



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE PETROQUÍMICA**

**TEMA: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE MATERIAL  
BIBLIOGRÁFICO PARA BALANCES DE MATERIA CON  
VARIAS UNIDADES DE PROCESO CON REACCIONES  
QUÍMICAS, SISTEMAS MONOFÁSICOS Y MULTIFÁSICOS**

**AUTORA: MOLINA CHORLANGO VANESA MISHEL**

**DIRECTOR: ING. LUNA ORTIZ, EDUARDO DAVID**





INTRODUCCIÓN



OBJETIVOS



PRODUCTO ACREDITABLE



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

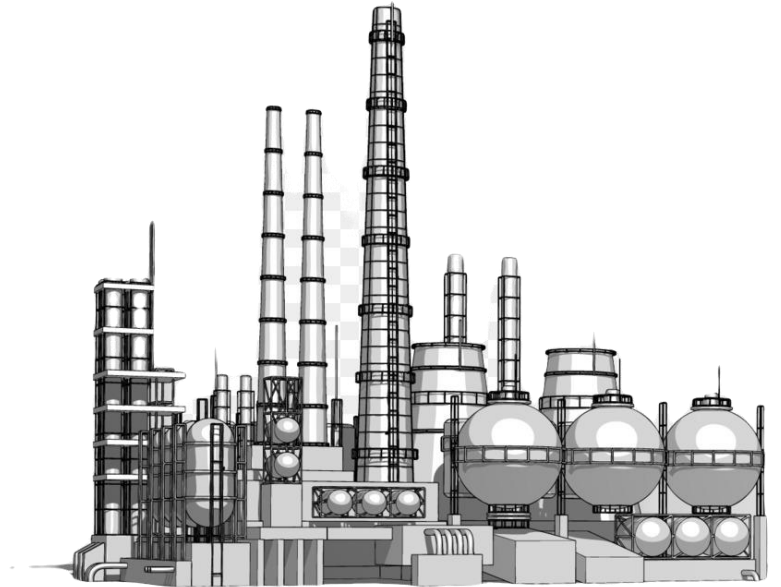
## Introducción

Industria Petroquímica

Sistemas múltiples unidades

Balances de materia

Sistemas monofásicos y multifásicos



## Planteamiento del problema

Escases de fuentes específicas de información enfocados a los balances de materia en la industria petroquímica



Generación de conflictos en la comprensión y reconocimiento de procesos petroquímicos

## Justificación

Importancia

Utilidad

Factibilidad

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

PRODUCTO ACREDITABLE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Objetivo General

Establecer información bibliográfica referente a los balances de materia de varias unidades de proceso con reacciones químicas, y el estudio de sistemas monofásicos y multifásicos.



## Objetivos Específicos

- Investigar información bibliográfica sobre los balances de materia con varias unidades de proceso, y reacciones químicas.
- Describir los sistemas monofásicos y multifásicos relacionados en procesos químicos, petroquímicos y afines.
- Elaborar material bibliográfico referente a los balances de materia de varias unidades de proceso con reacciones químicas; y el análisis de sistemas monofásicos y multifásicos.





