

CAPÍTULO 0

GENERALIDADES

0.1 *Introducción*

El estudio de los procesos químicos es tema de estudio de diferentes programas académicos en las universidades mexicanas, como la Universidad Autónoma Metropolitana. La diversificación de las profesiones que requieren título para su ejercicio, se presenta con mayor intensidad en las Ingenierías, posiblemente por el avance tecnológico y por la especialización de diferentes campos académicos, como el de la Ingeniería Ambiental, la de Alimentos, la Industrial, la Farmacéutica, etcétera. Esta evolución ha forzado que el diseño de los planes y programas de estudio sean versátiles y que permitan la preparación en diferentes niveles de profundidad a los estudiantes universitarios de estas ramas profesionales.

La organización del estudio de los procesos químicos ha cambiado desde mediados del Siglo XIX. Para ello se han propuesto diferentes clasificaciones. Por ejemplo, la de los procesos químicos y procesos de separación. Sin embargo, la clasificación propuesta desde los inicios del estudio de la Ingeniería Química basada en las Operaciones Unitarias aún subsiste.

El tiempo dedicado al estudio de estas Operaciones es diferente en cada Plan de Estudios y está organizado, también de diferentes maneras. El contenido de este texto ha resultado de la práctica de diferentes cursos, en especial el de Operaciones Unitarias.

En este trabajo se aplican fundamentalmente la Ley de la Conservación de la Materia y la Energía y, si procede, el equilibrio termodinámico correspondiente. Se hace una breve descripción del equipo y se remarca la importancia de desarrollar modelos más complejos que permitan aplicar los resultados al diseño, lo más exacto posible, del equipo de proceso.

0.2 *Estrategia para desarrollar el curso*

Por lo expuesto anteriormente, el curso exige una dedicación extraordinaria, se recomienda al alumno que se mantenga continuamente actualizado según avance éste.

La estrategia que siga el profesor podría fundamentarse en los siguientes criterios:

- Presentar y discutir los temas según el programa,
- proporcionar con la debida antelación las tareas y establecer su fecha de entrega,
- publicar las respuestas a las tareas,
- promover la asesoría para aclarar cualquier duda sobre los conocimientos incluidos en el contenido del curso,
- asociar la teoría a ejemplos prácticos,
- ampliar la bibliografía dada si fuese necesario,

La correspondiente estrategia que el alumno puede considerar sería:

- Obtener de inmediato la bibliografía indispensable para el curso,
- asistir puntualmente a todas las sesiones del curso,
- participar durante la sesión con preguntas que busquen aclarar lo que no comprendió durante la exposición de tema presentado,
- realizar cotidianamente un resumen de lo visto en cada sesión y, en caso necesario, solicitar asesoría al profesor,

- resolver los problemas de tarea, comunicarse con sus compañeros para discutir los procedimientos de solución, solicitar asesoría al profesor en caso necesario,
- solicitar asesoría, siempre que haya dudas

0.3 *Requisitos académicos deseables*

Los requisitos mínimos para el curso son:

Matemáticas: elementos de álgebra, cálculo analítico y numérico de diversas variables,

Física: conocimiento de las dimensiones, las medidas y las unidades de medida, conversiones de unidades, definición de energía y masa, tipos de energía, Ley de la Conservación de la Masa y la Energía, dinámica de las partículas, variables termodinámicas, etcétera

0.4 *El proceso químico*

La industria química se caracteriza por producir sustancias que normalmente no existen en la naturaleza, en la concentración y/o cantidad necesaria. El método de obtención de los productos químicos se conoce como proceso químico, que consiste en un conjunto de transformaciones necesarias para obtener una sustancia, a partir de otra u otras, mediante mecanismos físicos y químicos. Un esquema general de los procesos químicos se ilustra en la Figura 0.1.

