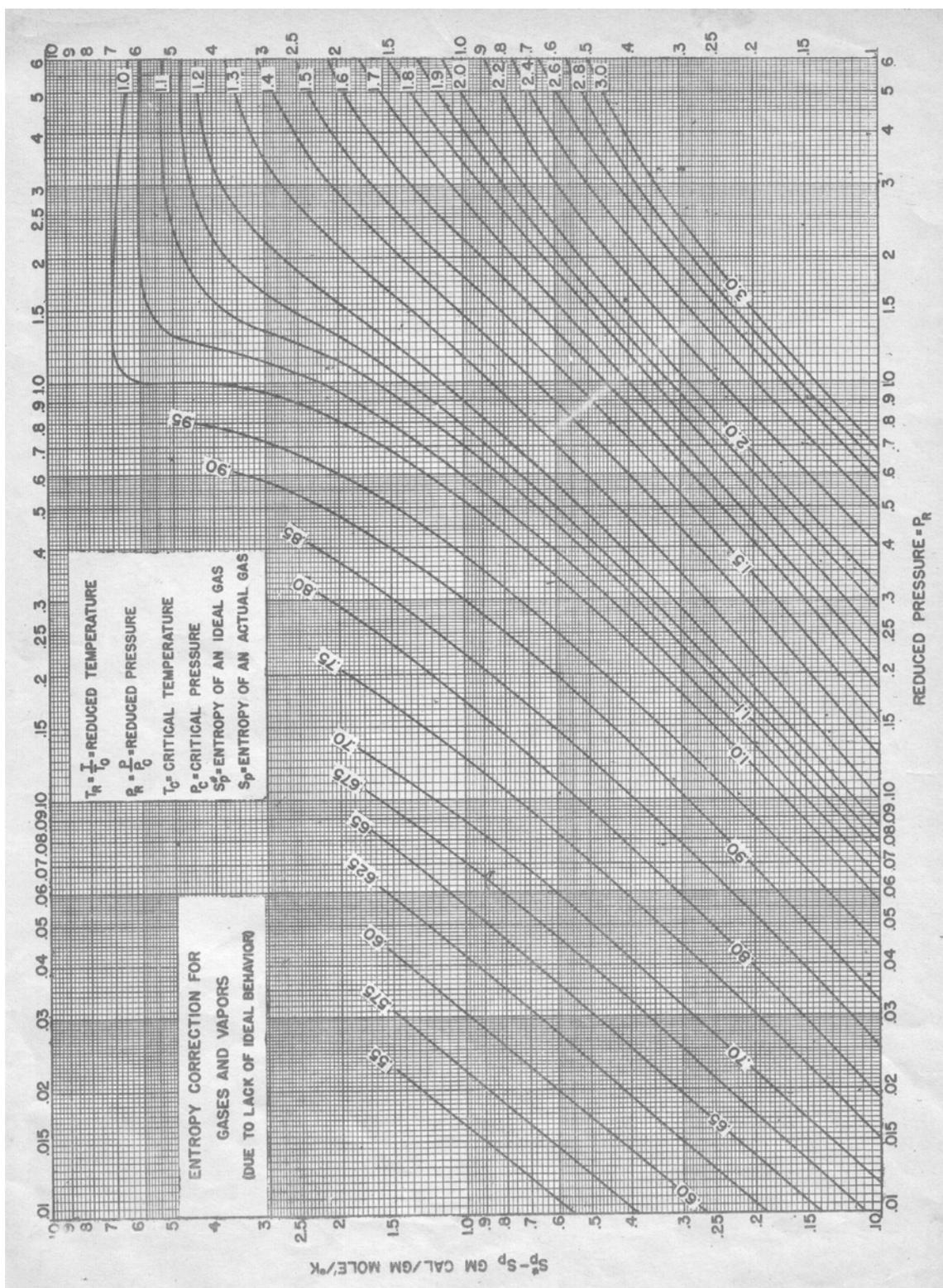
Gráfica extraída de Watson, Hougén, Ragatz. 1982. Principios De Los Procesos Químicos. Termodinámica. Ed. Reverté.



Gráfica extraída de Watson, Hougen, Ragatz. 1982. Principios De Los Procesos Químicos. Termodinámica. Ed. Reverté.



Gráfica extraída de Watson, Hougen, Ragatz. 1982. Principios De Los Procesos Químicos. Termodinámica. Ed. Reverté.



Gráfica extraída de Watson, Hougén, Ragatz. 1982. Principios De Los Procesos Químicos. Termodinámica. Ed. Reverté.

# Tema VI

## EQUILIBRIO ENTRE FASES

### ☺ Problema N° 6.1: RESUELTO

La presión de vapor del éter etílico es 185 mm Hg a 0°C. El calor latente de vaporización es igual a 92,5 cal/g. Calcular la presión de vapor a 20°C y a 35°C.

#### Datos

Masa molecular del éter etílico: 74 g/mol.

#### Solución

$$P_1 = 185 \text{ mmHg} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} = 0,243 \text{ atm}$$

$$T_1 = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$$

$$\lambda = 92,5 \text{ cal/g}$$

$$T_2 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = 35^\circ\text{C} = 308 \text{ K}$$

$$P_2 = ?$$

A partir de la ecuación de Clausius – Clapeyron:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{CF} \cdot P}{R \cdot T^2}$$

$$d \ln P = \frac{\Delta H_{CF} \cdot dT}{R \cdot T^2}$$

$$\int_1^2 d \ln P = \int_2^1 \frac{\Delta H_{CF}}{R \cdot T^2} \cdot dT$$

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta H_{CF}}{R} \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2}$$

$$\ln P_2 - \ln P_1 = \frac{\Delta H_{CF}}{R} \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2}$$

$$\ln P_2 = \frac{\Delta H_{CF}}{R} \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2} + \ln P_1$$

$$\ln P_2 = \frac{92,5 \text{ cal}}{1,987 \frac{\text{cal.g}}{\text{mol.K}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{74 \text{ g}}} \cdot \frac{(293 - 273) \text{ K}}{(293 \cdot 273) \text{ K}^2} + \ln 0,2434 \text{ atm}$$

$$\ln P_2 = 0,8613 + (-1,4129) = -0,5516$$

$$P_2 = e^{-0,5516} = 0,576 \text{ atm} = 437,77 \text{ mmHg}$$

$$\ln P_2 = \frac{92,5 \text{ cal}}{1,987 \frac{\text{cal.g}}{\text{mol.K}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{74 \text{ g}}} \cdot \frac{(308 - 273) \text{ K}}{(308 \cdot 273) \text{ K}^2} + \ln 0,2434 \text{ atm}$$

$$\ln P_2 = 1,4339 + (-1,4129) = 0,02098$$

$$P_2 = e^{0,02098} = 1,02119 \text{ atm} = 776,109 \text{ mmHg}$$

### ☺ Problema N° 6.2: RESUELTO

Calcular el punto de fusión del hielo a una presión de 100 ata. La densidad del agua y del hielo son iguales a  $0,9999 \text{ g/cm}^3$  y  $0,9168 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente, y el calor latente de fusión del hielo es igual a  $1436 \text{ cal/mol}$ .

#### Solución

$$\Delta H_{CF} = 1436 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} = 79,8 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

A partir de la ecuación de Clapeyron:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{CF}}{T_{CF} \cdot \Delta v_{CF}}$$

$$\frac{\Delta v_{CF}}{\Delta H_{CF}} \cdot \Delta P \cong \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{Si } \Delta v_{CF} = \left( \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right) = \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_2 \cdot \rho_1}$$

Entonces 
$$T_2 = T_1 \cdot e^{\left[ \frac{(\rho_1 - \rho_2) \cdot \Delta P}{\rho_2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta H_{CF}} \right]}$$

$$T_2 = 273 \cdot e^{\left[ \frac{[0,9168 - 0,999] \frac{\text{g} \cdot \text{cm}^3}{\text{cm}^3 \cdot \text{g}^2} \cdot 100 \text{ atm} \cdot 1,987 \text{ cal} \cdot 10^{-3} \text{ l}}{79,8 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot \text{mol} \cdot \text{K} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{cm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \right]} =$$

$$T_2 = 273 \cdot e^{-2,725 \cdot 10^{-3}} = 273,0,9973 =$$

$$T_2 = 272,4 \text{ K} = -0,75^\circ \text{ C}$$

### ☞ Problema N° 6.3:

Las presiones de vapor del óxido cianhídrico son:

a) Sólido:  $\log P(\text{ mmHg}) = 9,33902 - \frac{1864,8}{T} \quad (243,7 - 258) \text{ K}$

b) Líquido:  $\log P(\text{ mmHg}) = 7,74460 - \frac{1453,06}{T} \quad (265 - 300,4) \text{ K}$

Calcular:

- Calor de sublimación ( $\Delta H_s$ )
- Punto de ebullición normal
- Calor de vaporización ( $\Delta H_v$ )
- Calor de fusión
- Temperatura del punto triple
- Presión del punto triple

### ☞ Problema N° 6.4:

Por debajo de su punto de ebullición normal la presión de vapor en función de la temperatura para el benceno está dada por:

$$\log P(\text{ mmHg}) = 7,2621 - \frac{1402,46}{T} - \frac{51387,5}{T^2}$$

El  $v_v = 356 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$  y el  $v_l = 1,2 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$  en condiciones normales.

Calcular:

- $\lambda_v$  normal.
- Estimar el punto de ebullición a 770 mm Hg.

# Tema VII

## TERMOQUÍMICA

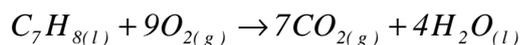
### ☺ Problema N° 7.1: RESUELTO

Obtener de tablas El calor de combustión del tolueno a 25°C y a presión constante. Calcular el calor de combustión del mismo a volumen constante.

El tolueno y el agua son líquidos a 25°C. Del Perry p. 359:  $Q_p = -934,5 \text{ Kcal/mol}$ .

La fórmula del tolueno es  $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5$ .

#### Solución



$$Q_p = Q_v + R.T.\Delta n$$

$$\Delta n = 7 - 9 = -2$$

Como  $Q_p = -934,5 \text{ Kcal/mol}$

$$Q_p = -R.T.\Delta n = Q_v$$

$$Q_v = -934,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \cdot 1 \text{mol} - 1,987 \frac{\text{cal}}{\text{mol.K}} \cdot 298,16 \frac{\text{K}}{\text{cal}} (-2) \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{Kcal}^{-1}} =$$

$$Q_v = -933,315 \text{ Kcal / mol}$$

### ☺ Problema N° 7.2: RESUELTO

Los calores de combustión del n-buteno y del 1-3 butadieno según tablas son: -688, 649,7 y 607,9 expresados en Kcal/mol respectivamente a 25°C.

