



DEL RESIDUO AL RECURSO: EVAPORACIÓN DE EFLUENTES FARMACÉUTICOS Y COSMÉTICOS

Los laboratorios Nivel de Contención Biológica (NCB₃ y NCB₄) son infraestructuras complejas y delicadas ya que en su interior se llevan a cabo investigaciones de patógenos extremadamente peligrosos. Es por este motivo, que todos los participantes involucrados en un proyecto de este tipo deben coordinarse perfectamente para llevar a cabo un diseño funcional y seguro.

VEOLIA WATER TECHNOLOGIES IBÉRICA - EVALED™,

La evaporación es una tecnología muy antigua empleada para el tratamiento de aguas residuales pero muchas veces ha sido descartada por los costes de operación. Sin embargo, las cosas están cambiando. El incremento de la presión medioambiental (mayor precio de captación y vertido del agua), la presión de la administración para evitar verter a cauce público aguas de difícil tratamiento, junto con los avances tecnológicos realizados en los últimos años para reducir los costes de operación de la tecnología de evaporación, están posicionando a esta solución como una alternativa cada vez más atractiva.

La externalización de la gestión de residuos líquidos por empresas especializadas implica la incineración o un tratamiento químico complejo, lo que está asociado con un coste elevado. La evaporación es una alternativa más rentable y respetuosa con el medio ambiente que reduce el volumen de los efluentes hasta en un 90%, lo que supone un importante ahorro de costes de operación, pudiendo llegar a ser de hasta un 80%. Además, la evaporación nos permite recuperar el destilado para su reutilización, con el consiguiente ahorro en la factura del agua y en algunos casos, la recuperación de materias primas como puede ser API, desinfectantes, proteínas o glicoles.



Evaporadores al vacío con bomba de calor y circulación forzada.

De forma resumida, la evaporación del agua consiste en convertir el agua en vapor mediante el uso de calor para superar el calor latente de la evaporación. A continuación, el vapor se condensa y se producen dos corrientes: por un lado, el destilado, que es de alta calidad y apto para su reutilización y por otro lado el concentrado, que puede llegar a suponer una décima parte del volumen original tratado. Por lo tanto, la factura del coste de gestión externa se puede llegar a reducir

Tabla 1.

Parámetro	Agua residual	Destilado	Concentrado
Caudal (t/d)	50	49,4	0,6
DQO (mg/l)	2.500 - 5.000	<400	>200.000
Conductividad (μS/cm)	1.100	<5	90.000
NTK (mg/l)	200	<30	-
TDS (mg/l)	<4.000	<2	>90.000
NMP (mg/l)	1.000- 3.000	50	>80.000 (>8%)

hasta un 90%. Para calcular el OPEX del equipo, habría que sumar los costes eléctricos, de mantenimiento y limpieza del evaporador. Como se ha indicado anteriormente, el cómputo global puede llegar a suponer un ahorro que puede llegar a ser de hasta un 80% de los costes de operación.

Para que este proceso de evaporación funcione, el agua debe alcanzar su punto de ebullición, es decir 100°C a presión atmosférica. Esta temperatura puede descomponer muchos ingredientes farmacéuticos y cosméticos. Los evaporadores de bomba de calor de última generación funcionan al vacío, lo que significa que el punto de ebullición está en torno a 30-40°C, lo que posibilita la recuperación en el concentrado de materias primas sensibles al calor. Estos evaporadores utilizan un circuito refrigerante accionado por compresor para extraer el calor latente del vapor de agua, que lo condensa, y luego lo transfiere al líquido para evaporarlo. Esta es una forma altamente eficiente de recuperar el calor latente y significa que se requiere muy poco calor adicional para el proceso. Cualquier calor adicional que se requiera puede ser proporcionado por un calentador eléctrico interno o un suministro externo de agua caliente. El resultado es un proceso que utiliza unos 0,15-0,18 kWh por litro de destilado.

Además de los evaporadores de bomba de calor, podemos encontrar evaporadores con aporte de agua caliente/fría y evaporadores de recompresión mecánica del vapor:

- **Evaporación mediante agua caliente/fría:** estos evaporadores necesitan un aporte de agua caliente/fría en circulación forzada e intercambiador de calor de haz de tubos externo a la cámara de ebullición. El calor necesario para la ebullición del agua a tratar proviene del agua caliente que circula por el intercambiador de calor, mientras que la condensación de vapor se consigue gracias al agua fría que circula por el intercambiador de calor que se encuentra encima de la cámara de ebullición. Estos evaporadores están diseñados para trabajar a baja temperatura para el tratamiento de efluentes con alto contenido en sólidos disueltos, con mínima producción de incrustaciones y ensuciamiento.
- **Evaporación al vacío por compresión mecánica del vapor:** trata de recuperar el calor latente de condensación del destilado como fuente de calentamiento del líquido a evaporar.

La temperatura del vapor generado en la evaporación, se incrementa mediante compresión del propio vapor. De esta manera el vapor sobrecalentado puede ser reciclado por medio de un intercambiador del propio evaporador consiguiendo así un doble objetivo: por un lado, ahorro de energía para la evaporación y, además, se evita utilizar el medio refrigerante para la condensación (torres de refrigeración, etc.). La evaporación mediante compresión mecánica del vapor es el sistema de evaporación mediante corriente eléctrica de mayor eficacia energética.

