

Aspectos medioambientales de los sistemas de refrigeración utilizados

Los aspectos medioambientales de los sistemas de refrigeración varían según su configuración, pero lo más importante es aumentar la eficiencia energética total y la reducción de las emisiones al medio acuático. Los niveles de emisión y consumo son muy específicos de la instalación y, cuando es posible cuantificarlos, presentan grandes variaciones. De acuerdo con la filosofía del enfoque integrado basado en las MTD, hay que tener en cuenta los efectos cruzados en la evaluación de cada aspecto medioambiental y de las medidas de reducción conexas.

• Consumo de energía

El consumo específico de energía, directo o indirecto, es un aspecto medioambiental importante para todos los sistemas de refrigeración. El consumo indirecto de energía es el que corresponde al proceso que se ha de refrigerar. Este consumo puede aumentar si el rendimiento del sistema de refrigeración no es óptimo debido a su configuración, lo cual puede dar lugar a un aumento de la temperatura del proceso (ΔK), que se expresa en $kWe/MWth/K$.

El consumo directo de energía se expresa en $kWe/MWth$ y hace referencia a la cantidad de energía que consumen todos los equipos (bombas, ventiladores) del sistema de refrigeración por cada $MWth$ que se disipa.

Medidas para reducir el consumo indirecto de energía son:

- seleccionar la configuración que tenga menor consumo indirecto (en general, sistemas sin recirculación),
- aplicar un diseño con pequeñas aproximaciones, y
- reducir la resistencia al intercambio calorífico mediante un correcto mantenimiento del sistema de refrigeración.

Por ejemplo, si se trata de una industria eléctrica, al pasar a un sistema con recirculación se produce un aumento del consumo de energía de los equipos auxiliares, así como una merma de eficiencia en el ciclo térmico.

Para reducir el consumo directo, existen bombas y ventiladores más eficientes. Se puede reducir la resistencia y las caídas de presión en el proceso modificando el diseño del sistema de refrigeración o instalando eliminadores de deriva de baja resistencia y membranas termotécnicas especiales en las torres. La correcta limpieza química o mecánica de las superficies es esencial para mantener baja la resistencia del proceso en funcionamiento.

• Agua

El agua es importante en los sistemas de proceso húmedo como principal refrigerante, pero también como medio receptor de los vertidos que se generan. Cuando se realizan

grandes tomas de agua, los peces y otros organismos acuáticos son arrastrados y golpeados. El vertido de grandes cantidades de agua caliente también puede afectar al medio acuático, pero este impacto puede controlarse colocando las tuberías de toma y desagüe en puntos adecuados y evaluando los flujos mareales y estuarinos para comprobar la adecuada mezcla y dispersión advectiva de las aguas vertidas.

El consumo de agua oscila entre $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MWth}$ para una torre abierta de proceso híbrido y hasta $86 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MWth}$ para un sistema abierto sin recirculación. Para reducir las grandes tomas de agua que necesitan los sistemas sin recirculación, es necesario cambiar a sistemas recirculantes. De este modo, se reducen también los vertidos de grandes cantidades de agua caliente y las emisiones de productos químicos y residuos. El consumo de agua de los sistemas recirculantes puede reducirse aumentando el número de ciclos, mejorando el proceso de reposición de agua u optimizando el aprovechamiento de las fuentes de aguas residuales disponibles tanto dentro como fuera de la instalación. Ambas opciones requieren un complejo programa de tratamiento de las aguas procedentes de la refrigeración. El proceso híbrido permite utilizar la vía seca durante algunos períodos del año (en los que la temperatura del aire es más baja o la demanda de refrigeración menor) para reducir el consumo de agua, en particular en las pequeñas unidades de tipo celular.

Para evitar el arrastre y los golpes que sufren los organismos acuáticos se toman medidas relacionadas con el diseño y la ubicación de la tubería de toma y se recurre a diversos dispositivos (pantallas, barreras, luz, sonido), cuyo efecto depende de las especies presentes. Los costes de estas medidas son elevados y se aplican preferiblemente en plantas de nueva construcción. Si es posible reutilizar más calor para necesitar menos capacidad de refrigeración, pueden reducirse los vertidos de aguas residuales calientes a la masa de agua receptora.

