

Vaporización

Este diagrama muestra la nomenclatura para las diferentes transiciones de fase su relación con la variación de la entalpía.

La **vaporización** es el principal proceso mediante el una sustancia cambia de estado líquido a gaseoso.

Se denomina ebullición cuando el cambio de estado ocurre por aumento de la temperatura en interior del líquido; el punto de ebullición es la temperatura a la cual un líquido determinado hierve (a una presión dada), y permanece constante mientras dure el proceso de cambio de estado.

Se le denomina evaporación cuando el estado líquido cambia lentamente a estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, la evaporación se produce a cualquier temperatura, siendo más rápida cuanto más elevada está.

La vaporización, por lo tanto, es el cambio de estado de un líquido a un gas. Podemos explicar la vaporización por medio del modelo cinético de partículas.

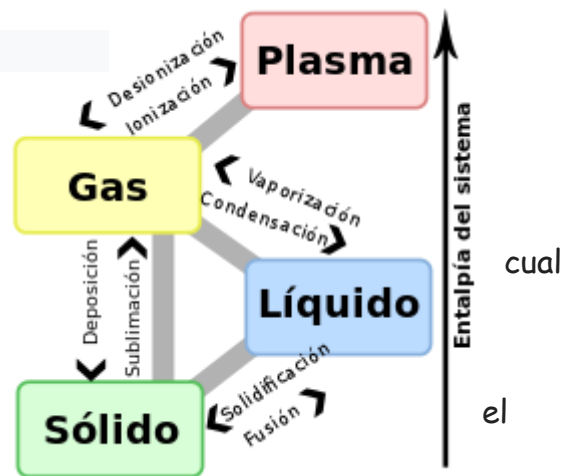
Para que una molécula deje la masa líquida, el movimiento térmico de la misma debe ser suficiente para vencer la tensión superficial y escapar, esto es, su energía cinética debe exceder el trabajo de cohesión aplicado por la tensión superficial a la superficie del líquido. Por eso, la evaporación acontece más rápidamente a altas temperaturas, a altos caudales entre las fases líquida, vapor y en líquidos con bajas tensiones superficiales (esto es, con presión de vapor más elevadas).

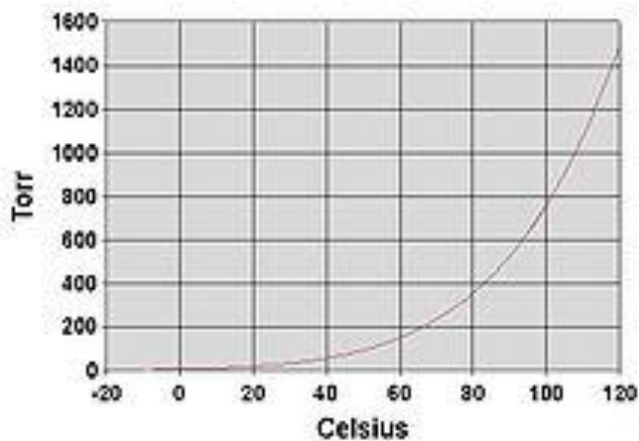
Con solamente una proporción pequeña de moléculas localizada cerca de la superficie y moviéndose en la dirección correcta para escapar del líquido en un cierto instante, la tasa de evaporación es limitada. Además, como las moléculas de mayor energía escapan y las que quedan tienen menor energía cinética media, la temperatura del líquido se reduce. Este fenómeno también es llamado de enfriamiento evaporativo. Un ejemplo para dicho fenómeno es la transpiración (sudor).

Si la evaporación ocurre en un recipiente cerrado, las moléculas que escapan del líquido se acumulan en forma de vapor arriba del líquido. Muchas de esas moléculas regresan al estado líquido. Cuando el proceso de escape y regreso alcanza un equilibrio, el vapor es llamado saturado y no ocurren cambios adicionales en la presión de vapor o en la temperatura del líquido.

Estudiemos lo que ocurre cuando se entrega calor de manera continua a un líquido y a su vapor.

Si a un líquido sometido a una cierta presión p se le entrega calor su temperatura aumenta hasta un valor determinado, momento a partir del cual comienza a vaporizarse obteniéndose vapor en presencia de su líquido, llamado vapor saturado. A la temperatura que ocurre el proceso se denomina temperatura de saturación t_s . Esta temperatura es función de la presión, es decir $t_s = f(p)$ y es característica de cada líquido. Se puede representar gráficamente los pares temperatura presión para un líquido determinado y se obtendrá una curva ascendente que indica que a mayor presión, mayor es la temperatura de saturación.





