



Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Dpto. de Operaciones Unitarias y Proyectos



EVAPORACIÓN

Prof. Yoana Castillo
yoanacastillo@ula.ve

CONTENIDO

- Evaporación: Generalidades.
- Aplicaciones Industriales.
- Factores de Proceso.
- Clases de Evaporadores. Equipos.

Evaporación: Generalidades.

Definición

Operación unitaria que consiste en la separación de un disolvente volátil de un soluto no volátil por vaporización del disolvente.[1]



Concentrar una solución mediante la eliminación de disolvente por ebullición.[2]



Algunas moléculas tienen suficiente energía para escapar de la superficie del líquido produciéndose la evaporación

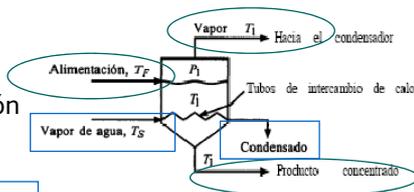
Calor



Evaporación: Generalidades

Evaporador:

- Intercambiador de calor
- Dispositivo para separar el vapor del líquido en ebullición [3, 4]



$$q = U \cdot A \cdot \Delta T = S \cdot \lambda$$

Operación básica	Símbolo ^b	Fase inicial o de alimentación	Fase generada o añadida	Agente(s) de separación ^c	Ejemplo industrial ^d
Secado (13)		Líquido y con frecuencia sólido	Vapor	Gas (AMS) y/o transmisión de calor (AES)	Eliminación de agua del cloruro de polivinilo con aire caliente en un secadero rotatorio (Vol. 21, pp. 375-376)
Evaporación (14)		Líquido	Vapor	Transmisión de calor (AES)	Evaporación de agua de una solución de urea en agua (Vol. 21, p. 51)

Evaporación: Generalidades

Algunas Aplicaciones Industriales:[4,5]

- Industria de Alimentos:

Concentrar
soluciones acuosas

- Azúcar.
- Cloruro de sodio.
- Hidróxido de sodio.
- Leche.
- Zumos de frutas.
- Jugos.



- Industria de Farmacéutica y Química

- Glicerina.
- Gomas.
- Producción de agua potable por evaporación del agua de mar.

Algunas Aplicaciones Industriales

- Medioambiental

- Lodos, fangos.
- Aguas residuales.

- Otras → Investigar para la próxima clase.



Factores de Proceso.[4,5]

Propiedades físicas y químicas de:

- Solución a concentrar.
- Vapor que se separa.



Tipo de Evaporador.
Presión.
Temperatura del proceso.

1. Concentración del líquido.
 - Alimentación diluida, baja viscosidad, coeficientes de transferencia de calor (U) altos.
 - Al evaporar solvente, aumenta la viscosidad, U disminuye.
 - Se requiere una circulación o turbulencia para que U no se reduzca demasiado.

Factores de Proceso.

2. Solubilidad:

- Al calentar la solución, aumenta la concentración de soluto y puede llegarse a exceder el límite de solubilidad del material y se podrían formar Cristales.
- Limita la concentración máxima que puede obtenerse por evaporación de la solución.
- Tener en cuenta la solubilidad como función de T.

3. Sensibilidad térmica de los materiales.

- Los materiales biológicos, farmacéuticos, alimentos (leche, jugo de naranja, extractos vegetales) son sensibles a T, pueden degradarse con altas T o calentamiento prolongado.

4. Formación de espumas: Leche desnatada, sol. Ácidos grasos.

- Arrastre de espuma en el vapor, pérdida de producto.

Factores de Proceso.

5. Formación de costras.

- Afecta la transferencia de calor.
- Limpieza difícil y costosa.

6. Materiales de Construcción.

- Siempre que sea posible: Acero
- Si hay riesgo de contaminación porque la disolución ataca los materiales féreos, se utilizan materiales especiales: cobre, níquel, acero inoxidable, grafito.

También es necesario evaluar:

- Cp solución.
- Calor de concentración.
- Liberación de gas durante ebullición.
- Toxicidad, Riesgo de explosión.
- Operación estéril.

