

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE PETROQUÍMICA

### CONCEPTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE PROCESOS, VARIABLES Y COMPOSICIONES UTILIZADAS EN PROCESOS QUÍMICOS

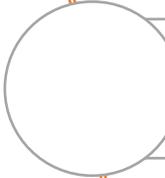
**AUTOR:** ANDRADE CALVOPIÑA, MARÍA CRISTINA

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





**INTRODUCCIÓN**



**OBJETIVOS**



**PRODUCTO ACREDITABLE PARA INTEGRACIÓN CURRICULAR**



**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## Ingeniería Química

- Transformación de la materia
- Minería, producción de papel, obtención de plásticos, etc



## Petroquímica

- Hidrocarburos gaseosos y líquidos
- Combustibles, fibras sintéticas, elastómeros, fertilizantes



Compilar y analizar información bibliográfica

Las unidades y dimensiones dan un valor válido a una cantidad

La conversión de unidades toma en cuenta la homogeneidad dimensional

Los diagramas de flujo son representaciones gráficas de los procesos químicos

El análisis de grados de libertad es un método matemático empleado en los diagramas de flujo de procesos

## Capítulo 1

Unidades en el sistema internacional e inglés

Conversión de unidades

Homogeneidad dimensional

Cifras significativas

## Capítulo 2

Diagramas de flujo de entrada-salida

Diagramas de flujo de bloque

Diagramas de flujo de proceso

## Capítulo 3

Especificaciones del sistema

Variables independientes

Análisis de grados de libertad

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

PRODUCTO ACREDITABLE PARA INTEGRACIÓN CURRICULAR

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Objetivo General

Conceptualizar y analizar información bibliográfica para la identificación de unidades de procesos, variables y composiciones utilizadas en procesos químicos.

## Objetivos Específicos

- Buscar y compilar información bibliográfica referente a las unidades de procesos, variables y composiciones.
- Identificar la información bibliográfica referente a los sistemas de unidades y su respectivo análisis dimensional.
- Analizar la información bibliográfica referente a los diagramas de flujo de entradas-salidas, diagramas de flujo de bloques y diagrama de flujo de procesos.
- Contextualizar la bibliografía referente a los grados de libertad en los diagramas de flujo con uno y varios procesos en la industria química, petroquímica y a fines.
- Elaborar material bibliográfico referente a las unidades de proceso, variables, composiciones utilizadas en la industria química, petroquímica y afines.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

PRODUCTO ACREDITABLE PARA INTEGRACIÓN CURRICULAR

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ingeniería química se encarga del diseño, modelado y operación de plantas de procesos químicos y físicos



Uso correcto de unidades y dimensiones para cálculos de ingeniería



Transformación del valor de una unidad a otra teniendo en cuenta la homogeneidad dimensional

Tabla 1

Dimensiones	Unidades
Longitud	Metro (m)
Masa	Kilogramo (kg)
Tiempo	Segundo (s)
Corriente eléctrica	Amperios (A)
Temperatura	Kelvin (K)
Cantidad de Sustancia	Moles (mol)
Intensidad luminosa	Candela (cd)

**Unidades Básicas en SI**

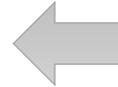
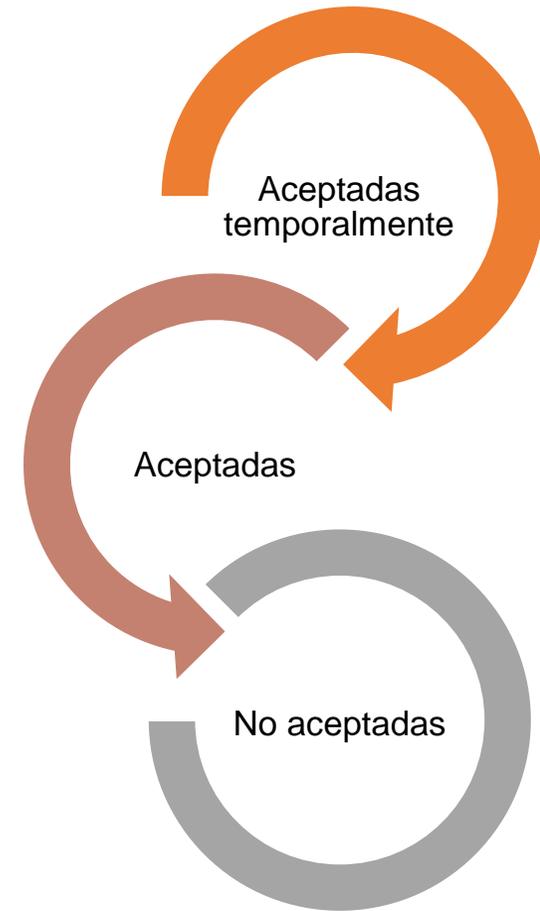


Tabla 2

Cantidad derivada	Unidad derivada
Área	m <sup>2</sup>
Volumen	m <sup>3</sup>
Velocidad	m/s
Aceleración	m/s <sup>2</sup>
Densidad	kg/m <sup>3</sup>
Volumen específico	m <sup>3</sup> /kg

**Unidades Derivadas en SI**



## Conversión de Unidades

Cantidad que se desea  
cambiar de unidades

Factor de  
Conversión

Cantidad en las  
nuevas unidades

$$\text{Número de unidad original} \left[ \frac{\text{nueva unidad}}{\text{unidad original}} \right] = \text{Nuevo número en nueva unidad}$$