El gráfico nos muestra la variación de la presión del vapor de agua frente a la temperatura. (760 Torr = 1 atm).

Solo a título de ejemplo veamos algunos valores para el agua:

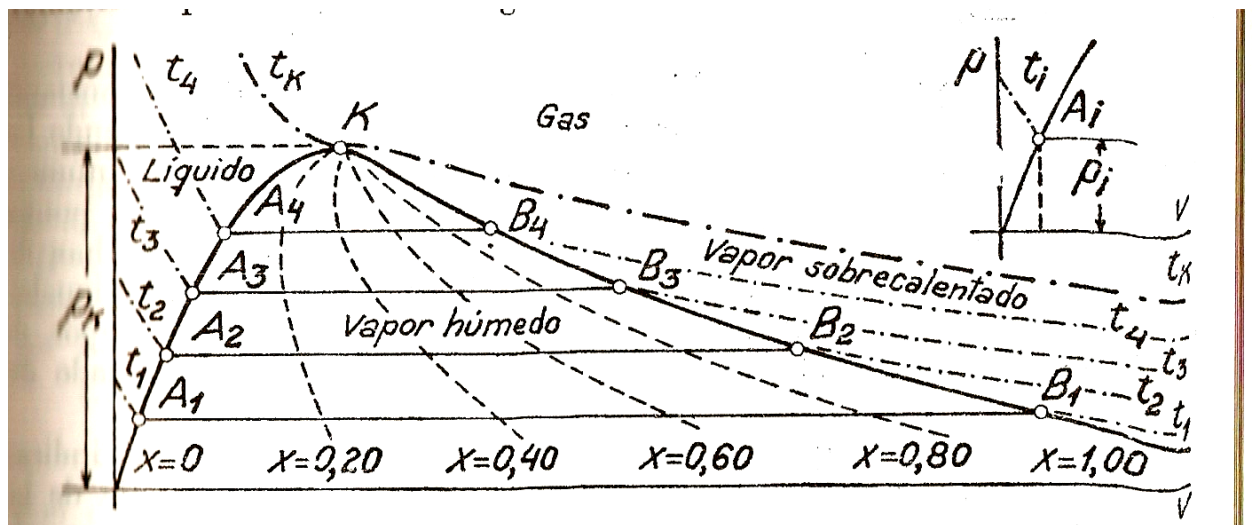
$P = 1 \text{ Kgr/cm}^2$	$t_s = 99,1^\circ \text{C}$
$P = 5 \text{ Kgr/cm}^2$	$t_s = 151,1^\circ \text{C}$
$P = 10 \text{ Kgr/cm}^2$	$t_s = 179,0^\circ \text{C}$
$P = 20 \text{ Kgr/cm}^2$	$t_s = 211,4^\circ \text{C}$

Una vez alcanzada la temperatura de saturación, comienza la vaporización. Si se sigue entregando calor, la temperatura no aumenta, pero el vapor pasa por una serie de estados sucesivos en los que se va perdiendo paulatinamente la cantidad de líquido. Podemos observar en la sustancia dos fases, una líquida y otra gaseosa. En estas condiciones decimos que el vapor es saturado húmedo o simplemente vapor húmedo. Cuando la última gota de líquido ha desaparecido, decimos que el calor es vapor saturado seco.

El aumento de volumen del fluido a presiones corrientes es muy apreciable y tanto más cuanto menor es la temperatura a la que ocurre. Si llamamos v al volumen específico del vapor, algunos valores son:

$t_s = 99,1^\circ \text{C}$	$P = 1 \text{ Kgr/cm}^2$	$v = 28720 \text{ dm}^3/\text{kg}$
$t_s = 151,1^\circ \text{C}$	$P = 5 \text{ Kgr/cm}^2$	$v = 1725 \text{ dm}^3/\text{kg}$
$t_s = 179,0^\circ \text{C}$	$P = 10 \text{ Kgr/cm}^2$	$v = 198 \text{ dm}^3/\text{kg}$
$t_s = 211,4^\circ \text{C}$	$P = 20 \text{ Kgr/cm}^2$	$v = 101,5 \text{ dm}^3/\text{kg}$

Si a partir del estado saturado seco se sigue entregando calor la temperatura se eleva y se obtiene vapor sobrecalentado. Durante este proceso también se produce un aumento de volumen.



El gráfico muestra el conocido diagrama de calentamiento del agua (pero que es similar para distintos fluidos).

