

# Incorporación de Técnicas de Mapeo de Procesos en el Tema de Balance de Masa Impartido en las Carreras de Ingeniería de la UPIICSA

Raúl Monsalvo Vázquez\*  
Laura Erika Torres Vázquez\*\*

## Resumen

En el programa de estudios de cuatro de las carreras de la UPIICSA, se incluye el tema de balance masa, ya que es de suma importancia que el futuro responsable de los procesos a nivel industrial, esté al tanto de las diferentes etapas por los que pasan los materiales, y más aún para predecir la mayoría de sus propiedades. Adicionalmente, el diseño de los procesos está íntimamente relacionado con el conocimiento de los elementos que conforman el sistema, los responsables, la asignación de tareas, y las especificaciones, entre otros, una ardua labor que se hace más eficiente en la medida en que se tengan controladas las etapas del bien o servicio, y es ahí donde el levantamiento de los procesos, conceptualizado como sistemas relacionados, sirve de gran ayuda para obtener el éxito de las operaciones en sistemas como es el balance de masa en los procesos industriales. Bajo esa premisa, se han desarrollado ecuaciones sencillas, existen datos que son tabulados, y que pueden expresarse en la contabilidad completa de la masa y la energía en una operación unitaria (OU) o en un proceso unitario (PU). Desde este enfoque se presenta la utilidad de incorporar la herramienta de mapeo de procesos, como un instrumento de la gestión de los procesos para desarrollar el tema de balance de masa que muestre los elementos básicos en los cálculos y las relaciones matemáticas, empleadas para obtener la cuantificación de los materiales en las diferentes entradas y salidas de un PU o una OU.

## Introducción

**T**odo proceso químico tiene sus proporciones características propias, las cuales se determinan por medio de fórmulas químicas, ecuaciones, pesos atómicos y moleculares y relaciones matemáticas sencillas; así mismo, se determina qué y cuánto se utiliza y se produce, es decir, la cantidad de materia que entra en juego. Ello representa el balance de masa (BM), de entradas y salidas, en un sistema químicamente controlado.

Durante la planeación de los procesos industriales de manufactura, es indispensable estar al tanto del tipo de materias primas utilizadas durante su transformación, y determinante en los productos obtenidos

\*Doctor en Ciencias Químicas por la Facultad de Química de la UNAM. Profesor de las Academias de Química de la UPIICSA. Correo electrónico: monza@mexico.com

\*\*Licenciada en Administración Industrial por la UPIICSA. Correo electrónico: arual831204@hotmail.com

-que es función de los costos asignados-, así como de sus atributos físicos y químicos, ya que ellos y sobre todo este último, inciden en la eficiencia de las diversas operaciones y reacciones efectuadas.

Los contenidos curriculares explicados en el tema de balance de masa son abordados entre los semestres segundo y tercero de las carreras de Administración Industrial (AI), Ingeniería en Transporte (IT), Ingeniería Industrial (II) e Ingeniería en Informática (IIn), para el 84% de los alumnos inscritos en la UPIICSA, Figura 1.

Aquéllos incluyen tópicos que van desde el concepto de empresa, producción industrial, una ligera introducción hacia las nociones elementales de la administración de los procesos, la clasificación de la materia prima, que solo son abordados en la carrera de AI, hasta la explicación de los conceptos de reactivos limitante y en exceso, pureza de materiales (que son la base para comprender y efectuar los cálculos requeridos en el balance de

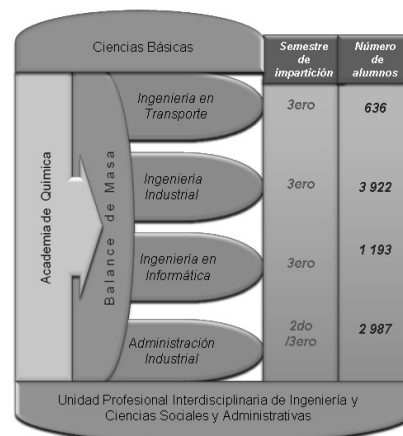


Figura 1. Carreras donde se imparte el tema de balance de masa.

masa), explicados tanto en AI como en las demás carreras de ingeniería impartidas en la Unidad, Tabla 1.

