

UNIVERSIDAD SIMON BOLIVAR

---

# **GUIA RESUELTA TERMODINAMICA I**

**Realizado por:  
ELIO ANDRES ORTEGA**

**Realizado en:  
Junio Del 2019**

---

Prefacio:

El hecho de por qué hago esta guía esta guía más allá de gustarme la materia y sentir gran fascinación al momento de entenderla y estudiarla es por el hecho de que en mi opinión a pesar de existir muchos ejercicios por hacer hace falta una guía que pueda ayudar a los estudiantes para que estos puedan entender los ejercicios y de manera más específica, entender los detalles pequeños de estos ya que de por si el diablo se encuentra en los detalles pequeños, termodinámica si no se entiende puede ser incluso peor que el diablo.

En esta guía van a encontrar ejercicios resueltos de la guía de Siquier-Colina, Castillo, Sylvana y uno que otro ejercicio que pude conseguir y resolver.

También espero que al momento de leer esta guía puedan entender y disfrutar de la misma manera que yo lo hice al momento de verla, y recuerden que termodinámica es una materia que la primera vez que la estudias no la entiendes, la segunda vez crees que la entiendes y bueno, la tercera te das cuenta que no la entiendes, pero ya no te preocupa.

**Tema 1: Propiedades de sustancias puras**

En este capítulo se estudiarán las sustancias puras y para ser más precisos va a ser básicamente definir estados usando las tablas de sustancias puras y en ciertos casos con procesos iterativos. Para definir un estado se necesitan al menos dos propiedades del estado.

**Problema 1(Guía de Castillo):**

Considere el sistema pistón-cilindro de la figura, lleno con una mezcla líquido-vapor de agua a 30°C. El pistón de 40 kg descansa inicialmente sobre los topes inferiores; el volumen en ese instante es de 1 m<sup>3</sup> y la calidad 3%. Se transfiere calor al sistema hasta que el pistón llega a los topes superiores; en ese instante el volumen interno es de 2 m<sup>3</sup> . Luego se continúa calentando hasta que alcanza la temperatura de 600°C. La presión atmosférica es 94 kPa, la aceleración de gravedad 9.75 m/s<sup>2</sup> , el área del pistón 0.065 m<sup>2</sup> .

- a) Determinar la masa de agua en el cilindro, y la presión en el estado inicial.
- b) Determinar la temperatura y calidad cuando el pistón comienza a elevarse y cuando toca los topes superiores.
- c) Determinar la presión en el estado final.



Primeramente, lo que se va a realizar es analizar que valores se poseen de manera que se pueda definir el estado 1 en su totalidad.

**Estado 1:**

Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v\left(\frac{m^3}{kg}\right)$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Agua	<i>i?</i>	30	<i>i?</i>	0.03	<i>i?</i>	1

Debido a que se nos dio el dato de que posee calidad (mezcla líquido-vapor) se sabe que está en estado de saturación, de manera que se va a entrar a las tablas por temperatura, para hallar su presión de saturación a la temperatura dada y su volumen específico con la calidad dada.

$P_1@30^\circ\text{C} = 4,2461\text{kPa}$ .

para hallar su volumen específico se hace la ecuación que es del tipo

$$v = (1 - x)v_f + xv_g$$

Los valores son  $v_g = 32,893 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  y  $v_f = 0,001004 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ , al momento de sustituir valores se tiene que

$v = 0,98776 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ , con esto ya se puede hallar el valor de la masa del agua debido a que:

$$v = \frac{V}{m} \Rightarrow m = \frac{V}{v}$$

Como se tiene el valor del volumen específico y del físico, se puede hallar que

$$m = \frac{1\text{m}^3}{0,98776 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 1,0123\text{kg}$$

Ahora ya tenemos que:

Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Agua	4.2461	30	0.98776	0.03	1.0123	1

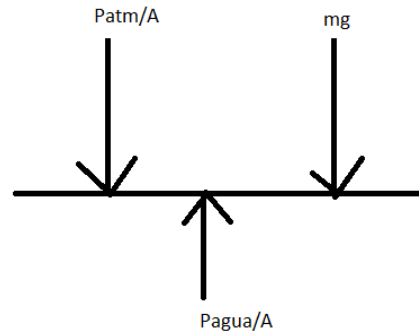
Con esto ya tenemos definido en su totalidad al estado 1.

### Estado 2:

Para el estado dos se tiene que:

Instante	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Antes de moverse	¿?	¿?	¿?	¿?	1.0123	1
Después tocar los topes	¿?	¿?	¿?	¿?	1.0123	2

Como se sabe que toco los bordes superiores se pueden hacer dos suposiciones, las cuales son que la al hacer el DCL que es de la forma:



Lo cual al momento de escribir las ecuaciones nos queda:

$$\frac{P_{agua}}{A_{piston}} - \frac{P_{atm}}{A_{piston}} + m_{piston}g = ma$$

Aunque como se estudia en momentos cuasi estáticos se va a decir que se hace en el momento en el que la aceleración es nula.

Para el instante antes se tiene

$$P_{agua} = P_{atm} + \frac{m_{piston}g}{A_{piston}}$$

Y esto da como resultado  $P_{agua}=100\text{kPa}$  y como se posee el valor de la masa y el del volumen físico se puede ver que:

$$v = \frac{V}{m} = 0,98776 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Al momento de entrar por presión en las tablas de agua y comparar los valores de los volúmenes específicos en  $P=100\text{kPa}$ , se pudo ver que:

$$v_f < v < v_g$$

Lo cual nos hace concluir que se está en estado de saturación a  $100\text{kPa}$ , por lo cual se va a leer los otros valores para definir el estado totalmente.

$$T@100\text{kPa}=99.62\text{ }^\circ\text{C}$$

Para hallar la calidad se tiene la ecuación:

$$x = \frac{v_g - v}{v_g - v_f}$$

Los valores son  $v_g = 1.6940 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  y  $v_f = 0,001043 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ , al momento de sustituir valores se tiene que

$x = 0.4171$ .

Con lo cual ya se tiene definido en su totalidad el estado antes de subir.

Para el instante después de tocar los topes:

Como se tiene el valor del volumen físico y de la masa se puede hallar el valor de el volumen específico:

$$v = 1.97552 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Y para este caso se tienen dos opciones, el cual la presión es mayor a la de la atmosférica sumada a la del pistón o que son iguales, para el caso que son iguales se tiene el mismo DCL y ecuaciones que para el momento antes de subir, lo cual la presión es también de 100 kPa, al entrar por presión se puede ver fácilmente que:

$$v_g < v$$

Lo cual nos hace ver que estamos en valor de vapor sobre calentado, al entrar por las tablas de vapor sobre calentado a 100kPa buscaremos el valor de la temperatura en el cual se encuentre el volumen específico de  $1.97552 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ , debido a que el valor no se encuentra como tal, se interpolara entre dos valores:

Temperatura en Celsius	Volumen específico
150	1.9364
<b>158.294</b>	1.97552
200	2.17223

Con lo cual ahora se tiene definido todo el estado 2:

Instante	P(kPa)	T(°C)	$v\left(\frac{m^3}{kg}\right)$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Antes de moverse	100	99.62	0.98776	0.4171	1.0123	1
Después tocar los topes	100	158.294	1.97552	VSC	1.0123	2

### Estado 3:

Para el estado final se tiene que al calentarse la temperatura va a seguir subiendo, y se puede ver de manera intuitiva que:

$$P_{agua} > P_{atm} + \frac{m_{piston} g}{A_{piston}}$$

Debido a que si fuese igual no habría variación de nada con respecto al estado 2, pero se tiene lo siguiente:

Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v\left(\frac{m^3}{kg}\right)$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Agua	¿?	600	1.97552	VSC	1.0123	2

Por lo que se tiene que entrar en las tablas de agua en VSC a temperatura de 600 Celsius, y hallar la presión a la cual se tiene el volumen específico del estado 3, debido a que el valor no se encuentra como tal, se interpolara entre dos valores:

Presión(kPa)	Volumen específico
200	2.01297
<b><u>205.576</u></b>	1.97552
300	1.34136

Con esto ya se tiene en el estado 3:

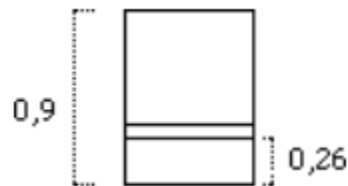
Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v\left(\frac{m^3}{kg}\right)$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Agua	205.576	600	1.97552	VSC	1.0123	2



**Problema 2(Guía de Siquier-Colina):**

Se tiene un dispositivo como el mostrado en la figura. El comportamiento A contiene 5 kg de agua y el compartimiento B 10 kg de n-butano. Inicialmente, el manómetro conectado al compartimiento A indica una presión de 0,75 MPa y el pistón se encuentra a una altura de 0,26 m (estado 1). Se calienta el agua hasta que el pistón llega a una altura de 0,3 m. En este momento, el agua posee una calidad de 0,92 (estado 2). Determine los estados 1 y 2 (P, T, v, x) en A y B.

Datos adicionales:  $A_p = 1 \text{ m}^2$  ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$  ;  $m_p = 0,5 \text{ kg}$  ;  $P_{atm} = 0,1 \text{ MPa}$ .



Para empezar, se definirá totalmente el estado 1:

**Estado 1:**

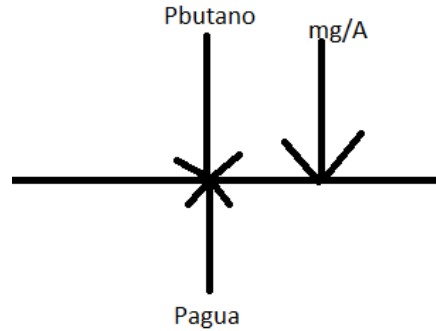
Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$	x	m(kg)	h(m)	V(m <sup>3</sup> )
A	Agua	¿?	¿?	¿?	¿?	5	0.26	¿?
B	n-butano	¿?	¿?	¿?	Gas ideal	10	0.64	¿?

Como la presión medida en el tanque A es del tipo manométrica se tiene que

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

Dando como resultado que  $P_{abs}=850\text{kPa}$ .

Al hacer el DCL:



Con lo que se puede observar que  $P_{\text{butano}} = P_{\text{agua}} - \frac{mg}{A}$

Por lo que  $P_{\text{butano}} = 849.995 \text{ kPa}$ , pero se aproximará a  $850 \text{ kPa}$  al momento de hacer cálculos por comodidad.

Para hallar el volumen se recurre a  $V = h * A$

Lo cual nos deja como resultado que  $V_{A1} = 0.24 \text{ m}^3$  y  $V_{B1} = 0.64 \text{ m}^3$ .

Para con esto se van a hallar los valores de los volúmenes específico:

$$v_{1A} = 0.048 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad v_{1B} = 0.064 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Ahora se puede ver que ya se tienen los valores suficientes para poder definir el estado 1 en cada compartimiento totalmente.

Para el agua se va a entrar por presión y queda que a  $850 \text{ kPa}$  el volumen específico es

$$v_f < v < v_g$$

Por lo que efectivamente se encuentra en estado de saturación, por lo cual  $T@850 \text{ kPa} = 172.96$

$^{\circ}\text{C}$ , para la calidad se usará la ecuación:

$$x = \frac{v_g - v}{v_g - v_f}$$

Los valores son  $v_g = 0.227 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  y  $v_f = 0.001118 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ , al momento de sustituir valores se tiene que

$x = 0.79244$ .

Y para el butano, se usará la ecuación de gases ideales:

$$PV = mRT \Rightarrow T = \frac{Pv}{R} = 380.41K$$

Cabe destacar que el resultado queda en kelvin debido a que en la ecuación de bases ideales

siempre se usa los valores en kelvin y el  $R_{butano} = 0.143 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

Por lo cual ya se tienen todos los valores de la tabla:

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	m(kg)	h(m)	V(m <sup>3</sup> )
A	Agua	850	172.96	0.048	0.79244	5	0.26	0.24
B	n-butano	849.995	107.2695	0.064	Gas ideal	10	0.64	0.64

**Estado 2:**

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	m(kg)	h(m)	V(m <sup>3</sup> )
A	Agua	¿?	¿?	¿?	0.92	5	0.3	¿?
B	n-butano	¿?	¿?	¿?	Gas ideal	10	0.6	¿?

Para hallar el volumen se recurre a  $V = h * A$

Lo cual nos deja como resultado que  $V_{A2} = 0.3 \text{ m}^3$  y  $V_B = 0.6 \text{ m}^3$ .

Para con esto se van a hallar los valores de los volúmenes específico:

$$v_{2A} = 0.06 \frac{m^3}{kg} \quad v_{2B} = 0.06 \frac{m^3}{kg}$$

Como el agua posee calidad, el agua se encuentra en estado de saturación, por lo cual se tiene que hacer un tanteo para hallar la presión y temperatura a la que se encuentra el agua.

Para hacer la iteración se usa una función del tipo

$$f(x) = v_{iterado} - v_{real}$$

Y lo que se busca aquí es que exista un cambio de signo, por lo que se va a intentar con

$P = 3000 \text{ kPa}$ , y queda  $v = 0.06144 \frac{m^3}{kg}$  y con  $P = 3250 \text{ kPa}$  queda  $v = 0.05669 \frac{m^3}{kg}$

P(kPa)	f(x)
3000	0.00144

<b>3075.94</b>	<b>0</b>
3250	-0.00330

Con lo cual ya se tiene el valor de la presión y con este hallamos el de la temperatura y es de  $T@3075.94\text{kPa}=235.260\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ahora para el butano se tiene el mismo DCL que en estado 1, debido a que no se añaden más fuerzas, y queda que  $P_{B2}=3075.935\text{kPa}$ .