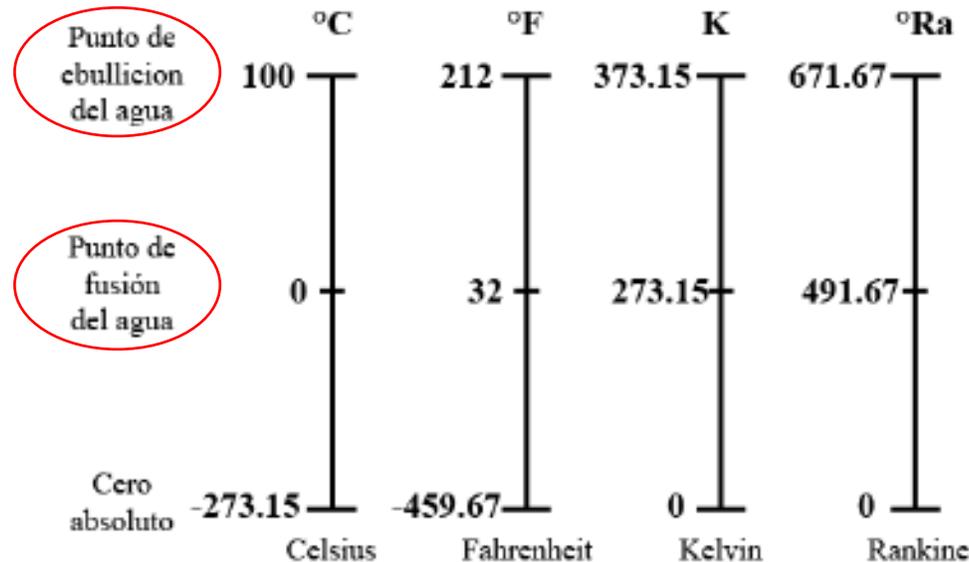
$$\frac{\text{escala 1} - PF_{\text{escala1}}}{PE_{\text{escala1}} - PF_{\text{escala1}}} = \frac{\text{escala 2} - PF_{\text{escala2}}}{PE_{\text{escala2}} - PF_{\text{escala2}}}$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \times T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459,67$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = 1,8 \times T(\text{K})$$



## Ecuaciones de Conversión de Temperatura

## Cifras Significativas

### Ejemplo 1.11 Cifras Significativas

Indique el número de cifras significativas que tienen los siguientes valores:

Tabla de Ejemplo 1.11.1

Cifras Significativas

Números	Cifras Significativas
4500	4
349,009	6
0456,20	5
0,03030	4
3,00400 $\times 10^4$	6



## Homogeneidad Dimensional

### Solución

Para poder saber si existe homogeneidad dimensional se deben simplificar las unidades y observar si se pueden realizar las operaciones

### Ejemplo 1.12 Análisis de Homogeneidad Dimensional

En las operaciones presentadas, analice las unidades y mencione cuál es la que tiene homogeneidad dimensional.

$$1. \quad y(m) = y_o(m) + 0,3048 \left(\frac{m}{ft}\right) \times v\left(\frac{ft}{s}\right) \times t(s) + 0,4 \left(\frac{m}{s^2}\right) \times t(s^2)$$

$$2. \quad P\left(\frac{kg}{m s^2}\right) = 101,325 \left(\frac{Pa}{atm}\right) \times 1 \left(\frac{kg}{ms^2 Pa}\right) \times P_o(atm) + \rho\left(\frac{kg}{m^3}\right) \times v\left(\frac{m}{s}\right)$$

### Solución

Para poder saber si existe homogeneidad dimensional se deben simplificar las unidades y observar si se pueden realizar las operaciones

**Ecuaciones** Analizando la ecuación 1

$$y(m) = y_o(m) + 0,3048 \left(\frac{m}{ft}\right) \times v\left(\frac{ft}{s}\right) \times t(s) + 0,4 \left(\frac{m}{s^2}\right) \times t(s^2) \rightarrow \text{Cumple}$$

$$y(m) = m + m + m$$

Simplificando las unidades se puede observar que todos los números están en las mismas unidades por lo tanto si tiene homogeneidad dimensional.

**Análisis Dimensional**

$$P\left(\frac{kg}{m s^2}\right) = 101,325 \left(\frac{Pa}{atm}\right) \times 1 \left(\frac{kg}{ms^2 Pa}\right) \times P_o(atm) + \rho\left(\frac{kg}{m^3}\right) \times v\left(\frac{m}{s}\right) \rightarrow \text{No cumple}$$

$$P\left(\frac{kg}{m s^2}\right) = \left(\frac{kg}{ms^2}\right) + \left(\frac{kg}{m^2 s}\right)$$

En la ecuación 2 simplificando las unidades iguales, se puede observar que no existe homogeneidad dimensional por lo tanto no se puede resolver el ejercicio.



Tabla 1.7

Factores de Conversión de Algunas Unidades

Masa				
1 kilogramo	1000 g	2,205 lb	35,27 oz	
1 gramo	10 dg	100 cg	1000 mg	
1 tonelada	1000 kg	2205 lb	106 g	
1 libra	454 g	16 oz		
1 gramo	6,022 x 10 <sup>23</sup> unidades de masa atómica			
1 unidad de masa atómica	1,6605 x 10 <sup>-24</sup> gramos			
Volumen				
1 m <sup>3</sup>	1000 mL	35,31 ft <sup>3</sup>	106 cm <sup>3</sup>	
1 L	1 dm <sup>3</sup>	0,001 m <sup>3</sup>	1000 cm <sup>3</sup>	61,02 in <sup>3</sup>
1mL	1 cm <sup>3</sup>	0,001 L		
1 ft <sup>3</sup>	28,316 L	29,924 cuartos	7,481 gal	1728 in <sup>3</sup>
1 gal	3,84 L			
Longitud				
1 milla	5280 ft	1,609 km		

## 1.8 Cifras Significativas

Se denominan cifras significativas a los números que se encuentran al inicio y son distintos de cero de izquierda a derecha hasta el último número, si existen decimales o el número final es distinto de cero, es más fácil verificar esto cuando se utiliza notación científica

1. Punto decimal: Se debe contar de izquierda a derecha los números diferentes de cero, por ejemplo, en 0,0024 se tienen 2 cifras significativas y en 0,002400 se tienen 4 cifras significativas.
2. Sin punto decimal: Contar los números distintos de cero de izquierda a derecha en 30600 se tiene 3 cifras significativas
3. Notación científica: Solo se escriben las cifras significativas un ejemplo es 1.13x10<sup>10</sup> que consta de 3 cifras.

El número de cifras significativas presentes en el valor de una medida da una indicación de precisión esto quiere decir que mientras más cifras haya el valor que se encontró va a ser más preciso y confiable, los resultados por lo general se expresan con 3. También se puede emplear el redondeo que consiste en aproximar un dígito al inmediato superior descartando el último dígito del lado derecho, esto se lo puede realizar siempre y cuando este número sea mayor a 5.

Cuando se tienen mezclas a veces es necesario o importante conocer la composición de cada compuesto presente, esto se lo puede representar en fracción másica o molar. Si dichos valores se multiplican por 100% se obtiene el porcentaje másico o molar. La suma de las fracciones siempre debe ser igual a 1.

