

LAS MEJORES PRÁCTICAS PARA PROCESOS DE EVAPORACIÓN



La evaporación es un proceso industrial fundamental cuya función es la concentración de soluciones líquidas en una amplia gama de industrias, incluido el tratamiento de aguas y residuos, la fabricación, e incluso en el sector alimentario y farmacéutico.

Arnold Kleijn

Director de desarrollo de productos,
HRS Heat Exchangers

¿QUÉ ES LA EVAPORACIÓN?

La evaporación es un proceso en el que un material pasa de su estado líquido a vapor (o gas). El ejemplo más común de evaporación que se observa en la vida cotidiana es la transferencia de agua de la superficie de la tierra a la atmósfera, como parte del ciclo del agua. Cuando los líquidos se evaporan, lo que permanece son los materiales en solución o suspensión, y la evaporación se convierte en un proceso útil para concentrar soluciones o para ayudar a separar materiales.

La evaporación es diferente de la deshidratación o el secado porque el producto es un líquido concentrado, en lugar de un sólido seco. Sin embargo, los procesos de evaporación y secado se pueden combinar: un proceso de evaporación elimina primero la mayor parte del agua y un secador final elimina el último vestigio, para obtener el producto seco final. Como las plantas de evaporación suelen ser más eficientes energéticamente que los secadores, tiene sentido combinar ambas tecnologías. La evaporación también es diferente de la destilación: un proceso de destilación separa dos o más líquidos con diferentes puntos de ebullición (y que normalmente no contienen sólidos). Por el contrario, la evaporación elimina el agua de una solución que sí contiene sólidos disueltos y/o suspendidos, obteniendo así una solución más concentrada.

En términos generales, la velocidad de evaporación depende de la temperatura (cuanto más caliente, más rápida es la velocidad de evaporación), pero el punto de ebullición

de un material varía con la presión (el agua hierve a una temperatura más baja a medida que se reduce la presión), por lo que los procesos industriales suelen utilizar una reducción de la presión para acelerar el proceso evaporativo.

La evaporación se utiliza para diferentes propósitos en múltiples industrias y sectores. En la industria alimentaria, algunos productos se concentran para aumentar la vida útil, reducir su volumen o peso, o reducir los costes de almacenamiento y transporte. Por el contrario, en el sector farmacéutico, la evaporación se aplica para crear soluciones concentradas que posteriormente se secan y se transforman en productos en polvo. No obstante, los principios básicos de la evaporación siguen siendo comunes en todas las industrias: la eliminación de agua (u otro disolvente) de una solución, mediante la conversión de esa agua o disolvente en su fase de vapor.

Se pueden aplicar diferentes técnicas, utilizando distintas condiciones de temperatura y presión. El tipo de evaporación más adecuado para cada aplicación dependerá de varios factores, como la naturaleza del disolvente y la solución, los productos finales requeridos y la energía disponible para el proceso.

TIPOS DE EQUIPOS DE EVAPORACIÓN

La evaporación puede llevarse a cabo en lotes o como un proceso continuo. Y consta de dos fases: una de calentamiento (llevar el producto a ebullición), seguida de una

fase de evaporación (donde las moléculas abandonan la fase líquida y se vuelven gaseosas). Existen varios tipos de equipos para realizar estos procesos:

EVAPORADORES DE TANQUE CON CAMISA (JTE)

Estos se encuentran entre los evaporadores más simples y son ideales para aplicaciones de pequeña capacidad y donde la inversión de capital es limitada. El producto se introduce en un tanque con camisa calefactora externa, en la que fluyen los medios calefactores. El producto se eleva a su punto de ebullición y el vapor se evapora y sale por la parte superior. Para una buena transferencia térmica o si hay probabilidad de que el producto ensucie, se instala un agitador o rascador para aumentar la turbulencia del producto y las tasas de transferencia de calor. Los tanques con camisa tienen menos área de transferencia térmica por unidad de volumen de producto, en comparación con los evaporadores tubulares o de placas, lo que son prácticos solo para tareas de evaporación relativamente pequeñas. Sin embargo, no hay necesidad de una bomba de recirculación, lo que los hace simples y fáciles de instalar.

EVAPORADORES DE RECIRCULACIÓN FORZADA (FRE)

Este tipo de evaporador fue uno de los primeros sistemas desarrollados industrialmente y mejorados por HRS, aplicando nuestra probada tecnología de intercambiador de calor de tubo corrugado. En un sistema FRE, el producto se sobrecalienta a una temperatura superior a su punto de ebullición. Al salir del evaporador, el producto se introduce en un recipiente de separación flash, donde se reduce la presión. Debido a la reducción de la presión, parte del producto se desprenderá y la concentración del fluido en la recirculación aumentará. El vapor destellado se recupera, condensándolo de nuevo en agua en un condensador. Dependiendo del producto, FRE puede utilizar placas, tubos corrugados o intercambiadores de calor de superficie rascada.

El vapor evaporado se condensa y se recoge en un tanque de condensado. Se puede conectar una bomba de vacío al tanque de condensado para controlar la presión de evaporación. El vapor evaporado-condensado se puede utilizar para precalentar el producto entrante, lo que permite niveles significativamente mayores de eficiencia térmica.

EVAPORADORES DE PELÍCULA DESCENDENTE (FFE)

En los evaporadores de película descendente, el producto se introduce en la parte superior de un haz de tubos verticales, donde se distribuye uniformemente y cae hacia abajo, como una película delgada, contra las paredes del tubo. En el exterior del tubo se aplica un medio de calentamiento, normalmente vapor, para elevar la temperatura del producto y la evaporación tiene lugar en la superficie de la película líquida. El vapor generado a medida que el



producto se evapora viaja descendiendo con la película líquida y la velocidad del vapor ayuda a mover la película a lo largo de la superficie de la pared del tubo.

Este método ofrece varias ventajas: la evaporación de la película descendente generalmente conduce a niveles muy altos de transferencia de calor, mientras que el caudal de recirculación del producto requerido es mucho menor que para los evaporadores FRE, por lo que hay un menor consumo de energía para las bombas. Finalmente, como la evaporación tiene lugar dentro de los propios tubos del evaporador, no se aplica un gradiente de temperatura al producto de recirculación.

Las características de los evaporadores de película descendente los hacen especialmente adecuados para aplicaciones donde la temperatura del fluido de servicio está cerca de la temperatura de evaporación, como con evaporadores de recompresión térmica de vapor (TVR) o recompresión mecánica de vapor (MVR) (consulte a continuación para obtener más detalles). Además, los tiempos de residencia en los FFE son cortos, lo que los hace especialmente adecuados para alimentos sensibles al calor, como zumos de frutas y leche.

MEJORA DE LA EFICIENCIA DE EVAPORACIÓN

Los procesos de evaporación se pueden optimizar en términos de uso de energía, reutilizando la energía (calor latente) contenida en el agua que se evapora del producto, o mediante el uso de dispositivos de compresión de vapor. A continuación, explicamos tres métodos posibles:

EVAPORADORES DE EFECTO MÚLTIPLE

En un evaporador multiefecto, el vapor evaporado gene-

rado, en la primera etapa de evaporación, se utiliza como fuente de energía térmica para la siguiente etapa. Este proceso se puede repetir varias veces, cuando se reutiliza la misma cantidad de vapor para evaporar múltiples volúmenes de agua. En estos sistemas, la presión de cada etapa consecutiva es más baja que la anterior, lo que también reduce el punto de ebullición. Por ejemplo, en un sistema de tres efectos, cada etapa de evaporación se encarga de un tercio del volumen total, y las tres corrientes de condensado (100°C, 75°C y 50°C) se pueden combinar y utilizar para precalentar el producto entrante antes de la evaporación en el primer efecto.

Es necesario un sistema de control de vacío/presión para ajustar con precisión la presión de evaporación en cada etapa, asegurando que haya una fuerza motriz óptima entre cada efecto. La evaporación multiefecto se utiliza para aumentar significativamente la eficiencia térmica del proceso. Por ejemplo, pasar de una etapa a dos etapas disminuye el consumo de energía térmica a la mitad. Si agregamos una tercera etapa, disminuye en dos tercios, comparado con un proceso de una etapa.