Un caso estudio en la Industria Farmacéutica

Una destacada empresa italiana especializada en la fabricación de membranas de polisulfona, filtros para diálisis, hemofiltros, líneas de sangre para diálisis, líneas de infusión y filtros de agua destinados a la purificación microbiológica, emplea N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP), un solvente orgánico de la clase de las lactamas. Dado que este compuesto es considerado potencialmente peligroso con posibles efectos negativos para la salud humana, la compañía buscó una solución tecnológica avanzada que permita tratar las aguas de vertido y recuperar el NMP. Inicialmente, se exploró la aplicación de un proceso de membrana para este propósito, sin embargo, este método resultó ser ineficiente en la recuperación del NMP.

La tecnología utilizada para este caso estudio fue un doble paso de evaporación para el tratamiento de 50 t/d. El concentrado del primer equipo -que se trataba de un evaporador de recompresión mecánica del vapor y circulación forzada- se trataba nuevamente con un evaporador de agua caliente/fría y circulación forzada, dando como resultado un concentrado final de 0,6 t/d. El destilado obtenido fue de 49,4 t/d que se reutilizaba en el proceso de concentrado, mientras que el concentrado.

Como conclusión, la compañía consiguió reducir los costes externos de disposición en un 98% y la oportunidad de reutilizar el concentrado en el proceso de fabricación para la recuperación de NMP. El retorno de la inversión fue de tan solo 5 meses (reutilización de la concentración).

El rendimiento de la planta se resume en la tabla 1.

Tabla 2.

Parámetro	Agua residual	Destilado	Concentrado
Caudal (t/d)	30	32,5	3,5
DQO (mg/l)	>50.000	<3000	>200.000
Conductividad (μS/cm)	2.900	<100	-
Sólidos totales a 105° C (%)	2,0 - 2,5	-	25-30
Sílice (mg/l)	70	<5	>1.000
Surfactantes (mg/l)	>30.000	<10	

Un caso estudio en la Industria Cosmética

Para entender mejor la diferencia entre dos formas de evaporación, pondremos el caso real de una multinacional italiana del sector cosmético, fabricante de productos para el cuidado del cabello. La fábrica, que trabaja 24 horas al día durante seis días a la semana, produce 36 t/d de aguas residuales, con una DQO superior a 50.000 mg/l.

Originariamente, esta industria trataba las aguas residuales con un biorreactor de membrana (MBR) que producía un efluente de alta calidad. A continuación, este efluente se enviaba a una planta de ósmosis inversa para su recuperación. La cantidad de lodos producida por el MBR era de 0,5 t/d aproximadamente.

Los objetivos globales de sostenibilidad de la empresa establecieron la necesidad de reducir el consumo de agua y materias primas, lo que llevó a esta compañía a buscar una solución que permitiera, además, reducir la producción de lodos.

Inicialmente, instalaron un pequeño evaporador de bomba de calor para concentrar las aguas residuales de alta densidad. Esto fue tan exitoso que decidieron ver qué otra tecnología de evaporación podría implementarse.

Después de una auditoría in-situ y la caracterización de las aguas residuales, los ingenieros de Veolia Water Technologies desarrollaron un esquema que utiliza dos etapas de evaporación. La primera etapa utiliza un evaporador de recompresión mecánica del vapor para tratar 30 t/d de aguas residuales diluidas, que producen 24 t/d de destilado y 6 t/d de concentrado. Este concentrado se mezcla con otras 6 t/d de residuos del proceso y se envía a un segundo evaporador con rasqueta que utiliza agua fría y caliente del ciclo combinado de la planta. Este segundo evaporador produce un 8,5 t/d adicionales de destilado y reduce el concentrado a tan sólo 3,5 t/d, que se envía a gestión externa para la incineración. El rendimiento de la planta se resume en la tabla 2.

Ambos evaporadores están contruidos en acero inoxidable superdúplex (austenítico-ferrítico) SAF 2507 y cada uno tiene una huella de implantación de 14,5 m².

Las 34,5 t/d de destilado que se obtienen de los dos evaporadores se tratan en el biorreactor de membrana (MBR),



Evaporadores al vacío con agua caliente/fría y rasqueta.

reduciendo la producción de lodos de 500 kg/d a menos de 20 kg/día y, además, se obtiene un efluente final de mayor calidad como resultado de una menor carga de DQO en cabecera de la EDAR.

Los evaporadores aumentaron ligeramente el consumo de energía, pero este coste se compensó con la recuperación de un 96% (aproximadamente) de las aguas residuales para su reutilización y la reducción de los costes de gestión externa. En términos generales, la reducción de los costes totales de tratamiento fue de un 75%, lo que permitió un retorno de la inversión en menos de un año.

Conclusiones

La evaporación es una tecnología que tiene beneficios tanto medioambientales como económicos, ya que permite reducir tanto los costes de gestión externa como la huella hídrica gracias a la reutilización del agua y la recuperación de productos valiosos, lo que convierte a esta tecnología como una solución rentable incluso para pequeñas instalaciones de la industria cosmética y farmacéutica.

Los evaporadores EVALED™ de Veolia Water Technologies son el resultado de más de 4 décadas de experiencia en evaporación y cuentan con más de 3000 instalaciones en el mundo. EVALED™ está compuesta por tres gamas de equipos de evaporación: EVALED™ PC: Evaporadores al vacío por bomba de calor; EVALED™ AC: Evaporadores al vacío mediante agua caliente/fría; y EVALED™ RV: Evaporadores de recompresión mecánica del vapor.



EVALED™

Tratamiento de efluentes farmacéuticos, biotecnológicos y cosméticos por evaporación

Reducción del
volumen de aguas
residuales

Reducción de
los costes de
disposición

Reutilización de
agua - ZLD