• Emisiones de calor a las aguas superficiales

Como ya se ha dicho, las emisiones de calor pueden causar un impacto ambiental en las aguas receptoras. Factores de influencia son, por ejemplo, la capacidad de refrigeración de dichas aguas y su temperatura y situación ecológica. Los vertidos de aguas que se han calentado tras ser utilizadas como medio refrigerante pueden hacer que se sobrepasen los niveles de calidad medioambiental correspondientes a las temperaturas que se registran durante el período estival. La Directiva 78/659/CEE refleja los requisitos térmicos aplicables a dos sistemas ecológicos (aguas de salmónidos y aguas de ciprínidos). Con respecto al impacto ambiental que producen las emisiones de calor, no sólo importa la temperatura propia de las aguas receptoras, sino también el aumento de temperatura que se registra en los límites de la zona de mezcla como consecuencia de los vertidos calientes. El alcance del impacto ambiental depende tanto de la cantidad como del nivel del calor emitido en relación con las dimensiones de la masa de agua

receptora. Si los vertidos se realizan en masas de agua relativamente pequeñas y el penacho de agua caliente alcanza la margen opuesta del río o canal, pueden crear barreras a la migración de los salmónidos.

Además de estos efectos, las elevadas temperaturas que producen las emisiones de calor pueden provocar un aumento de la respiración y de la producción biológica (eutrofización), reduciendo la concentración de oxígeno en el agua.

A la hora de diseñar un sistema de refrigeración, deben tenerse en cuenta todos estos aspectos y las posibilidades de reducir el calor que se disipa en las aguas superficiales

• **Emisiones de sustancias a las aguas superficiales**

Las sustancias que emiten los sistemas de refrigeración a las aguas superficiales pueden ser

- aditivos que se añaden al agua refrigerante y sus componentes reactantes,
- sustancias que son transportadas por el aire a una torre de refrigeración, - productos de la corrosión de los equipos que integran los sistemas de refrigeración, y
- fugas de productos químicos de proceso y los productos de su reacción.

+Para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de refrigeración puede ser necesario tratar el agua refrigerante para evitar la corrosión, la oxidación y las micro/macroincrustaciones en los equipos. El tratamiento será diferente según se trate de sistemas con o sin recirculación. En estos últimos, pueden ser tratamientos bastante complejos, que utilicen muy diversos productos químicos. En consecuencia, las emisiones que generan las purgas de estos sistemas también son muy variables y es difícil establecer niveles representativos. A veces se aplica un tratamiento a las aguas purgadas antes de realizar la descarga.

Las emisiones de biocidas oxidantes en los sistemas abiertos sin recirculación –medidas como oxidantes libres en la salida– oscilan entre 0,1 [mg FO/l] y 0,5 [mg FO/l], en función de las pautas y frecuencias de dosificación.

Una forma de reducir las fugas y la corrosión puede ser seleccionar e instalar equipos de refrigeración hechos de materiales adecuados para el entorno en el que han de funcionar. Este entorno se define por:

- las condiciones del proceso, como la temperatura, la presión o el caudal,
- los medios refrigerados, y
- las características químicas del agua refrigerante.

Los materiales más utilizados para fabricar intercambiadores, conductos, bombas y carcasas son el acero al carbono, la niquelina y varias clases de acero inoxidable, pero cada vez se utiliza más el titanio (Ti). También se aplican revestimientos y pinturas para proteger la superficie.

• **Uso de biocidas**

Los sistemas abiertos sin recirculación se tratan principalmente con biocidas oxidantes para evitar las macroincrustaciones. La cantidad aplicada puede expresarse en equivalentes del cloro por MWth en relación con el alcance de las incrustaciones en el intercambiador o en sus proximidades. Utilizar halógenos es perjudicial para el medio ambiente porque se forman subproductos halogenados.

En los sistemas abiertos con recirculación, el agua se somete a un pretratamiento contra la oxidación, la corrosión y la microincrustación. Debido a que los sistemas recirculantes trabajan con volúmenes de agua relativamente menores, es posible aplicar con éxito tratamientos alternativos como el ozono o la luz ultravioleta, aunque requieren condiciones de proceso específicas y pueden ser bastante caros.