INTRODUCCIÓN

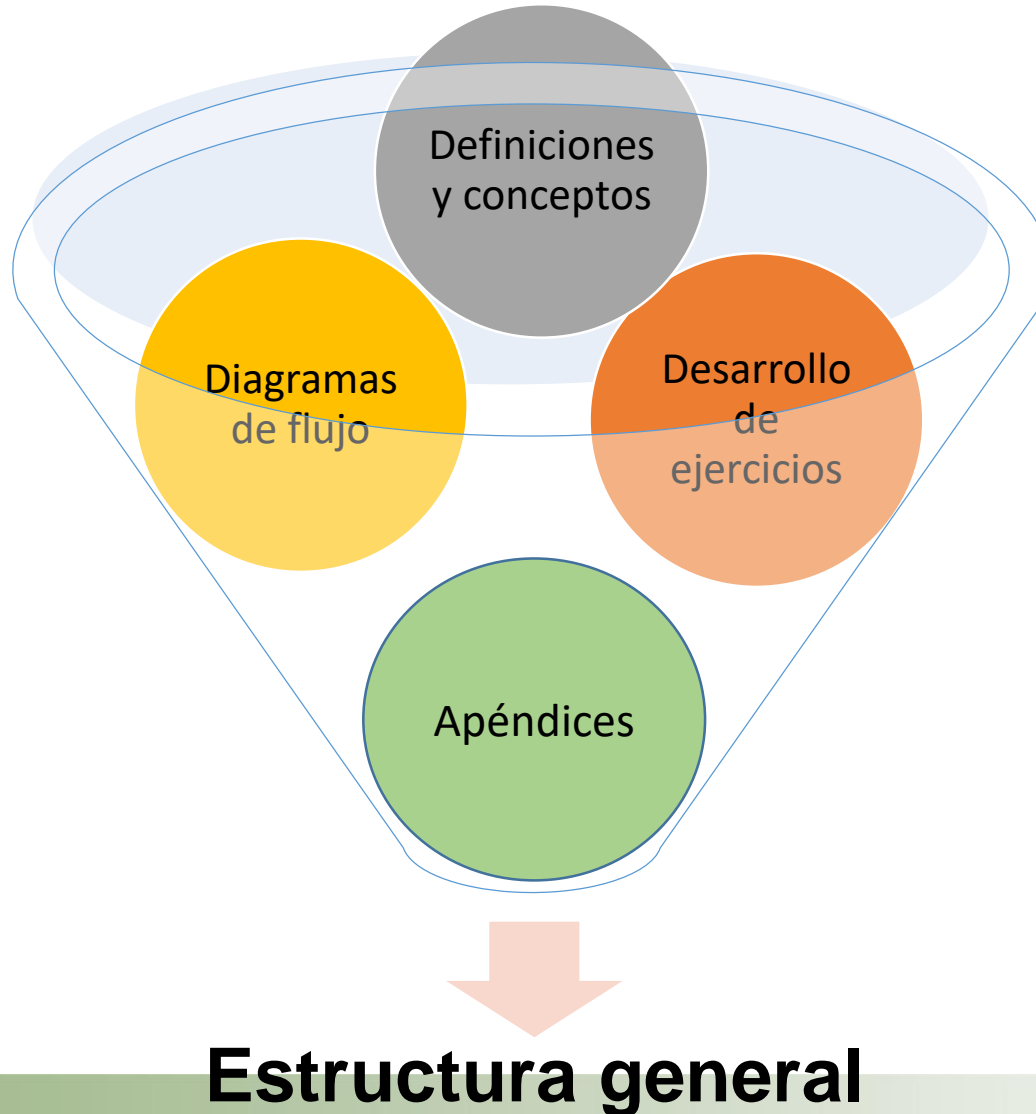
OBJETIVOS

PRODUCTO ACREDITABLE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

# Enfoque investigativo





### Apéndice A.3

Factores de corrección para ecuaciones de estado para gases reales

Componente	Nombre	Fórmula	Zc	Factor acéntrico $\omega$
1	Acetaldehído	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	0.221	0.2907
2	Acetamida	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO	0.224	0.421
3	Ácido acético	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0.208	0.4665
4	Anhídrido acético	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.4535
5	Acetona	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.233	0.3065
6	Acetonitrilo	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N	0.184	0.3379
7	Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.268	0.1912
8	Acroleína	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	0.234	0.3198
9	Ácido acrílico	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0.23	0.5383
10	Acilonitrilo	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N	0.214	0.3498
11	Aire	Mixture	0.313	
12	Amoníaco	H <sub>2</sub> N	0.242	0.2526
13	Anisol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	0.267	0.3502
14	Argón	Ar	0.291	0
15	Benzamida	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO	0.255	0.5585
16	Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.268	0.2103
17	Bencenetiol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> S	0.261	0.2628
18	Ácido benzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.246	0.6028
19	Benzonitrilo	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> N	0.227	0.3662
20	Benzofenona	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub> O	0.276	0.5019

## Desarrollo conceptual

84

$$\left\{ 45.41 \text{ atm} + \left( \frac{(568 \text{ mol})^2 \times 3.603 \text{ atm} \left( \frac{\text{L}}{\text{mol}} \right)^2}{(230 \text{ L})^2} \right) \right\} (230 \text{ L})$$

$$- 568 \text{ mol} \times 0.0428 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

$$= 568 \text{ mol} \times 0.082026 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \times T$$

$$T = 297.49 \text{ K}$$

**2.3.2.4 Ecuación de estado de Soave-Redlich-Kwong (SRK)**

Otra expresión de las ecuaciones cúbicas es la ecuación de estado SRK, es una ecuación empírica que se utiliza para describir un sistema, relaciona presiones, temperaturas y volumen de gases.

