

6.- Evaporación:

El cambio de estado de líquido a vapor se produce cuando la presión de vapor del agua en el agua líquida es mayor que la presión de vapor del vapor del agua en el aire.

La operación que se produce cuando una sustancia, generalmente agua, cambia del estado líquido al gaseoso puede conducirse en diversas situaciones; cuando se requiere que el fenómeno se produzca en el seno del fluido se llama ebullición y cuando lo hace en la superficie del mismo evaporación.

La evaporación es un fenómeno de superficie que se produce merced a la energía térmica aportada para el cambio de estado y a la capacidad del aire de absorber humedad;

La cantidad de agua que el aire contiene se conoce como humedad y puede expresarse en términos de contenido de agua por masa de aire o en relación a la cantidad de agua máxima que el aire puede contener en las condiciones de presión y temperatura a las que se encuentra.

Cuando el aire no se encuentra en condiciones de saturación la superficie de líquido que está en su contacto experimenta una transferencia de masa debido al agua que cambia de estado y se absorbe. Implicando un consumo de calor latente que se toma del sistema agua – aire.

La evaporación es muy utilizada en las torres de enfriamiento forzando esta transferencia para aprovechar el frío producido, pero también se manifiesta de manera contraproducente en la superficie de algunos alimentos, como por ejemplo la carne en una cámara frigorífica, reduciendo su valor.

En la industria alimentaria se evaporan alimentos líquidos para reducir su contenido de agua, para concentrar una sustancia, o para recuperar un compuesto volátil.

La temperatura del procesamiento puede manejarse mediante la aplicación de determinadas condiciones de presión, puesto que con esta variable se pueden obtener puntos de evaporación que resulten convenientes para acentuar un tratamiento térmico o proteger características de calidad de un alimento.

Cuando se pretende acelerar el procesamiento de cocción suelen usarse sistemas que aumentan la presión durante la operación, aumentando la temperatura a la cual esta se realiza y requiriendo tiempos menores para la obtención de los resultados pretendidos. Por el contrario cuando se quiere proteger una cualidad termo sensible es posible disminuir la temperatura de trabajo aplicando vacío en el sistema.

Los evaporadores recurren a estas consideraciones en su diseño y por lo tanto suelen ser específicos en sus aplicaciones y usos, con escasas excepciones.

La selección del método a utilizar para la evaporación debe realizarse en consideración de las características especiales del alimento del que se trate como su concentración, solubilidad, formación de espumas y sensibilidad térmica.

Los evaporadores más simples son los de superficie abierta que trabajan a presión atmosférica y son calentados directamente sometidos a la acción de los gases incandescentes del fuego. Un ejemplo sencillo lo constituyen las ollas comunes o marmitas que se utilizan en las cocinas y en viejas industrias.

El cerramiento de las mismas permite operar en otras condiciones de transferencia de calor y de presión y temperatura.

En determinadas circunstancias puede resultar trabajar a presión para suministrar temperaturas más elevadas, o todo lo contrario cuando se quieren evitar estas condiciones porque podrían dañar nutrientes o características sensoriales de sustancias delicadas, se prefiere utilizar evaporadores con sistemas de vacío.

Una mejora sensible en el diseño de estos equipos componen las camisas que permiten el calentamiento indirecto con mejor control de la temperatura y de la cantidad de calor suministrado y las calandrias de tubos inundados que aprovechan al máximo las superficies de intercambio de calor.

6.1.- Eliminación de agua por ebullición

El cambio de estado de líquido a gas conlleva un importante aumento en el volumen específico, además de la inevitable transformación de incompresible a compresible que se evidencia en la forma explosiva en que se manifiestan las burbujas de un líquido en ebullición y que identifica este fenómeno con la acción de hervir.

$$P V = n R T$$

Presión en atm	Volumen específico en litros por kilo
1	1
1,5	1,052
2	1,060
2,5	1,067
3	1,073

En la actualidad se han desarrollado tecnologías para inhibir o fomentar esta característica según resulte conveniente.

Mediante una mejora del efecto Leidenfrost¹³ utilizando superficies súper hidrofóbicas se puede evitar la formación de burbujas en el seno de un líquido hirviendo, lo cual evita peligros en muchas aplicaciones; también es posible fomentar su producción utilizando sustancias súper hidrofílicas, y resulta útil para mejorar las condiciones de transferencia de calor a altas temperaturas.

¹³ El médico alemán J. G. Leidenfrost observó en 1756 que las gotas de agua que se depositan sobre el aceite de una sartén caliente no se evaporan, sino que flotan.