Para hallar su temperatura se usa la ecuación de gases ideales y se despeja de nuevo T y al sustituir valores queda  $T=1290.6\text{K}$ .

Por lo que el ejercicio esta completo y se tiene:

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T( $^{\circ}\text{C}$ )	$v\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\right)$	x	m(kg)	h(m)	V( $\text{m}^3$ )
A	Agua	3075.94	235.26	0.06	0.92	5	0.3	0.3
B	n-butano	3075.935	1017.45	0.06	Gas ideal	10	0.6	0.6

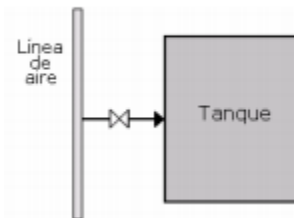
### Ejercicio 3(Guía Castillo)

Un tanque rígido de  $1\text{ m}^3$  con aire a  $1\text{ MPa}$  y  $400\text{ K}$  se conecta a una línea de aire, como se muestra en la figura. Se abre la válvula y fluye aire hacia el tanque hasta que la presión

alcanza 5 MPa; en ese momento se cierra la válvula y la temperatura es 450 K. Suponer comportamiento ideal para el gas.

a) ¿Cuál es la masa de aire en el tanque antes y después del proceso?

b) El tanque finalmente se enfría hasta la temperatura ambiental de 300 K. ¿Cuál es la presión dentro del tanque en ese momento?



**Estado 1:**

Para empezar, se definirá el estado 1 con el fin de hallar el valor de la masa antes del proceso de llenado.

Compuesto	P(kPa)	T(K)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Aire	1000	400	¿?	Gas ideal	¿?	1

Como se nos dice que supongamos comportamiento de gas ideal, y por tablas se sabe que el

$$R_{aire} = 0.287 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$PV = mRT \Rightarrow m = \frac{PV}{RT} = 8.71 kg$$

Para el momento después de ser llenado se tiene que:

Compuesto	P(kPa)	T(K)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Aire	5000	450	¿?	Gas ideal	¿?	1

Para hallar la masa en el proceso después se usa el mismo concepto de gases ideales y se despeja de nuevo la masa y queda  $m=38.714\text{kg}$ .

### Estado 2:

Después de este proceso al enfriarse el tanque a 300K y no haber otra añadidura de masa se tiene que la masa no varía, por lo tanto:

Compuesto	P(kPa)	T(K)	$v\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\right)$	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Aire	¿?	300	¿?	Gas ideal	38.714	1

Por lo que se usa de nuevo la ecuación,

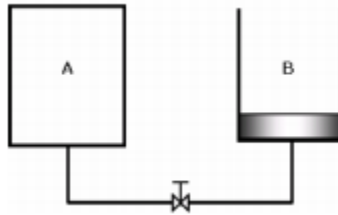
$$PV = mRT \Rightarrow P = \frac{mRT}{V} = 3333.33\text{kPa}$$

### Problema 4 (Guía Castillo):

Un tanque rígido A con un volumen de 1 m<sup>3</sup> que tiene aire a 1500 kPa y temperatura ambiente de 300 K se conecta por una válvula a un sistema pistón-cilindro B, como se muestra en la figura. El pistón de área 0.1 m<sup>2</sup> requiere 250 kPa de presión por debajo para elevarse. La válvula

se abre y el pistón se mueve lentamente 2 m hacia arriba y se cierra la válvula. Durante este proceso la temperatura del aire se mantiene a 300 K. ¿Cuál es la presión final en el tanque?

Suponer gas ideal.



**Estado 1:**

Para empezar, se definirá en su totalidad el estado inicial del contenedor A:

Compuesto	P(kPa)	T(K)	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Aire	1500	300	Gas ideal	¿?	1

Usaremos la ecuación de gases ideales para hallar la masa contenida, con  $R_{aire}=0.287 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ :

$$PV = mRT \Rightarrow m = \frac{PV}{RT} = 17.42kg$$

Con esto ahora pasaremos a estudiar el estado 2 y ambos compartimientos:

**Estado 2:**

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T(K)	x	m(kg)	h(m)	V(m <sup>3</sup> )
A	Aire	¿?	300	Gas ideal	¿?	No aplica	1
B	Aire	250	300	Gas ideal	¿?	2	¿?

Primeramente, se va a hallar el valor del volumen del compartimiento B:

$$V = h * A = 0.2m^3$$

Con esto se puede usar ahora la ecuación de gases ideales:

$$PV = mRT \Rightarrow m = \frac{PV}{RT} = 0.58kg$$

Como lo que sucedió fue que la masa se transfirió de un tanque a otro se tiene que

$$m_1 = m_A + m_B \Rightarrow m_A = m_1 - m_B = 16.84 \text{ kg}$$

Por lo que al usar la ecuación de gases ideales:

$$PV = mRT \Rightarrow P = \frac{mRT}{V} = 1449.924 \text{ kPa}$$

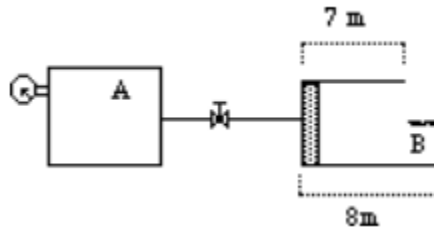
### **Problema 5(Guía Siquier-Colina):**

Se tiene un dispositivo conformado por un tanque de 1,5 m<sup>3</sup> conectado mediante una válvula a un cilindro dispuesto horizontalmente y abierto a la atmósfera de área transversal 0,3 m<sup>2</sup>. El cilindro posee en el extremo izquierdo un pistón de masa 20 kg y en el extremo derecho un resorte (K=0,05 kN/m) que se encuentra a 7 m de la base. El tanque contiene 111 kg de n-butano



con una calidad de 25 % (estado 1). A continuación, el tanque se calienta hasta 300 °C (estado 2), en este momento se abre la válvula y se dejan fluir 2,5 kg de n-butano hacia el pistón de manera isotérmica (estado 3). Se cierra la válvula. Calcule:

- a) Presión y temperatura del n-butano en el tanque en el estado 1.
- b) Longitud que se desplaza el pistón en el estado 3.



**Estado 1:**

Primeramente, se va a definir en su totalidad el estado 1 del compartimiento A:

Compuesto	P(kPa)	T(K)	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )	Z
Butano	¿?	¿?	0.25	111	1,5	¿?

Se sabe que el butano está en estado de saturación, pero como tal no se tiene algún otro valor para hallar su presión ni temperatura. Se sabe que:

$$Z = (1 - x)Z_f + xZ_g$$

Con la ecuación de gases ideales,  $R_{butano} = 0.1433 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ ,

$$PV = ZmRT \Rightarrow \frac{P}{ZT} = \frac{mR}{V} = 10.6042 \frac{kPa}{K}$$

Pero por el hecho de que se va a realizar una iteración se hará un:

$$f(x) = \text{valor iterado} - \text{valor real}$$

Siendo el valor iterado las suposiciones de:

$$\frac{P}{ZT}$$

Por lo que ahora lo que se hará es suponer valores de saturación de presión y temperatura usando el diagrama de Lee-Kesler, se sabe que:

$$Tr = \frac{T}{T_c} \text{ y } Pr = \frac{P}{P_c}$$

Se sabe que  $T_c = 425,2\text{K}$  y  $P_c = 3800\text{kPa}$ .

Suposición	$T_c$	$P_c$	T(K)	P(kPa)	$Z_f$	$Z_g$	Z	f(x)
1	0.8	0.252	340.16	957.6	0.04186	0.80704	0.233155	1.472
Real	¿?	¿?	<b>332.451</b>	<b>823.615</b>	¿?	¿?	¿?	0
2	0.78	0.2131	331.656	809.78	0.03552	0.82782	0.233595	-0.152

Como se pudo ver se itero entre los valores de temperaturas supuestas, se hizo lo mismo con el valor de la presión. Quedando:

Compuesto	P(kPa)	T(K)	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Butano	823.615	332.451	0.25	111	1,5

### Estado 2:

Al tenerse que se calienta hasta  $300^\circ\text{C}$  lo cual equivale a  $573.15\text{ K}$ ,

Compuesto	P(kPa)	T(K)	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )	Z
Butano	¿?	573.15	¿?	111	1,5	¿?

Definir el estado 2 no hace falta para realizar el ejercicio, pero se dejará planteado en pro de hacer entender cómo resolver este tipo de ejercicios y puede servir de ejercicio para el estudiante.

Se sacará la temperatura reducida, la cual arrojo  $Tr = 1.34795$ .

Al ver que la temperatura reducida es mayor que 1 se puede decir que se tiene un estado de VSC, lo cual implica que no tiene calidad.

Al usar la ecuación de gases ideales se tiene:

$$PV = ZmRT \Rightarrow \frac{P}{Z} = \frac{mRT}{V} = 6077.797\text{kPa}$$

Se hará de nuevo un proceso iterativo pero esta vez suponiendo solo la presión, teniendo el valor de  $T_r$ .

Suposición	$P_c$	$P$ (kPa)	$Z$	$f(x)$
1				
Real				0
2				

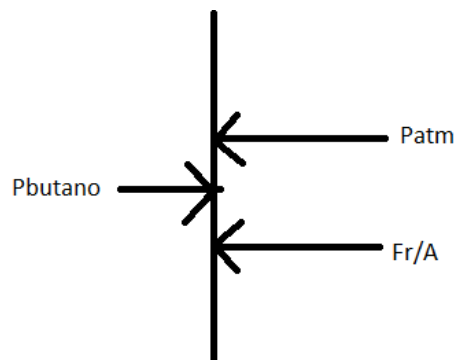
Con esto ya se deja planteada la resolución.

### Estado 3

Para el estado 3 se tiene que:

Compartimiento	Compuesto	$P$ (kPa)	$T$ (K)	$x$	$m$ (kg)	$L$ (m)	$V$ ( $m^3$ )
A	n-butano	¿?	573.15	VSC	108.5	No aplica	1.5
B	n-butano	¿?	573.15	VSC	2.5	¿?	¿?

Se sabe que el cilindro está expuesto a la presión atmosférica, al momento de hacer el DCL, solo se tomarán en cuenta las fuerzas horizontales, puesto que son las que hacen mover al pistón, y queda:



Ese DCL se hizo suponiendo que el pistón toca el resorte (siendo  $F_r$  la fuerza ejercida por el pistón), lo cual en el fondo no se sabe, por lo cual se tienen dos posibilidades, la posibilidad que el pistón no toca el resorte y la que el pistón efectivamente lo hace.

Pero antes que nada se verá primero cual es el volumen completo del cilindro en el cual se encuentra el pistón:

$$V = A * L_{max} = 0.3m^2 * 8m = 2.4m^3$$

Sabiendo esto se procederá a realizar el caso en el cual no toca el pistón ( $F_r=0$ ), por lo que  $P_{butano}=P_{atm}=100kPa$ . Al hallar los valores de temperatura y presión reducida con el fin de hallar  $Z$ , se tiene:

Tr	Pr
1.34795	$2.6315 * 10^{-2}$

Con lo cual podemos decir que  $Z$  se aproxima a 1, debido a que los gases ideales se caracterizan por poseer temperaturas altas y presiones bajas (con respecto a los valores críticos de la sustancia). Por lo cual:

$$PV = mRT \Rightarrow V = \frac{mRT}{P} = 2.053m^3$$

Como el valor es  $V_{calculado} < V_{maximo}$ , se puede concluir que el cilindro nunca toca el resorte, por lo cual el otro caso no hace falta que se haga.

Para hallar la distancia recorrida basta con:

$$V = A * L \Rightarrow L = \frac{V}{A} = 6.8443m$$

Con esto ya se concluye el ejercicio.

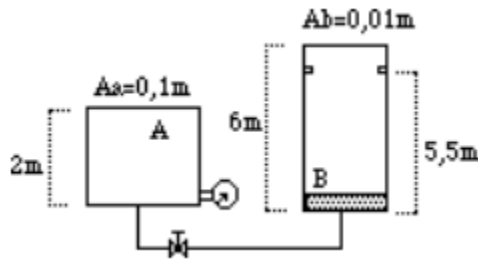
### **Problema 6(Guía Siquier-Colina):**

Se tienen dos cilindros A y B de área transversal  $0,1 m^2$  y  $0,01 m^2$  respectivamente, que están conectados mediante una válvula de paso que se encuentra inicialmente cerrada. El cilindro A

contiene en su interior argón a una temperatura de  $207,31^{\circ}\text{C}$ , además, posee un manómetro el cual indica una presión de 400 kPa. En el cilindro B se encuentra contenido amoníaco a una temperatura de  $-8^{\circ}\text{C}$  y una calidad de 30,66 %, este cilindro dispone en su interior de un pistón, de altura despreciable y masa 5,102 kg, reposando en el fondo. Estas características definen el estado 1. Se abre la válvula de paso lentamente, de modo que el argón comienza a fluir hacia el tanque B de manera isotérmica. Cuando el manómetro del tanque A indica una presión de 300 kPa, se cierra la válvula. En este momento el pistón se encuentra a 5,26 m de la base del cilindro B (estado 2). A continuación (con la válvula cerrada) se procede a calentar el tanque B hasta que el pistón toque los topes, momento en el cual la calidad del amoníaco es de 12,43 % (estado 3).

a) Especifique todas las propiedades (P, v, T, x), en cada uno de los tres estados, para el argón y para el amoníaco.