RECOMPRESIÓN TÉRMICA DE VAPOR (TVR)

En un compresor TVR, parte del vapor evaporado se mezcla con vapor "fresco" de la caldera y este flujo de vapor combinado se utiliza como energía térmica para esa etapa de evaporación. La reutilización del vapor evaporado aumenta la eficiencia energética de la planta. Por ejemplo, si se aplica un compresor TVR a una planta de evaporación de una etapa, reutilizando el 50 % del vapor evaporado, esto duplicará la eficiencia energética, en comparación con el sistema sin el compresor TVR. El compresor TVR se puede combinar dentro de plantas de evaporación multiefecto, optimizando aún más el consumo de energía.

La mezcla de vapor evaporado y vapor de caldera en un dispositivo TVR generalmente consigue un vapor neto que está mucho más cerca del punto de ebullición que el vapor puro de la caldera. Esto hace que los procesos TVR sean difíciles de aplicar para líquidos con alta elevación del punto de ebullición e inadecuados para productos con altas viscosidades y menores tasas de transferencia térmica.

RECOMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR (MVR)

Cuando la energía térmica (vapor o agua caliente) no está disponible, pero sí la energía eléctrica, se puede usar un lóbulo o un compresor de ventilador para recomprimir el vapor generado. Al comprimirlo, la temperatura y la presión aumentan hasta un punto en el que puede proporcionar energía útil para la evaporación. De esta manera, el mismo kg de vapor que se evapora del producto se reutiliza como fuente de energía térmica para la misma etapa de evaporación.

El uso de compresores MVR es una de las técnicas de evaporación más económicas, con uno de los costes ope-

rativos por tonelada de agua evaporada más bajos. No es necesario un condensador final, ya que el vapor evaporado se condensa en el lado de servicio del evaporador, eliminando también el coste de una torre de enfriamiento y el coste correspondiente del agua para la condensación. Sin embargo, la inversión inicial en los sistemas MVR es mayor, debido a la necesidad de un evaporador más grande, ya que hay una menor temperatura de suministro. Al igual que con los sistemas TVR, los sistemas de compresores MVR no son recomendables para productos con elevaciones de alto punto de ebullición o productos con altas viscosidades.

RESIDUO LÍQUIDO CERO (ZLD)

La última aplicación de la tecnología de evaporación es para los sistemas de residuo líquido cero, que combinan sistemas de evaporación con precipitación o cristalización de sólidos, para lograr una salida neta de líquido cero de un proceso. La sección del evaporador concentra el producto tanto como sea posible, hasta el punto de saturación, antes de enviarlo a la sección de cristalización, donde los sólidos se suspenden y se separan de la solución saturada. Esta solución saturada (sobrenadante) se recicla de nuevo en el evaporador y el proceso se repite o continúa.

Para productos con una curva de solubilidad pronunciada (alta concentración a alta temperatura y baja, a baja temperatura), el enfriamiento adicional al tanque de precipitación del sólido ayudará a que los sólidos precipiten más rápido y se asienten. Los sistemas ZLD son procesos complejos diseñados específicamente para cada aplicación. En la mayoría de los casos, se requieren pruebas de productos para establecer los parámetros de proceso correctos.

HRS Heat Exchanger se encuentra en una posición única para ofrecer procesos de evaporación muy eficientes: ofrecemos soluciones para aplicaciones de alta viscosidad o alto ensuciamiento, gracias a nuestros evaporadores de superficie rascada. Los evaporadores de tubo corrugado ofrecen soluciones de alta transferencia térmica para fluidos de viscosidad baja a media. Los evaporadores de placas y película descendente se pueden aplicar para fluidos de baja viscosidad, más fáciles de concentrar.

Nuestras soluciones de evaporadores pueden incorporar todos o algunos de los métodos de optimización de energía explicados anteriormente, en combinación con uno o más de nuestros tipos de evaporadores dentro del mismo sistema. HRS cuenta con una amplia experiencia en la entrega de soluciones de evaporación en múltiples industrias en todo el mundo, y cada proyecto está específicamente diseñado para ofrecer la mejor solución para cada aplicación individual. Para discutir la mejor solución de evaporación para su aplicación particular, póngase en contacto con nosotros.