La ecuación es:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a\alpha}{V_m(V_m + b)} \quad (2.29)$$

Los factores a, b y  $\alpha$  se pueden estimar con las siguientes correlaciones

$$a = 0.42747 \frac{(RT_c)^2}{P_c} \quad (2.30)$$

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c} \quad (2.31)$$

$$\alpha = [1 + m(1 - \sqrt{T_r})]^2 \quad (2.32)$$

$$m = 0.48508 + 1.5517\omega - 0.1561\omega^2 \quad (2.33)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

**Ejemplo 2.13 Ecuación de Estado SRK**

Un recipiente que contiene cloro se encuentra a una temperatura de 35°C con un volumen molar de 0.4 m<sup>3</sup>/kmol. Calcular mediante el uso

### Definiciones y conceptos

#### 2.3.2.4 Ecuación de estado de Soave-Redlich-Kwong (SRK)

Otra expresión de las ecuaciones cúbicas es la ecuación de estado SRK, es una ecuación empírica que se utiliza para describir un sistema, relaciona presiones, temperaturas y volumen de gases.

### Fórmulas

$$a = 0.42747 \frac{(RT_c)^2}{P_c} \quad (2.30)$$

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c} \quad (2.31)$$

$$\alpha = [1 + m(1 - \sqrt{T_r})]^2 \quad (2.32)$$

$$m = 0.48508 + 1.5517\omega - 0.1561\omega^2 \quad (2.33)$$

### Planteamiento de ejercicios

#### Ejemplo 2.13 Ecuación de Estado SRK

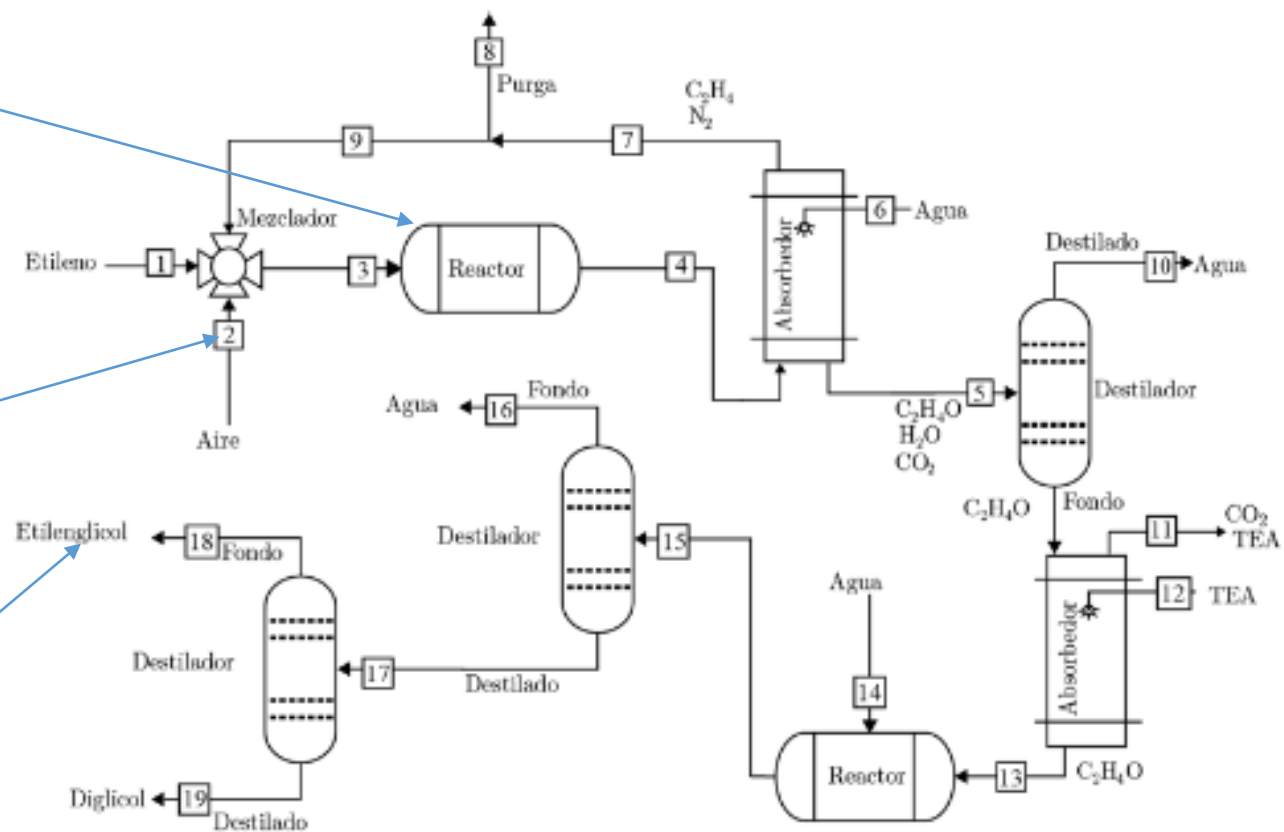
Un recipiente que contiene cloro se encuentra a una temperatura de 35°C con un volumen molar de 0.4 m<sup>3</sup>/kmol. Calcular mediante el uso