Asimismo, dentro de los temas encontrados en el tema de BM, se involucran conceptos que tratan con proveedores, entradas y salidas de un proceso, proceso de manufactura o servicio y clientes, todos ellos relacionados al análisis y mapeo de los procesos, de esta manera se logran identificar tres elementos dentro del sistema, el cliente, al cual va

Contenidos curriculares incluidos explícitamente y relacionados con el balance de masa	Carrera				Semestre de impartición			
	AI	IIn	IT	II	AI	IIn	IT	II
Aspectos básicos en los procesos industriales	✓	✓	✓		2			
Materias primas	✓	✓	✓	✓	2			
Proceso de transformación	✓	✓	✓		2 y 3			
Productos	✓	✓	✓		2 y 3			
Factores de conversión	✓	✓	✓	✓	2			
Por ciento peso	✓	✓	✓	✓	2			
Operaciones unitarias	✓	✓	✓		2	3	3	3
Estequiometría	✓	✓	✓	✓	2 y 3			
Rendimiento de una reacción	✓	✓	✓	✓	2			
Pureza de reactivos	✓	✓	✓	✓	2			
Costos de materia prima	✓		✓		2 y 3			
Procesos unitarios	✓	✓	✓		2			
Análisis en un proceso industrial	✓	✓	✓		2			

AI=Administración Industrial, IIn=Ingeniería en Informática, IT=Ingeniería en Transporte, II=Ingeniería Industrial. Para todas las carreras se incluyen problemas tipo y se refuerzan los contenidos teóricos con actividades experimentales.

Tabla 1. Temas de balance de masa en los contenidos curriculares impartidos en las carreras de la UPIICSA.

dirigido el servicio o producto final; las salidas, que son los productos o servicios ofrecidos y finalmente el proceso, donde se indica la forma de operación e identificación de oportunidades de mejora, Figura 2.

etapas de un proceso, mediante el estudio de sus mecanismos, de las variables y de los requerimientos necesarios, a través de un enfoque integrado de sistemas.

A partir de estos elementos del

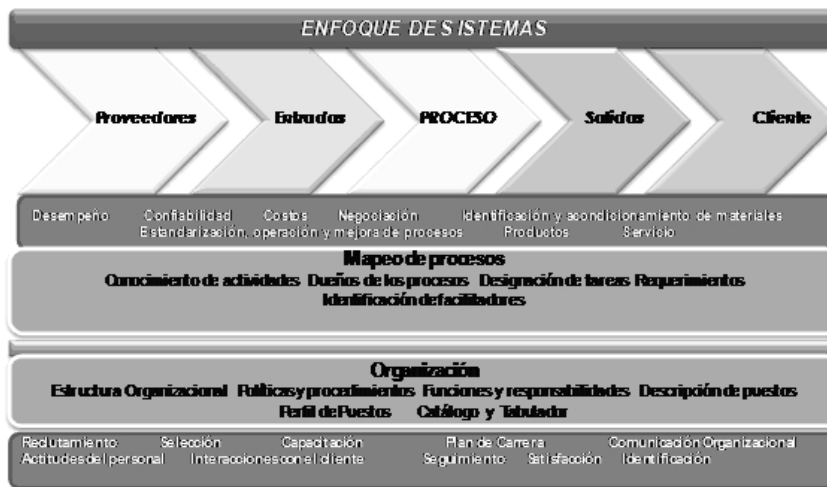


Figura 2. Diagrama de relaciones entre los elementos y las actividades consideradas en el sistema.

La formalización del concepto de mapeo de procesos como disciplina de la ingeniería y la administración industrial de procesos, es un gran paso en la productividad y eficiencia de las empresas de bienes y servicios, al estimular la formación de expertos dedicados a optimizar las

sistema surge una aproximación que define una organización como un sistema de procesos interrelacionados, para lo cual la técnica conocida como mapa, ruta o diagrama de procesos es empleada para auxiliar en la planeación, dirección y control de las actividades, tareas

y procesos que una organización usa para crear y transportar bienes y servicios a sus clientes, ya sean éstos miembros de la organización (otros departamentos, divisiones, etc.) o externos ( que los compran o utilizan).

Así, el mapa que se utiliza se enfoca hacia el conocimiento y mejora de los procesos que conforman un sistema, mediante el conocimiento de sus requerimientos, de las variables de que depende y de las mejores condiciones para llevarlo a cabo.

Es por ello que en la planeación de los procesos de manufactura, es indispensable conocer la cantidad, el tipo y las características, tanto físicas como químicas, de las materias primas empleadas en las operaciones y procesos industriales.