Fracción másica ( $x_i$ ):

$$x_i = \frac{m_i}{m} \quad (1.20)$$

$$\sum_i x_i = 1 \quad (1.21)$$

$$\text{Porcentaje másico} = (x_i) \times 100\% \quad (1.22)$$

Fracción molar ( $y_i$ ):

$$y_i = \frac{n_i}{n} \quad (1.23)$$

$$\sum_i y_i = 1 \quad (1.24)$$

$$\text{Porcentaje molar} = (y_i) \times 100\% \quad (1.25)$$

Donde:

$m_i$  = masa del compuesto i

$m$  = masa total

$n_i$  = moles del compuesto i

Los procesos químicos, petroquímicos y afines utilizan diagramas de flujo para una mejor comprensión



Información técnica cuantitativa de las variables de proceso



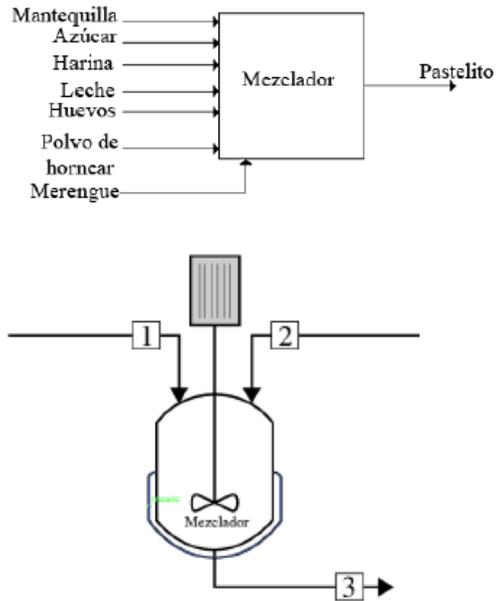
Clasificación de los diagramas de flujo de procesos



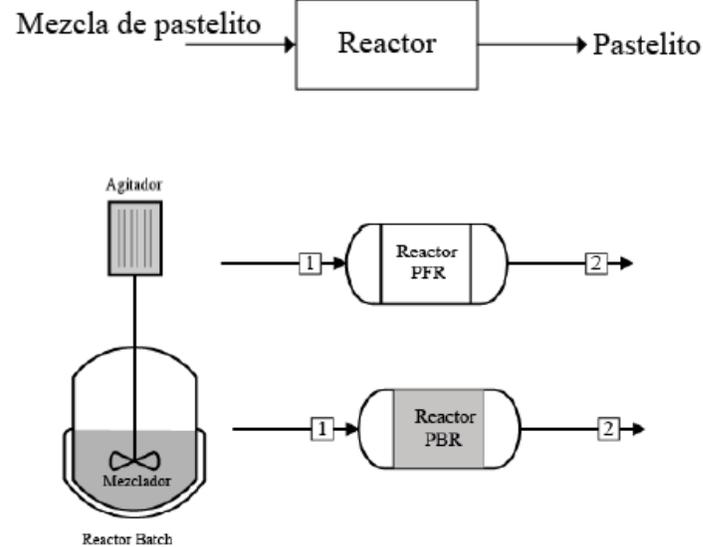
Operaciones básicas realizadas en una refinería