Datos adicionales: presión atmosférica: 100 kPa, aceleración de gravedad:  $9,8\text{ m/s}^2$ .



**Estado 1:**

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T( $^{\circ}\text{C}$ )	$v(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$	x	m(kg)	h(m)	A( $\text{m}^2$ )	V( $\text{m}^3$ )
A	Argón	¿?	207.31	¿?	Gas Ideal	¿?	2	0.1	¿?
B	Amoníaco	¿?	-8	¿?	0.3066	¿?	6	0.01	¿?

Primeramente, se va a proceder a hallar los valores de los volúmenes de cada compartimiento para el estado 1, se sabe que el amoniaco y el argón para el primer estado están ocupando todo el volumen que pueden:

$$V = h * A$$

Con esto  $V_A=0.2 \text{ m}^3$  y  $V_B=0.06 \text{ m}^3$ .

Como se sabe también que en el compartimiento A (el del argón) se encuentra un manómetro que lee la presión manométrica en dicho compartimiento, se usara la ecuación:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$$

Como la presión manométrica marca 400kPa y la atmosférica es de 100kPa, la presión absoluta es  $P_A = 500\text{kPa}$ .

Como el argón se trata de un gas, se modelará con la ecuación de gases ideales, por lo tanto, la temperatura debe ser convertida de centígrados a kelvin, debido a que en las ecuaciones de estado solo se pueden usar grados kelvin ya que ni Celsius ni Fahrenheit sirven para estas.

$$T(K) = 273.15 + T(^{\circ}\text{C})$$

Por lo que  $T_A(K) = 480.46\text{K}$ .

La temperatura critica del argón es  $T_c= 151\text{K}$  y la presión de  $P_r= 4860\text{kPa}$ . Como se sabe que la ecuación de gases ideales sirve para temperaturas altas y presiones bajas podemos decir que su comportamiento es prácticamente ideal por lo cual se asumirá que  $Z = 1$ , queda a tarea del estudiante el verificarlo con la carta de compresibilidad.  $R_{\text{argón}}= 0.2081 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ :

$$PV = mRT \Rightarrow m = \frac{PV}{RT}$$

$m_A = 1.0001 \text{ kg}$ , pero se aproximará a  $1 \text{ kg}$  y el volumen específico:

$$v = \frac{V}{m} = 2 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Para el amoniaco, se entrará por tablas usando la temperatura y sabiendo que esta en estado de saturación, como los valores no están directamente en la tabla se interpolara usando la temperatura como punto de partida y queda:

$P@-8^\circ\text{C} = 316.5 \text{ kPa}$ ,  $v_g = 0.38944 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  y  $v_f = 0.0015404 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ .

$$v = (1 - x)v_f + xv_g = 0.12047 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$m = \frac{V}{v} = 0.498 \text{ kg}$$

Con esto ya se tiene que:

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$	x	m(kg)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )
A	Argón	500	207.31	2	Gas Ideal	1	2	0.1	0.2
B	Amoniaco	316.5	-8	0.12047	0.3066	0.498	6	0.01	0.06

### Estado 2:

Para este estado se tiene lo siguiente:

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$	x	m(kg)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )
A	Argón	¿?	207.31	¿?	Gas Ideal	¿?	2	0.1	0.2
B	Amoniaco	¿?	¿?	¿?	¿?	0.498	¿?	0.01	¿?
B	Argón	¿?	207.31	¿?	Gas Ideal	¿?	5.26	0.01	¿?

Como sucedió en el estado anterior se tiene una presión manométrica en el tanque A de 300kPa, por lo cual,  $P_A = 400\text{kPa}$ .

Se sabe que la transferencia de masa fue isotérmica, por lo tanto, no cambia la temperatura entre el estado 1 y 2 del argón. Como se abrió la válvula hubo una transferencia de masa de argón entre el tanque A y el tanque B. Por lo que con los valores que se tienen actualmente se calculara el valor de la masa que queda en el tanque A, se usara el mismo criterio de gases ideales para decir que  $Z = 1$ .

$$m = \frac{PV}{RT} = 0.8001\text{kg}$$

Por comodidad se usará 0.8kg, por lo que el volumen específico es de  $v = 0,25 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ .

como la masa del argón se conserva se sabe que:

$$m_{\text{argon}} = \text{cte} = m_{A\text{argon}} + m_{B\text{argon}} \Rightarrow m_{B\text{argon}} = m_{\text{argon}} - m_{A\text{argon}} = 0.2\text{kg}$$

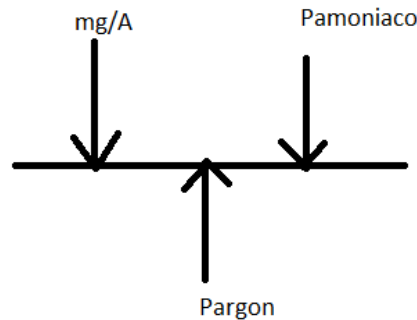
Para definir el estado del argón contenido en el compartimiento B, se tiene que primero hallar el valor del volumen que ocupa este:

$$V = h * A = 0.0526 \text{ m}^3$$

Y se partirá del hecho que como se estudian los procesos cuasi estáticos en el instante en el cual se cierra la válvula las condiciones de presión y temperatura del argón en el compartimiento son las mismas, por lo cual ya se tiene definido el estado 2 de cada uno. El volumen específico de este compartimiento de argón es de  $v = 0.263 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  lo cual tiene sentido ya que los resultados de el volumen específico son sumamente parecidos, ya que en el fondo sus estados es el mismo, solo que por errores de aproximación no da lo mismo.



Para definir el amoniaco se tiene que hacer un DCL ya que no se tiene otra manera de hallar su presión.



Por lo que se puede ver que:

$$P_{argon} = P_{amoniaco} + \frac{mg}{A}$$

$$\Rightarrow P_{amoniaco} = P_{argon} - \frac{mg}{A} = 400kPa - 4.99kPa = 395kPa$$

Se puede ver que se hizo un redondeo por comodidad, ahora se va a hallar el volumen en el cual está contenido el amoniaco y su volumen específico, pero antes se tiene que hallar la altura:

$$6m = h_{amoniaco} + h_{argon} \Rightarrow h_{amoniaco} = 0.74m$$

$$V = A * h = 0.0074m^3$$

$$v = \frac{V}{m} = 0.01485 \frac{m^3}{kg}$$

Por lo que se entrará en las tablas del amoniaco para hallar su temperatura, como no se puede leer directamente el valor de la temperatura y los volúmenes específicos gaseosos y líquidos a 395kPa se hará una interpolación:

T(°C)	P(kPa)	$v_f(\frac{m^3}{kg})$	$v_g(\frac{m^3}{kg})$
-5	354.9	0.00155	0.34648
<b>-2.31</b>	395	<b>0.001558</b>	<b>0.3157</b>
0	429.6	0.001566	0.2892

Como,

$$v_f < v < v_g$$

Se puede ver que efectivamente se está en estado de saturación, por lo cual se procederá a calcular la calidad:

$$x = \frac{v_g - v}{v_g - v_f} = 0.04$$

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	m(kg)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )
A	Argón	400	207.31	0.25	Gas Ideal	0.8	2	0.1	0.2
B	Amoniaco	395	-2.91	0.01485	0.04	0.498	0.74	0.01	0.0074
B	Argón	400	207.31	0.26	Gas Ideal	0.2	5.26	0.01	0.0526

### Estado 3:

Compartimiento	Compuesto	P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	m(kg)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )
B	Amoniaco	¿?	¿?	¿?	0.1243	0.498	0.5	0.01	¿?
B	Argón	¿?	¿?	¿?	Gas Ideal	0.2	5.5	0.01	¿?

Para este estado no se estudia el compartimiento A, se procederá a hallar el volumen específico de cada uno de los compuestos, se omitirán los pasos de cálculo de volumen:

$$v_{amoniaco} = 0.01004 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_{argon} = 0.0275 \frac{m^3}{kg}$$

Como solo se tiene la calidad del volumen específico del amoniaco se hará una iteración, con:

$$f(x) = \text{valor supuesto} - \text{valor real}$$

Suposición	T(°C)	P(kPa)	$v_f(\frac{m^3}{kg})$	$v_g(\frac{m^3}{kg})$	$v(\frac{m^3}{kg})$	f(x)
1	45	1782	0.00176	0.07248	0.015	0.00053
Real	<b>47.3451</b>	<b>1915.32</b>			0.01004	0
2	50	2033.1	0.001777	0.06337	0.0094	-0.0006

Con esto ya se tiene definido el amoniaco, para el argón se usa el mismo DCL que en el estado dos y queda que  $P_{\text{argón}} = 1920\text{kPa}$ , al usar la ecuación de gases ideales:

$$PV = mRT \Rightarrow T = \frac{PV}{mR} = 253.74\text{K}$$

Con esto ya se concluye el ejercicio.

## **Tema 2: Calor, Trabajo y primera ley**

Realmente el objetivo del curso es el estudio de calor y el trabajo con el fin de poder estudiar la conversión de la energía calórica en energía aprovechable. Por lo cual el curso de termodinámica 1 y del estudio de la termodinámica se basa en la conocida primera ley de la termodinámica la cual es básicamente la ley de transformación de la energía. Por lo cual recomiendo de manera en carecida el mayor cuidado a la hora de estudiar esta parte del curso ya que de aquí se basarán muchas cosas en el futuro.

**Problema 7(Guía Castillo):**

Se tiene un cilindro-pistón que contiene argón a 300 kPa y 200°C. El sistema se expande desde el volumen inicial de 0,2 m<sup>3</sup> hasta que su temperatura es de 100°C. La expansión se lleva a cabo según la relación  $PV^{1.2} = constante$ . Determinar el trabajo realizado por el gas durante el proceso.

**Estado 1:**

Se tiene conocimiento que el argón a estas condiciones de presión y temperatura se puede modelar como un gas ideal, de manera que:

$$PV = mRT \Rightarrow m = 0.634kg$$

Y como es un proceso politrópico se tiene que:

$$= 300kPa * (0.2m^3)^{1.2} = 43.48kN * m^{1.6}$$

Con esto se pasará a definir el siguiente estado.

**Estado 2:**

Como solo se conoce la temperatura y la masa se usará lo siguiente:

$$PV = mRT \Rightarrow PV = 47.315kNm$$

Relacionando eso con la ecuación para procesos politrópicos ya definida anteriormente:

$$PV^{1.2} = 43.48kNm^{1.6} \Rightarrow \frac{P_2V_2^{1.2}}{P_1V_1^{1.2}} = \frac{43.48kNm^{1.6}}{47.315kNm}$$

Simplificando las presiones queda:

$$V_2^{0.2} = 0.918m^{0.6} \Rightarrow V_2 = 0.65m^3$$

Ya con esto se puede hallar el trabajo usando:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

Como se sabe:

$$PV^{1.2} = ctte \Rightarrow P = \frac{ctte}{V^{1.2}}$$

$$\int_{V_1}^{V_2} \frac{ctte}{V^{1.2}} dV = 62.99kJ$$

Con esto concluye el ejercicio.

### Problema 8(Guía Castillo)

Considere el sistema pistón-cilindro de la figura, lleno con una mezcla líquido-vapor de agua. Cuando el pistón descansa sobre los topes inferiores, el volumen es de 0,4 m<sup>3</sup> y cuando llega a los topes superiores es de 0,6 m<sup>3</sup>. El pistón tiene una masa tal que se requiere una presión interna de 300 kPa para elevarlo. Inicialmente dentro del cilindro hay agua a 100 kPa y 20% de calidad. El sistema se calienta hasta que se convierte en vapor saturado.

Determinar:

- La presión final dentro del cilindro.
- La transferencia de calor.
- El trabajo realizado por el agua.



#### Estado 1:

P(kPa)	T(°C)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	u ( $\frac{kJ}{kg}$ )
100	¿?	¿?	0.2	¿?