### Procedimiento

La mayoría de los problemas de balance de materiales consisten de los mismos elementos básicos, aunque los detalles de la aplicación del método de resolución puedan ser ligeramente distintos. El balance de materiales puede aplicarse a un proceso, como un balance general de la masa que entra y la masa que sale; o bien, puede aplicarse a las partes intermedias de un procedimiento continuo. En general, para cualquiera de estos sistemas, se requieren datos relativos a la entrada y a la salida de masa. Algunos datos son la masa en todas las corrientes del material que entra y sale del sistema, así como del que se encuentra presente en éste, también se debe tener información respecto a la composición de todas las corrientes que entran y salen del sistema y sobre la composición del material dentro de él. Una alternativa para resolver los problemas encontrados en el balance de masa, incluye el elaborar programas con hojas de cálculo, las cuales proporcionan una forma de almacenar, analizar y organizar los datos numéricos, a través del uso de unas cuantas

funciones básicas, y el manipular los datos de entrada y resultantes, mediante el uso específico de tablas que incluyen la incorporación de las propiedades cuantitativas de las especies involucradas en la transformación, adecuación y contabilidad de materiales.

Al llevar a cabo un balance de materiales es útil y conveniente efectuar varios pasos preliminares, los cuales son flexibles y pueden modificarse de acuerdo con el estilo de análisis que se desarrolle.

El conocer y manejar las operaciones o procesos unitarios es básico para llevar a cabo las transformaciones, procesamiento o tratamiento de la materia prima lo cual involucra la contabilidad de materiales y en donde una herramienta indispensable usada es la diagramación de las OU o PU involucrados en un sistema de manufacturas de bienes e inclusive de servicios, Figura 3.



Figura 3. Representación del bloque básico de transformación de sustancias.

Es primordial el establecer un diagrama de flujo simplificado de la OU o PU efectuado, en él se muestra básicamente el flujo de materiales considerado, entradas, salidas y operaciones y procesos efectuados, con los datos disponibles en las unidades consistentes dentro del proceso. En el diagrama es

importante también etiquetar los diferentes bloques encontrados durante el desarrollo del proceso, u operación unitaria ya que de esta manera es posible establecer las ecuaciones para los procesos o reacciones químicas efectuadas, Figura 4.

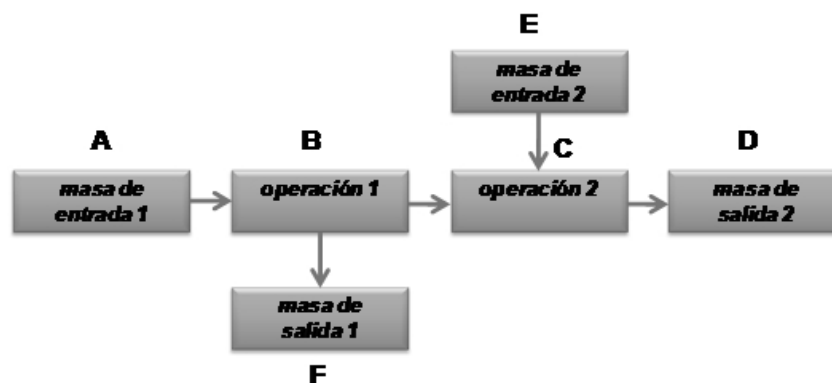


Figura 4. Secuencia básica de la representación gráfica de un balance de masa. A, B, C, D, E, y F representan a la etiqueta de cada uno de los bloques.

El desarrollo del proceso, da lugar a una herramienta poderosa

proveedores y clientes.

Donde la masa de cada uno de los componentes ( $m_i$ ) de la correspondiente masa de entrada ( $m_I$ ), es

$$m_I = \sum_{i=1}^n m_i$$

Ahora bien las  $m_i$  contenidas en las masa total de entrada, presentan una composición determinada por su pureza ( $p_i$ )\*, que considerada como un porcentaje de  $m_I$  indica la masa del componente  $i$ ,

$$m_i = m_I \times p_i$$

\*es importante enfatizar que la pureza sólo se aplica a los reactivos

Para el caso de las masas de salida ( $m_O$ ), ellas están en función del número de trayectos que siguen los componentes involucrados en el sistema, y puede cuantificarse de acuerdo a la expresión

$$m_O = \sum_{i=1}^n m_i$$

La herramienta auxiliar en el cálculo de las masas de entrada y de salida en una operación unitaria, es la elaboración de tablas, una de ellas identifica las propiedades más importantes o datos que son proporcionados por el problema en cuestión, Tabla 2.

El nombre y la cantidad del componente involucrado, su porcentaje de pureza, las masas parciales y totales en cada bloque, así como una

Sustancia	Volumen (L)	Concentración en % peso	Densidad (g/mL)	Masa (g)
Total				$m_T = \sum_{i=1}^n m_i$

Tabla 2. Identificación de las variables importantes en los datos de entrada en una OP.