## Diagramas de flujo

Unidades de operación

Numeración de corrientes

Componentes en la corriente



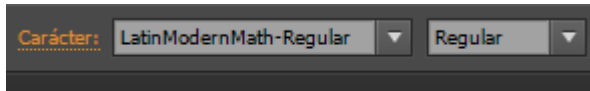
**FIGURA 1.5**

Diagrama de flujo del proceso de producción de etilenglicol incluyendo reciclo y purga

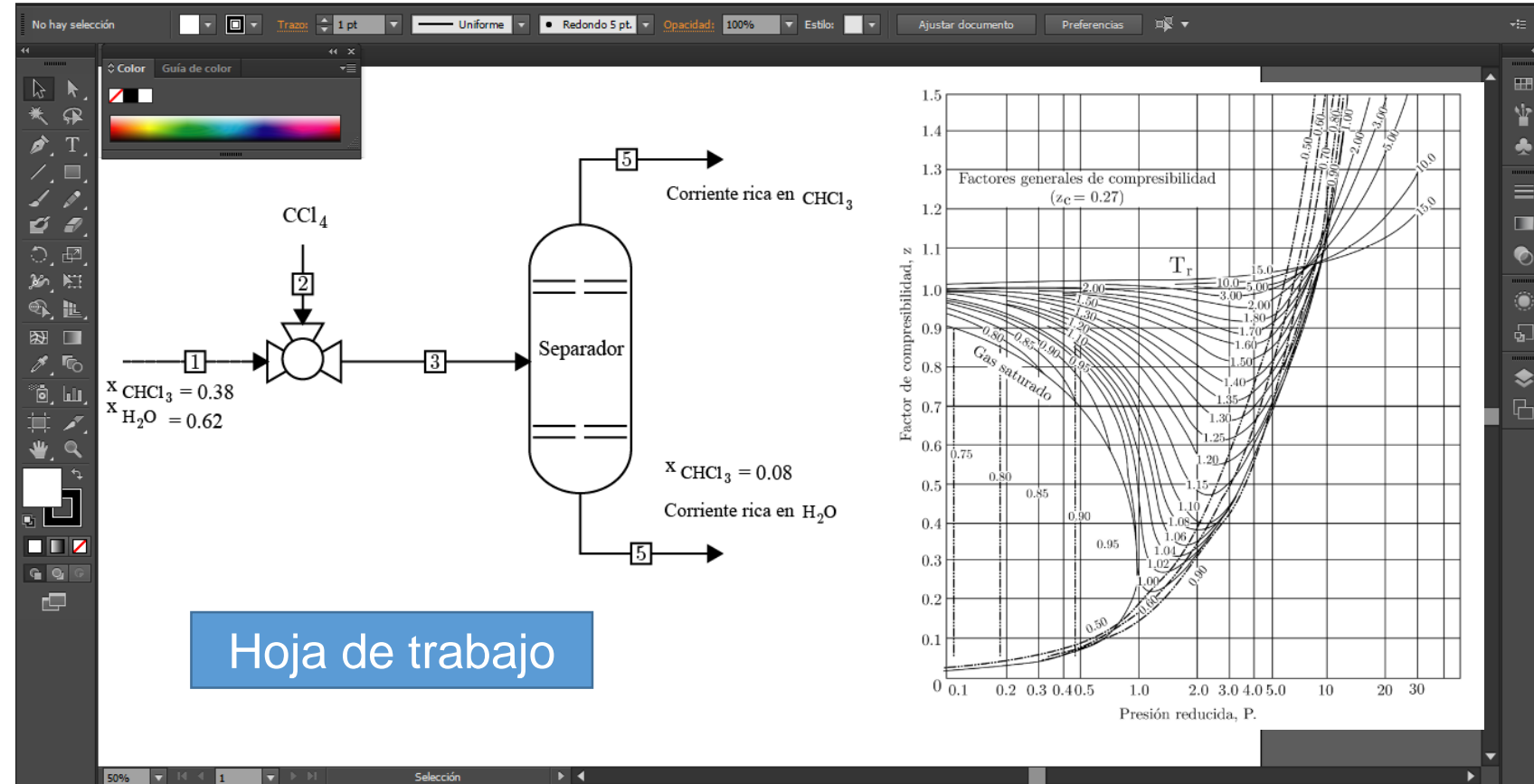
Detalles

## Diagramas

Tipo de letra



Herramientas

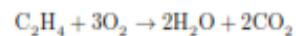
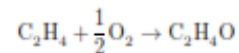


Hoja de trabajo

## Planteamiento y resolución de ejercicios

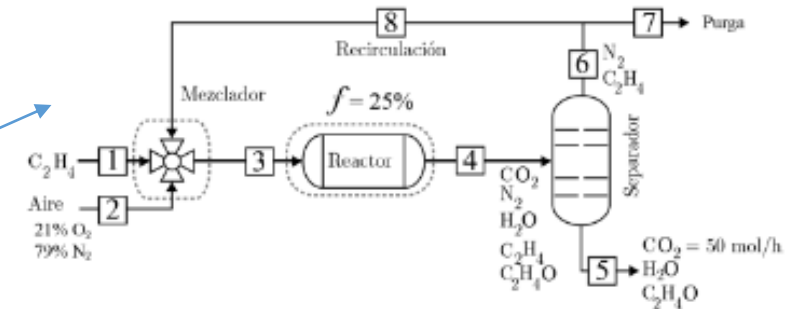
### Ejemplo 1.7 Producción de óxido de etileno con recirculación y purga.

Por la operación de oxidación parcial del etileno en una reacción en fase gaseosa se obtiene el óxido de etileno ( $C_2H_4O$ ). Al proceso se alimenta 100 mol/h de etileno puro el cual se mezcla con aire de composición 21% oxígeno y su diferencia de nitrógeno. La relación molar entre el etileno en la alimentación fresca y el oxígeno es de 2:1. En el reactor el etileno tiene una conversión del 25%. Del reactor salen los siguientes compuestos: etileno, óxido de etileno, agua,  $CO_2$  y  $N_2$ , considerando el consumo total del oxígeno. La corriente de salida del reactor se separa idealmente en una torre de separación en la que el etileno y el nitrógeno salen por la corriente de gas, una parte de esta corriente se purga del sistema y el resto se mezcla con las corrientes frescas de etileno y aire. Los gases restantes (óxido de etileno, agua y  $CO_2$ ) salen por la parte inferior de la torre, en donde existe un total de 50 mol/h de  $CO_2$ . En el reactor se presentan dos reacciones que se desarrollan a la vez; procediendo de acuerdo con la siguiente estequiometría:



Determine la cantidad de óxido de etileno que se produce, las composiciones de inerte y oxígeno que ingresan en la alimentación, y los valores de avance de cada reacción que participa en el reactor.