Los calores en la vaporización

Si indicamos con q la cantidad de calor por unidad de masa que se debe suministrar el agua para pasar de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a t_s , tendremos: $q = c_m \cdot t_s$

Donde c_m es el calor específico medio entre 0 y $t_s\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Recordando que el calor latente de vaporización cl_v , es la cantidad de calor que se debe entregar a la unidad de masa de agua para transformarlo íntegramente en vapor saturado seco a partir de agua a la temperatura de saturación, será, para la unidad de masa $q_v = cl_v$.

El calor total de vaporización es la suma de estos dos calores, en Kcal/Kg, es decir: $q_{tv} = q + q_v$

Si llamamos calor de sobrecalentamiento q_{sc} , a la cantidad de calor que hace falta para que la unidad de masa de fluido pase de la temperatura t_s a la t_f , suponiendo un calentamiento a presión constante, será: $q_{sc} = c_p \cdot (t_f - t_s)$

Operación Unitaria de Evaporación

El proceso de evaporación consiste en la eliminación de un líquido de una solución, suspensión o emulsión por tratamientos térmicos. Ocurre en los "evaporadores".

Se dice entonces, que la solución, suspensión o emulsión se está concentrando, y para lograr dicho propósito debemos suministrar una fuente de calor externo; esta fuente calórica se logra generalmente con vapor de agua, el cual se pone en contacto con el producto a través de una superficie calefactora. Es una separación de componentes por efecto térmico, en donde se obtienen dos productos de distintas composiciones físico-químicas. En la mayoría de los casos, el producto evaporado, (solvente volátil, que generalmente es agua) es un producto sin valor comercial, mientras que el líquido concentrado, (solute no volátil) es el que tiene importancia económica. (cabe mencionar que puede suceder al revés). Debemos tener en cuenta que los productos a evaporar se comportan de diferentes formas de acuerdo a su características físico-químicas, las cuales pueden definir un comportamiento de termo sensibilidad, de producir reacciones de precipitación, de aglomeración o de polimerización, y un tratamiento inadecuado puede producir un deterioro parcial o total de distintos componentes químicos involucrados en el líquido y de esta forma modificar indeclinablemente las propiedades del mismo. Por esta razón se deben realizar ensayos previos y poder así determinar el equipo adecuado para cada una de las necesidades.

Aplicaciones

- Concentración de producto. Ejemplo obtención de la meladura en la industria azucarera.
- Pre-concentración de la alimentación al secador
- Reducción de volumen: obtención de la [leche condensada] en las pasteurizadoras.
- Recuperación de agua o solvente. Ejemplo la obtención de NaOH.
- Cristalización. Ejemplo formación de los cristales de azúcar en los tachos.

Sistemas de Evaporación

- Evaporadores de Película descendente
- Evaporadores de Película Ascendente

- Evaporadores de Circulación forzada
- Evaporadores de Placa
- Evaporadores Compactos

Ejemplo: evaporación de jugos de caña azúcar.

Todos los componentes solubles del jugo, se encuentran disueltos en el agua, que es su mayor constituyente y, como el objetivo es recobrar la sacarosa, se necesita disponer de un medio que posibilite su separación de los demás componentes. Como la sacarosa tiene la propiedad de cristalizar, podemos separarla por centrifugación, de los demás componentes que permanecen en disolución, obteniéndose un producto que contiene cerca del 98 % de sacarosa. Para que la sacarosa adquiera estado sólido es necesario cristalizarla, y esto se logra solo cuando la disolución azucarada alcanza la sobresaturación, por eliminación de agua. El agua se elimina por evaporación, utilizándose para ello medios que posibiliten máxima economía calórica.

Evaporación a simple y múltiple efecto

Desde el punto de vista económico, lo más ventajoso resulta realizar la evaporación del agua en dos formas distintas:

La primera, a múltiple efecto, que es una operación continua, donde se puede utilizar el calor del vapor tantas veces como vasos tenga el equipo evaporador. La segunda a simple efecto, en un tacho, que es de operación discontinua, donde la evaporación es controlada de acuerdo con las variables que involucra la cristalización y, donde solo es posible utilizar el calor del vapor una vez.

Criterios de selección.

Para determinar las condiciones óptimas de diseño, se debe tener en cuenta una gran cantidad de factores para obtener de esta manera, un equipo que tenga una relación óptima entre rendimiento de evaporación, economía y calidad del producto. Estos factores se pueden resumir de la siguiente forma:

1. Calidad del Producto, Factores a considerar:

Características del producto, como viscosidad, densidad, capacidad calorífica, conductividad térmica, comportamiento en ebullición, precipitación, propiedad de espumado, etc.