## Unidades de los Diagramas de Bloques

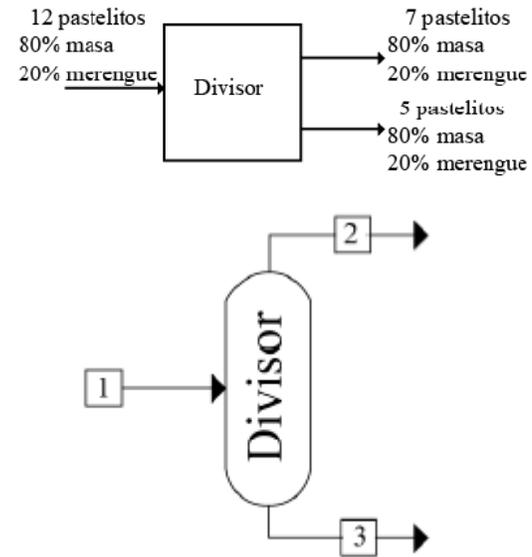
### Mezclador



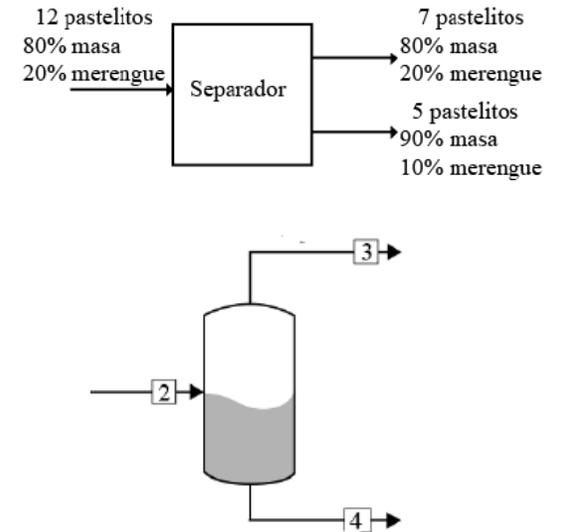
### Reactor



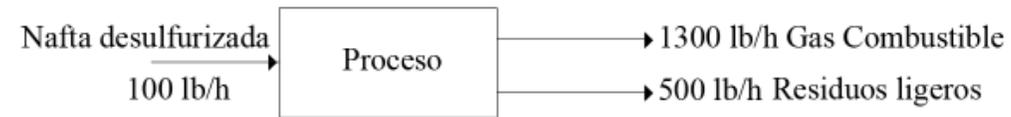
### Divisor



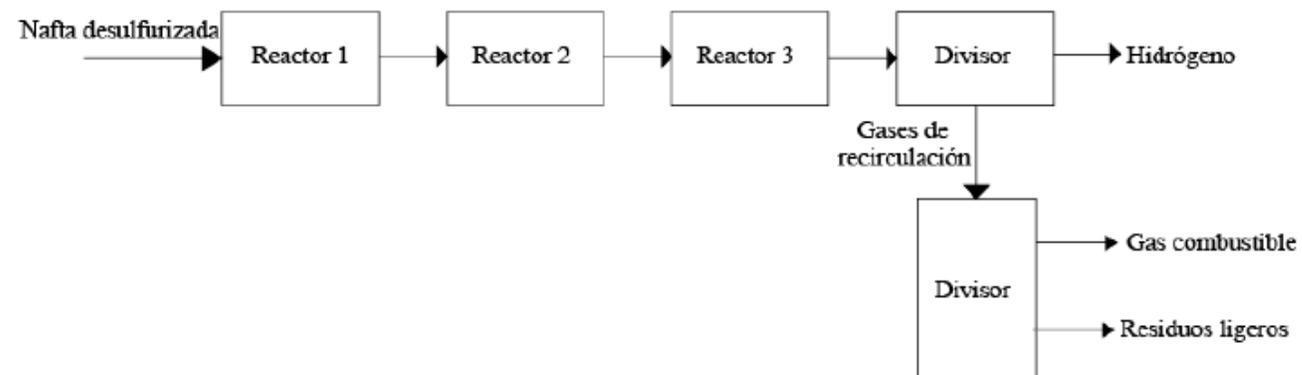
### Separador



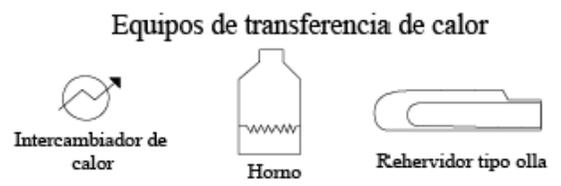
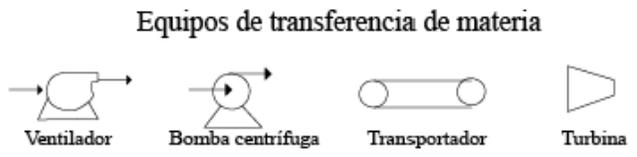
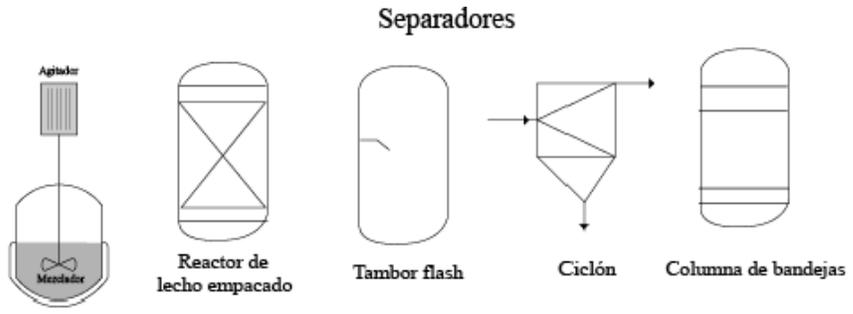
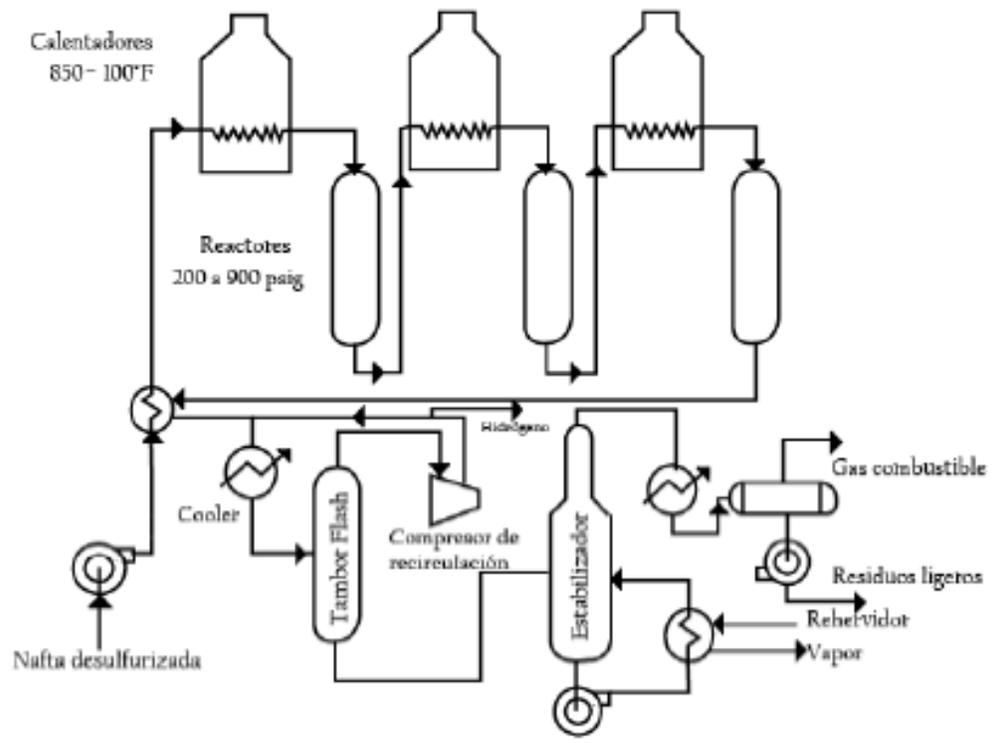
### Diagrama de Entrada y Salida