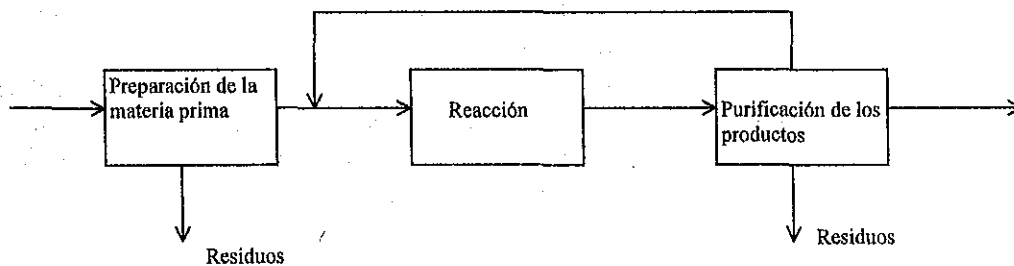


Figura 0.1

Diagrama de flujo fundamental del proceso químico

La preparación de la materia prima puede integrarse de procesos térmicos, como calentamiento o enfriamiento, cambio de tamaño, separación de contaminantes, etcétera. La reacción puede realizarse de muy diversas formas, por ejemplo, puede ser o no catalizada, en estado gaseoso, o líquido o una mezcla de diferentes estados de agregación, etcétera. La purificación de los productos se debe normalmente a que los reactivos no se transforman completamente en el producto deseado y/o entran al reactor en cantidades no estequiométricas. Una forma de clasificar los procesos consiste en dividirlos en dos grupos: las operaciones unitarias y los procesos unitarios. Las primeras se caracterizan porque no se presentan reacciones, y en las segundas sucede lo contrario, se provoca una reacción.

0.5 *Breve descripción histórica de las Operaciones Unitarias*

El término Operaciones Unitarias lo propuso Arthur D. Little, profesor del Instituto de Tecnología de Massachusetts en Estados Unidos, véase Reynolds [0.1] basándose en dos ideas fundamentales: la identificación de la personalidad científica de la Ingeniería Química y la

estructura de sus planes de estudios. Sin embargo, también en Europa se atribuyen la gestación del concepto, por ejemplo, Onken en [0.2] afirma:

“These ideas on engineering in chemical processes were to be held by German chemical companies for a long time. A quite different approach was put forward by E. Hausbrand (1845-1922) as early in 1893...In a book on distillation he applied fundamental principles from physics and physical chemistry to a process step thus developing the concept of unit operations. In two subsequent books he used this method for the treatment of evaporation, condensation and drying”.

Por otro lado, un antecedente primitivo de las operaciones unitarias puede encontrarse en los trabajos de Libavius. Un alquimista que vivió entre 1550 y 1616. Quien escribió un manual llamado “Alchemia” que contiene la descripción de los procedimientos de transformación de la materia que se conocía en esos tiempos y el equipo utilizado.

En resumen, estas argumentaciones reflejan la esencia del problema acerca del concepto “Operaciones Unitarias”: es el resultado de la evolución conceptual de los procesos químicos con el objeto de estudiarlos, y, al mismo tiempo, es el sinónimo académico de la Ingeniería Química.

Por Operación Unitaria se entiende una etapa característica de un proceso químico que busca modificar fundamentalmente la composición mediante procesos físicos y fisicoquímicos.

El concepto de las Operaciones Unitarias es una de las alternativas para clasificar los procesos de la industria química. Otra idea ordena los procesos en procesos de separación y procesos de reacción. Entre las Operaciones Unitarias se incluyen procesos de separación, como la destilación, la absorción, etcétera, procesos mecánicos, como el mezclado, la reducción de tamaño, etcétera, y, además, considera como operación unitaria el manejo de los fluidos y el intercambio de calor.

Por ejemplo, el índice actual del texto de McCabe, [0.3], uno de los clásicos del tema, incluye 13 operaciones unitarias:

- Mecánica de fluidos
- Transporte de fluidos
- Reducción de tamaño
- Manejo de sólidos
- Mezclado
- Separaciones mecánicas
- Flujo de calor
- Evaporación
- Transferencia de masa
- Absorción de gases
- Destilación
- Lixiviación y extracción
- Cristalización
- Operaciones de contacto aire agua
- Secado

Para estudiar estas operaciones se pueden dividir en dos grupos, las que requieren para su estudio teórico los principios del equilibrio termodinámico y las que, además, aplican los principios de los fenómenos de transporte.