Factores de Proceso.

7. Presión y Temperatura:

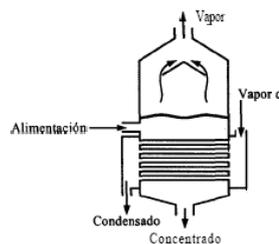
- Punto de ebullición se relaciona con la P sistema.
- A mayor P, mayor T ebullición.
- La T ebullición se eleva a medida que aumenta la concentración de soluto por la evaporación. ([Elevación del punto de ebullición](#)).
- En materiales termosensibles suele ser necesario operar a presiones bajas (<1atm vacío)

Clases de Evaporadores. Equipos.[2,4,6]

- Tubos horizontales con circulación natural.
- Tubos verticales con circulación natural.
- Circulación Forzada.
- Tubos verticales de tubos largos.
- Evaporador de Película descendente.
- Evaporador de Película turbulenta.

Evaporadores

Tubos horizontales con circulación natural.

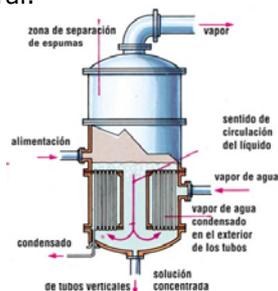
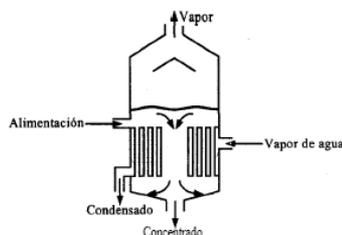


Características:

- La solución hierve por fuera de los tubos horizontales.
- Los tubos horizontales interfieren con la circulación natural del líquido en ebullición, U menores.
- Problemas de incrustaciones por la parte externa del tubo, difícil limpieza.
- Uso en instalaciones pequeñas, soluciones diluidas que no formen espuma ni depósitos.

Evaporadores

Tubos verticales con circulación natural.



Características:

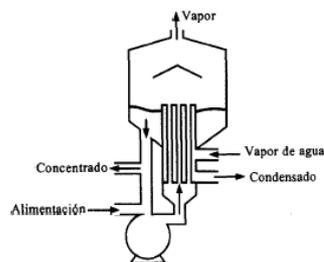
- La solución ebulle dentro de los tubos verticales.
- El medio de calentamiento (vapor) pasa por la chaqueta a través de la cual pasan los tubos.
- El líquido fluye hacia abajo a través del anular central y fluye hacia arriba por los tubos (vapor + líquido).
- Supera las desventajas de los horizontales, U mayores, limpieza más fácil.
- Muy usado, es impracticable cuando la solución a evaporar es muy viscosa y forma espuma.

Evaporadores

Circulación Forzada.

Características:

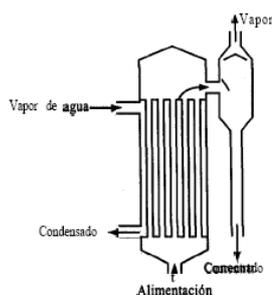
- El líquido que se está evaporando se bombea a través del intercambiador de calor, en donde el medio de calentamiento rodea los tubos.
- ΔP y la carga hidrostática son grandes para evitar que la solución hierva en los tubos. El vapor se genera en la zona de separación y se separa del líquido.
- Debido a las altas velocidades son importantes los desviadores para minimizar arrastre.
- Diseños modernos poseen el intercambiador de calor fuera de la cámara, facilita la limpieza, espacio.
- Fluidos viscosos.
- Costos de energía de operación de la bomba



Concentración del jugo de tomate por el evaporador fraccional continuo ULTER2200/F funcionamiento en vacío a circulación forzada en 3 efectos con capacidad de 2.200 T/24 h. (Rio Bravo - California - U.S.A. 2000).

Evaporadores

Tubos verticales de tubos largos.



Características:

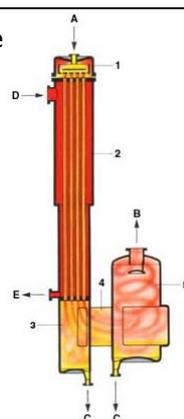
- El vapor va por fuera de los tubos y la solución va por dentro.
- La mezcla líquido-vapor sale por la parte superior de los tubos y choca con un desviador (actúa como un rompe-espuma efectivo).
- Compite con el de convección forzada, Umenores que en CF, pero no se requiere bomba de circulación.
- No pueden manejarse fluidos viscosos.
- Si pueden procesar materiales que produzcan espumas.
- Puede utilizarse una recirculación de la solución concentrada

Evaporadores

Evaporador de Película descendente

Características:

- Es una variación de los evaporadores de tubos largos.
- En el cabezal, el producto es uniformemente distribuido dentro de los tubos de calentamiento. Una película fina entra a los tubos de calentamiento fluyendo hacia abajo, donde es calentada a temperatura de ebullición y así, es parcialmente evaporada.
- Se emplea para concentraciones de materiales sensibles al calor como los jugos de frutas.
- U elevados y tiempos de retención pequeños.



- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| A: Producto | 1: Cabezal |
| B: Vapor | 2: Calandria |
| C: Concentrado | 3: Parte baja de la Calandria |
| D: Vapor de Calentamiento | 4: Zona de Mezcla |
| E: Condensado | 5: Separador de Vahos |

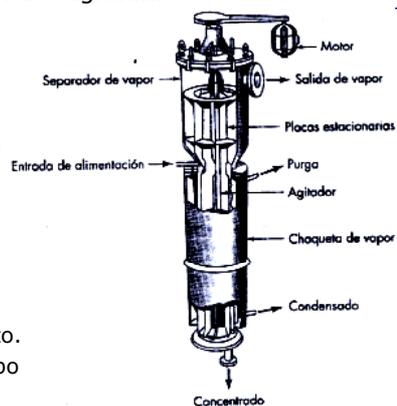


Evaporadores

Evaporador de Película turbulenta o agitada.

Características:

- Maneja líquidos viscosos.
- Tubo vertical calentado en las dos terceras partes inferiores con chaqueta de vapor, que contiene un rotor central.
- En el tercio superior, no hay calentamiento y existe una zona de separación con desviadores horizontales.
- La alimentación entra por la parte superior de la zona de calentamiento.
- Posee poca altura de líquido y tiempo de residencia corto.



Evaporador turbulento de película delgada TTFE-1/800 para jugo de fruta tropical sensible al calor y concentración de pures con recuperación de aromas por condensación, concentración, reintroducción.
Capacidad del evaporador : 800 Kg/h.
(Salstar - INDIA 1996).



**MSF once-through long-tube evaporation plant
10,000 m³/d (1 unit) at Sirte, Libya [VA-TECH]**

Evaporadores. Contenido en OPE IV

- Evaporación Efecto Simple.
- Evaporación de Múltiples Efectos.
- Termocompresión.

Referencias

- [1] OCON; TOJO. "Problemas de Ingeniería Química". Capítulo 3. Aguilar. Madrid. 1974.
- [2] FOUST, A. "Principios de Operaciones Unitarias". Capítulo 17. Continental S.A. México. 1997.
- [3] HENLEY; SEADER. "Operaciones de Separación por etapas de equilibrio en ingeniería química". Capítulo 1. Reverté.
- [4] GEANKOPLIS. "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias". Capítulo 8. CECSA.
- [5] Mc CABE. S. " Operaciones Básicas de Ingeniería Química". Capítulo 16. Reverté.
- [6] PERRY. "Manual del Ingeniero Químico". Capítulo 11. Mc Graw Hill.

Fotos:

www.tecnoconsult-sa.com.ar/productos_ingrossi.htm

www.inqcontreras.com.ar/evaporadores.html

www.gea-niro.com.mx/lo-que-suministros/evapor.