Diagrama de flujo



Detalles del proceso o producto y planteamiento del problema

Resolución

**FIGURA DEL EJEMPLO 1.7**

Esquema de síntesis de etanol con reciclo y purga

Flujos de alimentación

$$\dot{n}_{1,C_2H_4} = 100 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

El etileno ingresa en una relación con el oxígeno de 2:1.

$$\frac{\dot{n}_{1,C_2H_4}}{\dot{n}_{2,O_2}} = \frac{2}{1}$$

$$\frac{100 \frac{\text{mol}}{\text{h}}}{\dot{n}_{2,O_2}} = \frac{2}{1}$$

$$\dot{n}_{2,O_2} = 50 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

El aire que se alimenta tiene una composición de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno.

$$\dot{n}_{2,N_2} = \frac{50 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \times 79}{21} = 188.09 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

## Planteamiento y resolución de ejercicios

Balance de materia para el dietil éter

$$-\dot{n}_{5, \text{ dietil éter}} + \xi = 0$$

$$-\dot{n}_{5, \text{ dietil éter}} + 32.43 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} = 0$$

$$\dot{n}_{5, \text{ dietil éter}} = 32.43 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

Balance de materia para el etanol

$$\dot{n}_{8, \text{C}_2\text{H}_6\text{O}} - \dot{n}_{5, \text{C}_2\text{H}_6\text{O}} - 2\xi = 0$$

$$\dot{n}_{8, \text{C}_2\text{H}_6\text{O}} - \dot{n}_{5, \text{C}_2\text{H}_6\text{O}} - 2 \left( 32.43 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right) = 0$$

$$\dot{n}_{8, \text{C}_2\text{H}_6\text{O}} - \dot{n}_{5, \text{C}_2\text{H}_6\text{O}} = 64.86 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

**1** Desarrollo de un diagrama de flujo

**2** Identificación de datos proporcionados

**3** Balance general del sistema o reemplazo de datos en ecuaciones

**4** Planteamiento y resolución de ecuaciones por unidad o componente

**!** El proceso de resolución puede variar



## Apéndices

### Numeración del apéndice

#### Apéndice A.3

Factores de corrección para ecuaciones de estado para gases reales

Componente	Nombre	Fórmula	Zc	Factor acéntrico $\omega$
1	Acetaldehído	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	0.221	0.2907
2	Acetamida	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO	0.224	0.421
3	Ácido acético	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0.208	0.4665
4	Anhídrido acético	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.23	0.4535
5	Acetona	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.233	0.3065
6	Acetonitrilo	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N	0.184	0.3379
7	Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.268	0.1912
8	Acroleína	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	0.234	0.3198
9	Ácido acrílico	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0.23	0.5383
10	Acilonitrilo	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N	0.214	0.3498
11	Aire	Mixture	0.313	
12	Amoníaco	H <sub>2</sub> N	0.242	0.2526
13	Anisol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	0.267	0.3502

## Fuentes bibliográficas

Felder, R., & Rousseau, R. (2004). Principios elementales de los procesos químicos. (3ra ed.). Limusa Wiley.

Himmelblau David. (1997). Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química (6ta ed.). University of Texas.

Perry R., Green D. W. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook, (8va ed.) McGraw-Hill Companies