Es pertinente mencionar que en 1935 apareció la primera edición del texto titulado "Unit Processes in Organic Synthesis" de P. H. Groggins donde presenta una clasificación de procesos con reacciones características, como la nitración, halogenación, oxidación, etcétera. Esta idea plantea una clasificación del total de los procesos en la industria química: las operaciones y los procesos unitarios.

0.6 Características de los procesos

Existe un conjunto de cualidades de los procesos que permiten asignarles nombres que los caracterizan, como procesos continuos o no continuos, procesos estacionarios, etcétera.

El esquema de la Figura 0.2 ilustra diferentes clasificaciones posibles y la una estructura teórica para el estudio y la comprensión de los procesos.

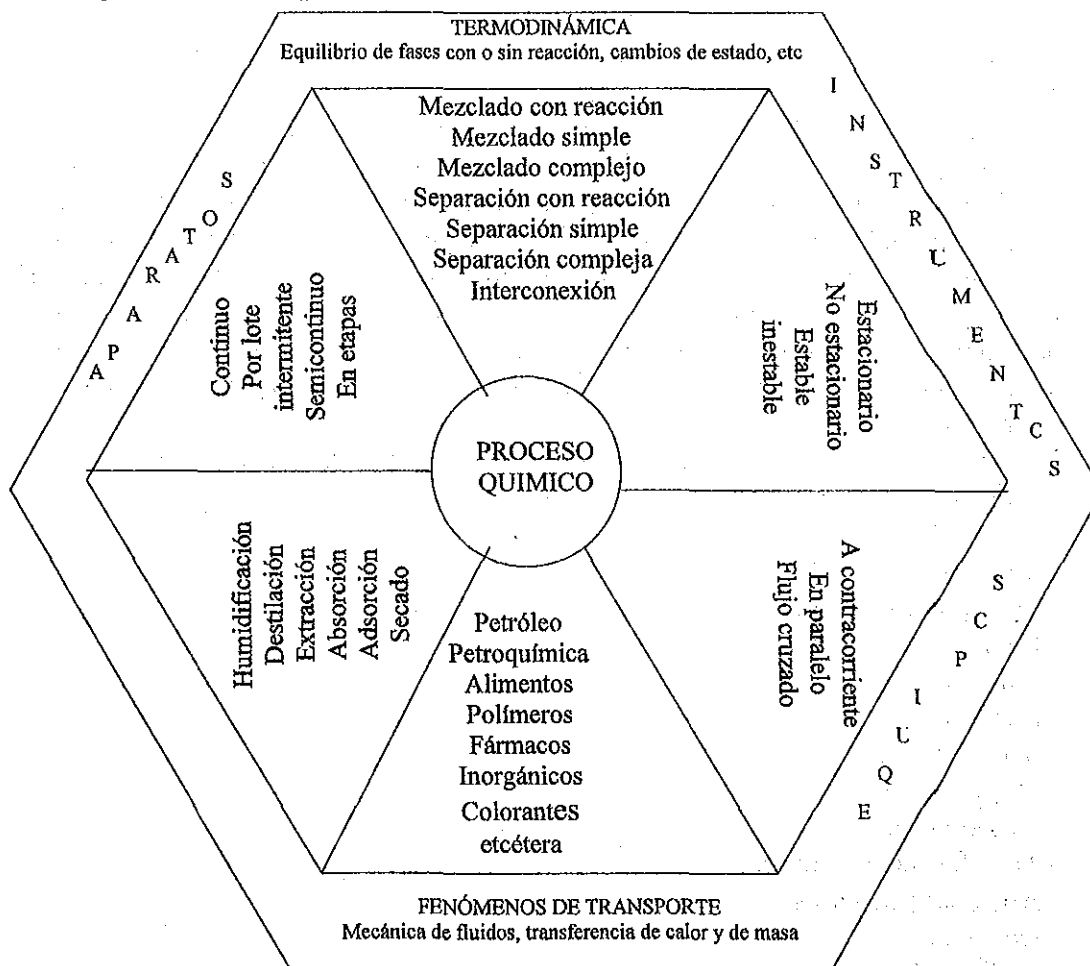


Figura 0.2
Mapa del proceso químico

Este esquema propone seis características del proceso químico, en sentido de las manecillas del reloj:

- Por la adición o división o sustracción de materia: mezclado, separación,
- por el comportamiento con respecto al tiempo de las variables del proceso,
- por la manera en que fluyen las concentraciones entre sí,
- por el tipo de industria,
- por la operación en sí,
- por la manera en que entra en contacto la materia con el equipo

El perímetro del hexágono del Mapa del Proceso Químico contiene los elementos básicos, tanto teóricos como prácticos, que son parte de su estudio:

- la termodinámica,
- los fenómenos de transporte,
- los aparatos, instrumentos y equipos

0.7 Principios elementales

El *Universo* se divide, para su estudio, en *materia y energía*.

La materia se caracteriza por poseer *masa y volumen*.

La masa se presenta en tres estados de agregación: *sólido, líquido y gaseoso*.

Para un compuesto puro se puede construir el diagrama de fases, como lo ilustra la Figura 0.3.

La línea a se conoce como línea de solidificación o fusión. La línea b es la línea de evaporación o de condensación. Y la línea c es la de sublimación.

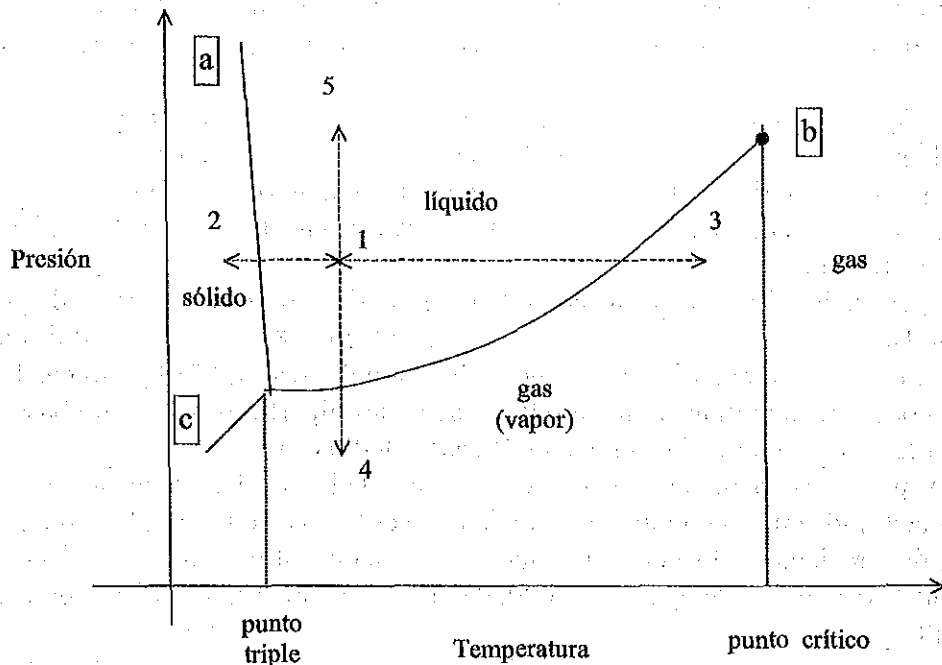


Figura 0.3
Diagrama de fases, (sustancia pura)

Si la temperatura y la presión se encuentran sobre una de las líneas se conoce como estado de saturación, porque la sustancia puede pasar de un estado de agregación a otro con un pequeño cambio de temperatura. Las líneas punteadas son ejemplos de procesos simples. El punto 1 indica que la sustancia a la presión y temperatura dada está en estado líquido. Si se enfría a presión constante hasta el punto 2 se solidificará a la temperatura que atraviesa la línea a. Si se calienta hasta el punto 3 se pasará al estado gaseoso. Si se disminuye la presión a temperatura constante, hasta el punto 4, se evaporará al pasar a la presión que indica la línea de evaporación. Las líneas punteadas indican que el proceso puede realizarse en ambos sentidos.