Como se sabe que está en estado de saturación a 100 kPa, se tiene que:

Los valores son  $v_g = 1.6941 \frac{m^3}{kg}$  y  $v_f = 0,001043 \frac{m^3}{kg}$ , al momento de sustituir valores se tiene que

$$v = 0.339 \frac{m^3}{kg}. \text{ Con esto, } v = \frac{V}{m} \Rightarrow m = \frac{V}{v} = 1.177 kg$$

Su temperatura es de  $T = 99.61 \text{ }^\circ\text{C}$

Ahora se tiene un nuevo concepto, que es el de energía interna, su manera de calcularse mediante tablas es la misma que para el volumen específico. De manera que:

Los valores son  $u_g = 2505.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  y  $u_f = 417.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  y sabiendo que:

$$u = (1 - x)u_f + xu_g$$

$$u = 835.04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

### Estado 2:

A simple vista no se tiene mayor información del valor final más allá que se conoce que es vapor saturado, se calculara el valor de el volumen específico para que luego se compare con los valores de vapor saturado que se encuentra en la tabla.

$$v = \frac{V}{m} = 0.509 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Ahora se comparará, pero como ese valor no aparece directamente en la tabla se hará una interpolación:

Presión(kPa)	Volumen especifico ( $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ )
350	0.52422
<b>361.568</b>	0.509
375	0.49133

Para hallar el valor de la energía interna se hará lo mismo:

Presión(kPa)	Energía interna especifica ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ )
350	2548.5
361.568	<b>2549.61</b>
375	2550.9

Para hallar el valor del trabajo se hará el siguiente razonamiento, como se sabe que:

$$W = \int PdV = \int_{V_1}^{V_1} PdV + \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

Como se tiene que la primera integral es nula debido a que no existe variación de volumen, de manera que solo se toma en cuenta la segunda, cuando el pistón empieza a subir es debido a que



la presión es mayor o igual a 300kPa, de manera que se supondrá que la presión era de aproximadamente 300kPa (lo que en realidad sería 300kPa+dP, más un diferencial). Por lo tanto, la presión es constante y sale de la integral:

$$W = P \int_{V_1}^{V_2} dV = 60kJ$$

Con estos datos ya se puede hallar el calor mediante la primera ley de la termodinámica que dice:

$$Q - W + mehe - mshs = u_2m_2 - u_1m_1$$

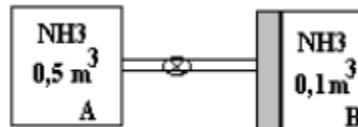
En este caso no hay masa de entrada ni salida y la masa es constante de manera que:

$$Q - W = m(u_2 - u_1) \Rightarrow Q = W + m(u_2 - u_1) = 2079.19362kJ$$

Con esto concluye el ejercicio.

**Problema 9(Guía Siquier-Colina):**

Un tanque que contiene amoníaco a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y 45 % de calidad está conectado a un cilindro-pistón que contiene nitrógeno a 500 kPa y 250 K. El tanque tiene un volumen de  $0,5\text{ m}^3$  y está sometido a una potencia calórica constante e igual a  $10\text{ kJ/s}$ . Durante el proceso de compresión del nitrógeno se extrae calor ( $8,9\text{ kJ/s}$ ) para mantener su temperatura constante. Calcular la potencia realizada sobre el nitrógeno cuando han transcurrido 10 minutos de haber comenzado el suministro de calor al tanque.

**Estado 1:**

El dibujo contiene un error debido a que en el compartimiento B se encuentra nitrógeno y no amoníaco. Sabiendo esto se resolverá en ejercicio.

Compartimiento	T	P(kPa)	$v\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\right)$	x	$u\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$	$h\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$	V(m <sup>3</sup> )
A(amoniaco)	$-20^{\circ}\text{C}$	¿?	¿?	0.45	¿?	¿?	0.5
B(nitrógeno)	250K	500	¿?	¿?	¿?	¿?	0.1

Primeramente, se definirá el compartimiento A:

Como el amoníaco se encuentra en estado de saturación se puede leer directamente los valores requeridos por la tabla de saturación.

$$P@-20^{\circ}\text{C} = 190.2\text{kPa}; v=0.2813302\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}; u=633.593\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}; h=687.0775\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Conociendo el valor del volumen específico se hallará el valor de la masa contenida de amoníaco:

$$v = \frac{V}{m} \Rightarrow m = \frac{V}{v} = 1.77\text{kg}$$

Ahora se definirá el nitrógeno:

Se usará la ecuación de gases ideales para calcular los valores del nitrógeno debido a que cumple la condición de temperaturas altas a presiones bajas (comparándolas con los valores críticos).

$$R_{\text{nitrógeno}} = 0.2968 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$PV = mRT \Rightarrow m = \frac{PV}{RT} = 0.6738 \text{kg}$$

Los valores de entalpia específica y energía interna específica se hallarán usando la ecuación:

$$u = cv(T2 - T1)$$

$$h = cp(T2 - T1)$$

### Estado 2:

Del estado 2 no se tiene prácticamente nada, solo se tiene que la temperatura es constante para el nitrógeno y que al ser un cilindro pistón se tiene que:  $P_{\text{atm}} = P_{\text{nitrógeno}}$ .

Se hará primera ley solo en el nitrógeno:

$$Q - W + m_e h_e - m_s h_s = m_2 u_2 - m_1 u_1$$

No existe masa que sale ni masa que entra al momento de la energía interna se tiene que al ser gas ideal se usa la ecuación antes mostrada.

Y para el calor se tiene que calcular el calor sustraído partiendo de la potencia calorífica dada como dato y el tiempo igual a 10min, por lo tanto:

$$Q = \dot{Q} * t; t = 10 \text{min} = 600 \text{seg}; Q = -8.9 \frac{\text{kJ}}{\text{seg}} * 600 \text{seg} = -5340 \text{kJ}$$

Y con esto ya se tiene que:

$$Q - W = m N_2 * Cv(T2 - T1)$$

Pero como  $T_2 = T_1$ .

$$Q - W = 0 \Rightarrow Q = W = -5340 \text{kJ}$$

Lo cual tiene sentido ya el nitrógeno se está comprimiendo, para terminar el ejercicio basta con hallar la potencia suministrada.

$$\dot{W} = \frac{W}{t} = -\frac{5340kJ}{600seg} = -8.9 \frac{kJ}{seg}$$

Cabe destacar que la convención de signos para trabajo y calor es de este tipo:

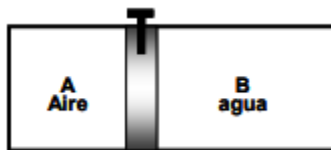
	Calor(Q)	Trabajo(W)
Entra	+(positivo)	-(negativo)
Sale	-(negativo)	+(positivo)

Cuando se dice que sale trabajo se refiere a que el compuesto o maquina hace trabajo.

Con esto se termina el ejercicio.

**Problema 10(Guía Castillo)**

Un cilindro cerrado está dividido en dos compartimientos por un pistón sin fricción que tiene un pasador que lo mantiene fijo, como se muestra en la figura. El compartimiento A tiene 10 L de aire a 100 kPa, 30°C, y el compartimiento B tiene 300 L de vapor de agua saturado a 30°C. Se quita el pasador, lo cual libera al pistón y ambos compartimientos alcanzan equilibrio a 30°C. El agua al ser comprimida pasa a estado de mezcla líquido-vapor. Si se considera como sistema el aire más el vapor, determine el trabajo hecho por el sistema, y la transferencia de calor al cilindro.

**Estado 1:**

Compartimiento	T(°C)	P(kPa)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	$u(\frac{kJ}{kg})$	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
A(Aire)	30	100	¿?	Gas ideal	Gas ideal	¿?	0.01
B(Agua)	30	¿?	¿?	1	¿?	¿?	0.3

Para definir a su totalidad ambos compartimientos, partiremos de los datos ya dados.

**Aire:**

Usaremos la ecuación de gases ideales, sabiendo que  $R_{aire}=0.287 \frac{kJ}{kg \cdot K}$  y

$$T_{aire}=30+273.15=303.15K$$

$$PV = mRT \Rightarrow m = 0.01149kg$$

**Agua:**

$$P@30^{\circ}C=4.246kPa; v@30^{\circ}C = 32.8932 \frac{m^3}{kg}; u@30^{\circ}C = 2416.58 \frac{kJ}{kg}$$

Como se sabe que:

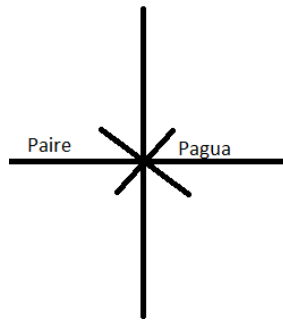
$$v = \frac{V}{m} \Rightarrow m = 0.00912kg$$

Con lo que nos queda:

Compartimiento	T(°C)	P(kPa)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	$u(\frac{kJ}{kg})$	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
A(Aire)	30	100		Gas ideal	Gas ideal	0.01149	0.01
B(Agua)	30	4.246	32.8932	1	2416.58	0.00912	0.3

**Estado 2:**

Como se quita el pasador y se alcanza el equilibrio en el sistema a 30°C, con mezcla liquido-vapor por parte del agua, se puede saber que la presión del agua es la misma que en el estado 1. Al momento de hacer el DCL se puede ver que:



Por lo que la presión del agua y del aire es la misma, ya que no existe ninguna otra presión externa, por lo que:

Compartimiento	T(°C)	P(kPa)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	$u(\frac{kJ}{kg})$	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
A(Aire)	30	4.246	¿?	Gas ideal	Gas ideal	0.01149	¿?
B(Agua)	30	4.246	¿?	¿?	¿?	0.00912	¿?

Como se puede definir el estado del aire en su totalidad y partiendo que el volumen del sistema es constante, es decir:

$$V_{aire} + V_{agua} = ctte = 0.31m^3$$

Se hallará el valor del volumen del aire para a su vez hallar así el del agua.

**Aire:**

Al usar la ecuación de gases ideales:

$$PV = mRT \Rightarrow V = 0.2355m^3$$

**Agua:**

Como se tiene el valor del volumen ocupado por el aire,

$$V_{agua} = 0.31m^3 - V_{aire} = 0.0744m^3$$

Con eso se puede hallar el valor del volumen especifico para a su vez hallar la calidad:

$$v = \frac{V}{m} = 8.167 \frac{m^3}{kg}$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = 0.2482$$

Con esto ya se puede hallar el valor de la energía interna:

Los valores son  $u_g = 2416.58 \frac{kJ}{kg}$  y  $u_f = 125.77 \frac{kJ}{kg}$  y sabiendo que:

$$u = (1 - x)u_f + xu_g$$

$$u = 694.34 \frac{kJ}{kg}$$

Ya con todos estos datos se puede hacer primera ley:

$$Q - W + m_{e2}h_2 - m_{e1}h_1 = U_2 - U_1$$

Como se trabaja el sistema completo, se puede ver que el trabajo es nulo debido a que el volumen del sistema completo no cambia o también se puede ver como que el trabajo que realiza un compartimiento lo recibe otro, de manera que la sumatoria de trabajo es nula. Tampoco sale ni entra masa, y con respecto a la energía interna, cada compartimiento posee una de manera que se va a trabajar por separado. Se trabaja el aire como gas ideal, de manera que:

$$Q = m_{agua}(u_2 - u_1) + m_{aire}(c_v(T_2 - T_1))$$

Como la temperatura no cambia entre el estado 2 y 1, la energía interna del aire no varía. Solo se toma en cuenta el agua y queda:

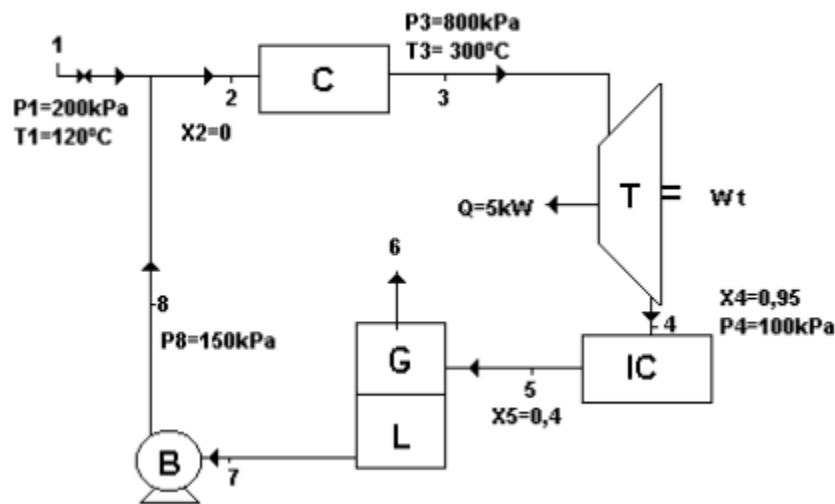
$$Q = -15.7 kJ$$

**Problema 11(Guía Siquier-Colina):**

En el esquema mostrado en la figura se utiliza una corriente de agua a 200 kPa y 120 °C para producir una determinada potencia de la turbina. Considerando el separador adiabático, la bomba adiabática y que no hay pérdidas de presión en el intercambiador, determine

- a) La temperatura a la salida del mezclador y la potencia calórica por unidad de masa suministrada en la caldera.
- b) Potencia generada en la turbina y la potencia suministrada en la bomba.
- c) Flujo másico a la entrada de la turbina.

NOTA: la potencia calórica retirada a la corriente 4 en el intercambiador es de 6209,61 kW



Primeramente, se hará una tabla con todos los datos que se poseen:

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1	200	120			
2			0		
3	800	300			
4	100		0.95		
5			0.4		
6					
7					
8	150				



Ahora partiremos de suposiciones sabiendo que no hay perdida de presión en el intercambiador de calor.