### Diagrama de Flujo de Bloques

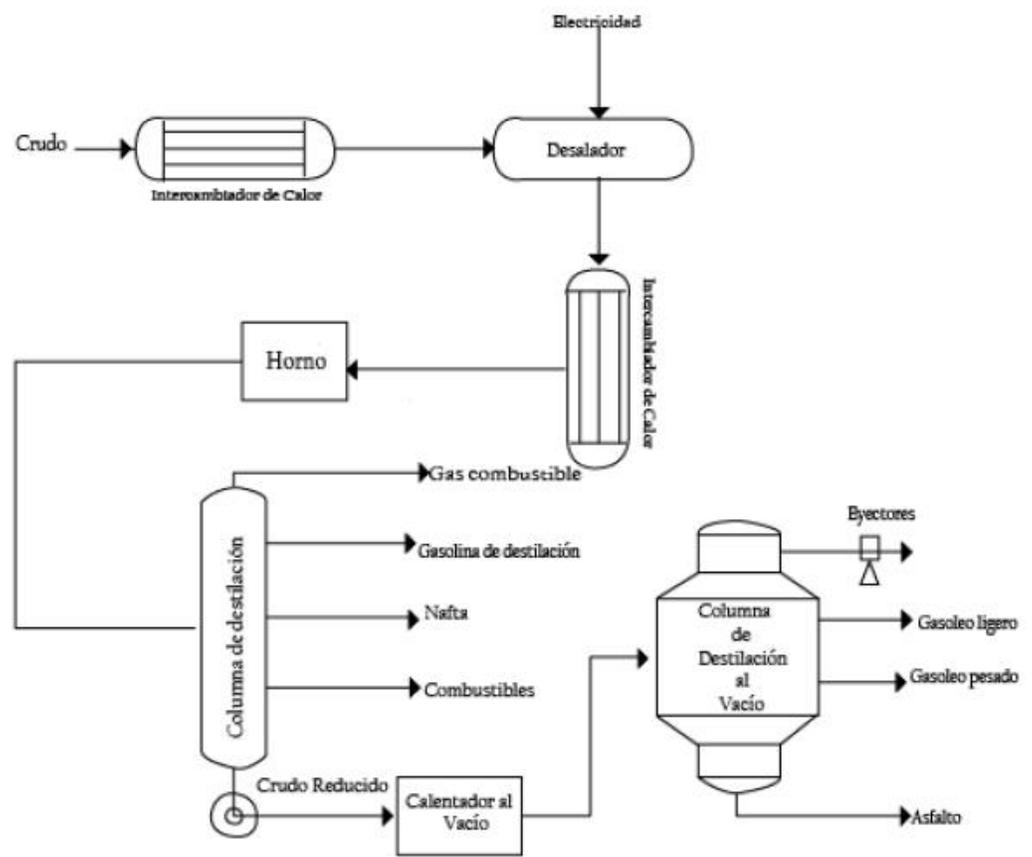


## Diagrama de Flujo de procesos

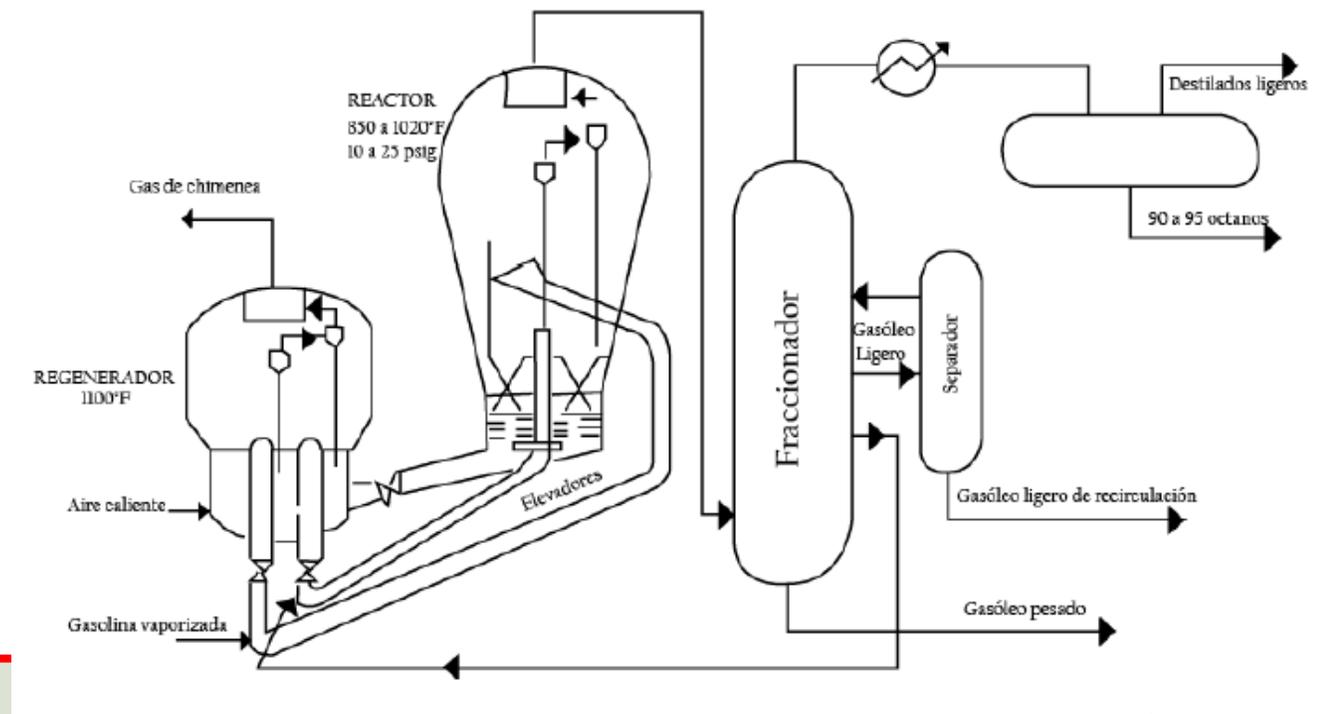


**Algunos equipos de procesos utilizados**

## Destilación Atmosférica y al Vacío



## Desintegración Catalítica





### *Diagramas de Flujo*

Los procesos químicos, petroquímicos y afines utilizan diagramas de flujo para una mejor comprensión de cómo se llevan a cabo dichos procesos, mediante un análisis de las variables y composiciones utilizadas, con información técnica los diagramas brindan información cuantitativa acerca de las variables de proceso como son la concentración, la presión, la temperatura, el número de moles, etc. Los diagramas se pueden clasificar en entrada-salida, de flujo de bloques y flujo de procesos.

#### Objetivos de Aprendizaje

- Analizar las variables de proceso usadas para caracterizar un proceso químico.
- Conocer las unidades de proceso básicas de los diagramas de flujo y las unidades de las operaciones unitarias presentes en los procesos químicos.
- Definir las operaciones unitarias principales usadas en la ingeniería química y afines.
- Analizar los diagramas de flujo de entrada-salida, flujo de bloques y flujo de procesos.

#### 2.1 Procesos y Variables de Procesos

Se denomina proceso a una operación o conjunto de operaciones en las que existan cambios químicos o físicos de un compuesto o mezcla de ellos, para su transformación se emplean operaciones unitarias según el producto que se desee obtener.

#### 2.7 Diagrama de Flujo de Procesos

Los diagramas de flujo de procesos son representaciones de los procesos mediante unidades de procesos, materiales, especificaciones de condiciones de presión y temperatura. Presentan las siguientes características:

Los equipos están conectados entre sí para poder representar el proceso químico.