La energía es un concepto que sirve para explicar *fenómenos*: por ejemplo, de movimiento, de posición, de evaporación, solidificación, reacción química, reacción nuclear, etcétera.

Por esta razón se habla de energía cinética, potencial, térmica, química, nuclear, eléctrica, electromagnética, etcétera.

Existe una relación fundamental entre la materia y la energía que se conoce como la *Ley de la Conservación*. Esta Ley establece que ambas se conservan. En fenómenos a condiciones muy diferentes a las ambientales la materia se puede transformar en energía y viceversa. En los procesos químicos industriales generalmente estos fenómenos no acontecen. En la Tierra el fenómeno de transformación de la materia se presenta en forma natural pero a velocidades muy bajas. Los reactores y armas nucleares son ejemplos de esta transformación, pero inducidas por el hombre.

0.8 Unidades de medida

Para el estudio del Universo se han asignado características a las propiedades de la materia y de la energía. Estas características se conocen como *dimensiones*. Las básicas son:

La masa, la longitud, el tiempo, la corriente eléctrica, la temperatura y la luminosidad.

Como todo estudio científico del universo se basa en la medida, las *unidades de medida* básicas son:

El *kilogramo*, kg, para la masa, se define como la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo, 1ª y 3ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1889 y 1901.

El *mol*, mol, para la materia, se define como la cantidad de materia que contiene tantas unidades elementales como átomos existen en 0.012 kg de carbono 12 (^{12}C), 14ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1971.

El *metro*, m, para la longitud, se define como la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío en un lapso de $1/299792458$ s, 17ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1983.

El *segundo*, s, para el tiempo, se define como la duración de 9192631770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de cesio 133, 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1967.

El *ampere*, A, para la corriente eléctrica, se define como la intensidad de una corriente constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable, colocados a un metro de distancia entre sí en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 0.0000002 N/m, 9ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1948.

El *kelvin*, K, para la temperatura termodinámica, se define como la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua, 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1967.

La *candela*, cd, para la luminosidad, se define como la luminosidad, en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y cuya intensidad energética en esa dirección es 1/683 watt por esterradián, 16ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1979.

Estas unidades corresponden a la *Ley Federal sobre Metrología y Normalización* mexicana. Se puede consultar en la página de la red www.cenam.mx, del Centro Nacional de Metrología.

Estas unidades tienen múltiplos y submúltiplos. Por ejemplo, la décima parte del metro es el decímetro, dm, y una longitud de mil metros es el kilómetro, km. La Tabla 0.1 muestra las abreviaciones de los múltiplos y submúltiplos en base decimal.

Tabla 0.1
Múltiplos y submúltiplos y sus abreviaciones

Factor	Unidad	Abreviación	Factor	Unidad	Abreviación
10^{12}	Tera	T	10^{-1}	deci	d
10^9	Giga	G	10^{-2}	centi	c
10^6	Mega	M	10^{-3}	mili	m
10^3	kilo	k	10^{-6}	micro	μ
10^2	hecto	h	10^{-9}	nano	n
10^1	deca	da	10^{-12}	pico	p
			10^{-15}	femto	f

Los múltiplos del tiempo no siguen normalmente el sistema decimal. Los submúltiplos sí. Así se tiene al minuto como 60 s, la hora como 60 min, el día como 24 h, el año como 365 días.

Uno de los inventos más sobresalientes de la creatividad humana consiste en la combinación de las dimensiones resultando nuevas unidades de medida. Entre las que nos interesan en este texto se encuentran, por ejemplo:

- La velocidad, longitud sobre tiempo, m/s, cuyo símbolo es v,
- la fuerza, longitud masa sobre tiempo al cuadrado, $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 = \text{N}$, N es el newton,
- la energía o el trabajo, fuerza por metro, $\text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$, J es el joule,
- la densidad, masa entre volumen, kg / m^3 , cuyo símbolo es ρ ,
- superficie, longitud al cuadrado, m^2 , etcétera

Este sistema de medidas se conoce como el Sistema Internacional. Existen otros sistema de medida. Uno muy aplicado en México es el llamado Sistema Inglés. Como se tratan de las mismas dimensiones existen factores de conversión entre las unidades de medida de ambos sistemas. Como en este texto se usará casi exclusivamente el sistema oficial mexicano se recomienda visitar la página de la oficina de medida de los Estados Unidos: National Institute of Standards and Technology, NIST.