Las medidas de servicio que reducen los efectos nocivos del vertido de aguas residuales son el cierre del grifo de purga durante el tratamiento de choque y el tratamiento de las aguas purgadas antes de realizar el vertido a las aguas superficiales receptoras. Si se tratan las aguas purgadas en una depuradora, debe controlarse la actividad biocida remanente, ya que puede afectar a la población microbiana.

Para reducir las sustancias presentes en los vertidos y su impacto sobre el medio

Tabla 3: Componentes químicos de los tratamientos aplicados al agua utilizada en sistemas de refrigeración abiertos y recirculantes.

Ejemplos de tratamiento químico *	Problemas de calidad del agua					
	Corrosión		Oxidación		Bioincrustaciones	
	Sistemas sin recirculación	Sistemas recirculantes	Sistemas sin recirculación	Sistemas recirculantes	Sistemas sin recirculación	Sistemas recirculantes
Zinc		X				
Molibdatos		X				
Silicatos		X				
Fosfonatos		X		X		
Polifosfonatos		X		X		
Esteres poliólicos				X		
Compuestos orgánicos naturales				X		
Polímeros	(X)		(X)	X		
Biocidas no oxidantes						X
Biocidas oxidantes					X	X

* el cromato ya no se usa tanto como antes, debido a su fuerte impacto ambiental.

acuático, se seleccionan biocidas que se ajusten a los requisitos de los sistemas de refrigeración, teniendo en cuenta la sensibilidad del medio receptor.

• Emisiones atmosféricas

El aire que emiten las torres de circuito seco no suele considerarse el aspecto más importante de la refrigeración. Puede ser contaminante si hay una fuga de producto, pero esto puede evitarse con un mantenimiento adecuado.

Las gotas que contienen las emisiones de las torres de proceso húmedo pueden contaminarse con los productos químicos utilizados en el tratamiento de las aguas, con microbios o con los productos de la corrosión. La instalación de eliminadores de deriva y la aplicación de un programa de tratamiento optimizado reducen los posibles riesgos.

La formación de penachos se tiene en cuenta cuando se produce el efecto distorsionador del horizonte o cuando existe riesgo de que el penacho alcance el nivel del suelo.

• Ruido

Las emisiones acústicas constituyen un problema local en las grandes torres de refrigeración de tiro natural y en todos los sistemas de refrigeración mecánica. Sin atenuación, los niveles de presión acústica oscilan entre 70 dB(A) en las torres de tiro natural y 120 dB(A) en las torres mecánicas. Estas variaciones se deben a la utilización de diferentes equipos y distintos puntos de medición (entrada o salida del aire). Las principales fuentes de emisión son los ventiladores, las bombas y la caída de agua.

• Aspectos de riesgo

Aspectos de riesgo de los sistemas de refrigeración son las fugas en los intercambiadores, el almacenamiento de productos químicos y la contaminación microbiológica (como la enfermedad del legionario) de los sistemas de refrigeración de proceso húmedo.

El mantenimiento preventivo y la vigilancia son medidas que se aplican para evitar las fugas y la contaminación microbiológica. Si las fugas pueden acarrear la emisión de grandes cantidades de sustancias nocivas para el medio acuático, se considera la posibilidad de utilizar sistemas de refrigeración directos o adoptar medidas preventivas especiales.

Para evitar brotes de *Legionellae pneumophila (Lp)*, se aconseja establecer un programa adecuado de tratamiento de las aguas. No ha sido posible determinar límites máximos de concentración de la Lp –medidos en unidades formadoras de colonias (UFC por litro)– que sirvan como indicadores fiables de riesgo. La forma más eficaz de evitar este problema es realizar un mantenimiento adecuado.

• Residuos de los sistemas de refrigeración

Son escasos los informes de que se dispone con respecto a los residuos. Han de considerarse como tales los lodos que

se generan en el pretratamiento del agua refrigerante o en los depósitos de las torres de refrigeración, que se tratan y se eliminan de distintas maneras en función de sus propiedades mecánicas y de su composición química. Los niveles de concentración varían según el programa de tratamiento de las aguas residuales.

Las emisiones al medio ambiente se reducen además mediante la aplicación de técnicas menos nocivas en la conservación de los equipos de refrigeración y mediante la selección de materiales que puedan reciclarse después de desmantelar o sustituir dichos equipos.