Los equipos ya no son representados por rectángulos, la representación mostrada en la sección 2.5.

Se utilizan representaciones de bombas, turbinas, intercambiadores de calor, hornos.

Todos los equipos y corrientes deben estar enumerados o nombrados para poder identificarlos.

Las líneas representan las entradas y salidas de los materiales en los procesos.

Las corrientes gaseosas están en la parte superior, las líquidas en la mitad y las sólidas en el fondo.

La mayoría de las veces la información de velocidad de flujo, presión, temperatura, fases se encuentran en una tabla de información.

#### 2.7 Diagrama de Flujo de Procesos

Los diagramas de flujo de procesos son representaciones de los procesos químicos mediante unidades de procesos, materiales, especificaciones de los equipos, condiciones de presión y temperatura. Presentan las siguientes características:

Los equipos están conectados entre sí para poder representar el proceso químico.

Los equipos ya no son representados por rectángulos, tienen la representación mostrada en la sección 2.5.

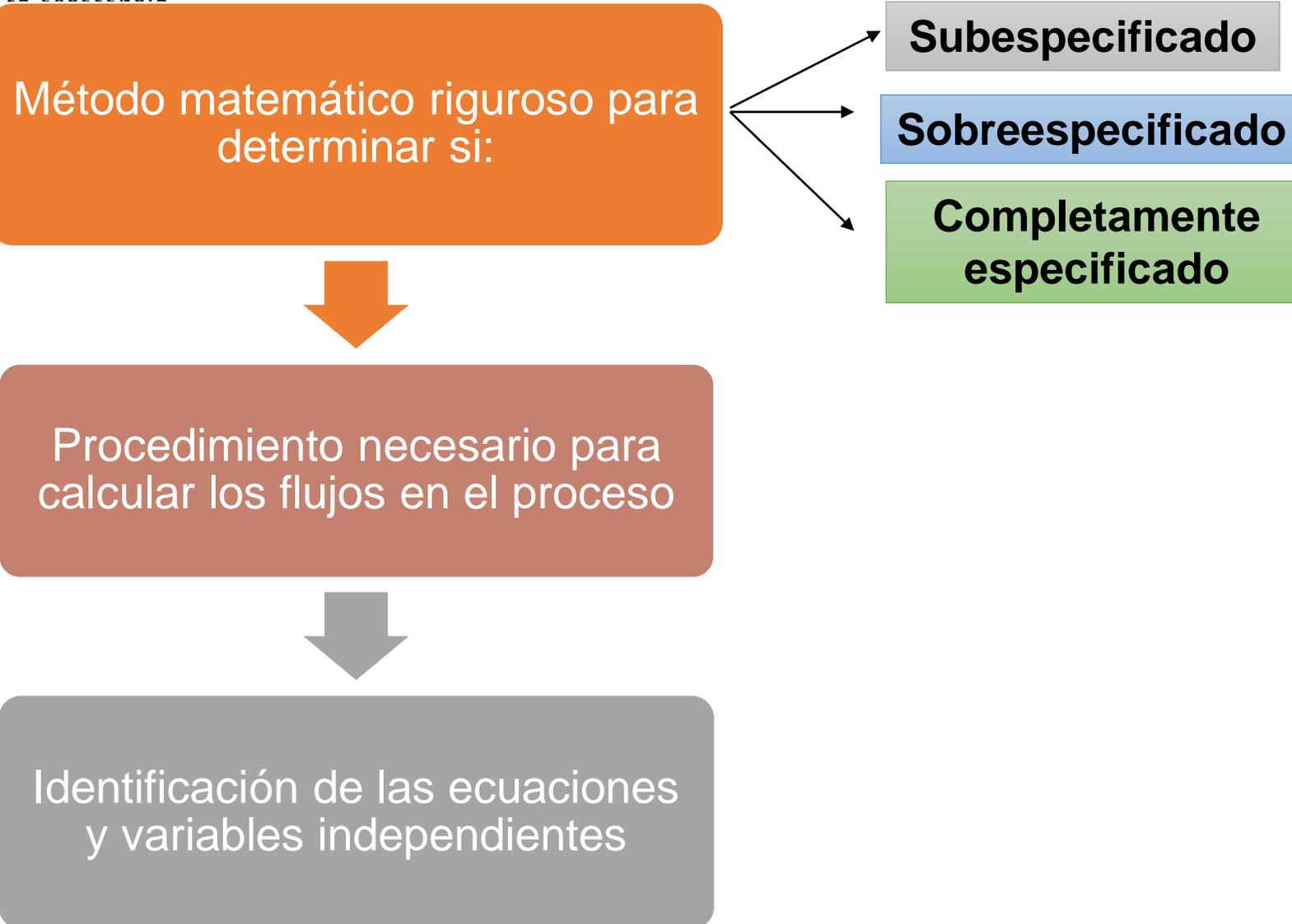
Se utilizan representaciones de bombas, turbinas, intercambiadores de calor, hornos.

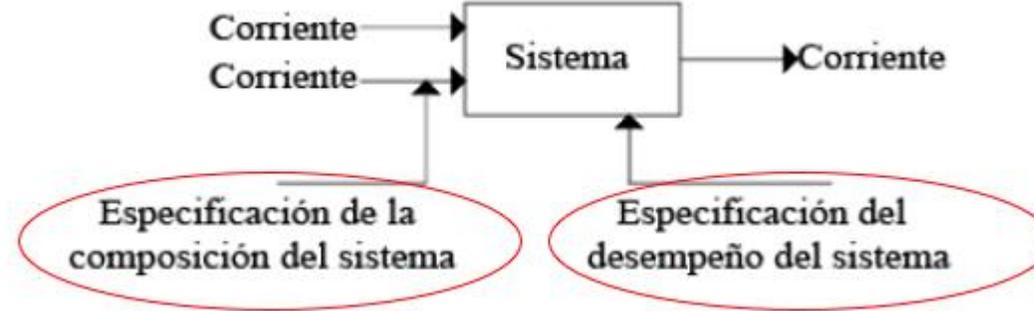
Todos los equipos y corrientes deben estar enumerados o nombrados para poder identificarlos.

Las líneas representan las entradas y salidas de los materiales en los procesos.