La unidad de medida de la temperatura más común es el grado celcius o centígrado. Su magnitud es idéntica a la del kelvin. El cero de los grados celsius es igual a 273.15 K, que es la temperatura de congelación del agua pura a 1 atm de presión.

0.8.1 Concentraciones de las mezclas

Una cantidad de materia puede componerse de una sola sustancia, átomos o moléculas iguales, o estar integrada de varias sustancias. En el primer caso se dice que es una sustancia pura, en el segundo que es una mezcla.

Las mezclas pueden ser homogéneas o heterogéneas. Si son homogéneas la densidad varía continuamente en todo su cuerpo. Si son heterogéneas la densidad es discontinua. Por ejemplo, un refresco normalmente es una mezcla de gases, agua y sólidos, y es homogéneo porque su densidad propiamente es uniforme en todo su volumen. El aire parece una mezcla homogénea, pero basta observarlo contra una fuente de luz que contraste para observar que contiene partículas sólidas. Otra demostración es la caída de polvo sobre una superficie. El aire es una mezcla compleja de polvos, aerosoles, microorganismos y diferentes sustancias, como el agua, el bióxido de carbono, etcétera. Estrictamente hablando es una mezcla heterogénea. Un ejemplo más evidente de una mezcla heterogénea es aquella compuesta de agua y aceite.

Por lo tanto, la composición de las mezclas es una característica importante, esto es, por un lado, las sustancias que la componen y, por otro, en que proporción se presentan en la mezcla.

La medida de la composición puede hacerse de muy diversas maneras, como fracciones o como relaciones.

Las fracciones peso o de masa se definen como el peso de cada sustancia entre el peso total de la mezcla, se expresarán como z , x ó y .

Las fracciones mol se definen como los moles de una sustancia entre los moles totales, se expresarán como Z , X ó Y .

La presión parcial es una forma de medir la composición. Se define como el producto de la fracción mol por la presión del sistema, se expresará como p_i .

La relación peso se define como la masa de un compuesto, i , entre la masa de otro, j , se expresará como Z_{ij} , X_{ij} ó Y_{ij} .

La concentración volumétrica se define como los moles de una sustancia entre el volumen de la mezcla, se expresará como c_i .

La densidad parcial se define como la masa del compuesto i entre el volumen de la mezcla, se expresará como ρ_i .

Autoevaluación

1. ¿Qué son las Operaciones Unitarias?
2. Mencione al menos ocho operaciones unitarias.
3. ¿En qué país se gestó el concepto de operaciones unitarias?
4. ¿Qué principios son indispensables para el estudio de las operaciones unitarias?
5. ¿Qué variables termodinámicas determinan el estado de agregación de una sustancia pura?
6. ¿Cómo se puede interpretar el punto donde se unen las líneas de líquido gas, líquido sólido y sólido líquido en el diagrama de fases de la Figura 3?
7. Mencione las partes en que se divide el Universo para su estudio.
8. Enuncie al menos tres ejemplos de mezclas homogéneas y tres de mezclas heterogéneas.
9. ¿En qué unidades se mide la energía en el Sistema Internacional?
10. Desarrolle, a partir de su experiencia, un proceso para obtener aceite de limón integrado por operaciones unitarias.
11. Según la Ley de la Conservación de la Materia, explique el aumento de peso de una persona.
12. Las panaderías comunes en el país, pueden representar una micro industria. ¿Su producción es continua o por lote?
13. ¿Por qué se detiene una esfera al lanzarla sobre un suelo liso, como una pista de boliche? ¿No se conserva la energía cinética?
14. Un recipiente contiene $V \text{ m}^3$ de agua pura. A partir de un momento recibe 100 gr/s de una solución acuosa con 35 gr/ml de NaCl , mezclándose perfectamente. Al mismo tiempo sale la solución formada. Deduzca si se trata de un proceso estacionario. Dibuje un esquema del proceso e indique las variables del mismo.