Calcular el calor de reacción para cada una de las siguientes reacciones:



Datos obtenidos del Perry, p. 358:

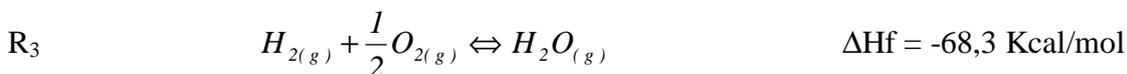
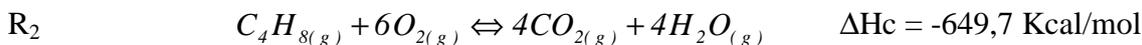
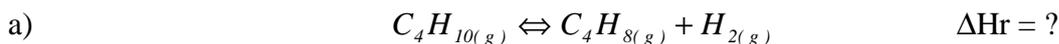
$$\Delta H_{c_{\text{C}_4\text{H}_{10(g)}}} = -688 \text{ Kcal / mol}$$

$$\Delta H_{c_{\text{C}_4\text{H}_{6(g)}}} = -607,9 \text{ Kcal / mol}$$

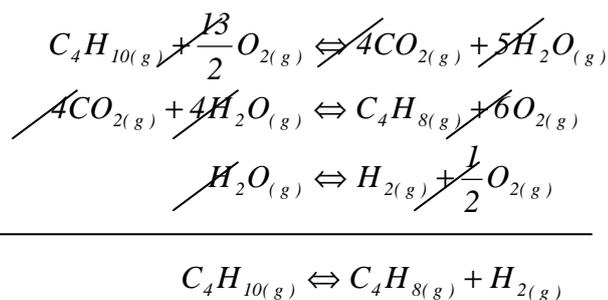
$$\Delta H_{c_{\text{C}_4\text{H}_{8(g)}}} = -649,7 \text{ Kcal / mol}$$

$$\Delta H_{f_{\text{H}_2\text{O}_{(l)}}} = -68,3 \text{ Kcal / mol}$$

### Solución



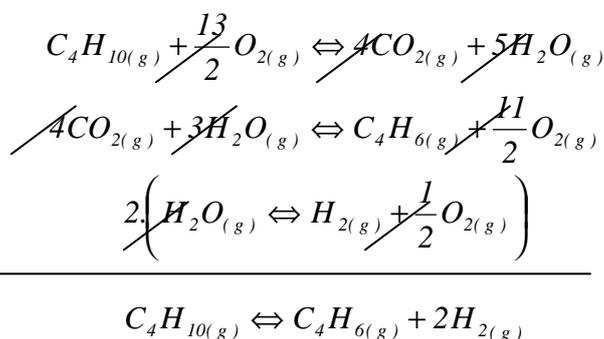
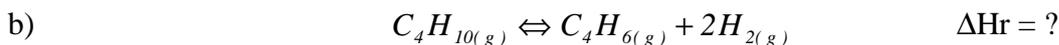
Combinando estas tres ecuaciones se obtiene:



$$\Delta H_r = \Delta H_c_{C_4H_{10}} - \Delta H_c_{C_4H_8} - \Delta H_f_{H_2O}$$

$$\Delta H_r = [-688 - (-649,7) - (-68,3)] \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_r = 30 \text{ Kcal}$$



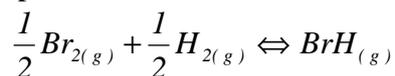
$$\Delta H_r = \Delta H_c_{C_4H_{10}} - \Delta H_c_{C_4H_6} - 2 \cdot \Delta H_f_{H_2O}$$

$$\Delta H_r = [-688 - (-607,9) - 2 \cdot (-68,3)] \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_r = 56,5 \text{ Kcal}$$

### ☺ Problema N° 7.3: RESUELTO

Calcular el calor desprendido por la reacción



A 320°C y 727°C, respectivamente.

#### Datos

COMPUESTO	$\Delta h_{c(298K)}^0$ (kcal/mol)	$\Delta h_{f(298K)}^0$ (kcal/mol)
Br <sub>2(g)</sub>	7,47	9,0
H <sub>2(g)</sub>	0	6,62 + 8,1.10 <sup>-4</sup> .T
.BrH <sub>(g)</sub>	-8,66	6,8 + 8,4.10 <sup>-4</sup> .T

#### Solución

$$\Delta H_r = \Delta H_{r(298K)} + \int_{298K}^T \Delta C_p dT$$

$$C_p = \alpha + \beta.T$$

$$\Delta C_p = \Delta\alpha + \Delta\beta.T$$

$$\Delta H_{r(298K)} = \Delta H_{BrH}^0 - \frac{1}{2}(\Delta H_{H_2}^0 + \Delta H_{Br_2}^0)$$

$$\Delta H_{r(298K)} = \left[ -8,66 - \frac{1}{2}(0 + 7,47) \right] Kcal/mol$$

$$\Delta H_{r(298K)} = -12,395 Kcal/mol$$

$$\Delta C_p$$

$$\Delta\alpha = \alpha_{BrH} - 0,5(\alpha_{H_2} + \alpha_{Br_2})$$

$$\Delta\alpha = 6,8 - 0,5(9 + 6,62) = -1,01$$

$$\Delta\beta = \beta_{BrH} - 0,5(\beta_{H_2}) - 0,5(\beta_{Br_2})$$

$$\Delta\beta = 8,4.10^{-4}.T - 0,5(8,1.10^{-4}.T) = 4,35.10^{-4}.T$$

$$\Delta H_r = \Delta H_{r(298K)} + \int_{298K}^T (-1,01 + 4,35.10^{-4}.T) dT$$

$$\Delta H_r = \Delta H_{r(298K)} - 1,01(T - 298) + \frac{4,35.10^{-4}}{2}(T^2 - 298^2)$$

a)  $T = 320^{\circ}\text{C} = 593\text{K}$

$$\Delta H_{r(593\text{K})} = -12395\text{cal} + \left[ -1,01(593 - 298) + \frac{4,35 \cdot 10^{-4}}{2} (593^2 - 298^2) \right]$$

$$\Delta H_{r(593\text{K})} = [-12395\text{cal} + (-240,78)]\text{cal}$$

$$\Delta H_{r(593\text{K})} = -12635,78\text{cal}$$

b)  $T = 727^{\circ}\text{C} = 1000\text{K}$

$$\Delta H_{r(1000\text{K})} = -12395\text{cal} + \left[ -1,01(1000 - 298) + \frac{4,35 \cdot 10^{-4}}{2} (1000^2 - 298^2) \right]$$

$$\Delta H_{r(1000\text{K})} = [-12395\text{cal} + (-510,83)]\text{cal}$$

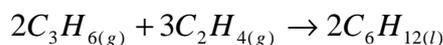
$$\Delta H_{r(1000\text{K})} = -12905,83\text{cal}$$

#### ☞ Problema N° 7.4:

Calcular el calor de hidratación del  $\text{SO}_4\text{Na}_2$  sólido a partir de los calores integrales de solución del  $\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  sólido, en cantidades infinitas de agua, que fueron:  $-0,56$  Kcal y  $+18,85$  Kcal, respectivamente.

#### ☞ Problema N° 7.5:

Para la reacción



Calcular el calor de reacción a volumen constante a  $298\text{K}$  a partir de:

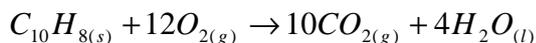
- Calores de combustión.
- Calores de formación.

#### Datos

COMPUESTO	$\Delta h_{c(298\text{K})}^0$ (kcal / mol)	$\Delta h_{f(298\text{K})}^0$ (kcal / mol)
$\text{C}_2\text{H}_{6(g)}$	-491,99	4,879
$\text{C}_2\text{H}_{4(g)}$	-337,23	12,496
$\text{C}_6\text{H}_{12(l)}$	-936,88	-37,34

**☞ Problema N° 7.6:**

Calcular el calor de formación del naftaleno sólido a partir de su calor de combustión y los calores de formación de las restantes sustancias intervinientes:

**Datos**

$$\Delta H_r = -1228,2 \text{ Kcal}$$

$$\Delta h_{f CO_2(g)}^0 = -94,05 (\text{kcal} / \text{mol})$$

$$\Delta h_{f H_2O(l)}^0 = -68,32 (\text{kcal} / \text{mol})$$

**☞ Problema N° 7.7:**

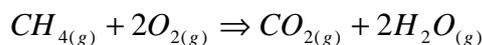
Calcular el calor de combustión del hidrógeno a 1500 K.

**Datos** del Perry:

COMPUESTO	$C_{p(298K)} (\text{cal} / \text{mol.K})$
H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	$8,22 + 0,00015T + 0,00000134T^2$ (300-2500)K
H <sub>2(g)</sub>	$6,62 + 0,00081T$ (273-2000)K
O <sub>2(g)</sub>	$8,27 + 0,000258T - 187700/T^2$ (300-5000)K

**☞ Problema N° 7.8:**

Calcular  $\Delta H$  a 1000 K para la reacción:



**Datos** obtenidos del Perry, 3° Ed., página 340

COMPUESTO	$C_{p(298K)} (\text{cal} / \text{mol.K})$
H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	$8,22 + 0,00015T + 0,00000134T^2$ (300-2500)K
CO <sub>2(g)</sub>	$10,34 + 0,00274T - 195500/T^2$ (273-1200)K
CH <sub>4(g)</sub>	$5,34 + 0,0115T$ (273-1200)K
O <sub>2(g)</sub>	$8,27 + 0,000258T - 187700/T^2$ (300-5000)K

$$\Delta H_{f 298K} = -191,759 \text{ Kcal} / \text{mol}$$

# Tema VIII

## PROPIEDADES MOLARES PARCIALES

### ☺ Problema N° 8.1: RESUELTO

Mostrar que el volumen de una solución que contiene 1000 g de agua es  $V = \frac{1000 + m.M}{d}$  y donde m es la molalidad, M es el peso molecular del soluto y d es la densidad de la solución.

#### Solución

$$\text{Masa} = V.d = n_1.M_1 + n_2.M_2$$

$$\text{Además, } n_1 = \frac{1000}{M} = \frac{1000}{M_1};$$

$$n_2 = m \text{ (molalidad)}$$

$$\text{También, tenemos que } V.d = \frac{1000}{M_1}.M_1 + m.M_2 = 1000 + m.M_2$$

$$\therefore V = \frac{1000 + m.M_2}{d}$$

### ☺ Problema N° 8.2: RESUELTO

Demuéstrese que si V es el volumen de una disolución formada por m moles de soluto en 1000 gramos de disolvente (esto es molalidad) entonces:

$$\bar{V}_2 = \frac{1}{\rho} \left( M_2 - \frac{V.d.\rho}{d.m} \right)$$

Fórmula en la que  $M_2$  es el peso molecular del soluto y  $\bar{V}_2$  es el volumen parcial molar de la disolución. Por otra parte,  $\rho$  es la densidad de la solución.

#### Solución

Operando con derivadas parciales tenemos que:

$$\left[ \frac{\partial V}{\partial n_2} \right]_{n,P,T} = \left[ \frac{\partial V}{\partial m} \right]_{P,T} = \bar{V}_2$$

Se puede lograr entonces que:

$$\bar{V}_2 = \frac{M_2 \cdot \rho - \frac{d \cdot \rho}{d \cdot m} (1000 + n \cdot M_2)}{\rho^2}$$

Y teniendo en cuenta que de acuerdo al problema anterior es:

$$Y = \frac{M_2 \cdot m + 1000}{d} \quad \text{resulta} \quad \bar{V}_2 = \frac{M_2 - V \cdot \frac{d\rho}{dm}}{\rho}$$

### ☺ Problema N° 8.3: RESUELTO

En una mezcla de agua y alcohol etílico en la cual la fracción molar del agua es 0,4, el volumen parcial del alcohol es 57,5 cc y la densidad de la mezcla es de 0,8494 g/cc. Calcular el volumen parcial molar del agua.