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	$h \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	$\dot{m} \left( \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right)$
1	200	120			
2			0		
3	800	300			
4	100		0.95		
5	<b>100</b>		0.4		
6					
7					
8	150				

Ahora se van a definir todas las corrientes que se pueda:

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	$h \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	$\dot{m} \left( \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right)$
1	200	120			
2			0		
3	800	300	<b>VSC</b>	<b>3056.43</b>	
4	100	<b>99.62</b>	0.95	<b>2562.122</b>	
5	<b>100</b>	<b>99.62</b>	0.4	<b>1320.648</b>	
6					
7					
8	150				

Ahora bien, como el separador se liquido y gas mantiene los valores de saturación, y para las salidas de gas se tiene calidad 1 y para la de liquido se tiene calidad 0:

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	$h \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	$\dot{m} \left( \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right)$
1	200	120			
2			0		
3	800	300	<b>VSC</b>	<b>3056.43</b>	
4	100	<b>99.62</b>	0.95	<b>2562.122</b>	
5	<b>100</b>	<b>99.62</b>	0.4	<b>1320.648</b>	
6	<b>100</b>	<b>99.62</b>	<b>1</b>	<b>2675.46</b>	
7	<b>100</b>	<b>99.62</b>	<b>0</b>	<b>417.44</b>	
8	150				

Como se puede suponer que el intercambiador está situado entre la corriente 8 y la corriente saliente de la válvula, se puede ver que para que estas se mezclen su presión debe ser la misma de manera que la presión de la corriente 2 es la misma que la de la 8:

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1	200	120			
2	<b>150</b>	<b>111.37</b>	0	<b>467.08</b>	
3	800	300	<b>VSC</b>	<b>3056.43</b>	
4	100	<b>99.62</b>	0.95	<b>2562.122</b>	
5	<b>100</b>	<b>99.62</b>	0.4	<b>1320.648</b>	
6	<b>100</b>	<b>99.62</b>	<b>1</b>	<b>2675.46</b>	
7	<b>100</b>	<b>99.62</b>	<b>0</b>	<b>417.44</b>	
8	150				

a. Para hallar la potencia calórica específica de la caldera se partirá de:

$$q - w + h_e - h_s = 0$$

Como se tiene que la caldera no hace trabajo.

$$\dot{q} = h_s - h_e = 3056.43 - 467.08 = 2589.35 \frac{kJ}{kg}$$

Y la temperatura a la salida del mezclador es la de la corriente 2.

b. Para hallar las incógnitas de este inciso se tiene primero que hallar la masa, que en el fondo es el c.

Para hallar la masa se usará el dato del intercambiador de calor, recordemos la convención de signos:

	Calor(Q)	Trabajo(W)
Entra	+(positivo)	-(negativo)
Sale	-(negativo)	+(positivo)

Ahora bien, para el intercambiador se tiene que no hace trabajo, por lo tanto:

$$\dot{Q} = \dot{m}_5 (h_5 - h_4) \Rightarrow \dot{m}_5 = \frac{\dot{Q}}{h_5 - h_4} = -\frac{6209.3}{1320.64 - 2562.122} = 5.001 \frac{kg}{seg}$$

Por ser tan cercano a 5, lo redondearemos a 5 por comodidad.

Para hallar la potencia de la turbina se tomará en cuenta que la misma no es ideal, por lo que se hará primera ley:

$$\dot{Q} - \dot{W} + m_1e_1 - m_2h_2 = 0 \Rightarrow \dot{W} = \dot{Q} + m_1e_1 - m_2h_2$$

Como la corriente de salida es la 4 y la de entrada es la 3, y el flujo masico es el mismo:

$$\dot{W} = -5kW + 5 \frac{kg}{seg} (3056.43 - 2562.122) \frac{kJ}{kg} = 2466.54 kW$$

Para hallar el valor de la entalpia de la bomba se hará primera ley y ley de conservación de la masa en el intercambiador:

$$m_2 = m_1 + m_8; h_2m_2 = h_1m_1 + h_8m_8$$

Se puede ver que no se tiene el valor de  $m_8$ ,  $h_8$ ,  $h_1$  y  $m_1$ .

Para hallar  $m_8$  se estudiará el separador G-L.

Como este separa el vapor del líquido según su calidad se puede ver al poseer la corriente de entrada (5) una calidad de 0,4 es muy fácil hallar la relación de líquido-vapor existente con:

$$x = \frac{m_g}{m_t}$$

Siendo  $m_g$  la masa de vapor y  $m_t$  la masa total, por lo tanto:

$$x = \frac{m_g}{m_t} \Rightarrow m_g = x * m_t = 0.4 * 5 = 2 \frac{kg}{seg}$$

Con:

$$m_t = m_g + m_f \Rightarrow m_f = m_t - m_g = 5 - 2 = 3 \frac{kg}{seg}$$

Por lo que la corriente  $m_7$  que es la del líquido tiene un valor de  $3 \frac{kg}{seg}$  y  $m_7 = m_8$ .

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1	200	120			<b>2</b>
2	<b>150</b>	<b>111.37</b>	0	<b>467.08</b>	<b>5</b>
3	800	300	<b>VSC</b>	<b>3056.43</b>	<b>5</b>
4	100	<b>99.62</b>	0.95	<b>2562.122</b>	<b>5</b>
5	<b>100</b>	<b>99.62</b>	0.4	<b>1320.648</b>	<b>5</b>
6	<b>100</b>	<b>99.62</b>	<b>1</b>	<b>2675.46</b>	<b>5</b>
7	<b>100</b>	<b>99.62</b>	<b>0</b>	<b>417.44</b>	<b>3</b>
8	150				<b>3</b>

Ahora se definirá la corriente 1:

Como la temperatura de saturación cuando el agua se encuentra a 200 kPa es de 120.23 °C y la temperatura 1 es de 120 °C se puede decir que esta en estado de líquido comprimido.

Pero como ese valor no se puede leer directamente en tabla se tendrá una aproximación con los valores de líquido saturado a 120 °C,  $h_1 = 503.69 \frac{kJ}{kg}$ .

Y como en las válvulas se cumple que la entalpia a la entrada de la válvula es la misma que a la salida se puede decir que:

$$h'_1 = h_1$$

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1	200	120	<b>LC</b>	<b>503.69</b>	<b>2</b>
2	<b>150</b>	<b>111.37</b>	0	<b>467.08</b>	<b>5</b>
3	800	300	<b>VSC</b>	<b>3056.43</b>	<b>5</b>
4	100	<b>99.62</b>	0.95	<b>2562.122</b>	<b>5</b>
5	<b>100</b>	<b>99.62</b>	0.4	<b>1320.648</b>	<b>5</b>
6	<b>100</b>	<b>99.62</b>	<b>1</b>	<b>2675.46</b>	<b>5</b>
7	<b>100</b>	<b>99.62</b>	<b>0</b>	<b>417.44</b>	<b>3</b>
8	150				<b>3</b>

Con lo que al usar:

$$m_2 h_2 = m_1 h_1 + m_8 h_8 \Rightarrow h_8 = \frac{m_2 h_2 - m_1 h_1}{m_8} = 442.673 \frac{kJ}{kg}$$

Por lo que ahora al estudiar la bomba, sabiendo que es adiabática, se tiene:

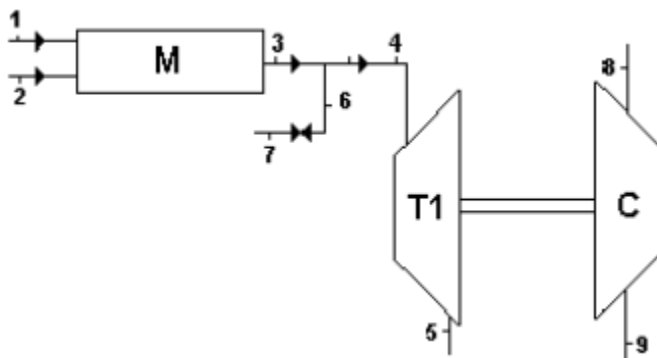
$$\dot{W} = m7(h7 - h8) = 3 * (417.44 - 442.673) = 75.69 \text{ kW}$$

Y con esto queda resultado el ejercicio.

**Problema 12 (Guía Siquier-Colina):**

Se tiene un sistema como el mostrado en la figura, en el que dos corrientes de vapor de agua se mezclan adiabáticamente, luego de lo cual se extraen 0,2 kg/s que se hacen pasar a través de una válvula, a cuya salida se tiene una presión de 700 kPa. El resto del vapor pasa a través de una turbina cuyas condiciones de descarga son  $P_5 = 200$  kPa y  $x_5 = 0,97$ . Se sabe que no hay caídas de presión en las tuberías y se conocen además los siguientes datos:  $T_1 = 600$  K;  $T_2 = 485,57$  K;  $x_2 = 1$ ;  $m_2 = 2,7$  kg/s. Al compresor entra amoníaco a  $T_8 = 30$  °C y  $P_8 = 0,30$  MPa; el caudal en la corriente 8 es de 3,112 m<sup>3</sup> /s, y sale a  $T_9 = 135$  °C y  $P_9 = 0,9$  MPa.

Calcular la potencia del compresor y el flujo másico en la corriente 1.



Se hará una tabla de los valores que se tienen y convirtiendo de kelvin a Celsius:

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	$h \left(\frac{kJ}{kg}\right)$	$\dot{m} \left(\frac{kg}{seg}\right)$
1		326.85			
2		212.42	1		2.7
3					
4					
5	200		0.97		
6					0.2
7	700				0.2
8	300	30			
9	900	135			

Se empezará definiendo los estados que se puedan:

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1		326.85			
2		212.42	1		2.7
3					
4					
5	200		0.97		
6					0.2
7	700				0.2
8(amoniaco)	300	30	<b>VSC</b>	<b>1526</b>	
9(amoniaco)	900	135	<b>VSC</b>	<b>1747.925</b>	

Como se nos dio el caudal se puede decir que:

$$v = \frac{\dot{V}}{\dot{m}} \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{V}}{v}$$

Para la corriente 8 se tiene que  $v=0.4787\frac{m^3}{kg}$

$$\dot{m}_8 = \frac{3.112 \frac{m^3}{seg}}{0.4787 \frac{m^3}{kg}} = 6.5 \frac{kg}{seg}$$

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1		326.85			
2		212.42	1		2.7
3					
4					
5	200		0.97		
6					0.2
7	700				0.2
8(amoniaco)	300	30	<b>VSC</b>	<b>1526</b>	<b>6.5</b>
9(amoniaco)	900	135	<b>VSC</b>	<b>1747.925</b>	<b>6.5</b>

Ahora como la corriente 2 se puede definir totalmente, ya que se tiene la temperatura y la calidad, de la misma manera que la corriente 5:

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1		326.85			
2	<b>2000</b>	212.42	1	<b>2799.51</b>	2.7
3					
4					
5	200	<b>120.23</b>	0.97	<b>2640.5715</b>	
6					0.2
7	700				0.2
8(amoniaco)	300	30	<b>VSC</b>	<b>1526</b>	<b>6.5</b>
9(amoniaco)	900	135	<b>VSC</b>	<b>1747.925</b>	<b>6.5</b>

Y por suposiciones del mezclador se tiene que  $P_3=P_1=P_2$ .

Y la presión es  $P_3=P_4=P_6$  debido a que no hay caída de presión entre las tuberías.

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1	<b>2000</b>	326.85			
2	<b>2000</b>	212.42	1	<b>2799.51</b>	2.7
3	<b>2000</b>				
4	<b>2000</b>				
5	200	<b>120.23</b>	0.97	<b>2640.5715</b>	
6	<b>2000</b>				0.2
7	700				0.2
8(amoniaco)	300	30	<b>VSC</b>	<b>1526</b>	<b>6.5</b>
9(amoniaco)	900	135	<b>VSC</b>	<b>1747.925</b>	<b>6.5</b>



Se va a definir la corriente 1 ya que se tiene temperatura y presión:

Corriente	P(kPa)	T(°C)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\dot{m}(\frac{kg}{seg})$
1	<b>2000</b>	326.85	<b>VSC</b>	<b>3084.42</b>	
2	<b>2000</b>	212.42	1	<b>2799.51</b>	2.7
3	<b>2000</b>				
4	<b>2000</b>				
5	200	<b>120.23</b>	0.97	<b>2640.5715</b>	
6	<b>2000</b>				0.2
7	700				0.2
8(amoniaco)	300	30	<b>VSC</b>	<b>1526</b>	<b>6.5</b>
9(amoniaco)	900	135	<b>VSC</b>	<b>1747.925</b>	<b>6.5</b>

Al hallar la potencia del compresor se tiene que:

$$\dot{W} = \dot{m}_8(h_8 - h_9) = -1442.5125 \text{ kW}$$

Y como se tiene que el trabajo que realiza la turbina es consumido por el compresor se puede ver que:

$$-\dot{W}_{\text{compresor}} = \dot{W}_{\text{turbina}}$$

Con lo que al hacer primera ley en la turbina:

$$\dot{W} = \dot{m}_4(h_4 - h_5)$$

Y se tienen como incógnitas los valores de la  $h_4$  y el flujo masico 4.

Por conservación de la masa se tiene que:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_3 = m_4 + m_6$$

Ahora todo es cuestión de acomodar las ecuaciones de manera que quede un sistema de ecuaciones con suficientes ecuaciones e incógnitas para poder ser resuelto:

$$\dot{W} = \dot{m}_4(h_4 - h_5)$$

$$m_1 + m_2 + m_6 = m_4$$

$$m_1h_1 + m_2h_2 = h_4(m_4 - m_6)$$

Con esas 3 ecuaciones se puede resolver el ejercicio. Quedando por resolver un sistema de ecuaciones no lineal. Esta puede ser hallada con Matlab o con la HP50G y se cumple que:

$$m1 = 2.6 \frac{kg}{seg}$$

Con esto se termina el ejercicio.

### **Tema 3: Segunda ley de la termodinámica**

En mi opinión este es el tema más interesante de la materia ya que esta ley es la que rige el mundo ya que evita que la roca suba en contra de la gravedad aun cuando dicho movimiento cumple con la primera ley de la termodinámica. Explica la razón por la cual no pueden existir máquinas perfectas y la razón por la cual el mundo se comporta como lo hace, los ejemplos son infinitos de la misma manera que su utilidad.

**Problema 13(Tarea 2016):**

Un cilindro-pistón contiene un metro cúbico de helio a 25 °C, si se comprime sin intercambiar ni calor ni masa con el medio, desde 0,5 MPa hasta 1 MPa, y el proceso requiere 20% más trabajo que el proceso reversible ¿cuál será el trabajo requerido para la compresión, y la temperatura final?

**Estado 1:**

Sustancia	T(K)	P(kPa)	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Helio	298.15	500	Gas Ideal	¿?	1

Solo hace falta hallar la masa para definir el estado totalmente, se sabe  $R=2.0771 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,

$$C_v=3.116 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}; C_p=5.193 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$PV = mRT \Rightarrow m = \frac{PV}{RT} = 0.8073 \text{ kg}$$

**Estado 1:**

Sustancia	T(K)	P(kPa)	x	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )
Helio	¿?	1000	Gas Ideal	0.8073	¿?

Claramente no se puede hallar el valor ni de la temperatura ni del volumen, sabiendo que por primera ley para procesos cerrados y adiabáticos:

$$-W = m(u_2 - u_1) \Rightarrow W = m(u_1 - u_2)$$

Por ser gas ideal

$$W = m * C_v(T_1 - T_2)$$

Como se dice que: y el proceso requiere 20% más trabajo que el proceso reversible.

Se hallará la temperatura isentrópica para hallar a su vez el trabajo reversible y con eso el trabajo real y la temperatura real.

Se sabe que:

$$s_f - s_i = C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - R \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right)$$

Al suponer el proceso isentrópico:

$$C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - R \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right) = 0$$

$$5.193 * \ln\left(\frac{T_{2s}}{T_1}\right) - 2.0771 * \ln\left(\frac{1000}{500}\right) = 0 \Rightarrow T_{2s} = 393.4 \text{ K}$$

Con esto se pasa de nuevo a primera ley:

$$W_{reversible} = m * C_v(T_1 - T_{2s}) = -239.6 \text{ kJ}$$

Como se dijo que el proceso consume un 20% mas de trabajo, se hallara ese 20%:

$$\frac{239.6 \text{ kJ} * 20}{100} = 47.9211 \text{ kJ}$$

Por lo que el trabajo real es de:

$$W_{real} = W_{reversible} + 20\%_{reversible} = -287.521 \text{ kJ}$$

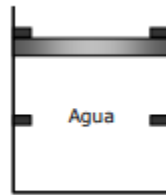
Con esto se puede usar ahora primera ley:

$$W = m * C_v(T_1 - T_2) \Rightarrow T_2 = 413.4906 \text{ K}$$

Con esto queda resuelto el ejercicio.

**Problema 14(Guía Castillo):**

El agua contenida en un conjunto pistón-cilindro está a 1 MPa y 500°C. Existen dos soportes, uno inferior en donde  $V=1 \text{ m}^3$  y uno superior donde  $V=3 \text{ m}^3$ . El pistón se carga con una masa y con la atmósfera exterior de modo que flota cuando la presión es 500 kPa. Este conjunto se enfría hasta 100°C por ceder calor al entorno a 20°C. Encuentre la entropía total generada en el proceso.



**Estado 1:**

Sustancia	T(°C)	P(kPa)	$v(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$	x	$u(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )	$s(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}})$
Agua	500	1000	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?

Como se puede ver el compartimiento posee dos topes, el inferior de  $1 \text{ m}^3$  y el superior de  $3 \text{ m}^3$ .

Es fácil de visualizar que cuando la presión es menor a la atmosférica el pistón va a tocar los bordes inferiores y cuando la presión sea mayor a la atmosférica el pistón va a estar tocando la posición superior, se puede ver como:

$$P_{\text{agua}} < P_{\text{atm}} \Rightarrow V = 1 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{agua}} > P_{\text{atm}} \Rightarrow V = 3 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{agua}} = P_{\text{atm}} \Rightarrow 1 \text{ m}^3 \leq V \leq 3 \text{ m}^3$$

Como para el estado 1, la presión es mayor a la atmosférica, el volumen físico es de  $3 \text{ m}^3$ .

Pasaremos a definir el estado completo mediante el uso de las tablas:

T(°C)	P(kPa)	$v(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$	x	$u(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$	$s(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}})$
500	1000	0.35411	VSC	3124.34	7.762

Para hallar la masa:

$$v = \frac{V}{m} \Rightarrow m = \frac{V}{v} = 8.474 \text{ kg}$$

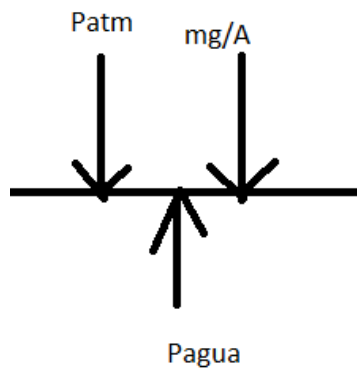
Sustancia	T(°C)	P(kPa)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	$u(\frac{kJ}{kg})$	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )	$s(\frac{kJ}{kg \cdot K})$
Agua	500	1000	0.35411	VSC	3124.34	8.474	3	7.762

**Estado 2:**

Sustancia	T(°C)	P(kPa)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	$u(\frac{kJ}{kg})$	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )	$s(\frac{kJ}{kg \cdot K})$
Agua	100	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?

Para este estado se tiene solo la temperatura así que se hará la suposición con que la presión es mayor a la atmosférica y una suposición si esta es menor.

Si la presión es mayor a la atmosférica el volumen específico sería el mismo que en el estado 1, al revisar las tablas se puede ver que en las tablas de vapor sobrecalentado ese valor no se encuentra a 100°C por lo tanto se puede suponer que está en estado de saturación ya que a 100°C la presión es la misma a la atmosférica (101.3 kPa). Pero al hacer el DCL se puede ver lo siguiente:



Como  $P_{agua} = P_{atm}$ , se puede ver que  $P_{agua} < P_{atm} + \frac{mg}{A}$ .

Por lo que el volumen es el mínimo.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1 \text{ m}^3}{8.474 \text{ kg}} = 0.118 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Para esos valores se tiene que:

Sustancia	T(°C)	P(kPa)	$v(\frac{m^3}{kg})$	x	$u(\frac{kJ}{kg})$	m(kg)	V(m <sup>3</sup> )	$s(\frac{kJ}{kg \cdot K})$
Agua	100	101.3	0.118	0.07	565.04	8.474	1	1.7238

Como lo que se nos pide es la entropía, se tiene que:

$$\sum \frac{Q_i}{T_i} + S_{gen} = \Delta S \Rightarrow S_{gen} = m_2 s_2 - m_1 s_1 - \sum \frac{Q_i}{T_i}$$

En este caso se tiene que no hay variación de masa y que la temperatura a la cual se libera calor es de 20°C. Pero se tiene el calor como incógnita de manera que se hallara mediante primera ley.

$$Q - W = m(u_2 - u_1)$$

Pero ahora se tiene el trabajo como incógnita de manera que se hallara también, pero usando:

$$\int_{3m^3}^{1m^3} P dV$$

Para escribir una forma integrable la presión se hará:

$$P = a + bV$$

Con:

$$P_1 = a + bV_1$$

$$P_2 = a + bV_2$$

Siendo los valores del estado 1 y 2 respectivamente, al momento de resolver sustituyendo los valores queda:

$$P = -348.05 + 449.35V$$

Al integrar queda:

$$\int_{3m^3}^{1m^3} P dV = \int_{3m^3}^{1m^3} -348.05 + 449.35V dV = -1111.3 \text{ kJ}$$

Volviendo con primera ley y despejando el calor:



$$Q = W + m(u_2 - u_1) = -22798.8 \text{ kJ}$$

Volviendo con la ecuación de entropía generada, cabe destacar que  $20^\circ\text{C}=293.15\text{K}$ .

$$S_{gen} = m_2s_2 - m_1s_1 - \sum \frac{Q_i}{T_i} = 8.474(1.7238 - 7.762) - \frac{-22798.8}{293.15} = 26.6 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

Con esto queda resuelto.

**Problema 15(Guía Siquier-Colina):**

Hallar el cambio de entropía del universo a 25 °C al llenar un tanque de buceo (12 litros) de 0,1 MPa y 25 °C a 30 MPa y 35 °C. Para ello se dispone de una línea de aire a 25 °C y 32 MPa.

Considere el aire gas ideal con  $C^{\circ}p$  constante

**Estado 1:**

T(K)	P(kPa)	V (m <sup>3</sup> )	x	m(kg)
298.15	100	0.012	Gas ideal	¿?

Se hallará el valor de la masa contenida sabiendo  $R_{aire}=0.287\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ,

$$PV = mRT \Rightarrow m = \frac{PV}{RT} = 0.014kg$$

**Estado 2:**

T(K)	P(kPa)	V (m <sup>3</sup> )	x	m(kg)
308.15	30000	0.012	Gas ideal	¿?

Se hallará el valor de la masa contenida sabiendo  $R_{aire}=0.287\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ,

$$PV = mRT \Rightarrow m = \frac{PV}{RT} = 4.078kg$$

Como se sabe que:

$$m_2 = m_{entra} + m_1 \Rightarrow m_{entra} = m_2 - m_1 = 4.05kg$$

Como se pide la entropía:

$$S_{gen} = m_2s_2 - m_1s_1 - \sum \frac{Q_i}{T_i}$$

Al ver esto puede resultar confuso ya que la entropía para gases ideales sucede que:

$$s_f - s_i = C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - R \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right)$$

Pero se puede ver qué sucede que para la masa 2 se tiene que es la suma de la masa que entra más la que ya estaba de manera inicial. Pero la masa de entrada nunca cambia de temperatura ni presión ya que siempre está a 30 MPa y 35 °C haciendo que su diferencia de entropía sea nula dejando que:

$$S_{gen} = m_1(s_2 - s_1) - \sum \frac{Q_i}{T_i}$$

Y para:

$$s_2 - s_1 = 1.004 \ln\left(\frac{308.15}{298.15}\right) - 0.287 \ln\left(\frac{30000}{100}\right) = -1.603 \frac{kJ}{K * kg}$$

Para el calor se tiene que usar primera ley sabiendo que el trabajo es nulo debido a que no hay cambio de volumen físico:

$$Q + m_{ehe} = u_2 m_2 - u_1 m_1 \Rightarrow Q = u_2 m_2 - u_1 m_1 - m_{ehe}$$

Al organizar, y sabiendo que:

$$h = u + Pv$$

$$Q = m_1(u_2 - u_1) + m_{eh2} - P_2 v_2 m_e - m_{ehe}$$

Ya se tiene la masa que entra, pero el estado 2 es el mismo que el de entrada por lo que se cancelan:

$$Q = m_1(u_2 - u_1) - P_2 v_2 m_e = m_1(Cv(T_2 - T_1)) - P_2 v_2 m_e = -357.427 kJ$$

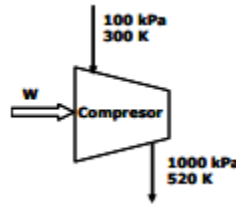
Y la temperatura a la que se transfiere el calor es de 25°C=298.15K.

$$S_{gen} = m_1(s_2 - s_1) - \sum \frac{Q_i}{T_i} = 0.014 * -1.603 - \left(\frac{357.427}{298.15}\right) = 1.1763 \frac{kJ}{K}$$

Con esto queda resuelto.

**Problema 16(Guía Castillo)**

A un compresor adiabático entra dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a 100 kPa y 300 K, y sale a 1000 kPa y 520 K. Encuentre la eficiencia isentrópica del compresor y la generación de entropía (específica) de este proceso.



Para hallar la eficiencia isentrópica se partirá del hecho que para los compresores se cumple que:

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Siendo la entalpia  $h_{2s}$  la entalpia suponiendo que todo el proceso es isentrópico, al manipularlo queda:

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{C_p(T_{2s} - T_1)}{C_p(T_2 - T_1)} = \frac{T_{2s} - 300K}{520K - 300K}$$

Para hallar el valor de la temperatura isentrópica se parte de que:

$$s_f - s_i = C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - R \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right) = 0$$

Sabiendo que  $R = 0.1889 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ,  $C_p = 0.842 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$0.842 \ln\left(\frac{T_{2s}}{300}\right) - 0.1889 \ln\left(\frac{1000}{100}\right) = 0 \Rightarrow T_{2s} = 502.88K$$

Con lo que:

$$\eta = \frac{502.88K - 300K}{520K - 300K} = 0.922$$

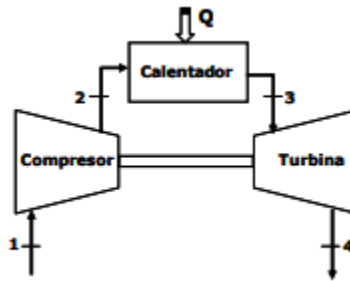
Y para la diferencia de entalpia especifica basta con usar:

$$s_2 - s_1 = 0.842 \ln\left(\frac{520}{300}\right) - 0.1889 \ln\left(\frac{1000}{100}\right) = 0.028 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

Con lo que ya queda resuelto el ejercicio.

**Problema 17 (Guía Castillo):**

Un compresor de aire impulsado por calor está formado por tres componentes: (a) un compresor adiabático, (b) un calentador a presión constante, y (c) una turbina adiabática. El compresor y la turbina tienen eficiencia isentrópica de 85%. El aire ambiental entra al compresor a 100 kPa y 300 K y se comprime hasta 600 kPa. Toda la potencia de la turbina entra al compresor y la salida de la turbina es el suministro de aire comprimido. Si se requiere que esta presión sea 200 kPa, ¿cuál debe ser la temperatura a la salida del calentador?



Se sabe que para el compresor se cumple que:

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{C_p(T_{2s} - T_1)}{C_p(T_2 - T_1)}$$

Y para la turbina que:

$$\eta = \frac{h_4 - h_3}{h_{4s} - h_3} = \frac{C_p(T_4 - T_3)}{C_p(T_{4s} - T_3)}$$

Y para este caso se tiene que:

$$\eta_{\text{compresor}} = \eta_{\text{turbina}} = 0.85$$

Bueno primeramente se va a buscar la manera de relacionar la turbina con el compresor ya que están conectados y todo el trabajo producido por la turbina es consumido por el compresor de manera que:

$$W_{\text{turbina}} = -W_{\text{compresor}}$$

$$m(h3 - h4) = -m(h1 - h2)$$

Al simplificar las masas y escribir las entalpias de gases ideales en función de las temperaturas queda:

$$Cp(T3 - T4) = -Cp(T1 - T2) \Rightarrow T4 - T3 = T1 - T2$$

Pero se tiene como incógnitas todas las temperaturas a excepción de T1.

Para hallar T2 se usará la eficiencia isentrópica sabiendo que:

$$\eta = \frac{h2s - h1}{h2 - h1} = \frac{Cp(T2s - T1)}{Cp(T2 - T1)} = 0.85$$

Y que para el caso isentrópico se tiene que:

$$sf - si = Cp \ln \left( \frac{Tf}{Ti} \right) - R \ln \left( \frac{Pf}{Pi} \right) = 0$$

Sabiendo que  $R=0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ,  $Cp=1.004 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$1.004 \ln \left( \frac{T2s}{300} \right) - 0.287 \ln \left( \frac{600}{100} \right) = 0 \Rightarrow T2s = 501.707K$$

Ahora se usa la eficiencia isentrópica:

$$\frac{(501.707 - 300)}{(T2 - 300)} = 0.85 \Rightarrow T2 = 536.1K$$

Ahora se estudiará la turbina:

$$\frac{(T4 - T3)}{(T4s - T3)} = 0.85$$

Lo que se hará ahora es hallar una relación entre el valor de la temperatura isentrópica y de la temperatura 3:

$$1.004 \ln \left( \frac{T4s}{T3} \right) - 0.287 \ln \left( \frac{200}{600} \right) = 0 \Rightarrow T4s = 0.7304T3$$

Ahora al usar la eficiencia antes mostrada y sustituir el valor de la temperatura isentrópica:

$$\frac{(T4 - T3)}{(0.7304T3 - T3)} = 0.85 \Rightarrow T4 - T3 = 0.85(-0.2696T3)$$

Ahora al usar la relación entre la turbina y el compresor hallada con primera ley:

$$T4 - T3 = T1 - T2$$

Se puede ver que se puede sustituir la diferencia entre T4 y T3 en función de T3:

$$0.85(-0.2696T3) = T1 - T2$$

Al sustituir los valores y despejar T3 queda que:

$$T3 = 1030.26K$$

Con lo que queda resuelto el ejercicio.



**Problema 18(Tarea Sylvana):**

Se necesita establecer el mínimo trabajo posible que se le puede extraer a un proceso de compresión para el metano en un sistema cerrado. Los procesos a analizar son tres, el primero es un proceso isotérmico, el segundo es adiabático y el tercero es politrópico con exponente 1,15. Para este estudio se tiene inicialmente, 1 kg de metano (CH4) a 20°C y 100 kPa, se comprime hasta alcanzar una presión final de 800 kPa. Haciendo un análisis de primera y segunda ley indique cual proceso recomienda.

- a. Calcule los trabajos (kJ) de cada uno de los procesos y recomiende el de menor consumo.
- b. Determine el calor transferido (kJ) para cada uno de los procesos.
- c. La entropía generada en cada proceso (kJ/K).
- d. Para el proceso adiabático, considere que la temperatura final real es de 10°C mas alta que la temperatura reversible. ¿En qué porcentaje disminuye el trabajo?

Proceso	Calor transferido(kJ)	Trabajo(kJ)	T2-T1(K)	Entropía Generada (kJ/K)
Isotérmico				
Adiabático				
Politrópico				

Primero llenaremos lo obvio:

Proceso	Calor transferido(kJ)	Trabajo(kJ)	T2-T1(K)	Entropía Generada (kJ/K)
Isotérmico			<b>0</b>	
Adiabático	<b>0</b>			
Politrópico				

Empezaremos con definir el estado inicial ya que es invariable para todos los procesos:

**Estado 1:**

T(K)	P(kPa)	V (m <sup>3</sup> )	x	m(kg)
293.15	100	¿?	Gas ideal	1

Usaremos la ecuación de gases ideales sabiendo que  $R=0.5183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $C_p=2.254 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  y

$$C_v=1.736 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$PV = mRT \Rightarrow V = 1.519 \text{ m}^3$$

Ahora pasaremos a estudiar primeramente el proceso isotérmico:

**Estado 2 isotérmico:**

Por ser isotérmico la temperatura es la misma, y como la presión del segundo estado es dato se tiene:

T(K)	P(kPa)	V (m <sup>3</sup> )	x	m(kg)
293.15	800	¿?	Gas ideal	1

$$PV = mRT \Rightarrow V = 0.1899 \text{ m}^3$$

Al hacer primera ley:

$$Q - W = m(u_2 - u_1) \Rightarrow Q - W = 0 \Rightarrow Q = W = m \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Se dice que la diferencia de energía interna es nula debido a que por ser suposición de gas ideal se tiene que:

$$u_2 - u_1 = C_v(T_2 - T_1)$$

Para poder integrar esa función se despeja P,

$$PV = mRT \Rightarrow P = \frac{mRT}{V}$$

$$Q = W = m \int_{V_1}^{V_2} \frac{mRT}{V} dV = mRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV$$

$$\Rightarrow 1 * 0.5183 * 293.15 \int_{1.519}^{0.1899} \frac{1}{V} dV = -315.92 \text{ kJ}$$

Para la entropía generada se tiene que:

$$S_{gen} = m_2 s_2 - m_1 s_1 - \sum \frac{Q_i}{T_i}$$

Como la masa es la misma:

$$S_{gen} = m(s_2 - s_1) - \sum \frac{Q_i}{T_i}$$

Ahora se hallará la diferencia de entropía del sistema (s2-s1):

$$s_f - s_i = C_{pln} \left( \frac{T_f}{T_i} \right) - R \ln \left( \frac{P_f}{P_i} \right) = 2.254 \ln \left( \frac{293.15}{293.15} \right) - 0.5183 \ln \left( \frac{800}{100} \right) = -1.077 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

Para hallar la entropía de los alrededores se dirá que la temperatura a la que se cede al entorno el calor es de 293.15K.

$$S_{gen} = 1 \text{ kg} \left( -1.077 \frac{\text{kJ}}{\text{K} * \text{kg}} \right) - \frac{-315.92 \text{ kJ}}{293.15 \text{ K}} = 0.000673 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

Cabe destacar que como para este caso la diferencia de entropía dio tan pequeña se debe tener cuidado con las cifras significativas ya que por un descuido puede resultarnos una entropía negativa a pesar de que el proceso es posible.

Proceso	Calor transferido(kJ)	Trabajo(kJ)	T2-T1(K)	Entropía Generada (kJ/K)
Isotérmico	<b>-315.92</b>	<b>-315.92</b>	<b>0</b>	<b>0.000673</b>
Adiabático	<b>0</b>			
Politrópico				

**Estado 2 adiabático:**

T(K)	P(kPa)	V (m <sup>3</sup> )	x	m(kg)
¿?	800	¿?	Gas ideal	1

Por primera ley para procesos adiabáticos se tiene que:

$$W = m(u_1 - u_2) = m * C_v(T_1 - T_2)$$

Se puede ver claramente que no se puede hallar la temperatura 2 con la ecuación de gases ideales, pero en el enunciado dice:

Para el proceso adiabático, considere que la temperatura final real es de 10°C más alta que la temperatura reversible. ¿En qué porcentaje disminuye el trabajo?

De manera que se estudiara el caso reversible para hallar la temperatura real y a su vez para hallar el porcentaje de disminución de trabajo. Para eso usaremos la ecuación de diferencia de entropía del sistema para gases ideales suponiendo un proceso isentrópico.

$$s_f - s_i = C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - R \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right) = 0$$

$$C_p \ln\left(\frac{T_{2s}}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 0 \Rightarrow T_{2s} = 472.88K$$

Para hallar su trabajo reversible:

$$W_{reversible} = m(u_1 - u_2) = m * C_v(T_1 - T_{2s}) = -312.014 kJ$$

Como la temperatura real es de 10 grados mayor con respecto a la temperatura isentrópica se tiene que la temperatura real es entonces de 482.88K.

Para hallar su trabajo se tiene:

$$W_{real} = m(u_1 - u_2) = m * C_v(T_1 - T_2) = -329.374 kJ$$

Para hallar en cuanto disminuye el trabajo se tiene:

$$\frac{(W_{real} - W_{reversible}) * 100}{W_{reversible}} = 5.5639\%$$

Para la entropía se tiene que por ser isentrópico:

$$S_{gen} = m(s_2 - s_1)$$

Con:

$$s_f - s_i = C_p \ln\left(\frac{482.88}{293.15}\right) - R \ln\left(\frac{800}{100}\right) = 0.04716 \frac{kJ}{K * kg}$$

$$S_{gen} = m(s_2 - s_1) = 0.04716 \frac{kJ}{K}$$

Proceso	Calor transferido(kJ)	Trabajo(kJ)	T2-T1(K)	Entropía Generada (kJ/K)
Isotérmico	<b>-315.92</b>	<b>-315.92</b>	<b>0</b>	<b>0.000673</b>
Adiabático	<b>0</b>	<b>-329.374</b>	<b>189.73</b>	<b>0.04716</b>
Politrópico				

**Estado 2 politrópico:**

Se tiene por el enunciado que:

$$PV^{1.15} = ctte$$

Se hallará esa constante:

$$100kPa * 1.519 m^{3.15} = 161.73$$

Ahora se verá que se tiene:

T(K)	P(kPa)	V (m <sup>3</sup> )	x	m(kg)
¿?	800	¿?	Gas ideal	1

Con la relación de gases politrópicos se tiene que:

$$P_1 V_1^{1.15} = P_2 V_2^{1.15} \Rightarrow V_2 = 0.249 m^3$$

Con esto se puede hallar la temperatura:

$$PV = mRT \Rightarrow T = 384.388K$$

$$T_2 - T_1 = 91.2389K$$

Por primera ley:

$$Q - W = m(u_2 - u_1)$$

Y con:

$$u_2 - u_1 = C_v(T_2 - T_1)$$

De manera que:

$$Q - W = m * C_v(T_2 - T_1)$$

Para hallar el trabajo se hará:

$$W = m \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Por ser un gas politrópico se tiene que:

$$PV^{1.15} = ctte \Rightarrow P = \frac{ctte}{V^{1.15}}$$

De manera que:

$$W = m \int_{V_1}^{V_2} P dV = m * ctte \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{1.15}} = -315.553 \text{ kJ}$$

Al volver con primera ley:

$$Q - W = m * C_v(T_2 - T_1) \Rightarrow Q = W + m * C_v(T_2 - T_1)$$

$$Q = -315.553 \text{ kJ} + 1 \text{ kg} * 1.736 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} (91.23 \text{ K}) = -157.178 \text{ kJ}$$

Para hallar la entropía:

$$s_f - s_i = C_p \ln\left(\frac{384.388}{293.15}\right) - R \ln\left(\frac{800}{100}\right) = -0.497 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

Con esto se puede usar la ecuación de entropía generada diciendo que la temperatura a la cual se cede calor es de 293.15 K.

$$S_{gen} = m(s_2 - s_1) - \sum \frac{Q_i}{T_i}$$

$$S_{gen} = 1 * kg \left( -0.497 \frac{kJ}{kg * K} \right) - \frac{-157.178 kJ}{293.15 K} = 0.0691 \frac{kJ}{K}$$

Con esto:

Proceso	Calor transferido(kJ)	Trabajo(kJ)	T2-T1(K)	Entropía Generada (kJ/K)
Isotérmico	<b>-315.92</b>	<b>-315.92</b>	<b>0</b>	<b>0.000673</b>
Adiabático	<b>0</b>	<b>-329.374</b>	<b>189.73</b>	<b>0.04716</b>
Politrópico	<b>-157.178</b>	<b>-315.533</b>	<b>91.2389</b>	<b>0.0691</b>

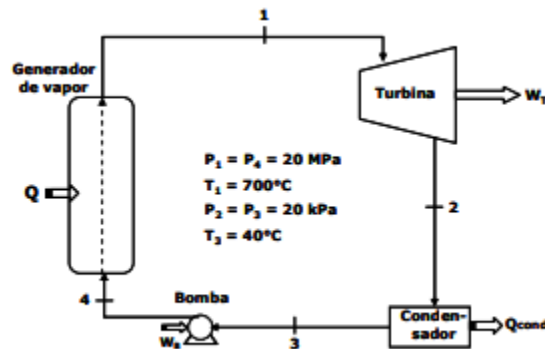
Con ya todos los procesos resueltos se puede ver que el proceso que consume menos trabajo es el politrópico por una diferencia muy poca con respecto al isotérmico.

**Problema 19(Guía Castillo):**

Considere una planta generadora de energía con una turbina de vapor, como se muestra en la figura.

Suponga que los procesos en la turbina y en la bomba son reversibles y adiabáticos. Si se ignoran los cambios de energía cinética y potencial,

- a) Calcule el trabajo específico que produce la turbina y el estado de salida de la turbina.
- b) Determine el trabajo suministrado a la bomba.
- c) ¿Cuál es la eficiencia térmica del ciclo?



Se llenará una tabla con todos los valores conocidos:

n	T(°C)	P(kPa)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	s ( $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ )
1	700	20000			
2		20			
3	40	20			
4		20000			

Ahora al definir los estados que se puedan se tiene que:

n	T(°C)	P(kPa)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	s ( $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ )
1	700	20000	<b>VSC</b>	<b>3809.09</b>	<b>6.1993</b>
2		20			
3	40	20	<b>LC</b>	<b>167.54</b>	<b>0.5724</b>
4		20000			



Como se tiene que la turbina y la bomba son reversibles se tiene que la entropía en la corriente 2 es la misma que en la 1 y lo mismo sucede con 3 y 4.

Por lo que queda:

n	T(°C)	P(kPa)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	s ( $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ )
1	700	20000	<b>VSC</b>	<b>3809.09</b>	<b>6.1993</b>
2	<b>60.06</b>	20	<b>MLV</b>		<b>6.1993</b>
3	40	20	<b>LC</b>	<b>167.54</b>	<b>0.5724</b>
4	<b>40.6096</b>	20000	<b>LC</b>	<b>187.660</b>	<b>0.5724</b>

Como el estado 2, para estas condiciones se puede ver que, para el estado de saturación a 20 kPa, se cumple que:

$$sf < s < sg$$

Ya que,  $sf = 0.8319 \frac{kJ}{kg \cdot K}$  y  $sg = 7.9085 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

Por lo que al hallar la calidad con:

$$x = \frac{s - sf}{sfg} = 0.7584$$

Por lo que ahora:

n	T(°C)	P(kPa)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	s ( $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ )
1	700	20000	<b>VSC</b>	<b>3809.09</b>	<b>6.1993</b>
2	<b>60.06</b>	20	<b>0.7584</b>	<b>2040.09</b>	<b>6.1993</b>
3	40	20	<b>LC</b>	<b>167.54</b>	<b>0.5724</b>
4	<b>40.6096</b>	20000	<b>LC</b>	<b>187.660</b>	<b>0.5724</b>

Con todo esto se puede hallar el trabajo específico de la turbina que es:

$$w = h_1 - h_2 = 3809.09 - 2040.09 = 1768.99 \frac{kJ}{kg}$$

Para el trabajo suministrado por la bomba se tiene:

$$w = h_3 - h_4 = 167.54 - 187.66 = -20.12 \frac{kJ}{kg}$$

Se sabe que la eficiencia térmica del ciclo es:

$$\eta = 1 - \frac{Ql}{Qh}$$

Se procederá a calcular el Ql que no es más que el calor retirado por el condensador:

$$q = h3 - h2 = -1872.55 \frac{kJ}{kg}$$

Y ahora el calor añadido en la caldera (Qh):

$$q = h1 - h4 = 3621.43 \frac{kJ}{kg}$$

Con lo que:

$$\eta = 1 - \left| \frac{Ql}{Qh} \right| = 0.4829$$

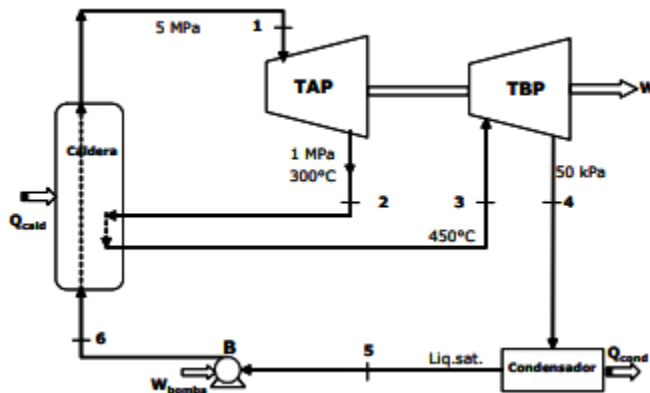
Con esto queda resuelto el ejercicio.

**Problema 20(Guía Castillo):**

Considere el ciclo Rankine de generación de potencia con recalentamiento que se muestra en la figura. La presión del vapor que sale de la caldera es de 5 MPa. Este vapor se alimenta a la turbina de alta presión TAP y se expande hasta 1 MPa y 300°C, y luego se recalienta hasta 450°C antes de entrar a la turbina de baja presión, donde se expande hasta la presión de 50 kPa. El líquido que sale de condensador, que es saturado, es bombeado de nuevo a la caldera. La potencia total producida por ambas turbinas es de 10 MW. La eficiencia de cada etapa de la turbina es de 80%.

- a) ¿Cuál es la temperatura de la corriente que entra a la turbina de alta presión?
- b) Determinar el flujo de vapor, la potencia suministrada a la bomba y el calor retirado en el condensador
- c) ¿Cuál es la eficiencia térmica del ciclo?

Suponer que la bomba es adiabática y reversible, y que cada etapa de la turbina es adiabática. Suponer también que no hay caídas de presión en la caldera, ni en el condensador, ni en las tuberías.



n	T(°C)	P(kPa)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	s ( $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ )	m ( $\frac{kg}{seg}$ )
1		5000				
2	300	1000				
3	450					
4		50				
5			1			
6						

Ahora pasaremos a llenar la tabla mediante suposiciones:

n	T(°C)	P(kPa)	x	$h \left(\frac{kJ}{kg}\right)$	$s \left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$	$m \left(\frac{kg}{seg}\right)$
1		5000				
2	300	1000				
3	450	<b>1000</b>				
4		50				
5		<b>50</b>	1			
6		<b>5000</b>				

Usando las tablas del agua definiremos los estados que se puedan:

n	T(°C)	P(kPa)	x	$h \left(\frac{kJ}{kg}\right)$	$s \left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$	$m \left(\frac{kg}{seg}\right)$
1		5000				
2	300	1000	<b>VSC</b>	<b>3051.15</b>	<b>7.1228</b>	
3	450	<b>1000</b>	<b>VSC</b>	<b>3371.16</b>	<b>7.6135</b>	
4		50				
5	<b>81.33</b>	<b>50</b>	1	<b>340.47</b>	<b>1.091</b>	
6		<b>5000</b>				

Para hallar el valor de la entalpia de la corriente 4 se estudiará la turbina, usando su entalpia isentrópica:

$$\eta = \frac{h3 - h4}{h3 - h4s} = 0.8$$

Como se tiene la entropía del estado 3, se hallará la entalpia isentrópica de la corriente 4 de manera que queda:

T(°C)	P(kPa)	x	$h \left(\frac{kJ}{kg}\right)$	$s \left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$
	50			<b>7.1228</b>

Para estas condiciones se puede ver que, para el estado de saturación a 50 kPa, se cumple que:

$$sf < s < sg$$

Ya que,  $sf=1.091 \frac{kJ}{kg \cdot K}$  y  $sg=7.5939 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

Por lo que al hallar la calidad con:

$$x = \frac{s - s_f}{sfg} = 0.9275$$

Con esto se puede hallar  $h_{4s}$ ,

$$h_{4s} = (1 - x)h_f + xh_g = 2653 \frac{kJ}{kg}$$

Así que al usar la ecuación de eficiencia isentrópica queda:

$$\frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} = 0.8 \Rightarrow h_4 = 2796.632 \frac{kJ}{kg}$$

n	T(°C)	P(kPa)	x	h ( $\frac{kJ}{kg}$ )	s ( $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ )	m ( $\frac{kg}{seg}$ )
1		5000				
2	300	1000	VSC	<b>3051.15</b>	<b>7.1228</b>	
3	450	<b>1000</b>	VSC	<b>3371.16</b>	<b>7.6135</b>	
4		50		<b>2796.632</b>		
5	<b>81.33</b>	<b>50</b>	1	<b>340.47</b>	<b>1.091</b>	
6		<b>5000</b>				

Al estudiar la turbina 1 se tiene que con la eficiencia isentrópica se cumple que:

$$\frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} = 0.8$$

Como no se tiene manera de definir ni la corriente 1 ni el estado isentrópico de la corriente 2, se tendrá que hacer una iteración en función, por lo que se tendrá que:

$$\frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} = 0.8 \Rightarrow 0.8h_1 - 0.8h_{2s} = h_1 - h_2$$

$$0.2h_1 + 0.8h_{2s} - h_2 = 0$$

Lo cual al sustituir queda:

$$0.2h_1 + 0.8h_{2s} - 3051.15 \text{ kJ} = 0$$

Como se dijo que se iba a hacer un proceso iterativo:

$$f(x) = 0.2h_1 + 0.8h_{2s} - h_2$$

De manera que se probara con valores hasta que se pueda encontrar un cambio de signo y de ahí interpolar.

Como aquí el valor vinculante entre  $h_1$  y  $h_{2s}$  es la entropía, se supondrán entropías y sabiendo las presiones de las dos corrientes se hallarán los respectivos valores de entalpia.

Para:

$s \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$	$h_1 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	$h_{2s} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	$f(x)$
<b>6.94</b>	<b>3406.99</b>	<b>2951.02</b>	<b>-8.936</b>
<b>6.9758</b>	<b>3433.76</b>	<b>2951.02</b>	<b>12.106</b>

Como se pudo ver con los dos valores de entropía supuestos se pudieron hallar esos valores y el deseado cambio de signo, al momento de interpolar usando la entalpia 1 como referencia queda:

$h_1 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	$f(x)$
3406.99	-8.936
<b>3418.35</b>	0
3433.76	12.106

Con esto se tiene que, al entrar en tablas de VSC a 5000 kPa, se pudo visualizar que la temperatura

a  $h=3418.35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  es de  $T=493.448^\circ\text{C}$

De manera que:

n	T( $^\circ\text{C}$ )	P(kPa)	x	$h \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$	$s \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$	$m \left( \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \right)$
1	<b>493.448</b>	5000	<b>VSC</b>	<b>3418.35</b>		
2	300	1000	<b>VSC</b>	<b>3051.15</b>	<b>7.1228</b>	
3	450	<b>1000</b>	<b>VSC</b>	<b>3371.16</b>	<b>7.6135</b>	
4		50		<b>2796.632</b>		
5	<b>81.33</b>	<b>50</b>	1	<b>340.47</b>	<b>1.091</b>	
6		<b>5000</b>				

Para hallar el flujo de vapor o mejor dicho, el flujo masico se sabe que la sumatoria de los trabajos de ambas turbinas es de 10000 kW. Por lo que:

$$W_{total} = W_{tap} + W_{tbp} = \dot{m}(h_1 - h_2 + h_3 - h_4) = 10000kW$$

Al momento de despejar y sustituir los valores queda que:

$$\dot{m} = 10.615 \frac{kg}{seg}$$

Ya con esto se puede hallar el calor retirado por el condensador:

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_5 - h_4) = -26072.15 kW$$

Para hallar la potencia de la bomba se tiene que:

$$\dot{W} = \dot{m}(h_5 - h_6)$$

Pero no se posee el valor de  $h_6$  y tampoco hay manera de hallarlo, pero como se dijo que la bomba es reversible se puede decir que:

$$w_{reversible} = h_5 - h_6 = v_5(P_5 - P_6)$$

Para hallar el volumen especifico de 5 solo hace falta verlo directamente por tablas y es:

$$v_5 = 0.001030 \frac{m^3}{kg}$$

Por lo tanto, como se tiene el valor de las presiones de 5 y 6 se puede decir que:

$$h_5 - h_6 = v_5(P_5 - P_6) \Rightarrow h_6 = 340.47 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{W} = \dot{m}(h_5 - h_6) = \dot{m} * v(P_5 - P_6) = -56.179 kW$$

Ya con esto se va a pasar a resolver el valor de la eficiencia del ciclo que es:

$$\eta = \frac{W_{total}}{Q_h}$$

Siendo  $Q_h$  la sumatoria de todas las entradas de calor del sistema, de manera que como solo hay una caldera, se pasara a estudiarla:

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum m_i e_i h_i - \sum m_j s_j h_j = 0$$

Como no hace trabajo y hay dos entradas y dos salidas queda:

$$\dot{Q} + \dot{m}(h1 + h4 - h6 - h3) = 0$$

$$\dot{Q} = \dot{m}(h1 + h4 - h6 - h3) = 36012.427 \text{ kW}$$

Con lo cual:

$$\eta = \frac{W_{total}}{Q_h} = \frac{10000 - 56.179}{36012.427} = 0.2761$$

Con lo cual queda resuelto el ejercicio.



Con esto ya queda concluida la guía, en cualquier caso, de duda o error, contactar y notificar por correo al [15-11046@usb.ve](mailto:15-11046@usb.ve)