6.2.- Eliminación de agua por arrastre

El vapor sobrecalentado tiene la capacidad para absorber agua cuando no está saturado, se lo suele llamar “vapor seco” y es útil para la eliminación de humedad por arrastre.

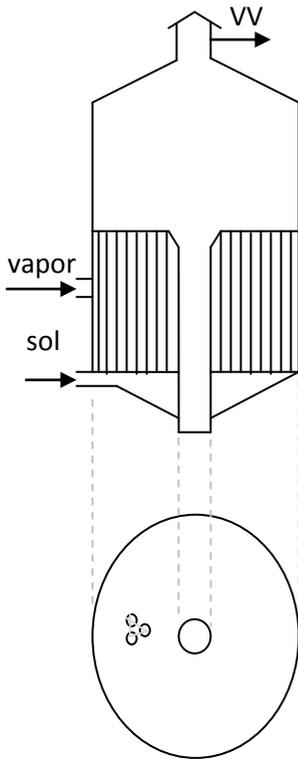
En el capítulo de secado se encuentran los gráficos de Mollie-re para determinar la humedad relativa del vapor seco a partir de su temperatura y presión.

Cuando el vapor está sobrecalentado su temperatura supera la de saturación para las condiciones en las que se encuentra, tal situación es equivalente a la que presenta el aire seco para el cual la temperatura de bulbo seco es mayor que la de bulbo húmedo (saturación).

La eliminación de agua por arrastre con vapor es una operación diferente a la destilación por arrastre en la cual la sustancia a separar es generalmente un compuesto volátil, como un aceite esencial o un complejo aromático.

Esta operación es violenta en cuanto al efecto con la sustancia a concentrar y solo es utilizable cuando se trata de eliminar agua no ligada y muy disponible en abundantes superficies de fácil acceso al vapor sobrecalentado y al paso del mismo.

6.3.- Evaporadores industriales



La evaporación se utiliza para concentrar sustancias alimenticias, una vez eliminados los elementos indeseables, desde (16 o 17) °Bx hasta (60 o 70) °Bx, un contenido superior de sólidos sobresaturaría la solución (sol) y se produciría la cristalización. Los evaporadores no están diseñados para operar con cristales, a diferencia de los tachos de cocción.

La sol ingresa por la parte inferior del equipo y asciende por el interior del conjunto de tubos dispuestos en “trebolillos”, conocido como calandria, mientras el vapor calefacta el exterior de la misma.

El vapor producido se denomina vapor vegetal (VV) y todavía es útil para calefactar, otras operaciones con menores requerimientos energéticos.

La solución sometida a evaporación rebalsa por la parte superior de la calandria y es colectado por la garganta central por la que desciende concentrada.

6.4.- Sistema de múltiples efectos

Los sistemas de efectos múltiples permiten aprovechar los vapores vegetales para economizar energía.

Los fundamentos que rigen su funcionamiento se conocen como “los tres principios de Rillieux”.

1º 1 kilogramo de vapor puede evaporar “n” kilogramos de agua en “n” efectos.

2º principio de sangría: Así se llama a la toma de vapor de un efecto para utilizar su entalpía en precalentar la alimentación.

$$\text{ahorro} = \text{Kg de sangría} \cdot \frac{\text{posición del efecto}}{\text{número de efectos}}$$

3º principio de los incondensables: en todo equipo sujeto a condensación debe extraerse el incondensable (aire, NH₃) para su correcto funcionamiento.

(la presión parcial de incondensables, aumenta el punto de ebullición)

La cantidad de calor que se entrega por kilogramo de vapor a una determinada temperatura y presión se puede calcular por la fórmula de Reynault:

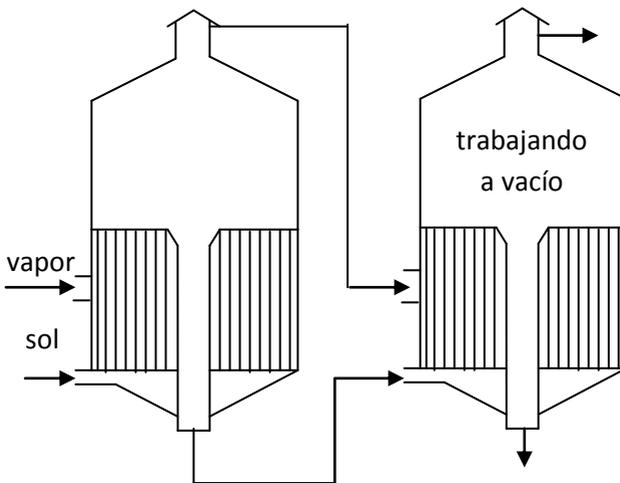
$$Q = m (C_p \Delta T + \lambda)$$

Donde m es la masa de alimentación a evaporar, C_p es su calor sensible, ΔT la variación de temperatura de calentamiento y λ el calor latente.