## ESTRUCTURA



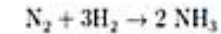
## CAPÍTULO 1

### Diagramas de Flujo para Sistemas de Unidades Múltiples de Proceso

### Análisis de Grados de Libertad (GDL) para Procesos Reactivos de Unidades Múltiples de Proceso

### Procesos Reactivos en Estado Estacionario de Unidades Múltiples de Proceso

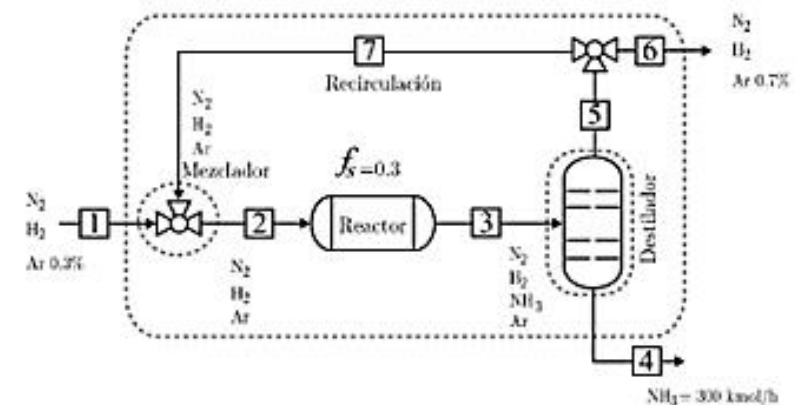
La reacción para obtener amoníaco será:



Se conoce que las fracciones parciales de todos los componentes de una corriente deben sumar uno, entonces:

Corriente de recirculación:

$$y_{\text{N}_2, \beta} + y_{\text{H}_2, \beta} + y_{\text{Ar}, \beta} = 1$$



## CAPÍTULO 2

### Propiedades Físicas de una Sustancia

### Gases Ideales

### Gases Reales

#### 2.3.2 Ecuaciones de Estado para Gases No Ideales o Reales

La mayoría de los gases no son gases ideales y usar la ecuación de estado de gases ideales para estos casos generaría cálculos inexactos, a estos gases se los denomina gases reales o no ideales, y usan nuevas ecuaciones de estado como:

- a) Factor de compresibilidad.
- b) Virial.
- c) Van der Waals.
- d) Soave-Redlich-Kwong (SRK).
- e) Regla de Kay, para mezclas de gases no ideales.

## CAPÍTULO 3

### Equilibrio de Fases de un Solo Componente

#### Regla de las Fases de Gibbs

### Sistemas Gas-Líquido: un Componente Condensable

#### Sistema Multicomponente Gas-Líquido

### Solución Bifásica entre Líquidos, y Sólidos-Líquidos

#### 3.5 Solución Bifásica entre Líquidos

Cuando una mezcla líquida es heterogénea, se utiliza un proceso de decantación que separa a la mezcla en relación a las densidades de cada componente de la mezcla. Por otro lado, cuando una mezcla líquida es homogénea, la separación se produce mediante la variación de temperatura o presión hasta alcanzar condiciones de evaporación de uno de los componentes de la mezcla. El proceso de recuperación de metanol es un ejemplo de separación de líquidos; el metanol suele retirarse de una mezcla acuosa luego de haber participado como un solvente o reactivo; además presenta una temperatura de ebullición menor en comparación con el agua, es decir, tiende a evaporarse con mayor facilidad cuando se eleva la temperatura; para recuperar el metanol se usa un proceso de destilación que separara en dos corriente al agua y el metanol. La corriente de cabeza está formado por un vapor rico en metanol mientras que la corriente de fondo presenta un líquido rico en agua.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

PRODUCTO ACREDITABLE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La mayoría de sistemas químicos y petroquímicos están formados por corrientes de recirculación, que cumplen el propósito de reusar componentes para mejorar la eficiencia de un proceso.
- El comportamiento de un componente, se modifican dependiendo de las condiciones de operación; es así que las composiciones entre las fases líquido y vapor se ven afectadas por la temperatura, mientras que en una mezcla de fases líquido-líquido la temperatura afectará directamente a la solubilidad de cada componente.
- La elaboración de material bibliográfico, que detalle conceptos y resolución de problemas en procesos químicos y petroquímicos tendrá un aporte significativo.

- Es recomendable que la información recopilada en este proyecto sea actualizada gradualmente de acuerdo con el avance de nuevos procesos y/o tecnología usadas en la industria química y petroquímica.
- La industria petroquímica se basa en la transformación de compuestos derivados del petróleo en productos químicos que con regularidad emplean catalizadores que mejoran el rendimiento o tiempo de operación del proceso, ante este preámbulo se recomienda profundizar en la influencia que tienen los principales catalizadores empleados en esta industria en los balances de materia con sistemas reactivos.
- En relación a futuras modificaciones del presente trabajo, se recomienda incluir fuentes bibliográficas que abarquen a la rama de biorefinería y la química verde.



***GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN***