



Fundamentos de la Extracción Sólido-Líquido

Apellidos, nombre	Castelló Gómez, Marisa (mcasgo@upv.es) Fito Suñer, Pedro (pedfisu@tal.upv.es) Seguí Gil, Lucía (lusegil@upvnet.upv.es) Betoret Valls, Noelia (noebeval@tal.upv.es)
Departamento	Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen

En este artículo vamos a presentar los aspectos básicos a tener en cuenta a la hora de abordar **situaciones de extracción sólido-líquido** en un contexto industrial. Para ello, explicaremos esta operación básica y nos familiarizaremos con la nomenclatura empleada en la misma. Además, veremos algunos ejemplos de sus aplicaciones industriales.

2 Introducción

La **operación de extracción sólido-líquido** es una operación básica de recuperación o extracción mediante la cual uno o varios componentes de una *fase sólida desestructurada*, denominada **alimento (R_0)**, se transfiere a una *fase líquida, disolvente (E_0)*. Cuando tiene lugar en una única etapa, esta consiste en mezclar durante un tiempo el disolvente y el alimento para que se produzca un transporte de materia entre ambos. El componente o componentes que son solubles en el disolvente empleado y se transfieren de una fase a otra se conoce como **soluto** y la matriz sólida insoluble **inerte**. *El sentido de la transferencia es siempre desde el sólido hacia el líquido*. Transcurrido el tiempo establecido para que se alcance el equilibrio entre ambas fases, se procede a la separación de la parte sólida (impregnada de disolvente), conocida como **refinado (R_1)**, de la disolución (disolvente más solutos extraídos), conocida como **extracto (E_1)**. En la Figura 1 se presenta un esquema con las corrientes involucradas en una etapa de extracción.

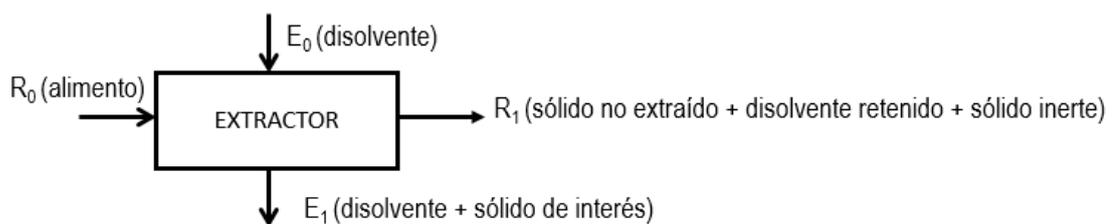


Figura 1. Esquema de una etapa de extracción sólido-líquido

Es importante manejar la nomenclatura utilizada en esta operación. Por ello, en la Tabla 1 se muestran la terminología con la que se trabaja en esta operación.



Tabla 1. Nomenclatura de la operación de extracción sólido-líquido

CORRIENTES	Extracto: E_i (kg/h). Corriente líquida (disolvente solo o disolvente+sólido). El extracto inicial (E_0) también recibe el nombre de disolvente).
	Refinado: R_i (kg/h). Corriente sólida (sólido inicial o sólido+disolución retenida). El refinado inicial (R_0) también recibe el nombre de alimento.
COMPONENTES	Sólido (S): Componente/s solubles a extraer
	Disolvente (D): Componente selectivo capaz de disolver el sólido
	Inerte (I): matriz sólida insoluble
CONCENTRACIONES	y_j : fracción másica de componente j en el extracto o disolvente inicial
	x_j : fracción másica de componente j en el refinado o el alimento inicial

Donde i indica el número de etapa de la que procede la corriente y j indica el componente, que puede ser sólido, disolvente o inerte

3 Objetivos

Una vez leído con detenimiento este documento podréis:

- Entender el fundamento de la operación de extracción sólido-líquido y utilizar la nomenclatura habitualmente empleada.
- Identificar los caudales de alimento, disolvente, refinado y extracto, involucrados en una etapa o proceso de extracción sólido-líquido, así como los componentes que forman parte de estas corrientes.
- Interpretar los fenómenos de transferencia de materia que tienen lugar durante la extracción sólido-líquido.
- Aplicar los conceptos de rendimiento y eficacia, y plantear los balances de materia necesarios para calcularlos, así como estimar el número de etapas necesarias para llevar a cabo la operación de extracción con éxito.

4 Desarrollo

En este punto trataremos de dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿En qué situaciones reales se recurre a la extracción sólido-líquido para separar o recuperar compuestos de interés industrial?
- ¿Qué factores o mecanismos favorecen la extracción?
- ¿Cómo se puede mejorar el rendimiento de esta operación?
- ¿Cómo se relaciona una situación de extracción ideal con una real?

4.1 Aplicaciones en la industria alimentaria

En la Tabla 2 se presentan ejemplos de extracción sólido-líquido en el contexto de la industria alimentaria. En dicha tabla, se muestran tanto el compuesto de valor extraído (soluto), como la corriente alimento empleada (sólido desestructurado) y el disolvente habitual utilizado en cada situación.

Tabla 2. Ejemplos de solutos extraídos en función del alimento y el disolvente empleado en operaciones de extracción sólido-líquido en la industria alimentaria

Sólido desestructurado	Soluto extraído	Disolvente
Soja, maíz, trigo	Aceite	Hexano
Remolacha, caña	Azúcar	Agua
Grano de café tostado	Café	Agua
Pimiento rojo (pimentón)	Colorante	Metililcetona
Vainas	Vainilla	Etanol
Grano de café verde	Cafeína	Diclorometano
Zanahorias	Carotenoides	Hexano
Yuca	Glicósidos cianogénicos	Agua
Malta tostada	Azúcares y otros compuestos	Agua caliente

La operación de extracción forma parte de multitud de procesos industriales. A continuación, se presentan algunos diagramas de flujo en los que aparece (Figuras 2 y 3).



Figura 2. Proceso de obtención de café soluble

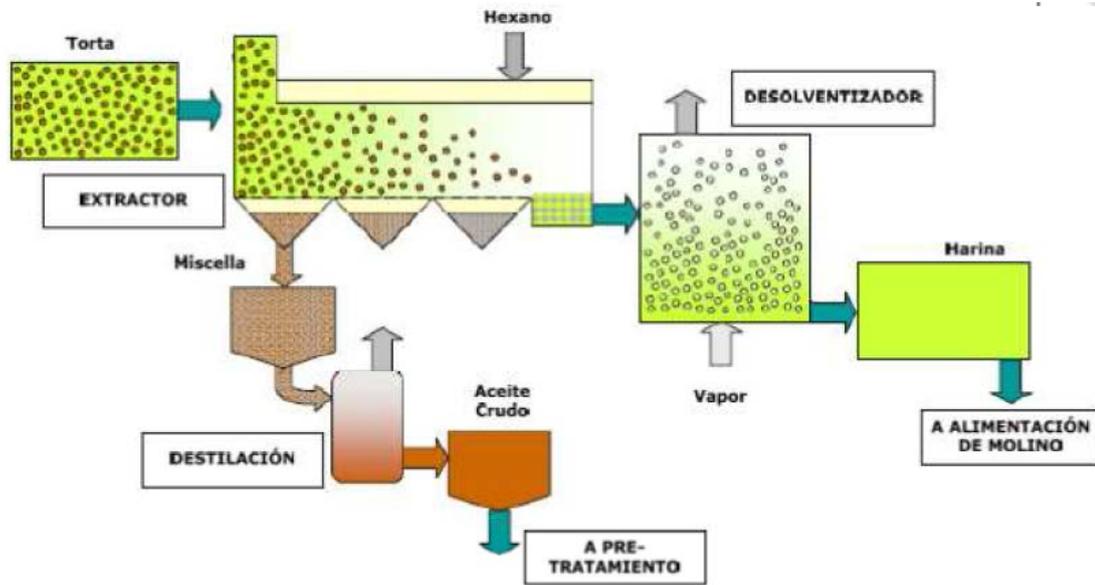


Figura 3. Proceso de obtención de aceite a partir de semillas

4.2 Mecanismos que facilitan y complementan la extracción sólido-líquido

Frecuentemente, se aplican pretratamientos a la materia prima de la que se quiere obtener el componente de interés para mejorar la extracción. Asimismo, para recuperar el componente final, se requiere de otras etapas que puedan ayudar a concentrar, purificar o estabilizar el producto. Básicamente, estas etapas se pueden clasificar como sigue:

1. **PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA**
 - Deshidratación
 - Desestructuración (mecánica, térmica...)
 - Re-estructuración (láminas, "pellets" ...)
2. **EXTRACCIÓN**
3. **DESOLVENTACIÓN** (eliminación del disolvente para su reutilización tanto del refinado como del extracto)
4. **ENVASADO, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE LOS PRODUCTOS**

4.2.1 Pretratamientos de la materia prima

Estos tratamientos son necesarios por distintos motivos. Por ejemplo, cuando se emplean disolventes orgánicos para la extracción, es necesario **deshidratar** la materia prima antes de proceder a la extracción. Por otro lado, la **desestructuración o reducción del tamaño de partícula** consigue eliminar barreras estructurales a la transferencia de materia, lo que favorece la difusión del disolvente a través del sólido para acceder al soluto, aumentando a su vez la velocidad de flujo por los poros del material. Por último, la **reestructuración**, también se aplica en ciertos casos para facilitar el manejo y evitar el apelmazamiento del sólido que dificultaría la extracción.

4.2.2 Tipos de extracción sólido-líquido

Esta extracción se lleva a cabo por diferentes procedimientos de contacto, entre los que destacan los siguientes (Figura 4):

- La **percolación**, que consiste en la pulverización del disolvente sobre el lecho de sólido
- La **inmersión completa** del sólido en el líquido
- El **llenado y vaciado** intermitente del lecho sólido

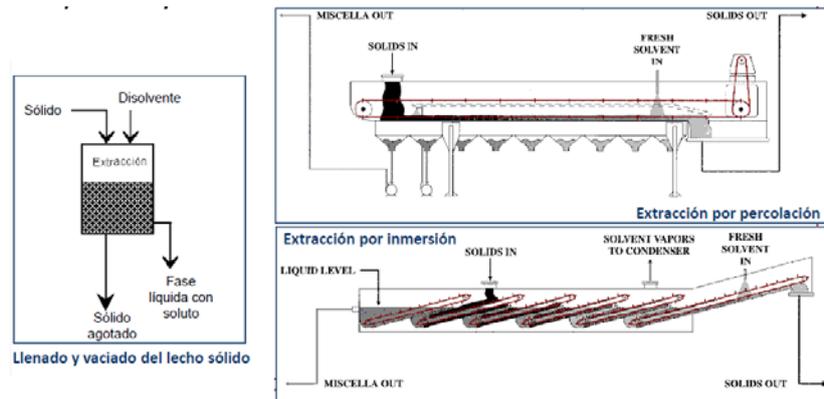


Figura 4. Tipos de contacto en la extracción sólido-líquido

4.3 Fundamento de la operación de extracción sólido-líquido

La extracción sólido-líquida se realiza en equipos denominados **extractores** en los que se producen a su vez dos subetapas. En primer lugar, se mezclan los sólidos con el disolvente y después se procede a la separación de la fase líquida en la que se ha trasladado el componente de interés, de la fase sólida "agotada" o residuo. En la Figura 5 se pueden apreciar ambas subetapas. La línea discontinua representa la **unidad básica del extractor**.

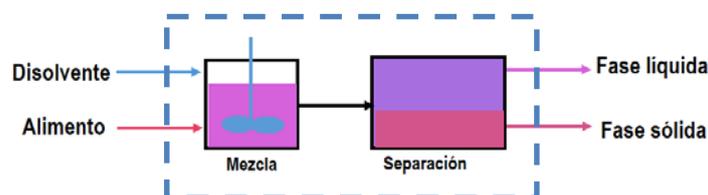


Figura 5. Subetapas de un extractor

Por tanto, la etapa de extracción se considera una unidad de equipo en la que se ponen en contacto las fases durante un tiempo determinado, de forma que se realiza la transferencia de materia entre los componentes de las fases y van aproximándose al equilibrio a medida que transcurre el tiempo.

Las **fases** en las que se lleva a cabo la extracción se pueden desglosar en las siguientes:

- **Primera:** Penetración del disolvente y cambio de fase de sólido soluble
- **Segunda:** Difusión del soluto a través del disolvente contenido en los poros del sólido hasta la interfase
- **Tercera:** Transferencia de soluto desde la superficie de las partículas del sólido al seno del líquido

4.3.1 Equilibrio y etapa ideal

Se define el **equilibrio** de la extracción sólido-líquido cuando se da alguna de las siguientes situaciones:

1. Cuando todo el soluto ha pasado a la disolución y está disuelto en ésta
2. Cuando se satura el disolvente, es decir, cuando la cantidad de soluto en el alimento/refinado supere la solubilidad de éste en el disolvente empleado.