Concentraciones máximas admisibles, temperaturas de operación.

Programas térmicos y tiempos de residencia

2. Rendimiento de Evaporación

Kilogramos de vapor vivo por kilogramo de agua evaporada.

Caudal de agua requerido para la condensación de los vapores efluentes.

Energía eléctrica versus capacidad de evaporación.

3. Economía

Costo del vapor y energía consumidos.

Costo del personal operativo y de mantenimiento.

Horas diarias de producción.

Automatización.

Capital invertido versus rentabilidad.

(Esta tarea es realizada por el experimentado departamento de ingeniería que fue adquiriendo

conocimientos técnicos e implementado innovaciones para satisfacer al cliente, buscando la mayor economía en la inversión inicial y durante el funcionamiento.) Espaq Fe Ingeniería.

Tipos de evaporadores

Para determinar las condiciones óptimas de diseño, se deben tener en cuenta una gran cantidad de factores para obtener de esta manera, un equipo que tenga una relación óptima entre rendimiento de evaporación, economía y calidad del producto.

Estos factores se pueden resumir de la siguiente forma:

Evaporador de película descendente

Estos tipos de evaporadores son los más difundidos en la industria alimenticia, por las ventajas operacionales y económicas que los mismos poseen. Estas ventajas se pueden resumir de la siguiente forma:

Alta eficiencia, economía y rendimiento.

Alta flexibilidad operativa.

Altos coeficientes de transferencias térmicos.

Capacidad de trabajar con productos termosensibles o que puedan sufrir deterioro parcial o total de sus propiedades.

Limpieza rápida y sencilla (CIP)

En estos evaporadores la alimentación es introducida por la parte superior del equipo, la cual ha sido normalmente precalentada a la temperatura de ebullición del primer efecto, mediante intercambiadores de calor adecuados al producto. Se produce una distribución homogénea del producto dentro de los tubos en la parte superior del evaporador, generando una película descendente de iguales características en la totalidad de los tubos. Este punto es de suma importancia, ya que una insuficiente mojabilidad de los tubos trae aparejado posibles sitios en donde el proceso no se desarrolla correctamente, lo cual lleva a bajos rendimientos de evaporación, ensuciamiento prematuro de los tubos, o eventualmente al taponamiento de los mismos. Dentro de los tubos se produce la evaporación parcial, y el producto que esta siendo concentrado, permanece en íntimo contacto con el vapor que se genera. Los dos fluidos, tanto el producto como su vapor, tienen igual sentido de flujo, por lo que la salida de ambos es por la parte inferior de los tubos.

En la parte inferior del evaporador se produce la separación de estas dos fases. El concentrado es tomado por bombas y el vapor se envía al condensador (simple efecto), mientras que los sistemas múltiefecto utilizan como medio calefactor, el vapor generado en el efecto anterior, y por lo tanto el vapor generado en el último cuerpo es el que se envía al condensador. A modo de ejemplo, si alimentamos con 1 kilogramo de vapor vivo un evaporador simple efecto, obtendremos aproximadamente 1 kilogramo de agua evaporada, mientras que si alimentamos un evaporador doble efecto con la misma cantidad de vapor, o sea 1 kilogramo, obtendremos 2 kilogramos de agua evaporada, uno por cada efecto. Se concluye entonces, que a mayor cantidad de efectos, mayor será el rendimiento de evaporación, lográndose estupendas relaciones de vapor vivo consumido por kilogramo de líquido evaporado. Otra posibilidad de aumentar el rendimiento del evaporador es instalando un sistema de termocompresión de vapores; este proceso constituye un recurso muy utilizado en la actualidad, en donde el vapor generado es comprimido por vapor de alta presión, lográndose un aumento significativo del poder calorífico del vapor resultante o mediante compresión mecánica (para altas capacidades de evaporación). La reutilización del vapor permite obtener excelentes economías durante la operación.

Créditos: este material es una recopilación de las siguientes fuentes:

- Español Ingeniería
- Wikipedia
- Termodinámica técnica de L. A. Facorro Ruíz, 14^o edición, editorial Nueva Librería.

Preguntas:

1. Defina la operación de evaporación.
2. Explique las operaciones de simple efecto y múltiple efecto.
3. Explique la diferencia entre la circulación natural y la circulación forzada.
4. Describa el funcionamiento y grafique de manera esquemática los evaporadores de tubos cortos horizontales y verticales.
5. Describa el funcionamiento y grafique de manera esquemática los evaporadores de película ascendente y los de película descendente.