Sistema de dos efectos

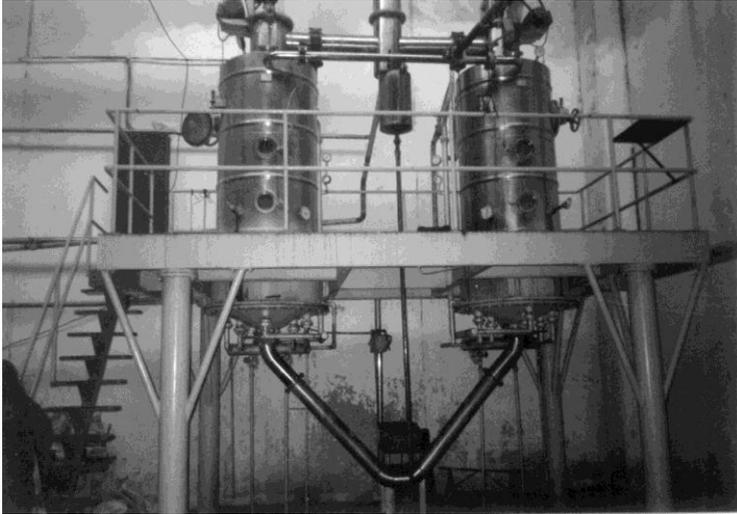
Los sistemas de múltiples efectos presentan ventajas económicas por su mayor rendimiento y tecnológicas al evitar caramelizaciones e inversiones de azúcares a pH ácido.

A medida que una solución alimenticia se concentra por evaporador aumenta su punto de ebullición requiriendo cada vez más temperatura para continuar la operación. El sistema de múltiples efectos disminuye la presión de trabajo a medida que se avanza en el número de efecto.



En sistemas que normalmente requieren temperaturas de unos 105°C, debido al incremento del punto de ebullición producido por la concentración y la altura de columna, la

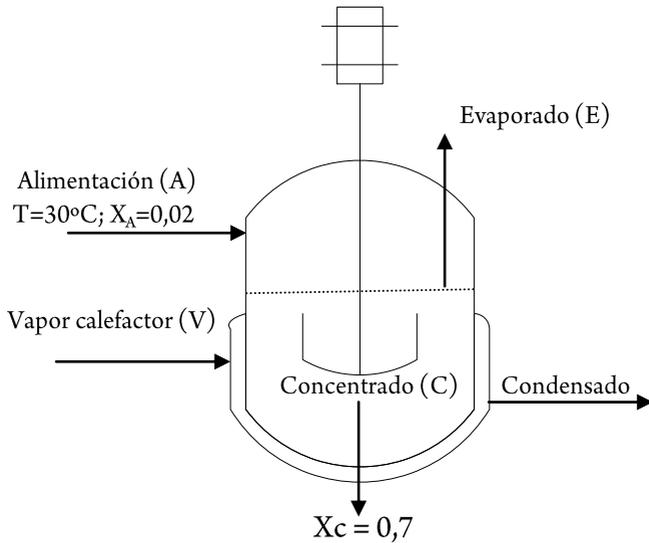
disposición de efectos múltiples permite disminuir la temperatura de trabajo hasta unos 55°C, aprovechando el poder calórico de los vapores vegetales, mediante el uso de vacío.



Evaporadores de doble efecto para concentrado de tomate

El vacío requiere de una instalación especial que generalmente cuenta con una columna barométrica para compensar pérdidas, una bomba de vacío axial o un sistema de eyectores, si se dispone de abundante vapor sobrecalentado y un conjunto de trampas separadoras para evitar que el polvo o la humedad arrastrada dañen el sistema (en el caso de los ventiladores axiales). El vacío no es una tecnología económica y se requiere cierta habilidad en su manejo, pero en escalas importantes compensa el costo con sus beneficios.

Ejemplo de cálculo de evaporador para concentrar un caldo



$$A = E + C \wedge A \cdot X_A = C \cdot X_C \rightarrow C = A \cdot \frac{X_A}{X_C} \quad C = 2,86\% \text{ de } A$$

$$Q = A C_p \Delta T + E \lambda$$

$$Q = A [\text{Kg}] \cdot 3,3 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{vC Kg}} \right] \cdot (100 - 30) \text{ } ^\circ\text{C} + E [\text{Kg}] \cdot 2200 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$$

La capacidad térmica del equipo está dado por: $Q = U A \Delta T$

y la cantidad de calor entregada por el vapor de calefacción

$$Q = V(\lambda + \Delta H)$$