Las corrientes gaseosas están en la parte superior, las líquidas en la mitad y las sólidas en el fondo.

La mayoría de las veces la información de velocidad de flujo, presión, temperatura, fases se encuentran en una tabla de información.





### Ejemplo 3.1 Tipos de Especificaciones

Analice y clasifique las especificaciones que se muestran a continuación según su tipo si es de composición o desempeño del sistema.

- Alimentación de una solución saturada de sal al 50% de NaCl.
- En un reactor se convierte el 60% del nitrógeno en amoníaco.
- En una torre se recupera el 98% del compuesto A.
- Según la normativa se dice que una solución de agua con azúcar debe contener 1g de glucosa por 1000 g de agua

**Sistemas,  
Corrientes y  
Especificaciones**

Variables de corriente independientes	Número de componentes en el sistema
Variables de sistema independientes	Número de reacciones químicas y componentes que se acumulan en el sistema

**Variables Independientes**

Flujos especificados	Por lo general solo es la base de cálculo.
Especificaciones de corriente	-Si existen $x$ componentes, van a existir $x-1$ . -En el caso que se tenga un divisor se debe agregar $(x-1) * (x_s-1)$ donde $x_s$ es el número de corrientes en la salida.
Especificaciones de desempeño	
Ecuaciones de balance de masa	Recordemos que si se tiene $x$ componentes se va a tener $x$ ecuaciones de balance de masa.

**Ecuaciones Independientes**

**Análisis de Grados de Libertad (DOF)**



## Ejemplo 3.5 Análisis de Grados de Libertad del Amoníaco

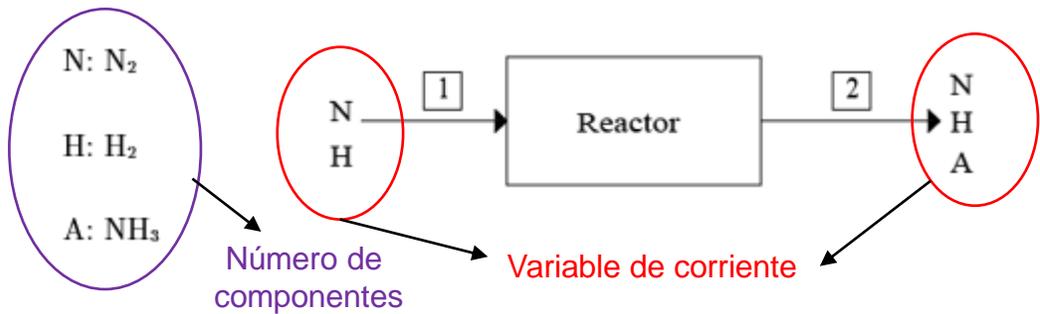
Realice el análisis de grados de libertad del ejercicio 3.2, donde menciona que el amoníaco se produce por medio de una reacción química entre el hidrógeno y nitrógeno, donde el reactor es alimentado por 100 mol/h de nitrógeno y 3 mol de hidrógeno por cada mol de nitrógeno, el porcentaje de conversión es del 75%.

Calcule la cantidad de hidrogeno y nitrógeno sin reaccionar y la cantidad de amoniaco producido. (El sistema se encuentra en estado estacionario).



### Solución

Graficar el diagrama de bloques especificando los componentes involucrados en el sistema. Se tienen 3 componentes.



### Variables Independientes:

- Variables de corriente: 5 (2 componentes de entrada y 3 de salida)
- Variables de sistema: 1 (1 reacción química)

**Total variables independientes: 6**

### Ecuaciones independientes:

- Base de cálculo: 1
- Relación de alimentación de nitrógeno: hidrógeno: 1
- Especificación de desempeño: 1
- Ecuaciones de balance de masa por componente: 3

**Total ecuaciones independientes: 6**

Análisis DOF

$$\text{DOF} = 6 - 6 = 0$$

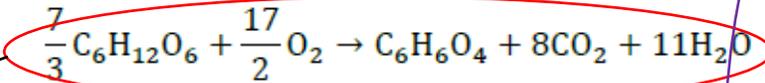
El problema se comprobó que tiene una única solución porque el DOF=0.

## Sistema Multicomponentes

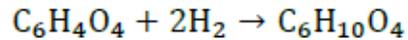
### Ejemplo 3.9 Análisis de Grados de Libertad para un Proceso de Multicomponentes

En una planta se requiere producir 15000 kg/h de ácido adípico, entra a un mezclador una corriente de aire (21% O<sub>2</sub> y 79% N<sub>2</sub>) y una solución de glucosa con agua (15mg/ml agua), observe el diagrama de bloques proporcionado y realice el análisis de grados de libertad.

Reacción 1:



Variable de sistema  
Reacción 2:

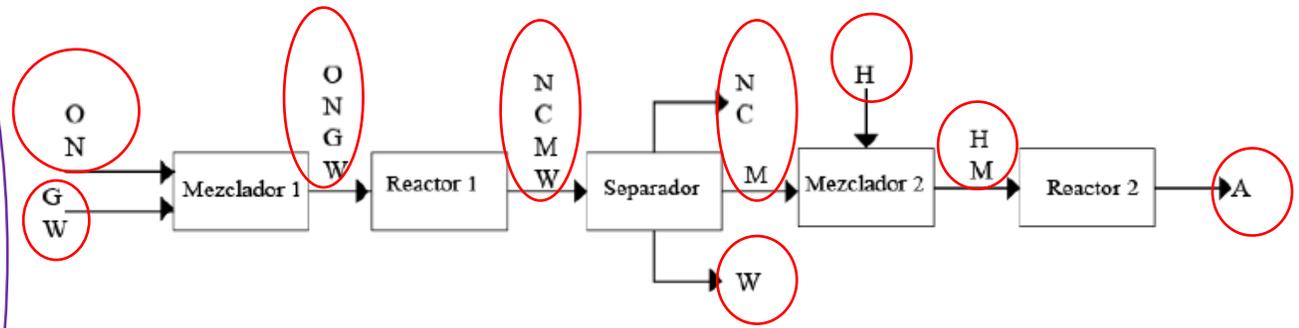


- O: Oxígeno
- N: Nitrógeno
- G: Glucosa
- W: Agua
- N: C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>
- C: CO<sub>2</sub>
- M: C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>
- H: Hidrógeno
- A: Ácido adípico