#### Solución

$G = n_1 \cdot \bar{G}_1 + n_2 \cdot \bar{G}_2$  y dividiendo todo por  $n_1 + n_2$  tenemos:

$$\frac{6G}{n_1 + n_2} = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \cdot \bar{G}_1 + \frac{n_2}{n_1 + n_2} \cdot \bar{G}_2 \quad \text{siendo} \quad g = x_1 \cdot \bar{V}_1 + x_2 \cdot \bar{V}_2$$

Que aplicado a nuestro caso:  $v = x_1 \cdot \bar{V}_1 + x_2 \cdot \bar{V}_2$  (1)

$v = \frac{P_{mezcla}}{d_{mezcla}} = \frac{0,4 \cdot 18 + 0,6 \cdot 46}{0,8494} = 41 \text{ cc/mol}$  y de (1) se puede despejar el volumen parcial molar del agua, que es:

$$\bar{V}_1 = \frac{v - x_2 \cdot \bar{V}_2}{x_1} = \frac{41 - 0,6 \cdot 57,5}{0,4} = 16,25 \text{ cc/mol}$$

### ☺ Problema N° 8.4: RESUELTO

La expresión que abajo se detalla da el calor desarrollado cuando se disuelve OHNa en agua a 25°C:

$$q = \frac{1000 \cdot n}{0,072 \cdot n + 0,2} \quad (\text{cal/mol OHNa})$$

Determinar el calor diferencial de disolución del OHNa en agua a esa temperatura para una solución en la que la fracción molar del mismo sea = 0,166. Se denomina n a la relación moles de agua / moles OHNa.

#### Solución

$$q = \frac{1000 \cdot n}{0,072 \cdot n + 0,2} = \frac{\Delta H}{n_2} \quad n = \frac{n_1}{n_2}$$

Siendo  $n_1$  = moles de agua y  $n_2$  moles de OHNa.

$$q = \frac{\Delta H}{n_2} = \frac{1000 \cdot \frac{n_1}{n_2}}{0,072 \cdot \frac{n_1}{n_2} + 0,2}$$

$$\Delta H = \frac{1000 \cdot n_1}{0,072 \cdot \frac{n_1}{n_2} + 0,2} = \frac{1000 \cdot n_1 \cdot n_2}{0,072 \cdot n_1 + 0,2 \cdot n_2}$$

Por definición el calor diferencial de disolución es  $\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial n_2}\right)_{n_1, P, T}$  y

$$\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial n_2}\right)_{n_1} = \frac{1000 \cdot n_1 \cdot (0,072 \cdot n_1 + 0,2 \cdot n_2) - 0,2 \cdot (1000 \cdot n_1 \cdot n_2)}{(0,072 \cdot n_1 + 0,2 \cdot n_2)^2}$$

$$\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial n_2}\right)_{n_1} = \frac{72 \cdot n_1^2 + 200 \cdot n_1 \cdot n_2 - 200 \cdot n_1 \cdot n_2}{0,005184 \cdot n_1^2 + 0,0288 \cdot n_1 \cdot n_2 + 0,04 \cdot n_2^2}$$

Y dividiendo numerador y denominador por  $(n_1 + n_2)^2$  obtenemos:

$$\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial n_2}\right)_{n_1} = \frac{72 \cdot x_1^2}{0,005184 \cdot x_1^2 + 0,0288 \cdot x_1 \cdot x_2 + x_2^2}$$

Para  $x_2 = 0,166$  será  $x_1 = 1 - 0,166 = 0,834$

$$\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial n_2}\right)_{n_1} = \frac{72 \cdot (0,834)^2}{0,005184 \cdot (0,834)^2 + 0,0288 \cdot 0,834 \cdot 0,166 + 0,04 \cdot (0,166)^2}$$

$$\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial n_2}\right)_{n_1} = \frac{50,04}{0,008717} = 5740 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

### ☞ Problema N° 8.5:

La capacidad calorífica molar aparente de la sacarosa en agua viene dada por la siguiente expresión en función de la molalidad:

$$\phi_G = 151,50 + 1,130m - 0,0466m^2 \quad \text{cal} / \text{mol} \cdot \text{K}$$

Dedúzcase expresiones para  $\bar{C}_{p1}$  y  $\bar{C}_{p2}$ . El  $C_p^0$  del agua pura es 18,02 cal/mol.K. Calcúlese la capacidad calorífica de una disolución formada por un mol de sacarosa y 1000 g de agua.

**☞ Problema N° 8.6:**

El volumen molar aparente (en cc) del ClNa en solución acuosa está dado por la siguiente tabla:

$\phi_v$	16,63	17,20	17,44	17,63	17,80	17,94	18,52
m	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0

Calcular el volumen parcial del ClNa para una solución de concentración  $m = 0,45$ .

**☞ Problema N° 8.7:**

Cuando se prepara un gramo de solución a partir de Benceno y Tolueno a 17°C se observan los siguientes cambios de volumen:

% de C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> en peso	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\Delta v$ cc. 10	2,5	5,1	8,3	9	10	9,5	8,3	7,2	4

Calcular el volumen parcial molar del Benceno y del Tolueno para las concentraciones de a) 20% y b) 80% de Benceno respectivamente usando el método de las intersecciones.

**Datos**

Peso molecular y densidad del Benceno: 78 g/mol; 0,883 g/cc

Peso molecular y densidad del Tolueno: 92 g/mol; 0,870 g/cc

**☞ Problema N° 8.8:**

La siguiente tabla da el volumen específico (cc/g) a 50°C de una mezcla de ioduro de etilo y acetato de etilo a las concentraciones dadas (expresadas en fracción en peso de ioduro de etilo).

$W_t \frac{g \text{ I de et.}}{g \text{ de solución}}$	0,00000	0,19082	0,35007	0,49517	0,59741
V(cc/g)	1,15866	1,04358	0,94654	0,85737	0,79377
$W_t$ 0,68529	0,74566	0,82792	0,89093	0,94970	1,00000
v 0,73880	0,70040	0,64814	0,60749	0,56927	0,53622

Calcular el volumen parcial molar del acetato de etilo para cuando la fracción molar del mismo es 0,5. Utilizar el método de las intersecciones.

**☞ Problema N° 8.9:**

Cuando se disuelve HCl ( $n_2$  moles) en 1000 g de agua se obtienen los siguientes valores de  $\Delta H$ :

$n_2$	55,51	27,75	18,50	11,10	5,55	2,775	1,11	0,550	0,18
$\Delta H$	-380,0	-315,3	-247,2	-166,1	-89,8	-46,5	-19	-9,55	-3,2

Determinar los calores diferenciales de solución y dilución para una solución en la que la fracción molar del HCl es de 0,3.

☞ **Problema N° 8.10:**

En la siguiente tabla se dan los valores de calores integrales de solución  $\Delta H_S$  en cal/mol de ácido acético líquido en agua, para formar soluciones de m moles de agua por mol de ácido acético:

m	0,25	0,5	1,11	1,42	1,95	5,0	6,19	30,0	63,30
$\Delta H_S$	70	126	149	149	130	24	-13	-92	-107

Usando el método de las pendientes de las tangentes, calcular el calor diferencial de solución de ácido en una solución conteniendo 80% en peso.

☞ **Problema N° 8.11:**

Para cada uno de los cuatro primeros valores de la tabla del problema 8.8 calcular el número de moles de Ioduro de Etilo para 1 mol de Acetato de Etilo y también el volumen ocupado por una cantidad de solución conteniendo 1 mol de Acetato de Etilo. Obtener los volúmenes molares aparentes y determinar más exactamente que en el problema citado algunos valores de  $\bar{V}_2$ .

☞ **Problema N° 8.12:**

En la tabla siguiente se presentan molalidades y densidades a 25°C e soluciones de Cloruro de Potasio. Determinar los volúmenes molares parciales de este último a varias molalidades diferentes.

m	0	0,1668	0,2740	0,3885	0,6840	0,9472
d	0,99707	1,00490	1,00980	1,01271	1,02797	1,03927

☞ **Problema N° 8.13:**

Cuando se agregan diversos números de moles ( $n_1$ ) de agua a 9,5 g de una disolución 2,9 molar de Cloruro Estróncico a 25°C los cambios observados en el contenido calorífico son los siguientes:

$N_1$	37,2	30,0	27,7	20,0	10,0
$\Delta H$	-129,8	-113,3	-109,2	-86,3	-48,5

Evalúese el calor diferencial de la dilución en la disolución 2,9 molar de cloruro estróncico.

☞ **Problema N° 8.14:**

Los contenidos caloríficos molares relativos aparentes del Cloruro Potásico en disolución acuosa a 25°C a diversas molalidades son los siguientes:

m	0,01	0,05	0,10	0,20	0,50	0,70	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00	4,50
$\phi_L$ cal/mol	38	69	78	81	48	18	-26	-99	-169	-300	-405	-448

Representar  $\phi_L$  en función de m y de esta forma comprobar los valores de  $\bar{L}_2$  que se indican seguidamente:

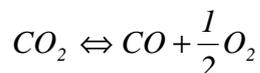
m	0,10	0,20	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	4,82 (sat.)
$\bar{L}_2$	91	72	-21	-176	-446	-648	-782	-840

# Tema IX

## GRADO DE REACCIÓN

### ☺ Problema N° 10.1: RESUELTO

Encontrar el grado de reacción y las presiones parciales de los componentes que intervienen en la siguiente reacción:



Para el equilibrio a 5040 R y a 1 atm sabiendo que  $K_p = 0,155$ .

### Solución

De acuerdo a la reacción se parte de 1 mol de  $\text{CO}_2$  y nada de  $\text{CO}$  ni  $\text{O}_2$ , por lo tanto los números de moles serán:

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} - n_{\text{CO}_2} \cdot \varepsilon = 1 - \varepsilon$$

$$n_{\text{CO}} = n_{\text{CO}} + n_{\text{CO}_2} \cdot \varepsilon = \varepsilon$$

$$n_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} + n_{\text{CO}_2} \cdot \varepsilon / 2 = \varepsilon / 2$$

$$n_T = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CO}} + n_{\text{O}_2} = 1 - \varepsilon + \varepsilon + \varepsilon / 2 = 1 + \varepsilon / 2$$

Las fracciones molares resultan iguales a:

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon / 2} \quad x_{\text{CO}} = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon / 2} \quad x_{\text{O}_2} = \frac{\varepsilon / 2}{1 + \varepsilon / 2}$$

Como en este caso la  $P = 1$  atm, las presiones parciales son iguales a las fracciones molares. Por lo tanto:

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}} \cdot (P_{\text{O}_2})^{1/2}}{P_{\text{CO}_2}} = \frac{P \cdot x_{\text{CO}} \cdot (P \cdot x_{\text{O}_2})^{1/2}}{P \cdot x_{\text{CO}_2}}$$

$$K_p = \frac{x_{\text{CO}} \cdot (x_{\text{O}_2})^{1/2}}{x_{\text{CO}_2}} \quad \text{ya que } P^{1/2} = 1$$

Luego, tenemos que:

$$K_p = \frac{\frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon / 2} \cdot \frac{(\varepsilon / 2)^{1/2}}{(1 + \varepsilon / 2)^{1/2}}}{\frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon / 2}} = \frac{\varepsilon \cdot (\varepsilon / 2)^{1/2}}{(1 - \varepsilon) \cdot (1 + \varepsilon / 2)^{1/2}}$$

$$0,155 = \frac{\varepsilon^{3/2}}{\sqrt{2} \cdot (1 + \varepsilon/2)^{1/2} \cdot (1 - \varepsilon)}$$

Y elevando miembro a miembro al cuadrado:

$$0,155^2 = \frac{\varepsilon^3}{2 \cdot (1 + \varepsilon/2) \cdot (1 - \varepsilon)^2} = \frac{\varepsilon^3}{2 \cdot (2 + \varepsilon/2) \cdot (1 - 2\varepsilon + \varepsilon^2)}$$

Finalmente, operando matemáticamente se tendrá:

$$0,976 \cdot \varepsilon^3 + 0,072 \cdot \varepsilon - 0,048 = 0$$

Vemos que llamando:

$$f(\varepsilon) = 0,976 \cdot \varepsilon^3 + 0,072 \cdot \varepsilon - 0,048$$

$$f(0) = -0,048$$

$$f(1) = 1$$

Y por lo tanto la raíz que nos interesa existe realmente, ya que entre  $\varepsilon = 0$  y  $\varepsilon = 1$  hay un cambio de signo en la función. Para obtener dicha raíz hacemos la tabla para valores de  $\varepsilon = 0,1, 0,2, 0,3$ , etc.

$\varepsilon$	$f(\varepsilon)$
0	-0,048
0,1	-0,040
0,2	-0,026
0,3	-0,000048
1,0	1,0

Vemos que para 0,3,  $f(\varepsilon) = 0$ , por lo que consideramos 0,3 como raíz. Por otro lado, entre 0 y 1 no puede haber otra raíz ya que  $f'(\varepsilon) = 2,928 \cdot \varepsilon^2 + 0,072$  y no es cero para ningún valor de  $\varepsilon$ , incluso para el rango que nos interesa.

Concluyendo, en el equilibrio  $\varepsilon = 0,3$ .

Las presiones parciales serán, sabiendo que  $P = 1 \text{ atm.}$ :

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon/2} = \frac{1 - 0,3}{1 + 0,3/2} = 0,609 \text{ atm}$$

$$P_{\text{CO}} = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon/2} = \frac{0,3}{1 + 0,3/2} = 0,261 \text{ atm}$$

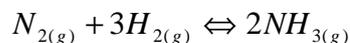
$$P_{\text{O}_2} = \frac{\varepsilon/2}{1 + \varepsilon/2} = \frac{0,3/2}{1 + 0,3/2} = 0,130 \text{ atm}$$

### ☞ Problema N° 9.2:

Determinar el grado de reacción a la misma temperatura y presión del problema anterior ( $T = 5040 \text{ R}$  y  $P = 1 \text{ atm}$ ) si las condiciones iniciales son 1 mol de  $\text{CO}_2$  y el aire necesario para tener 1 mol de  $\text{O}_2$ .

### ☞ Problema N° 9.3:

Para la reacción:



1) Expresar  $n_i$ ,  $x_i$  y  $K_x$  en función del grado de reacción para los siguientes casos:

a) Condición inicial: Relación  $\frac{n_{\text{H}_2(i)}}{n_{\text{N}_2(i)}} = 3$

b) Condición inicial: Relación  $\frac{n_{\text{N}_2(i)}}{n_{\text{H}_2(i)}} = 3$

c) Condición inicial: Relación  $\frac{n_{\text{H}_2(i)}}{n_{\text{N}_2(i)}} = 3$  y  $\frac{n_{\text{NH}_3(i)}}{n_{\text{H}_2(i)}} = \frac{2}{3}$

d) Condición inicial: Relación  $\frac{n_{\text{H}_2(i)}}{n_{\text{NH}_3(i)}} = 2$

e) Condición inicial: Relación  $\frac{n_{\text{N}_2(i)}}{n_{\text{H}_2(i)}} = 3$  y  $\frac{n_{\text{NH}_3(i)}}{n_{\text{H}_2(i)}} = 1$

f) Condición inicial: IDEM al punto e) y el  $\text{N}_2$  aportado por el aire (una mezcla con  $\text{O}_2/\text{N}_2$  que contiene el 80 % de  $\text{N}_2$ ).

g) Condición inicial: Una mezcla de  $\text{H}_2$  – aire con una  $\rho = 1,1814 \text{ g/l}$  a  $P = 1 \text{ ata}$  y  $T = 280 \text{ K}$ .

2) Calcular el  $n_i$  y  $x_i$  de cada componente de la mezcla respectiva si  $\varepsilon = 0,8$ .

# Tema X

## FUGACIDAD

### ☺ Problema N° 10.1: RESUELTO

Por métodos generalizados: calcular la fugacidad del  $N_{2(g)}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y presiones iguales a 50, 100, 200 y 400 atm.

#### Datos

$$T_c = 126\text{ K}$$

$$P_c = 33,5\text{ atm}$$

#### Solución

$$T_r = \frac{273}{126} = 2,17$$

P (atm)	$P_r$	$\gamma$	$f^0$ (atm)
50	1,5	0,98	49
100	3,0	0,97	97
200	6,0	0,98	196
400	12	1,07	428



Se obtiene del gráfico  
“Coeficientes de fugacidad  
de gases y vapores”

### ☞ Problema N° 10.2:

Calcular la fugacidad de los siguientes gases:

- $O_2$  a  $60\text{ }^{\circ}\text{F}$  y 2000 psia,
- $NH_3$  a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y 40 atm,
- $CO_2$  a  $150\text{ }^{\circ}\text{F}$  y 2000 psia.

### ☞ Problema N° 10.3:

Estimar la fugacidad de los gases que componen la siguiente mezcla a  $0\text{ }^{\circ}\text{F}$  y 200 atm de presión. La composición de la mezcla es: 5 moles de  $N_{2(g)}$ , 4 moles de Neón y 2 moles de Argón. Determinar además,  $\Delta S_m$  y  $\Delta G_m$  a dicha temperatura y presión. Considerar que la mezcla se comporta idealmente.

**☞ Problema N° 10.4:**

Para N<sub>2</sub> a 0°C se tienen los siguientes datos experimentales:

P (atm)	50	100	200	400	800	1000	1500	2000	2500	3000
P.V/R.	0,984	0,984	1,036	1,255	1,795	2,064	2,720	3,327	3,920	4,947
T	6	6	5	7	4	1	0	0	0	0

Calcular la fugacidad del N<sub>2</sub> a 0°C para 400 atm y 1000 atm. Observar el valor de  $f/p = \gamma$ . Representando  $\alpha = f(P)$  hacer el cálculo.

**☞ Problema N° 10.5:**

Calcular la fugacidad del Cl<sub>2</sub> (l) a 25°C y a la presión de 9 atm, siendo la presión de equilibrio a esa temperatura igual a 7,63 atm. El volumen del Cl<sub>2</sub> líquido es 51 cc/mol. Para el gas a 25°C el valor de  $\alpha/R.T = 0,011$  atm.

**☞ Problema N° 10.6:**

Por el método de variables reducidas, calcular la fugacidad de los siguientes gases: a) O<sub>2</sub> a 60 °F y 2000 psia; b) NH<sub>3</sub> a 80°C y 40 atm; c) CO<sub>2</sub> a 150 °F y una presión de manómetro de 2000 psia.

**☞ Problema N° 10.7:**

Estimar la fugacidad de los gases que componen la siguiente mezcla a 0°C y 200 atm de presión. La composición en porcentaje en volumen es: H<sub>2</sub> = 30 %, N<sub>2</sub> = 20 % y NH<sub>3</sub> = 50%. Aplicar Lewis y Randall y variables reducidas.

**☞ Problema N° 10.8:**

- Calcúlese la fugacidad del agua líquida a 100 °C y a 1 atm de presión. Utilícese para ello el método aproximado.
- Luego calcule el cambio de energía libre correspondiente al paso de 1 mol de vapor de agua desde 1 atm y 100°C hasta vapor de  $f = 1$  atm a la misma temperatura. El volumen específico del agua = 1675 cc/g.

**☞ Problema N° 10.9:**

Calcular la fugacidad, es decir el coeficiente  $f/p$  para el N<sub>2</sub> a 50 atm y 273 K a partir de la ecuación de Berthelot:

$$P.V = R.T \left[ 1 + 9/128 P.T_c / P_c.T (1 - 6.T_c^2 / T^2) \right]$$

**☞ Problema N° 10.10:**

Calcular la fugacidad del Etileno líquido en contacto con vapor saturado a 0°C y 40,6 atm. Utilizar variables reducidas.

**☞ Problema N° 10.11:**

Un recipiente aislado y rígido está dividido en dos compartimientos de igual volumen por una pared aislante. Los dos compartimientos están llenos de O<sub>2</sub> a la misma presión, pero uno contiene 3 moles mientras que el otro contiene 7 moles. Cuando se quita el aislante se produce

la mezcla de las dos masas de  $O_2$  y se espera el tiempo necesario para obtener una mezcla homogénea. Supuesto comportamiento ideal para el gas, determinar para la mezcla: a) la variación de energía interna molar, b) la entalpía molar, c) la entropía molar. Observar que la temperatura inicial de los dos compartimientos es diferente.

☞ **Problema N° 10.12:**

8 g-mol de  $O_2$  a la temperatura  $T_1$  y presión  $P$  se encuentran en uno de los compartimientos de un recipiente aislado térmicamente del exterior. En otro compartimiento contiguo separado por un tabique hay 12 moles de  $N_2$  a la temperatura  $T_2$  y presión  $P$ . El compartimiento 1 tiene un volumen que es la mitad del compartimiento 2.

Si se suprime el tabique a) calcular la presión final del sistema, b) calcular la variación de entropía que se produce en la operación citada.

Se supone comportamiento perfecto de los gases. Los valores de las capacidades caloríficas pueden ser tomados de la teoría cinética de los gases.

☞ **Problema N° 10.12:**

Una mezcla gaseosa posee la siguiente composición expresada en fracciones molares: Metano = 0,17, Etano = 0,35 y Propano = 0,48. Admitiendo una solución gaseosa ideal, calcular la fugacidad de cada componente para el caso en que la mezcla se encuentra a una presión absoluta de 300 lb/pulgada<sup>2</sup> y una temperatura de 100 °F.

☞ **Problema N° 10.13:**

Una mezcla de hidrocarburos gaseosos posee la siguiente composición en moles por ciento:  $CH_4 = 38,38$ ;  $C_2H_6 = 7,56$ ;  $C_3H_8 = 7,05$ , n- $C_4H_{10} = 11,29$ ; n- $C_5H_{12} = 35,72$ .

Admitiendo un comportamiento ideal, calcular las fugacidades de los componentes de la mezcla para el caso que se encuentren a una temperatura de 94°C y una presión absoluta de 27 atm.

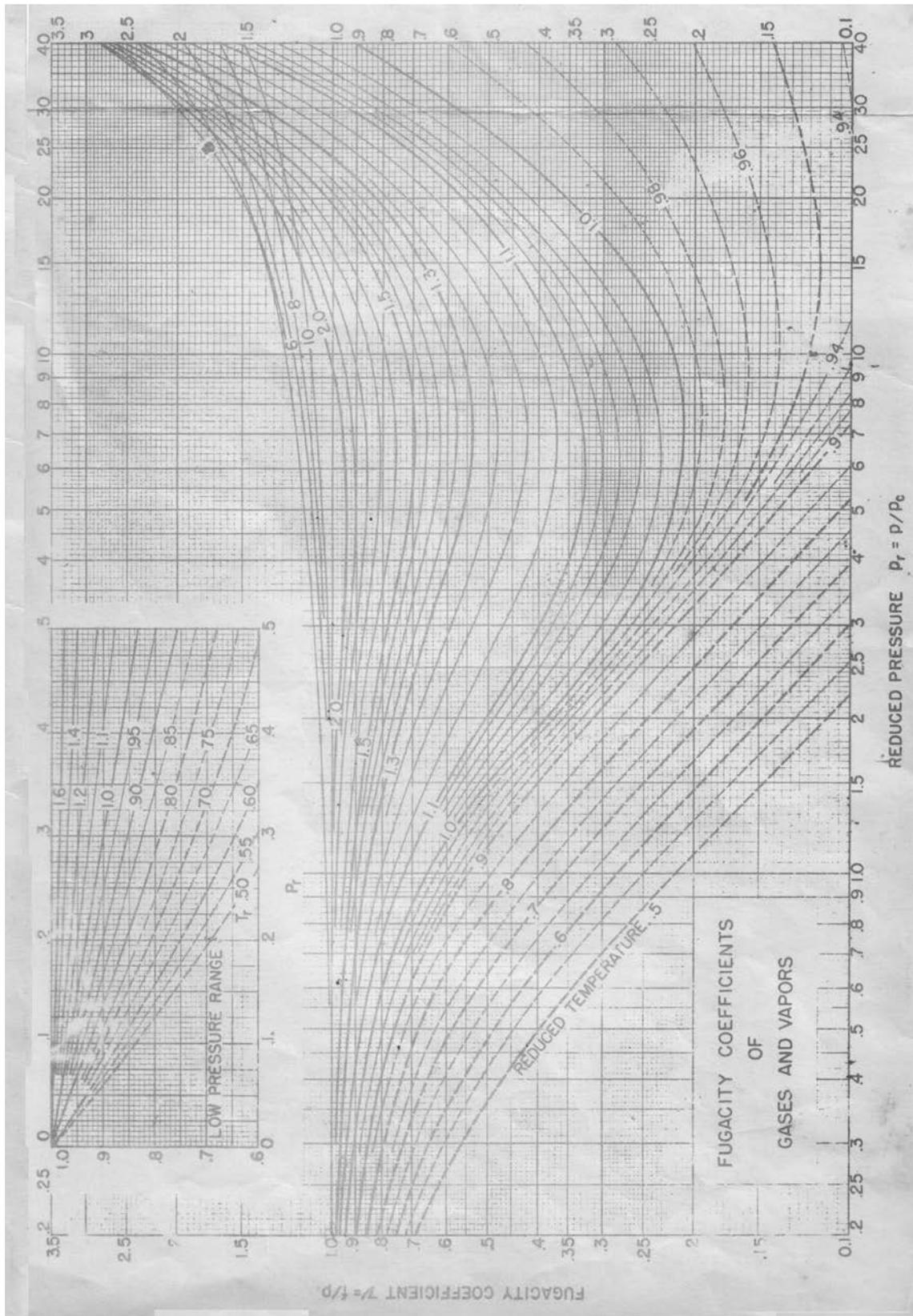
☞ **Problema N° 10.14:**

Calcular la fugacidad del agua líquida a 100°C, cuya temperatura y a 1 atm de presión el volumen específico del vapor es de 1675 cc/g relativa al estado de referencia usual del gas a presión baja. Cuál es el cambio de energía libre correspondiente al paso de 1 mol de vapor de agua desde 1 atm y 100 °C hasta vapor de  $f = 1$  atm a la misma temperatura?

Es de magnitud importante el resultado?

## APENDICE DEL CAPÍTULO VIII

### Gráficas de determinación del coeficiente de fugacidad de gases y vapores en función de variables reducidas



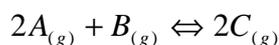
Gráfica extraída de Watson, Hougén, Ragatz. 1982. Principios De Los Procesos Químicos. Termodinámica. Ed. Reverté.

# Tema XI

## EQUILIBRIO QUÍMICO

### ☺ Problema N° 11.1: RESUELTO

Para la reacción:

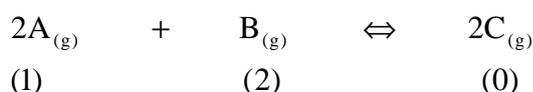


Partiendo de una relación molar  $\left. \frac{n_B}{n_A} \right)_i = 2$ . Calcular la presión total y las presiones parciales en el equilibrio para que el sistema presente un  $\varepsilon = 0,8$  en el equilibrio a  $577^\circ\text{C}$ . Suponer que los gases se comportan idealmente.

#### Datos

	$\Delta h_{f,298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f,298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	C <sub>p</sub> (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
A <sub>(g)</sub>	-70	-72	$5,7 + 1,6 \cdot 10^{-2}T - 1,2 \cdot 10^{-5}T^2$
B <sub>(g)</sub>	0	0	$6,7 - 8,8 \cdot 10^{-7}T + 4,2 \cdot 10^{-6}T^2$
C <sub>(g)</sub>	-95	-89	$4,6 + 3,3 \cdot 10^{-2}T - 2,8 \cdot 10^{-5}T^2$

#### Solución



$$\begin{aligned}
 n_0 &= 0,5 \\
 N_B &= 1,5 \\
 n'_0 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_A &= 0,5 \cdot 2 \cdot (1 - \varepsilon) = 1 - \varepsilon \\
 n_B &= 0,5 \cdot 1 \cdot (1 - \varepsilon) + 1,5 = 2 - 0,5\varepsilon \\
 n_C &= 0,5 \cdot 2 \cdot (\varepsilon) = \varepsilon \\
 N_T &= 3 - 0,5\varepsilon
 \end{aligned}$$

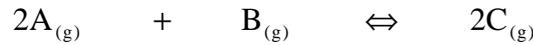
$$x_A = \frac{(1 - \varepsilon)}{(3 - 0,5\varepsilon)}; \quad x_B = \frac{(2 - 0,5\varepsilon)}{(3 - 0,5\varepsilon)}; \quad x_C = \frac{(\varepsilon)}{(3 - 0,5\varepsilon)}$$

Para  $\varepsilon = 0,8$

$$x_A = \frac{(1-0,8)}{(3-0,5*0,8)} = 0,077; \quad x_B = \frac{(2-0,5*0,8)}{(3-0,5*0,8)} = 0,615; \quad x_C = \frac{(0,8)}{(3-0,5*0,8)} = 0,308$$

$$K_x = \frac{x_C^2}{x_A^2 \cdot x_B} = \frac{(0,308)^2}{(0,077)^2 \cdot (0,615)} = 26$$

Cálculo de  $K_{850}$



$$\Delta G_R^0 = 2 \cdot (-89) - [2 \cdot (-72)] = -34 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

$$K_{298} = e^{\frac{34000}{2 \cdot 298}} = 5,96 \cdot 10^{24}$$

$$\Delta H_R^0 = 2 \cdot (-95) - [2 \cdot (-70)] = -50 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}; \quad \Delta H_{r(T)} = \Delta H_{r(T_0)} + \int_{T_0}^T \Delta C_p(T) \cdot dT$$

$$\Delta C_p = [(2 \cdot 4,6) - (6,7 + 2 \cdot 5,7)] + [(2 \cdot 3,3 \cdot 10^{-2} - (-8,8 \cdot 10^{-7} + 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2}))]T + [2 \cdot (-2,8 \cdot 10^{-5}) - (4,2 \cdot 10^{-6}) + 2 \cdot (-1,2 \cdot 10^{-5})]T^2$$

$$\Delta C_p = -8,9 + 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot T - 3,62 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$$

$$\Delta H_{r(T)} = 50000 + \int_{298}^T (-8,9 + 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot T - 3,62 \cdot 10^{-5} \cdot T^2) \cdot dT$$

$$\Delta H_{r(T)} = 50000 - 8,9(T - 298) + \frac{3,4 \cdot 10^{-2}}{2} (T^2 - 298^2) - \frac{3,62 \cdot 10^{-5}}{3} (T^3 - 298^3)$$

$$\Delta H_{r(T)} = -48538,14 - 8,9 \cdot T + 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot T^3$$

$$\ln \frac{K_{850}}{K_{298}} = \int_{298}^{850} \frac{\Delta H_r(T)}{RT^2} \cdot dT \quad \therefore$$

$$\ln \frac{K_{850}}{K_{298}} = \frac{1}{2} \cdot \left[ -48538,14 \frac{(850 - 298)}{(850 \cdot 298)} - 8,9 \ln \frac{850}{298} + 1,7 \cdot 10^{-2} (850 - 298) - \frac{1,2 \cdot 10^{-5}}{2} (850^2 - 298^2) \right] =$$

$$\ln \frac{K_{850}}{K_{298}} = \frac{1}{2} \cdot [-105,776 - 9,328 + 9,384 - 3,802] = \frac{-109,52}{2} = -54,76$$

$$K_{850} = K_{298} \cdot e^{-54,76} = 5,96 * 10^{24} * 1,65 * 10^{-24} = 9,83$$

$$K = K_x \cdot P^{\Delta \gamma}; \quad \Delta \gamma = -1 \quad \therefore \quad P = \frac{K_x}{K}$$

$$P = \frac{K_x}{K} = \frac{26}{9,83} = 2,65 \text{ ata}$$

$$p_A = 0,077 * 2,65 = 0,204 \text{ ata}; \quad p_B = 0,615 * 2,65 = 1,63 \text{ ata}; \quad p_C = 0,308 * 2,65 = 0,816 \text{ ata}$$

### ☞ Problema N° 11.2:

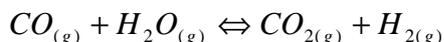
Para la reacción  $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$ . Calcular la constante de equilibrio químico a 298, 400, 500, 600 y 700 K.

#### Datos

	Tc (K)	Pc (ATA)	$\Delta h_f^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$\Delta g_f^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$C_P \left( \frac{cal}{mol \cdot K} \right)$
N <sub>2(g)</sub>	126,2	33,5	0	0	$6,5 + 10^{-3}T$ (300-3000)K
H <sub>2(g)</sub>	33,3	12,8	0	0	$6,62 + 8,1 * 10^{-4}T$ (300-3000)K
NH <sub>3(g)</sub>	405,6	111,3	-10,96	-3,903	$6,7 + 6,3 * 10^{-3}T$ (300-800)K

### ☞ Problema N° 11.3:

Determinar las fracciones molares en el equilibrio para la reacción:



a 555 K y 100 ata. El reactor se alimenta con 3 moles de CO, 2 moles de H<sub>2</sub>O, 0,5 moles de CO<sub>2</sub> y 0,25 moles de H<sub>2</sub>.

#### Datos

	$\Delta h_f^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$\Delta g_f^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$C_P \left( \frac{cal}{mol \cdot K} \right)$
CO <sub>2(g)</sub>	- 94,05	- 94,26	$6,396 + 1,01 \cdot 10^{-2}T - 3,405 \cdot 10^{-6}T^2$
H <sub>2(g)</sub>	0	0	$6,947 + 2 \cdot 10^{-4}T - 4,8 \cdot 10^{-7}T^2$
H <sub>2O(g)</sub>	- 57,80	- 54,64	$7,22 + 2,374 \cdot 10^{-3}T - 2,67 \cdot 10^{-7}T^2$
CO(g)	- 26,42	- 32,81	$6,342 + 1,836 \cdot 10^{-3}T - 2,801 \cdot 10^{-7}T^2$

☞ **Problema N° 11.4:**

Para la reacción:  $I_{2(g)} + H_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$ . Calcular las fracciones molares en el equilibrio a 427°C partiendo de una mezcla  $I_{2(g)} / H_{2(g)}$  con una relación molar  $\frac{n_{I_2}}{n_{H_2}} = \frac{3}{2}$ .

**Datos**

Suponer que los gases se comportan idealmente.

	$\Delta h_r^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$\Delta g_r^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$C_P \left( \frac{cal}{mol.K} \right)$
HI <sub>(g)</sub>	6,27	0,365	$6,93 + 8,3 \cdot 10^{-4}T$
H <sub>2(g)</sub>	14,88	4,63	$6,62 + 8,1 \cdot 10^{-4}T$
I <sub>2(g)</sub>	0	0	9

☞ **Problema N° 11.5:**

Para la reacción:  $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$ . Calcular las fracciones molares en el equilibrio a 227°C y 2 ata, partiendo de reactivos en proporciones estequiométricas y el N<sub>2</sub> aportado por el aire.

**Datos**

Suponer que los gases se comportan idealmente  $\equiv N_2 / O_2$  con 20% molar de O<sub>2</sub>.

	$\Delta h_f^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$\Delta g_f^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$C_P \left( \frac{cal}{mol.K} \right)$
N <sub>2(g)</sub>	0	0	$6,5 + 10^{-3}T$ (300-3000)K
H <sub>2(g)</sub>	0	0	$6,62 + 8,1 \cdot 10^{-4}T$ (300-3000)K
NH <sub>3(g)</sub>	-10,96	-3,903	$6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3}T$ (300-800)K

☞ **Problema N° 11.6:**

Una mezcla de  $NO_{2(g)} / N_2O_{4(g)}$  alcanzó el equilibrio a 127°C y 4 ata con una  $\rho = 6,1707$  g/lit. Calcular a qué temperatura alcanzará un grado de reacción de 0,6 a 1,5 ata.

**Datos**

Suponer que los gases se comportan idealmente.

	$\Delta h_f^o (298K) \left( \frac{Kcal}{mol} \right)$	$C_P \left( \frac{cal}{mol.K} \right)$
N <sub>2</sub> O <sub>4(g)</sub>	3,10	17,8
NO <sub>2(g)</sub>	8,03	8,9

### ☞ Problema N° 11.7:

Para la reacción de formación de un mol de  $\text{NH}_3(\text{g})$ , la constante de equilibrio químico varía con la temperatura (escala Kelvin) de acuerdo a:

$$\ln K = 9,235 + \frac{4,646,475}{T} - 3,26 \ln T + 1,155 * 10^{-3} T \quad (T = K)$$

Calcular:

a)  $\Delta H_{r(500K)}$

b) La presión en el equilibrio a 500K si inicialmente una mezcla de aire- $\text{H}_2$  con un 75% molar de  $\text{N}_2$  al alcanzar el equilibrio de acuerdo a la reacción mencionada presenta una  $p_{\text{H}_2} = 0,124 \text{ atm}$ .

### Datos

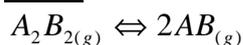
Considerar que los gases se comportan idealmente y que el aire presenta una relación molar  $\text{N}_2 / \text{O}_2 = 4/1$ .

### ☞ Problema N° 11.8:

Para la reacción:  $\text{A}_2\text{B}_{2(\text{g})} \Leftrightarrow 2\text{AB}_{(\text{g})}$ . Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular:

- Las presiones parciales a 2 ata y  $77^\circ\text{C}$ .
- El grado de reacción a 2 ata y  $77^\circ\text{C}$ .
- La temperatura para lograr a 2 ata un incremento en el grado de reacción del 50% con respecto a  $77^\circ\text{C}$ .

### Datos



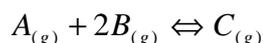
$$K_{127^\circ\text{C}} = 7,5$$

$$K_{27^\circ\text{C}} = 0,15$$

	$C_P \left( \frac{\text{Joule}}{\text{mol.K}} \right)$
$\text{A}_2\text{B}_{2(\text{g})}$	77,28
$\text{AB}(\text{g})$	38,64

### ☞ Problema N° 11.9:

Para la reacción



partiendo de una mezcla de 2 moles de cada uno de los reactivos, al alcanzar el equilibrio a  $37^\circ\text{C}$  y 1,271 ata el volumen del sistema es de 52 litros.

Calcular a 300 ata y  $-73^\circ\text{C}$  el grado de reacción partiendo de iguales condiciones iniciales.

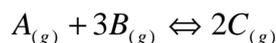
Suponer que a  $37^\circ\text{C}$  y 1,271 ata el sistema se comporta como mezcla de gases ideales.

**Datos**

	$\Delta h_{f, 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$\gamma_{300ata}^{-73^0C}$	$f_i^{0-73^0C}$ (ata)
A <sub>(g)</sub>	-20	5	0,4	120
B <sub>(g)</sub>	-10	5	0,7	210
C <sub>(g)</sub>	-30	7	0,7	210

**☞ Problema N° 11.10:**

Para la reacción:



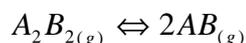
Partiendo de 246 litros de una mezcla de A<sub>(g)</sub> y B<sub>(g)</sub> de x<sub>B</sub> = 0,75 a 27 °C y 1,2 ata al alcanzar el equilibrio isobárica e isotérmicamente el volumen del sistema es de 209,1 litros. Suponiendo que en dicha condición el comportamiento del sistema corresponde a una mezcla de gases ideales, calcular a - 81,6 °C y 300 ata el valor de Kx.

**Datos**

	Pc (ata)	Tc (°C)	$\Delta h_{f, 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
A <sub>(g)</sub>	100	- 99	-20	5
B <sub>(g)</sub>	75	- 141	-16	5
C <sub>(g)</sub>	50	- 145,4	-30	7

**☞ Problema N° 11.11:**

Para la reacción:

partiendo de A<sub>2</sub>B<sub>2(g)</sub> puro, calcular:

- La temperatura a la cual la constante de equilibrio químico duplica el valor que tiene a 300 K.
- El grado de reacción y las fracciones molares en el equilibrio a dicha temperatura y 2 ata.
- La presión para que a dicha temperatura T, el grado de reacción se incremente en un 20% con respecto al correspondiente a 2 ata.

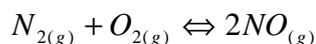
**Datos**

	$\Delta h_{f, 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
AB <sub>(g)</sub>	23	5,1	3
A <sub>2</sub> B <sub>2(g)</sub>	45	10	6

Suponer comportamiento de gases ideales.

☞ **Problema N° 11.12:**

Una mezcla de  $N_{2(g)} / O_{2(g)}$  de  $\delta = 2,3415$  g/lt a  $27^\circ\text{C}$  y 2 ata alcanza el equilibrio según la reacción:



a  $2727^\circ\text{C}$  y 4 ata.

Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular:

- K
- $\epsilon$
- Presiones parciales

**Datos**

	$\Delta h_{f 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NO_{(g)}$	21,6	20,719

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3}T$
$O_{2(g)}$	$8,27 + 2,58 \cdot 10^{-4}T - \frac{187700}{T^2}$
$NO_{(g)}$	$8,05 + 2,33 \cdot 10^{-4}T - \frac{156300}{T^2}$

☞ **Problema N° 11.13:**

Para la reacción:



partiendo de una mezcla  $NO_2$  / Aire de  $\rho = 1,88072$  g/lt,  $47^\circ\text{C}$  y 1,4 ata, calcular:

- K a  $357^\circ\text{C}$
- La presión para obtener un  $\epsilon = 0,3$  a  $357^\circ\text{C}$ .

Suponer comportamiento de gases ideales.

**Datos**

Aire: mezcla  $O_{2(g)} / N_{2(g)}$  con 80% molar de  $N_2$ .

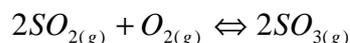
	$\Delta h_{f 298K}^0$ (KJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f 298K}^0$ (KJ.mol <sup>-1</sup> )
$NO_{(g)}$	90,43	86,75
$NO_{2(g)}$	33,87	52,00

Cp
----

	(J.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
NO <sub>(g)</sub>	29,3 - 9,378.10 <sup>-4</sup> T + 9,747.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>
NO <sub>2(g)</sub>	24,23 - 4,836.10 <sup>-2</sup> T - 2,081.10 <sup>-5</sup> T <sup>2</sup>
O <sub>2(g)</sub>	28,11 - 3,680.10 <sup>-6</sup> T - 1,746.10 <sup>-5</sup> T <sup>2</sup>

☞ **Problema N° 11.14:**

Para la reacción:



partiendo de  $\left(\frac{n_{O_2}}{n_{SO_2}}\right)_i = 2$  con el O<sub>2</sub> necesario aportado por el aire, la mezcla en equilibrio a 887 °C tiene una  $\bar{M}_M = 32,30 \text{ g/mol}$ .

Calcular:

- K<sub>887 C</sub>
- ε<sub>eq</sub>
- P<sub>eq</sub>

**Datos**

Considerar una mezcla de gases ideales.

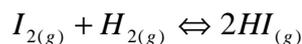
Aire: mezcla O<sub>2(g)</sub> / N<sub>2(g)</sub> con 80% molar de N<sub>2</sub>.

	Δh <sub>f 298K</sub> <sup>0</sup> (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	Δg <sub>f 298K</sub> <sup>0</sup> (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
SO <sub>3(g)</sub>	-94,4	-88,6	4,6 + 3,3.10 <sup>-2</sup> T - 2,8.10 <sup>-5</sup> T <sup>2</sup>
O <sub>2(g)</sub>	0	0	6,7 + 8,7.10 <sup>-7</sup> T - 4,2.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>
SO <sub>2(g)</sub>	-70,9	-71,7	5,70 + 1,6.10 <sup>-2</sup> T - 1,2.10 <sup>-5</sup> T <sup>2</sup>

**Nota:** se eliminaron de los Cp los términos d<sub>i</sub>.T<sup>3</sup>. Ref: REID-PRAUSNITZ-POLING. Prop. Gas-Liq.

☞ **Problema N° 11.15:**

Para la reacción:



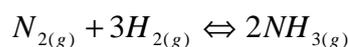
partiendo de una relación molar  $\left(\frac{n_{H_2}}{n_{I_2}}\right)_{inicial} = 2$  y suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular a 1727 °C las fracciones molares en el equilibrio.

### Datos

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$H_{2(g)}$	0	0	$6,62 + 8,1 \cdot 10^{-4} T$
$I_{2(g)}$	14,88	4,63	9
$HI_{(g)}$	6,27	0,365	$6,93 + 8,3 \cdot 10^{-4} T$

### ☞ Problema N° 11.16:

Para la reacción:



calcular las presiones parciales en el equilibrio a 400 K y 1,6 ata partiendo de proporciones estequiométricas de reactivos y el N<sub>2</sub> aportado por el aire.

### Datos

Considerar una mezcla de gases ideales.

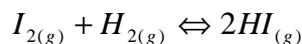
Aire: mezcla  $N_{2(g)} / O_{2(g)}$  con 80% molar de N<sub>2</sub>.

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	-3,9	-10,96

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	$6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T$
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3} T$
$H_{2(g)}$	$6,62 + 8,81 \cdot 10^{-4} T$

### ☞ Problema N° 11.17:

Para la reacción:



partiendo de una mezcla de  $I_{2(g)} / H_{2(g)}$  de  $\delta = 4,1756$  g/lit a 1 ata y 27 °C, calcular las fracciones molares en el equilibrio a 427 °C. Suponer que los gases se comportan idealmente.

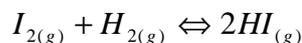
### Datos

	$\Delta h_{f,298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f,298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$H_{2(g)}$	0	0	$6,62 + 8,1 \cdot 10^{-4} T$
$I_{2(g)}$	14,88	4,63	9
$HI_{(g)}$	6,27	0,38	$6,93 + 8,3 \cdot 10^{-4} T$

$M_I = 126,9$ .

### ☞ Problema N° 11.18:

Para la reacción:



La constante de equilibrio varía con la temperatura (K) de acuerdo a:

$$\ln K = 8,38 + \frac{926,63}{T} - 0,88 \ln T + 2,125 \cdot 10^{-4} T$$

Calcular:

a)  $\Delta H_r$  a 427 °C

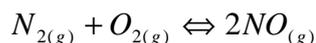
b) Las fracciones molares en el equilibrio a 527 °C partiendo de una mezcla  $I_{2(g)} / H_{2(g)}$

con una relación molar  $\left( \frac{n_{I_2}}{n_{H_2}} \right) = \frac{3}{2}$ .

Suponer que los gases se comportan idealmente.

### ☞ Problema N° 11.19:

Para la reacción:



la constante de equilibrio químico, K, varía con la temperatura según:

$$\ln K = -1,745 - \frac{31429,29}{T^2} - \frac{21.348,616}{T} + 0,669 \ln T - 1,993 \cdot 10^{-4} T$$

partiendo de una mezcla NO-AIRE con 50% molar de NO, calcular:

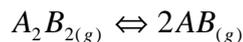
a) Las fracciones molares en el equilibrio a 3727 °C

b)  $\Delta h_{f,NO}^{0,300K}$

Suponer que los gases se comportan idealmente y que el aire es una mezcla  $N_2 / O_2$  con 20% molar de  $O_2$ .

**☞ Problema N° 11.20:**

Para la reacción:



Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular:

- Las presiones parciales a 2 ata y 77 °C,
- El grado de reacción a 2 ata y 77 °C,
- La temperatura para lograr a 2 ata un incremento en el grado de reacción del 50% con respecto a 77 °C.

**Datos**

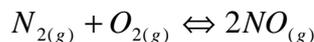
$$K_{127^{\circ}C} = 7,5$$

$$K_{27^{\circ}C} = 0,15$$

	$\bar{C}_p$ (Joule.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$A_2B_{2(g)}$	77,28
$AB_{(g)}$	38,64

**☞ Problema N° 11.21:**

Para la reacción:



la constante de equilibrio químico, K, varía con la temperatura según:

$$\ln K = -1,745 - \frac{31429,29}{T^2} - \frac{21.348,616}{T} + 0,669 \ln T - 1,993 \cdot 10^{-4} T$$

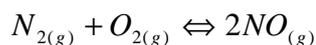
partiendo de una mezcla N<sub>2(g)</sub> – O<sub>2(g)</sub> con 80% molar de N<sub>2</sub>, calcular:

- Las fracciones molares en el equilibrio a 3727 °C
- $\Delta h_f^{0,300K}$

Suponer que los gases se comportan idealmente.

**☞ Problema N° 11.22:**

Para la reacción:

Partiendo de una mezcla de los gases con una relación  $\left(\frac{n_{N_2}}{n_{O_2}}\right)_i = 2$  y  $\left(\frac{n_{NO}}{n_{N_2}}\right)_i = 1$ , calcular

las fracciones molares en el equilibrio a 3227 °C.

Suponer comportamiento de gases ideales.

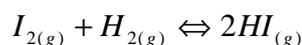
**Datos**

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NO_{(g)}$	21,6	20,719

	$C_p$ (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3}T$
$O_{2(g)}$	$8,27 + 2,58 \cdot 10^{-4}T$
$NO_{(g)}$	$8,05 + 2,33 \cdot 10^{-4}T$

**☞ Problema N° 11.23:**

Para la reacción:



Partiendo de una mezcla de  $I_{2(g)} / H_{2(g)}$  de  $\delta = 6,2228$  g/lit a 1 ata y 27 °C, calcular las fracciones molares en el equilibrio a 227 °C.

Suponer que los gases se comportan idealmente.

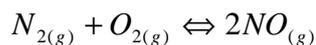
**Datos**

	$\Delta h_{r, (298K)}^0$ $\left(\frac{Kcal}{mol}\right)$	$\Delta g_{r, (298K)}^0$ $\left(\frac{Kcal}{mol}\right)$	$C_p$ $\left(\frac{cal}{mol.K}\right)$
$HI_{(g)}$	6,27	0,365	$6,93 + 8,3 \cdot 10^{-4}T$
$H_{2(g)}$	14,88	4,63	$6,62 + 8,1 \cdot 10^{-4}T$
$I_{2(g)}$	0	0	9

$$M_I = 126,9.$$

**☞ Problema N° 11.24:**

Para la reacción:



partiendo de una mezcla NO-AIRE con un 20% molar de  $NO_{(g)}$ , calcular las fracciones molares en el equilibrio a 3727 °C

Suponer que los gases se comportan idealmente y que el aire es una mezcla  $N_2 / O_2$  con 80% molar de  $N_2$ .

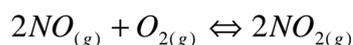
**Datos**

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NO_{(g)}$	21,61	20,73

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
N <sub>2(g)</sub>	6,5 + 10 <sup>-3</sup> T
O <sub>2(g)</sub>	6,72 - 8,79.10 <sup>-7</sup> T + 4,17.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>
NO <sub>(g)</sub>	7 - 2,24.10 <sup>-4</sup> T + 2,33.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>

☞ **Problema N° 11.25:**

Para la reacción:



Partiendo de una relación molar  $\left(\frac{n_{NO}}{n_{NO_2}}\right)_i = 1$  el sistema presenta, al alcanzar el equilibrio, una

$\delta = 0,6921$  g/lit a 527 °C y 1,37 ata.

Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular:

- Las presiones parciales en el equilibrio a 527 °C y 1,37 ata.
- $\Delta G_R^0$  a 327 °C.

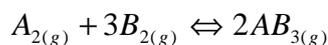
**Datos**

	$\Delta h_{f 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
NO <sub>(g)</sub>	21,61	20,73
NO <sub>2(g)</sub>	8,10	12,43

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
NO <sub>(g)</sub>	7 - 2,24.10 <sup>-4</sup> T + 2,33.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>
O <sub>2(g)</sub>	6,72 - 8,79.10 <sup>-7</sup> T + 4,17.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>
NO <sub>2(g)</sub>	5,79 - 1,15.10 <sup>-2</sup> T + 4,97.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>

☞ **Problema N° 11.26:**

En un recipiente de 33,95 lts., se verifica la reacción:



Partiendo de 1 mol de B<sub>2(g)</sub> y 1 mol de AB<sub>3(g)</sub> al alcanzar el equilibrio a 177 °C la presión es de 2,5 ata.

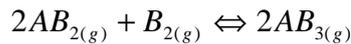
Calcular la constante de equilibrio químico a 527 °C.

### Datos

	$\Delta h_{f, 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	C <sub>p</sub> (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
AB <sub>3(g)</sub>	-30	7
A <sub>2(g)</sub>	-20	5
B <sub>2(g)</sub>	-15	5

### ☞ Problema N° 11.27:

Para la reacción:



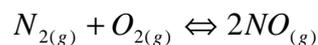
partiendo de una relación molar  $\frac{n_{B_{2(g)}}}{n_{AB_{2(g)}}} = 2$ . Calcular las presiones parciales cuando el sistema presenta un  $\varepsilon = 0,8$  en el equilibrio a 577 °C.  
Suponer que los gases se comportan idealmente.

### Datos

	$\Delta h_{f, (298K)}^o$ $\left(\frac{Kcal}{mol}\right)$	$\Delta g_{f, (298K)}^o$ $\left(\frac{Kcal}{mol}\right)$	C <sub>P</sub> $\left(\frac{cal}{mol.K}\right)$
AB <sub>3(g)</sub>	-95	-89	4,6+3,3*10 <sup>-2</sup> T-2,8.10 <sup>-5</sup> T <sup>2</sup>
AB <sub>2(g)</sub>	-70	-72	5,7+1,6*10 <sup>-2</sup> T-1,2.10 <sup>-5</sup> T <sup>2</sup>
B <sub>2(g)</sub>	0	0	6,7+8,8*10 <sup>-7</sup> T+4,2.10 <sup>-6</sup> T <sup>2</sup>

### ☞ Problema N° 11.28:

Para la reacción:



Partiendo de una mezcla de N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> con 80% molar de N<sub>2</sub>, calcular las x<sub>i</sub> en el equilibrio a 2727 °C.

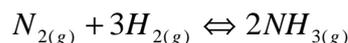
### Datos

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
NO <sub>(g)</sub>	21,6	20,719

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
N <sub>2(g)</sub>	6,5 + 10 <sup>-3</sup> T
O <sub>2(g)</sub>	8,27 + 2,58.10 <sup>-4</sup> T - $\frac{187700}{T^2}$
NO <sub>(g)</sub>	8,05 + 2,33.10 <sup>-4</sup> T - $\frac{156300}{T^2}$

☞ **Problema N° 11.29:**

Para la reacción:



Partiendo de  $\frac{n_{N_2}}{n_{NH_3}} = 3$ , cuando alcanza el equilibrio a 296,1 ata y 450 °C presenta

$x_{N_2} = 0,726$ . Calcular:

- ε a 296,1 ata y 450 °C.
- K a 527 °C

**Datos**

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
NH <sub>3(g)</sub>	-10,96

	$\gamma_{450C}^{296,1ata}$	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
NH <sub>3(g)</sub>	0,91	6,7 + 6,3.10 <sup>-3</sup> T
N <sub>2(g)</sub>	1,14	6,5 + 10 <sup>-3</sup> T
H <sub>2(g)</sub>	1,09	6,62 + 8,81.10 <sup>-4</sup> T

☞ **Problema N° 11.30:**

Para la reacción de formación del NH<sub>3</sub>, calcular las fracciones molares en el equilibrio a 127 °C. y 1,6 ata partiendo de proporciones estequiométricas de reactivos con el N<sub>2</sub> necesario aportado por el aire.

**Datos**

Considerar una mezcla de gases ideales.

Aire: mezcla N<sub>2(g)</sub> / O<sub>2(g)</sub> con 20% molar de O<sub>2</sub>.

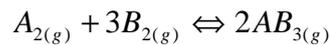
$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )

$NH_{3(g)}$	-3,9	-10,96
-------------	------	--------

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	$6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T$
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3} T$
$H_{2(g)}$	$6,62 + 8,81 \cdot 10^{-4} T$

☞ **Problema N° 11.31:**

Para la reacción:



Partiendo de una mezcla con igual número de  $B_{2(g)}$  y de  $AB_{3(g)}$  al alcanzar el equilibrio a 177 °C y 2,5 ata la densidad de la mezcla es de 0,8248 g/lt.

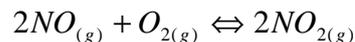
Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular la constante de equilibrio químico a 527 °C.

**Datos**

	$\Delta h_{f,300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$AB_{3(g)}$	-30	7
$A_{2(g)}$	-20	5
$B_{2(g)}$	-15	5

☞ **Problema N° 11.32:**

Para la reacción:



partiendo de una mezcla con igual número de moles de  $NO_{(g)}$  y de  $NO_{2(g)}$  al alcanzar el equilibrio a 527 °C y 1,37 ata la  $p_{NO(g)} = 0,945$  atm.

Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular:

- Las fracciones molares de cada uno de los componentes a 527 °C y 1,37 ata.
- $\Delta G_R^0$  a 427 °C.

**Datos**

	$\Delta h_{f,300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f,300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NO_{(g)}$	21,61	20,73

$NO_{2(g)}$	8,10	12,43
-------------	------	-------

	$C_p$ ( $\text{Cal.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
$NO_{(g)}$	$7 - 2,24.10^{-4}T + 2,33.10^{-6}T^2$
$O_{2(g)}$	$6,72 - 8,79.10^{-7}T + 4,17.10^{-6}T^2$
$NO_{2(g)}$	$5,79 - 1,15.10^{-2}T + 4,97.10^{-6}T^2$

### ☞ Problema N° 11.33:

Para la reacción de formación del  $NH_3$ , partiendo de una mezcla de  $N_{2(g)}$  e  $H_{2(g)}$  de  $\rho = 0,6687 \text{ g/lit}$  a 2 ata y  $37^\circ\text{C}$ . Calcular el grado de reacción en el equilibrio a 3 ata y  $227^\circ\text{C}$ .

#### Datos

Considerar una mezcla de gases ideales.

Aire: mezcla  $N_{2(g)} / O_{2(g)}$  con 20% molar de  $O_2$ .

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ ( $\text{Kcal.mol}^{-1}$ )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ ( $\text{Kcal.mol}^{-1}$ )
$NH_{3(g)}$	-3,9	-10,96

	$C_p$ ( $\text{Cal.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
$NH_{3(g)}$	$6,7 + 6,3.10^{-3}T$
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3}T$
$H_{2(g)}$	$6,62 + 8,81.10^{-4}T$

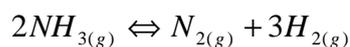
### ☞ Problema N° 11.34:

Suponiendo que el sistema  $N_{2(g)} / H_{2(g)} / NH_{3(g)}$  a  $450^\circ\text{C}$  y 296,1 ata se comporta como mezcla ideal, calcular las fugacidades parciales en el equilibrio partiendo de  $NH_{3(g)}$  puro.

#### Datos

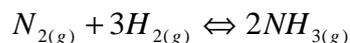
	$\Delta h_{f, 298K}^0$ ( $\text{KJoule.mol}^{-1}$ )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ ( $\text{KJoule.mol}^{-1}$ )
$NH_{3(g)}$	-46,11	-16,45

	$\bar{C}_p$ ( $\text{Joule.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	$\gamma_{450C}^{296,1ata}$
$N_{2(g)}$	$27,20 + 4,18.10^{-3}T$	1,14
$H_{2(g)}$	$27,70 + 3,34.10^{-3}T$	1,09
$NH_{3(g)}$	$28,03 + 2,64.10^{-2}T$	0,91



☞ **Problema N° 11.35:**

Calcular las  $\bar{f}_i$  en el equilibrio a 296 ata y 450°C para la reacción



Partiendo de una mezcla  $N_{2(g)}/H_{2(g)}$  en proporción estequiométrica.

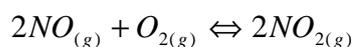
**Datos**

	$\Delta h_{f 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f 300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	-3,9	-10,96

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$\gamma_{450C}^{296,1ata}$
$NH_{3(g)}$	$6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T$	0,91
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3} T$	1,14
$H_{2(g)}$	$6,62 + 8,81 \cdot 10^{-4} T$	1,09

☞ **Problema N° 11.36:**

Para la reacción:



Calcular el grado de reacción a 527 °C si partiendo de igual número de moles de  $NO_{2(g)}$  y  $NO_{(g)}$  al alcanzar el equilibrio  $p_{O_2} = 0,176$  atm.

Suponer comportamiento de gases ideales.

**Datos**

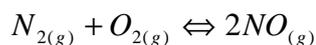
	$\Delta h_{f 300K}^0$ (Joule.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f 300K}^0$ (Joule.mol <sup>-1</sup> )
$NO_{(g)}$	$9,043 \cdot 10^4$	$8,675 \cdot 10^4$
$NO_{2(g)}$	$3,387 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^4$

	Cp (Joule.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$NO_{(g)}$	$29,35 - 9,378 \cdot 10^{-4} T + 9,747 \cdot 10^{-6} T^2$
$O_{2(g)}$	$28,11 - 3,68 \cdot 10^{-6} T + 1,746 \cdot 10^{-5} T^2$

$NO_{2(g)}$	$24,23 - 4,836 \cdot 10^{-2} T + 2,081 \cdot 10^{-5} T^2$
-------------	---

☞ **Problema N° 11.37:**

Se calienta aire hasta 4727 °C, de ocurrir solamente la reacción:



Calcular las fracciones molares en el equilibrio.

**Datos**

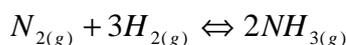
Aire: mezcla  $N_{2(g)} / O_{2(g)}$  con  $x_{N_2} = 0,8$ .

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NO_{(g)}$	21,6	20,719

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3} T$
$O_{2(g)}$	$8,27 + 2,58 \cdot 10^{-4} T - \frac{187700}{T^2}$
$NO_{(g)}$	$8,05 + 2,33 \cdot 10^{-4} T - \frac{156300}{T^2}$

☞ **Problema N° 11.38:**

Para la reacción:



partiendo de una mezcla de  $N_{2(g)} / NH_{3(g)}$  de  $\rho = 1,0643$  g/lit a 1,5 ata y 330 K. Al alcanzar el equilibrio a 500 K y 2 ata la  $\rho = 0,6005$  g/lit. Calcular la constante de equilibrio químico a 700 K.

**Datos**

	$\Delta h_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f, 298K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	-3,9	-10,96

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	$6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T$
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3} T$
$H_{2(g)}$	$6,62 + 8,81 \cdot 10^{-4} T$

**☞ Problema N° 11.39:**

Para la reacción de formación del  $NH_{3(g)}$  calcular las presiones parciales en el equilibrio a 277 y 2,5 ata si inicialmente el sistema está compuesto por una mezcla gaseosa  $N_2 - H_2$  de  $x_{H_2} = 0,75$ .

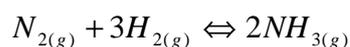
**Datos**

	$\Delta h_{f,300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f,300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	- 3,9	- 11

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	$6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T$
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3} T$
$H_{2(g)}$	$6,62 + 8,81 \cdot 10^{-4} T$

**☞ Problema N° 11.40:**

Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular las presiones parciales en el equilibrio para la reacción:



a 227 °C y 1,5 ata.

Inicialmente el sistema está compuesto por una mezcla  $N_2 - H_2$  de  $\rho = 0,3455$  g/lit a 27 °C y 1 ata.

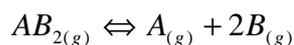
**Datos**

	$\Delta h_{f,300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta g_{f,300K}^0$ (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	- 3,9	- 11

	Cp (Cal.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
$NH_{3(g)}$	$6,7 + 6,3 \cdot 10^{-3} T$
$N_{2(g)}$	$6,5 + 10^{-3} T$
$H_{2(g)}$	$6,62 + 8,81 \cdot 10^{-4} T$

**☞ Problema N° 11.41:**

A los efectos de establecer el equilibrio para la reacción:



Se introduce  $AB_{2(g)}$  en un recipiente hasta alcanzar una presión de 1,20 ata a  $27^{\circ}\text{C}$ , estableciéndose en forma isocórica e isotérmica el equilibrio a 1,46 ata.

Si la misma composición molar de equilibrio se obtuviese a  $327^{\circ}\text{C}$ , cuáles serían las presiones parciales de los componentes de la mezcla gaseosa.

**Datos**

	$\Delta h_{f(298K)}^{\circ} \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right)$	$C_p \left( \frac{\text{cal}}{\text{mol.K}} \right)$
$A_{(g)}$	80	3
$B_{(g)}$	25	5
$AB_{2(g)}$	125	6

**☞ Problema N° 11.42:**

Suponiendo comportamiento de gases ideales, calcular la densidad del sistema  $\text{NO}_2 / \text{N}_2\text{O}_4$  cuando alcanza el equilibrio químico a 2 ata y  $47^{\circ}\text{C}$ .

**Datos**

	$K_{(298K)}$	$\Delta H_{r(298)}^{\circ} \left( \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \right)$
$\text{NO}_{(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_{2(g)} \Leftrightarrow \text{NO}_{2(g)}$	$1,603 \cdot 10^6$	- 13,64
$2\text{NO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \Leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_{4(g)}$	$1,675 \cdot 10^{13}$	- 40,97

	$\bar{C}_p \left( \frac{\text{cal}}{\text{mol.K}} \right)$
$\text{NO}_{2(g)}$	8,9
$\text{N}_2\text{O}_{4(g)}$	18,5

# Bibliografía

- Zemansky. 1984. Calor y Termodinámica. Ed. Aguilar.
- Levine. 1991. Fisicoquímica. Ed. McGraw-Hill.
- Levine. 2004. Fisicoquímica. Vol. I. Ed. McGraw-Hill.
- Atkins, De Paula. 2008. Química Física. 8<sup>o</sup> Edición. Ed. Panamericana.
- Wark, Richards. 2001. Termodinámica. 6<sup>o</sup> Edición. Ed. McGraw-Hill.
- Castellan. 1987. Fisicoquímica. Ed. Addison Wesley Iberoamericana.
- Sears. 1960. Termodinámica. Ed. Reverté.
- Levine. 1991. Fisicoquímica. Ed. McGraw-Hill.
- Glasstone. 1980. Termodinámica para Químicos. Ed. Aguilar.
- Zemansky. 1968. Calor y Termodinámica. Ed. Aguilar.
- Lewis and Randall. 1961. Thermodynamics. Ed. McGraw-Hill.
- Zemansky, Van Ness. 1972. Termodinámica Técnica Fundamental. Ed. Aguilar.
- Watson, Hougen, Ragatz. 1982. Principios De Los Procesos Químicos. Termodinámica. Ed. Reverté.
- Labowitz y Arents. 1978. Fisicoquímica: Problemas y Soluciones. Ed. AC.
- Zemansky y Dittman. 1984. Calor y Termodinámica. Ed. McGraw-Hill.
- Perry. 1950, 1973, 1997y 2007. Manual del Ingeniero Químico. Ediciones: III<sup>a</sup>, V<sup>a</sup> , VII<sup>a</sup> y VIII<sup>a</sup>. Ed. McGraw-Hill.
- Morris. 1982. Fisicoquímica para Biólogos. Ed. Reverté.
- Sanz Pedrero. 1992. Fisicoquímica para Farmacia y Biología. Ed. Masson.
- Price. 1981. Principios y Problemas de Física para Bioquímicos. Ed. Acribia.
- Levine. 2005. Problemas de Fisicoquímica. Ed. Mc Graw-Hill.
- Compendio de Tablas y Gráficas de la Cátedra.

## Los Autores

**Manuel Antonio Novo:** Profesor Titular con dedicación exclusiva, a cargo de las asignaturas Introducción a la Fisicoquímica y Fisicoquímica Ic. para las Carreras Ingeniería Química, Ingeniería en Alimentos, Farmacia, Bioquímica y Licenciatura en Genética. Es Ingeniero Químico y Especialista en Docencia. Mitad de afectación del cargo corresponde a Introducción a la Fisicoquímica. Se ha desempeñado como director del Departamento Fisicoquímica en el periodo 2003 a 2012 y como Vicedirector del Departamento previamente. Es categoría III en el Sistema Nacional de Incentivos a los Docentes Investigadores, dirigiendo proyectos de investigación y realizando publicaciones. Asimismo, se ha desempeñado como Secretario Académico de la FCEQyN; además como Consejero Superior de la UNaM.

**Alicia Esther Ares:** Profesora Titular con dedicación Exclusiva. Mitad de la afectación del cargo corresponde a Ciencia de los Materiales de la Ingeniería Química, asignatura en la que se desempeña como responsable. Es Ingeniería Química, Magíster en Ciencia y Tecnología de los Materiales y Doctora en Ciencia y Tecnología, mención Materiales. También, se desempeña como Investigadora del CONICET. Es Categoría I en el Programa de Incentivos a los Docentes Investigadores.