CAPÍTULO 4
TORRES DE REFRIGERACIÓN Y CONDENSADORES EVAPORATIVOS

1. INTRODUCCIÓN

Las torres de refrigeración son sistemas mecánicos destinados a enfriar masas de agua en procesos que requieren una disipación de calor.

El principio de enfriamiento de estos equipos se basa en la evaporación, el equipo produce una nube de gotas de agua bien por pulverización, bien por caída libre que se pone en contacto con una corriente de aire. La evaporación superficial de una pequeña parte del agua inducida por el contacto con el aire, da lugar al enfriamiento del resto del agua que cae en la balsa a una temperatura inferior a la de pulverización.

El uso más habitual de estos equipos esta asociado a los sistemas de refrigeración, tanto en aire acondicionado como en producción de frío (hostelería, alimentación, laboratorios, etc.), sin embargo, en el ámbito industrial estos equipos se usan para el enfriamiento de cualquier parte de un proceso que genere calor y deba ser disipado (por ejemplo, procesos de molienda que generan calor por fricción, enfriamiento de reacciones exotérmicas, disipación de calor residual en centrales de producción de energía eléctrica, etc.).

La figura 1 representa el esquema de una torre como parte de un sistema de refrigeración de un edificio y la figura 2 el esquema de una torre asociada a un proceso industrial genérico. Un gran número de torres se destinan a refrigeración de procesos industriales.

Los condensadores evaporativos son equipos, por estructura y función, muy similares a las torres de refrigeración pero la principal diferencia estriba en el uso y modo de funcionamiento. Los condensadores están destinados a la condensación de gases en general (butano, propano, butileno, pentano, CO_2, vapor de agua, etc.), así como a la condensación de gases refrigerantes en los sistemas de acondicionamiento de aire y frío industrial. El agua se pulveriza directamente sobre un sistema de conductos en cuyo interior circula un refrigerante inicialmente en estado gaseoso y que por el enfriamiento del agua pasa a estado líquido. El refrigerante circula por un circuito totalmente independiente sin contacto con el agua.

En la figura 1 que corresponde a una torre como parte de un sistema de refrigeración de un edificio se aprecian tres circuitos:

1. El primer circuito mueve el agua de condensación almacenada en la balsa de la torre hasta el intercambiador de calor (condensador) donde el gas refrigerante se condensa. En la condensación el refrigerante cede calor al agua que se transporta a su vez de vuelta a la torre donde se pulveriza y se pone en contacto con la corriente de aire ascendente para conseguir su refrigeración por evaporación parcial. Este es el único circuito realmente peligroso desde el punto de vista de transmisión de legionelosis, ya que es el único que puede emitir aerosoles al ambiente.

2. El segundo circuito, transporta el refrigerante, un compuesto químico que tiene la particularidad de ceder o absorber gran cantidad de calor cuando cambia de estado. Para facilitar el cambio de estado se somete al refrigerante a cambios de presión, mediante un compresor se aumenta la presión del refrigerante en estado gaseoso y éste comienza a condensar cediendo calor que se absorbe a través del contacto indirecto con el agua fría procedente de la balsa de la torre. La presión se libera mediante una válvula de expansión que produce el cambio de líquido a gas del refrigerante en el evaporador, así como su enfriamiento. En este punto el refrigerante se pone en contacto con un tercer circuito de agua.

3. El tercer circuito es el encargado de transportar el agua refrigerada en el evaporador hasta las baterías de frío de las denominadas unidades de tratamiento de aire (UTA). Las baterías permiten el contacto indirecto (a