Una vez alcanzado el equilibrio, las fases se separan, obteniéndose:

- **Extracto (E)**, flujo superior o miscela: Fase constituida por soluto y disolvente
- **Refinado (R)** o flujo inferior: Mezcla formada por el sólido no soluble y una cierta cantidad de disolución retenida en él. Esta disolución, si se ha alcanzado el equilibrio, tendrá la misma concentración en soluto que el extracto. Si la disolución está saturada, el refinado contendrá además soluto sin disolver

Así, se define la **ETAPA IDEAL, TEÓRICA O DE EQUILIBRIO** como la etapa de contacto en la que la disolución que se obtiene (fase líquida) tiene la misma composición que la disolución retenida por el sólido (ecuación 1)

$$\frac{x_s}{y_s} = \frac{x_d}{y_d} \quad (\text{ecuación 1})$$

4.4 Rendimiento de la operación.

Teniendo en cuenta el esquema de la etapa de extracción mostrada en la Figura 1 y la nomenclatura de la operación (Tabla 1), los balances de materia y solutos que pueden plantearse alrededor de una etapa de extracción obedecen a las siguientes ecuaciones:

1. Balance de materia total: $R_0 + E_0 = R_1 + E_1$
2. Balance del componente soluto: $R_0 x_{s0} + E_0 y_{s0} = R_1 x_{s1} + E_1 y_{s1}$

El subíndice 1 hace referencia a la etapa de extracción de la que provienen las corrientes. No obstante, es importante tener presente que a menudo es necesario recurrir a varias etapas de extracción para conseguir el rendimiento deseado, para lo cual es necesario plantear balances entre las etapas sucesivas de extracción.

De acuerdo a estos balances, podemos deducir que la cantidad de soluto extraído en términos de masa será: $R_0 x_{s0} - R_1 x_{s1}$. O bien, $R_0 x_{s0} - R_n x_{sn}$, para un proceso en el que existan n etapas de extracción. Así, el **rendimiento de la operación (η)** se define como la cantidad de soluto extraído, con respecto al soluto inicialmente presente en el sólido. Para n etapas de extracción, el rendimiento se define según la siguiente ecuación:

$$\eta (\%) = \frac{\text{Solute extraído}}{\text{Solute inicial}} \times 100 = \frac{R_0 \cdot x_{s0} - R_n \cdot x_{sn}}{R_0 \cdot x_{s0}} \quad (\text{ecuación 2})$$



4.5 Eficacia individual de la etapa y eficacia global del proceso de extracción

En el apartado 4.3 hemos definido el concepto de etapa ideal o de equilibrio. No obstante, en la realidad no siempre se alcanzará el equilibrio determinado por dicha etapa ideal.

¿Cómo crees que será la fracción másica real de soluto en el refinado con respecto a su valor en una situación ideal, mayor o menor?

Efectivamente, la respuesta es que será mayor, dado que no se habrá conseguido extraer la cantidad de solutos dada por la situación ideal. Por tanto, $x_{s1}(real) > x_{s1}(ideal)$

En este sentido, es importante tener presente el concepto de **eficacia individual (ϵ_i)**, que es el cociente entre el cambio en la composición que se logra realmente en una etapa real (i) y la que habría tenido lugar en una situación de equilibrio ideal (ecuación 3).

$$\epsilon_i = \frac{\text{Solute extraído real}}{\text{Solute extraído ideal}} \quad 0 < \epsilon < 1 \quad (\text{ecuación 3})$$

Por otra parte, se define la **eficacia global (ϵ_G)** como el cociente entre el número de etapas ideales requeridas para alcanzar una determinada concentración de soluto en la corriente de extracto final y el número de etapas que realmente serán necesarias (ecuación 4).

$$\epsilon_G = \frac{\text{Número de etapas ideales}}{\text{Número de etapas reales}} \quad 0 < \epsilon < 1 \quad (\text{ecuación 4})$$

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto en qué consiste la operación de extracción sólido-líquido y su aplicación a la industria alimentaria. Del mismo modo, se han presentado las corrientes y componentes involucrados en un proceso de extracción con los que se han planteado balances, y se han definido los conceptos de rendimiento, eficacia individual y eficacia global de la operación.

Para comprobar que realmente has aprendido cómo trabajar en este tipo de operación básica, trata de plantear la información que necesitarías para diseñar un proceso industrial de extracción de un caldo de pescado, considerando las mollejas de pescado el sólido del cual se pretenden extraer los compuestos solubles y el agua caliente el disolvente empleado. ¿Cuál sería el soluto de interés? ¿Qué concentración de solutos querrías obtener en el caldo final? Ya verás que enriquecedor te resulta. ¡¡ÁNIMO!!

6 Bibliografía

Aguado, J., Calles, J., Cañizares, P., López, B., Santos, A., Serrano, D., & Rodríguez, F. (2010). Ingeniería de la Industria Alimentaria Volumen II. Ed. Síntesis

Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Ed. Mundi-Prensa Libros.