Especificación de corriente

Variable de corriente

Número de componentes



Mezclador1   Reactor1   Separador   Mezclador2   Reactor2   Proceso

**Variables**

**independientes**

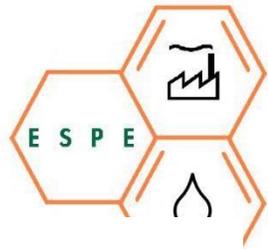
Variables de corriente	8	8	8	4	3	20
Reacciones químicas	0	1	0	0	1	2

**Ecuaciones**

**independientes**

Flujos	0	0	0	0	1	1
Especificación de corriente	2	0	0	0	0	2
Especificación de desempeño	0	0	0	0	0	0
Ecuaciones de balance de masa	4	6	4	2	3	19
Total	8-6	9-6	8-4	4-2	4-4	22-22
<b>DOF</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Según los resultados obtenidos por equipos se llega a la conclusión que solo el reactor 2 está completamente especificado y se podrá resolver. Los grados de libertad de todo el proceso dio como resultado  $DOF=0$  por lo tanto es recomendable realizar un diagrama de entrada-salida para poder realizar un balance de masa general de todo el proceso.



## Análisis de Grados de Libertad

El presente capítulo aclara el concepto de análisis de grados de libertad, base de cálculo, sistemas y corrientes en una sola unidad para poder resolver balances de materia y energía en procesos químicos y petroquímicos, considerando que la ecuación general de balances de materia está en función de variables de corriente y variables de sistema.

El análisis de grados de libertad es un método matemático riguroso que se utiliza para determinar si un problema está subespecificado, sobreespecificado o completamente especificado, es decir si el problema tiene información suficiente para solucionarlo.

### Objetivos de Aprendizaje

- Conocer el procedimiento necesario para calcular los flujos en los diagramas de proceso.
- Identificar las variables de corriente y de sistema dependientes e independientes de un proceso químico.
- Analizar las consideraciones necesarias para realizar un análisis de grados de libertad para un diagrama de flujo de bloques.

### 3.3 Análisis de Grados de Libertad

El análisis de grados de libertad es un método matemático para determinar si un problema tiene o no solución, y para ejercerlo ni plantear las ecuaciones, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Grafique un diagrama de flujo.
2. Defina los componentes.
3. Escriba las reacciones químicas, identifique el sistema y etiquete los componentes involucrados.
4. Reconozca las variables independientes. Observe el sistema.
5. Reconozca las ecuaciones independientes. Observe el sistema.
6. Realice el análisis de grados de libertad, por el cual se conoce también como análisis DOF

$$DOF = \text{variables independientes} - \text{ecuaciones}$$

Cuando:

-DOF=0 el ejercicio puede tener una solución.

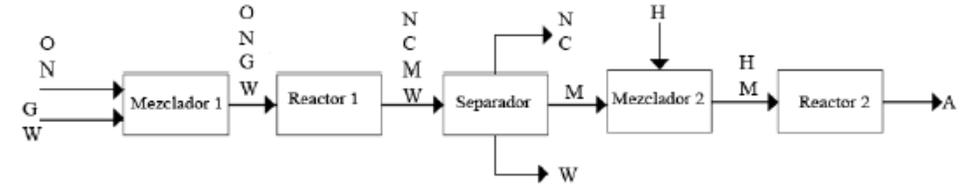


FIGURA DEL EJEMPLO 3.9.1

Diagrama de Bloques para la Producción de Ácido Adípico.

### Solución

Para mayor facilidad se realizará una tabla donde se coloquen las variables y ecuaciones independientes para realizar el análisis de grados de libertad.

Tabla del ejercicio 3.9.1

Análisis de Grados de Libertad en el Proceso.

		Mezclador1	Reactor1	Separador	Mezclador2	Reactor2	Proceso
<b>Variables independientes</b>							
Variables de corriente	de	8	8	8	4	3	20
Reacciones químicas		0	1	0	0	1	2

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

PRODUCTO ACREDITABLE PARA INTEGRACIÓN CURRICULAR

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

# CONCLUSIONES

- A partir de la investigación bibliográfica realizada se determinó el rol de la ingeniería química, petroquímica y afines en los procesos que se encargan de la transformación física y/o química de materia prima en productos de alto valor agregado, mediante el uso de diagramas utilizados en balances de materia y energía.
- La revisión bibliográfica permitió conocer acerca de las unidades y dimensiones que se emplean en los cálculos realizados en ingeniería, debido que son las encargadas de darle un valor real y válido a las cantidades.
- Mediante la investigación bibliográfica se analizó la importancia de realizar un análisis dimensional, para conocer que valor necesita ser expresado en otras unidades, teniendo en consideración que no siempre se pueden utilizar factores de conversión para sus respectivas transformaciones, como es el caso de la temperatura donde se utilizan ecuaciones.

# CONCLUSIONES

- Se conoce bibliográficamente acerca de las características y diferencias de las especificaciones para calcular los flujos de proceso, que puede ser la composición del sistema que brinda información de la cantidad de materia de corriente y el desempeño del sistema que se describen en los cambios físicos y/o químicos del proceso.
- El análisis de los grados de libertad que es utilizado para conocer si un diagrama de procesos tiene la información necesaria para poder ser resuelto mediante un balance de materia, es decir si un problema de cálculo de flujo específico se encuentra completamente especificado cuando tiene un número igual de variables y ecuaciones independientes, sobreespecificado cuando existen más ecuaciones que variables o subespecificado cuando hay más variables que ecuaciones.
- La compilación de material bibliográfico sobre la identificación de unidades de procesos, variables y composiciones utilizadas en procesos químicos va a ser utilizada en la resolución de problemas de ingeniería y en el diseño de diagramas de flujo para especificar procesos ya sean a nivel industriales o de laboratorio.

# RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la información referente a los factores de conversión, en la elaboración de una matriz digital de transformaciones de unidades afines a los problemas de ingeniería química o petroquímica.
- Es recomendable buscar alternativas que permitan dibujar los diagramas de flujo, puede ser mediante el uso de software o simulaciones.
- Es recomendable estudiar acerca de los procedimientos empleados en la biorrefinería, que transforma la biomasa en productos valiosos y en bioenergía, se puede plasmar en diagramas de flujo donde se pueda observar las condiciones que se necesita para que sean procesos eficaces y útiles en la industria.

***GRACIAS  
POR SU  
ATENCIÓN***