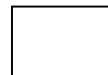


Alumno: \_\_\_\_\_ Mail: \_\_\_\_\_



## Integración III

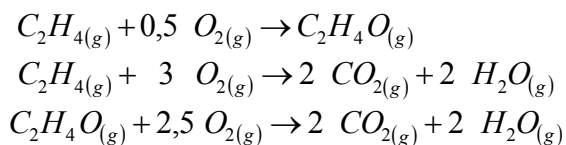
### Parcial ° 2 (2024)

#### Tema B

#### Problema 1: Termoquímica

Para obtener óxido de etileno se hace reaccionar una corriente de 10 [kmol/h] de etileno a 200 [°C] y 20 [atm] con Oxígeno puro a la misma temperatura y presión y un flujo de 50 [kmol/h]. Los productos salen a 270 [°C] y 20 [atm] de presión y se retira  $2,283 \times 10^6$  [kcal/h]. En el reactor ocurren 3 reacciones. La conversión de etileno es del 90 % mientras que la de oxidación del óxido de etileno es 10 %.

- Selectividad de cada reacción de conversión de etileno.
- Flujos molares de salida de cada componente



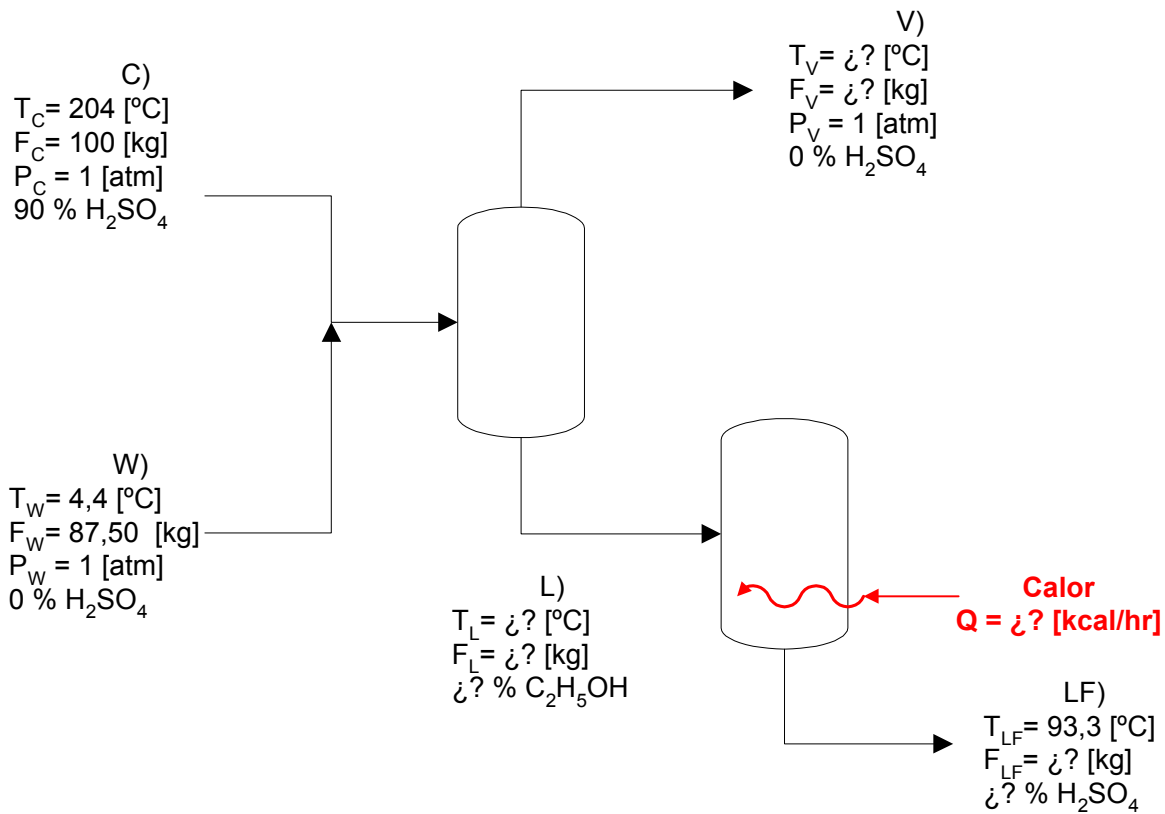
| Comp               | $\Delta H_i$ : [kcal/kmol °K], T [°K] |       |                     |
|--------------------|---------------------------------------|-------|---------------------|
|                    | a xT <sup>2</sup>                     | bxT   | C                   |
| Etileno            | 0                                     | 15,41 | $7,25 \times 10^3$  |
| Oxígeno            | 0                                     | 7,535 | $-2,33 \times 10^3$ |
| Óxido de etileno   | 0                                     | 19,85 | $-1,98 \times 10^4$ |
| Dióxido de carbono | 0                                     | 10,95 | $-9,77 \times 10^4$ |
| Agua               | -2.64E-02                             | 39.37 | $-6,94 \times 10^4$ |

Nota: las entalpías ya incluyen los calores de formación de cada componente

### Problema 2: Entalpía-composición

Se mezclan 100 [kg/hr] de solución acuosa de ácido sulfúrico al 90 % con una temperatura 204 [°C] con 87,50 [kg] de agua pura a 4,44 [°C] . Calcular:

- Composición y temperatura de la mezcla.
- Si la misma se encuentra en la zona de 2 fases determinar composición la fase líquida.
- Cantidad de calor a quitar o entregar para llevar al líquido resultante a 93,3 [°C].



## Problema 1

### Entradas

Etileno: (E)

$$T_E = 200 [^{\circ}\text{C}] = 473,15 [^{\circ}\text{K}]$$

$$P_E = 20 [\text{atm}]$$

$$F_E = 10 [\text{kmol/hr}]$$

Composición:

| Comp    | xi | Fi |
|---------|----|----|
| Etileno | 1  | 10 |
| O2      | 0  | 0  |
| OE      | 0  | 0  |
| CO2     | 0  | 0  |
| H2O     | 0  | 0  |
| Total   | 1  | 10 |

Entalpía:

| A*T2 | B*-T   | C         |
|------|--------|-----------|
| 0    | 15.406 | 7.255E+03 |

$$\overline{\Delta H_E} = 0 \times T_E^2 + 15,406 \times T_E + 7.255 \times 10^3 = 0 \times 473,15^2 + 15,406 \times 473,15 + 7.255 \times 10^3 = 1,454 \times 10^4 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}} \right]$$

### Entradas

Oxígeno: (O)

$$T_O = 200 [^{\circ}\text{C}] = 473,15 [^{\circ}\text{K}]$$

$$P_O = 20 [\text{atm}]$$

$$F_O = 50 [\text{kmol/hr}]$$

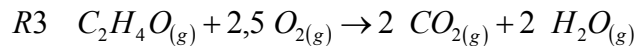
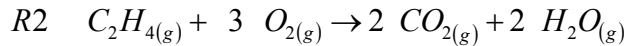
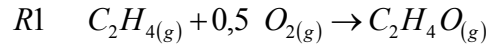
Composición:

| Comp    | xi | Fi |
|---------|----|----|
| Etileno | 0  | 0  |
| O2      | 1  | 50 |
| OE      | 0  | 0  |
| CO2     | 0  | 0  |
| H2O     | 0  | 0  |
| Total   | 1  | 50 |

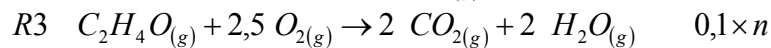
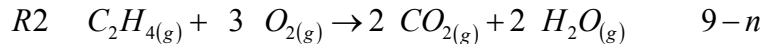
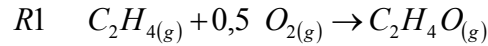
Entalpía:

| A*T2 | B*-T  | C         |
|------|-------|-----------|
| 0    | 7.535 | -2.33E+03 |

$$\overline{\Delta H_O} = 0 \times T_O^2 + 7,535 \times T_O - 2,326 \times 10^3 = 0 \times 473,15^2 + 7,535 \times 473,15 - 2,326 \times 10^3 = 1,239 \times 10^3 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}} \right]$$



Sean **n** el número de moles de etileno que reacciona en la reacción R1 y como el 90 % se convierte (9-n) moles lo hacen en R2, 1 (mol) sale sin reaccionar. Como la única reacción que produce óxido de etileno es la R1 se obtienen **n** moles de los cuales el 10 % reaccionan en la R3 por lo que lo hacen 0,1xn mientras que 0,9xn salen del reactor.



| Comp    | Fi (entrada) | Rx                                              |              | F1 (salida)    | ΔHi       | Fi*ΔHi     |           |
|---------|--------------|-------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------|------------|-----------|
|         |              |                                                 |              |                |           | A          | B*n       |
| Etileno | 10           | -9                                              | -9           | 1              | 1,56E+04  | 1,56E+04   | 0         |
| O2      | 50           | (-0,5*n)+(-3)*(9-n)+(-2,5)*(0,1*n)=-(27-2,25*n) | -(27-2,25*n) | 50-(27-2,25*n) | 1,77E+03  | 4,06E+04   | 3,98E+03  |
| OE      | 0            | n                                               | n            | n              | -9,00E+03 | 0          | -9,00E+03 |
| CO2     | 0            | 2*(9-n)+2*0,1*n=18-1,8*n                        | 18-1,8*n     | 18-1,8*n       | -9,17E+04 | -1,65E+06  | 1,65E+05  |
| H2O     | 0            | idem                                            | 18-1,8*n     | 18-1,8*n       | -5,58E+04 | -1,00E+06  | 1,00E+05  |
| Total   | 60           |                                                 |              |                |           | -2,599E+06 | 2,605E+05 |

Balance de energía:

Al ser un reactor enfriado y siendo que los calores de formación ya están incluidos:

$$F_E \times \overline{\Delta H}_E + F_O \times \overline{\Delta H}_O = F_S \times \overline{\Delta H}_S + Q$$

$$10 \times 1,454 \times 10^4 + 50 \times 1,239 \times 10^3 = 2,605 \times 10^5 \times n - 2,599 \times 10^6 + 2,283 \times 10^6$$

$$n = \frac{10 \times 1,454 \times 10^4 + 50 \times 1,239 \times 10^3 + 2,599 \times 10^6 - 2,283 \times 10^6}{2,605 \times 10^5} = 2,001$$

$$S1 = \frac{2,001}{10} \times 100 = 20\% \quad S2 = 90 - 20 = 70\% \quad S/R = 10\%$$

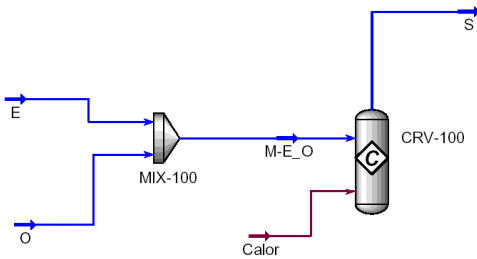
### Resultados:

a) El 90 % del etileno reacciona: el 22,23 % en la R1 y el 77,77 % en R2.

b) La corriente de salida tiene las siguientes composición y flujos molares:

| Comp    | xi    | Fi     |
|---------|-------|--------|
| Etileno | 0,017 | 1,000  |
| O2      | 0,465 | 27,500 |
| OE      | 0,030 | 1,800  |
| CO2     | 0,244 | 14,400 |
| H2O     | 0,244 | 14,400 |
| Total   | 1,000 | 59,100 |

| E           |       |          |
|-------------|-------|----------|
| Temperature | 200.0 | C        |
| Pressure    | 20.00 | atm      |
| Molar Flow  | 10.00 | kgmole/h |



| O           |       |          |
|-------------|-------|----------|
| Temperature | 200.0 | C        |
| Pressure    | 20.00 | atm      |
| Molar Flow  | 50.00 | kgmole/h |

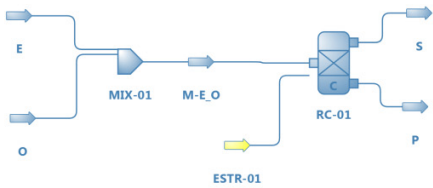
| Calor     |             |        |
|-----------|-------------|--------|
| Heat Flow | -2.281e+006 | kcal/h |

| S                          |         |          |
|----------------------------|---------|----------|
| Temperature                | 270.0   | C        |
| Pressure                   | 20.00   | atm      |
| Molar Flow                 | 59.10   | kgmole/h |
| Mass Flow                  | 1881    | kg/h     |
| Comp Molar Flow (Ethylene) | 1.0000  | kgmole/h |
| Comp Molar Flow (Oxygen)   | 27.5000 | kgmole/h |
| Comp Molar Flow (C2Oxide)  | 1.8000  | kgmole/h |
| Comp Molar Flow (CO2)      | 14.4000 | kgmole/h |
| Comp Molar Flow (H2O)      | 14.4000 | kgmole/h |

| CRV-100                                 |         |  |
|-----------------------------------------|---------|--|
| Act. % Conversion (Act. % Conversion_1) | 20.00   |  |
| Act. % Conversion (Act. % Conversion_2) | 70.00   |  |
| Act. % Conversion (Act. % Conversion_3) | <empty> |  |

Hysys

| Etileno       |         |        |
|---------------|---------|--------|
| E Temperature | 200     | C      |
| E Pressure    | 20      | atm    |
| E Mass Flow   | 280.532 | kg/h   |
| E Molar Flow  | 10      | kmol/h |



| Oxigeno       |         |        |
|---------------|---------|--------|
| O Temperature | 200     | C      |
| O Pressure    | 20      | atm    |
| O Mass Flow   | 1599.94 | kg/h   |
| O Molar Flow  | 50      | kmol/h |

|      |    |
|------|----|
| S1   | 20 |
| S2   | 70 |
| S/Rx | 10 |

| Calor   |             |                     |
|---------|-------------|---------------------|
| ESTR-01 | Energy Flow | -2.28187E+06 kcal/h |

| Salida                                  |         |        |
|-----------------------------------------|---------|--------|
| S Temperature                           | 270     | C      |
| S Pressure                              | 20      | atm    |
| S Mass Flow                             | 1880.47 | kg/h   |
| S Molar Flow                            | 59.1    | kmol/h |
| S Molar Flow (Mixture) / Ethylene       | 1       | kmol/h |
| S Molar Flow (Mixture) / Oxygen         | 27.5    | kmol/h |
| S Molar Flow (Mixture) / Ethylene oxide | 1.8     | kmol/h |
| S Molar Flow (Mixture) / Carbon dioxide | 14.4    | kmol/h |
| S Molar Flow (Mixture) / Water          | 14.4    | kmol/h |

dwsim

## Problema 2

### Resolución:

#### Entrada C

$$F_C = 100 \text{ [kg/hr]} = 220,462 \text{ [lb/hr]}$$

$$w_C = 0,9$$

$$T_C = 400 \text{ [°F]} = 204 \text{ [°C]}$$

$$\overline{\Delta H}_C = 71,76 \left[ \frac{BTU}{lb} \right] = 39,82 \left[ \frac{kcal}{kg} \right]$$

#### Entrada W

$$F_W = 87,50 \text{ [kg/hr]} = 192,9 \text{ [lb/hr]}$$

$$w_W = 0,0$$

$$T_W = 40 \text{ [°F]} = 4,4 \text{ [°C]}$$

$$\overline{\Delta H}_W = 7,10 \left[ \frac{BTU}{lb} \right] = 3,94 \left[ \frac{kcal}{kg} \right]$$

Mezcla adiabática

#### **Mezclador:**

Balance de materia global:

$$F_C + F_W = F_A$$

Balance de materia por componente:

$$F_C \times w_C + F_W \times w_W = F_A \times w_A$$

Balance de energía por componente:

$$F_C \times \overline{\Delta H}_C + F_W \times \overline{\Delta H}_W = F_A \times \overline{\Delta H}_A$$

$$100 \text{ [kg]} + 87,50 \text{ [kg]} = 187,5 \text{ [kg]} = 413,4 \text{ [lb]}$$

$$w_A = \frac{F_C \times w_C + F_W \times w_W}{F_A} = \frac{100 \times 0,90 + 87,5 \times 0}{187,5} = 0,4800 \equiv 48,00 \%$$

En el diagrama se aprecia que la mezcla está en una zona de 2 fases, una líquida de 50 % y una vapor de 0 % (vapor de agua) y una temperatura de 260 [°F] o 126,7 [°C].

### **Separador LV:**

Balance de materia global:

$$F_L + F_V = F_A$$

Balance de materia por componente:

$$F_L \times w_L + F_V \times w_V = F_A \times w_A$$

Balance de energía por componente:

$$F_L \times \overline{\Delta H}_L + F_V \times \overline{\Delta H}_V = F_A \times \overline{\Delta H}_A$$

$$F_L \times w_L = F_A \times w_A$$

$$F_L = \frac{F_A \times w_A}{w_L} = \frac{187,5 \times 0,48}{0,50} = 180,0 \left[ \frac{kg}{hr} \right] = 396,8 \left[ \frac{lb}{hr} \right]$$

### **Corriente L**

$$F_L = 180,0 \text{ [kg/hr]} = 396,8 \text{ [lb/hr]}$$

$$w_L = 0,50$$

$$T_w = 260 \text{ [°F]} = 126,7 \text{ [°C]}$$

$$\overline{\Delta H}_w = 7,09 \left[ \frac{BTU}{lb} \right] = 3,94 \left[ \frac{kcal}{kg} \right]$$

### **Enfriador:**

Balance de materia global:

$$F_L = F_{LF}$$

Balance de materia por componente:

$$w_{LF} = w_L$$

Balance de energía por componente:

$$F_L \times \overline{\Delta H}_L + Q = F_{LF} \times \overline{\Delta H}_{LF}$$

### **Corriente LF**

$$F_{LF} = 180,0 \text{ [kg/hr]} = 396,8 \text{ [lb/hr]}$$

$$w_F = 0,50$$

$$T_F = 200 [^{\circ}\text{F}] = 93,3 [^{\circ}\text{C}]$$

$$\overline{\Delta H}_W = -25,51 \left[ \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \right] = -14,16 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

$$Q = F_{LF} \times \overline{\Delta H}_{LF} - F_L \times \overline{\Delta H}_L = 180,0 \times (3 - (-14,16)) = 3258 \left[ \frac{\text{kCal}}{\text{hr}} \right] = 3088 \left[ \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right]$$

**Respuestas:**

- a) La mezcla adiabática tiene una composición de 48,00 % y 260 [°F] o 126,7 [°C].
- b) La mezcla se encuentra en la zona de 2 fases: la líquida de 50,0 % y un flujo de 180,0 [kg/hr]= 396,8 [lb/hr].
- c) Se requiere 3257 [kCal]= 3087 [BTU] de refrigeración.

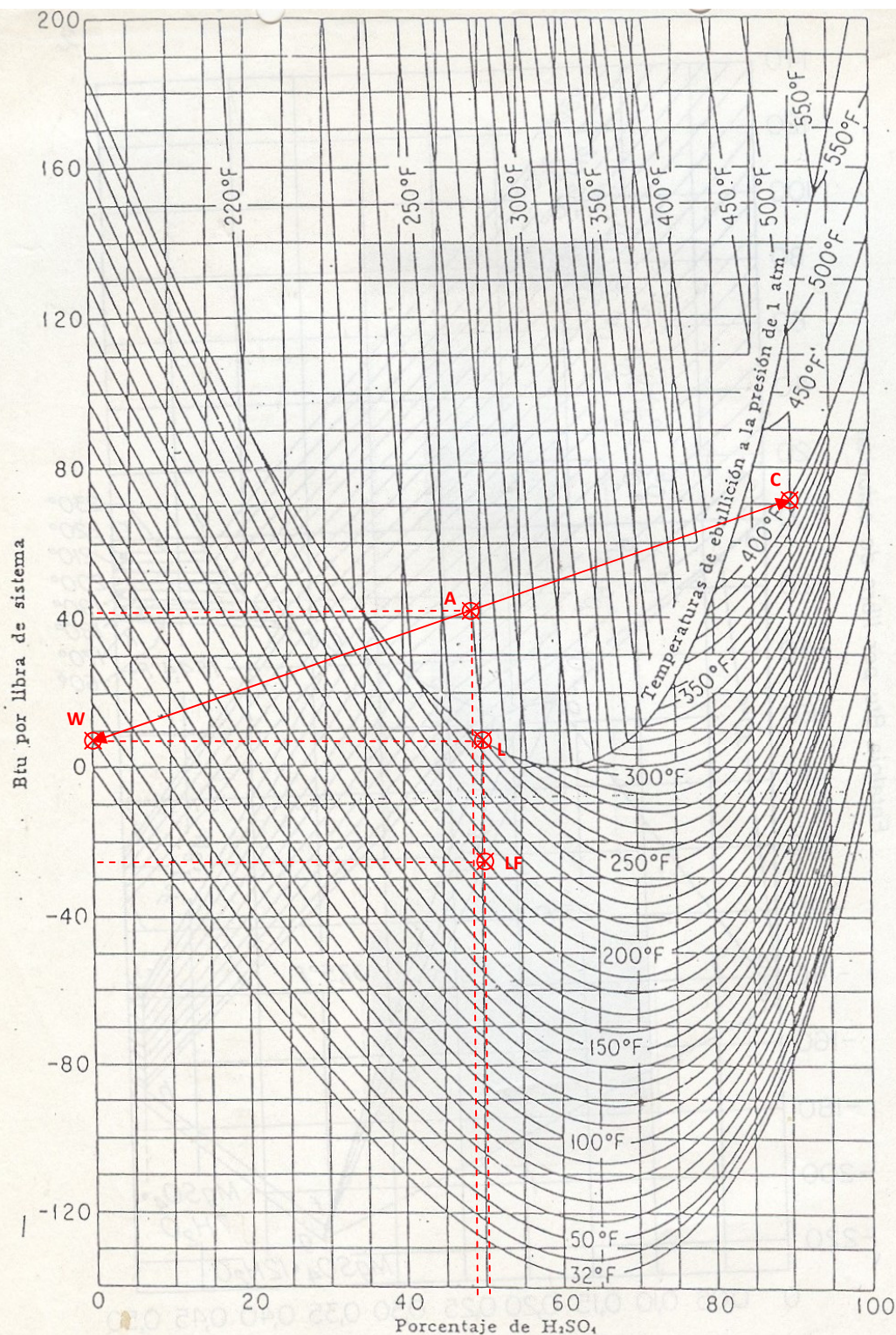


FIG. I.4. Diagrama de entalpía-concentración para el sistema ácido sulfúrico-agua, relativo a los componentes puros. ( $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 32°F y sus presiones de vapor correspondientes.) Datos de las tablas críticas internacionales © 1943 O. A. Hougen y K. M. Watson