Sustancia	Porcentaje en peso	Masa ( $m_i = m_T \times \% \text{ en peso}$ )	Costo de la sustancia utilizada	Costo de producción ( $m_i \times \text{costo}$ )
Total	100	$m_T = \sum_{i=1}^n m_i$		

Tabla 3. Identificación de las variables importantes en los datos de entrada en una OP.

Componente	Masa (kg)	
	Entrada	Salida
	1	2
1		
2		
Total	$Masa = Masa_O$	

Para esta tabla corresponde la entrada de dos componentes en diferentes entradas y con una sola salida.

Tabla 4. Contabilidad de masa que incluye las masas de entradas y salidas de los componentes utilizados.

comprobación de las cantidades obtenidas en los cálculos efectuados, se registran usado frecuentemente información, de entradas o salidas, Tabla 3 y 4.

Para un proceso unitario *PU*, las variables a considerar contienen el nombre y la cantidad del componente involucrado, su peso atómico o molecular, su porcentaje de pureza, su respectiva cantidad molar y el total incluido en cada bloque del problema considerado, Tabla 5.

Ya sea una *OU* o un *PU* la forma

general para el balance de masa esta dado por

$$m_I = m_O$$

aunque para un proceso unitario debe considerarse que

$$m_I = \text{entradas al reactor}$$

$$m_O = \text{salidas del reactor}$$

donde a partir de una masa dada de reactivos ( $m_R$ ), son producidas sustancias tales como productos ( $m_P$ ), residuos ( $m_{Re}$ ) y acumulados ( $m_{Ac}$ ), con lo cual el balance puede expresarse de la siguiente manera

$$m_R = m_P + *m_{Re} + m_{Ac}$$

\* $m_{Re}$  = masas de impurezas y exceso de los reactivos

En las entradas del proceso, se considera a todos los componentes que entran, participen o no en la reacción.

En las salidas se incluye a todos los compuestos que salen de la reacción, sean producto de ésta o no.

Finalmente la metodología aplicada, muestra que la definición

y determinación de las propiedades de los materiales de entrada, las variables involucradas, así como los instrumentos y herramientas para cuantificarlas, pueden ser detectados a través del conocimiento de los elementos participantes en el sistema, auxiliándose con la técnica del levantamiento de proceso, Figura 5.

### Conclusiones

Uno de los aspectos más importantes contenidos en el tema de los procesos industriales, es el concerniente al balance de masa, en este trabajo se desarrolla una metodología con los elementos básicos considerados para resolver, mediante el uso del enfoque de sistemas y a través del mapeo de procesos, la cuantificación de las masas de entrada y salida en un proceso industrial y que puede extenderse a la prestación de servicios de cualquier empresa. Es indispensable que en la optimización de los procesos productivos, el mejoramiento de la calidad de los productos y de la relación cliente-proveedor, sean analizados dentro del negocio, por lo tanto, la empresa tiene la obligación de verificar sus procesos y tratar de implementar los controles a través del levantamiento de cada uno de los elementos existentes en ella. Mediante el mapeo de procesos aplicado al balance de masa se logra, la definición de los datos conforme a un modelo basado en el enfoque de sistemas, el cual provee un conocimiento adicional sobre los procesos desarrollados, lo cual redundará en la mejor utilización y aprovechamiento de los recursos.

Sustancia (i)	% peso	$\left(\frac{m_i}{100\%}\right) m_T$	$\left(\sum_{i=1}^n PA_i\right) \frac{PM_i}{PM_i}$	$\left(\frac{n_i}{PM_i}\right)$	$\left(\frac{x_i}{n_T}\right)$
Total	100				

Tabla 5. Ejemplo de información básica de entrada en el balance de masa para un *PU*.



Figura 5. Metodología básica, seguida en el balance de masa utilizando el mapeo de procesos.

### **Bibliografía**

- Damelio, R. *The Basics of Process Mapping*. Productivity Press. New York, USA. 1995.
- Fogler, Scott H. *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*. Editorial Prentice Hall Pearson, México. 2008.
- Himmelblau, D. M. *Principios básicos y cálculos en ingeniería Química*. Editorial Prentice Hall Pearson, México. 2003.
- Harrison, Michael I. *Diagnosing Organizations: Methods, Models and Processes*. Editorial Thousand Oaks. Calif. USA. 2005.
- Monsalvo V.R. *Balance de materia y energía: procesos industriales*. Editorial Patria. México. 2009.
- MQA Model Revision and Redesign Report*. Instituto para el Fomento a la Calidad Total, A.C. Mexico. 2007.