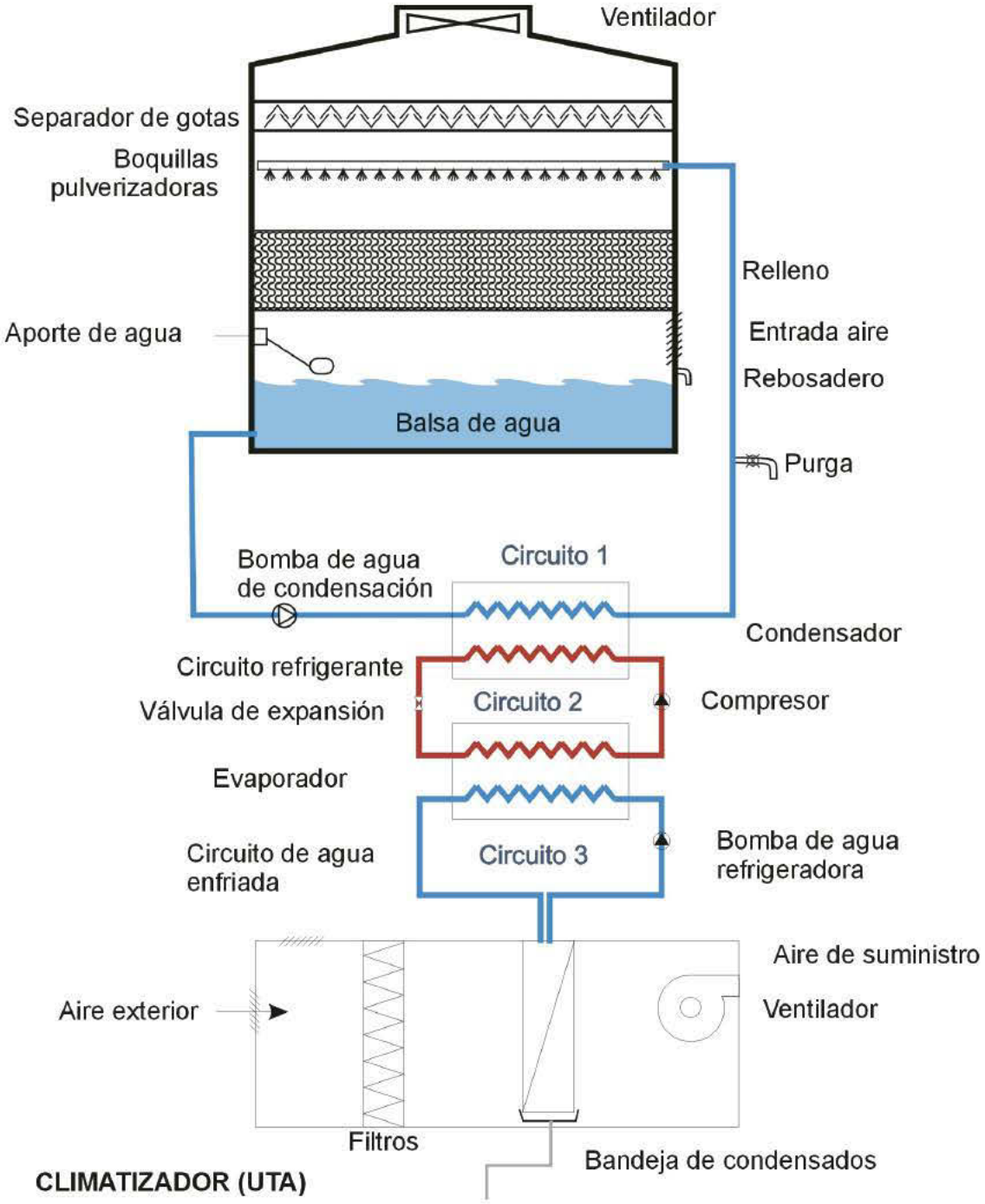


Figura 1. Esquema de una torre como parte de un sistema de refrigeración de un edificio

través de tubos y aletas similares a un radiador de vehículo) del agua refrigerada con el aire interior de las salas a climatizar, produciendo un continuo enfriamiento del aire.

En la figura 2 se aprecia un único circuito de agua que realiza constantemente un ciclo en el que se produce una pulverización para promover su evaporación parcial y por tanto disminuir su temperatura al caer a la balsa. El agua de la balsa refrigerada se envía al punto del proceso industrial que se desea refrigerar y se pone en contacto a través de un intercambiador de calor o sistema similar, normalmente no se produce mezcla del agua con los elementos a refrigerar sino que se realiza un contacto indirecto a través de tuberías, intercambiadores, camisas de refrigeración, baños, etc.

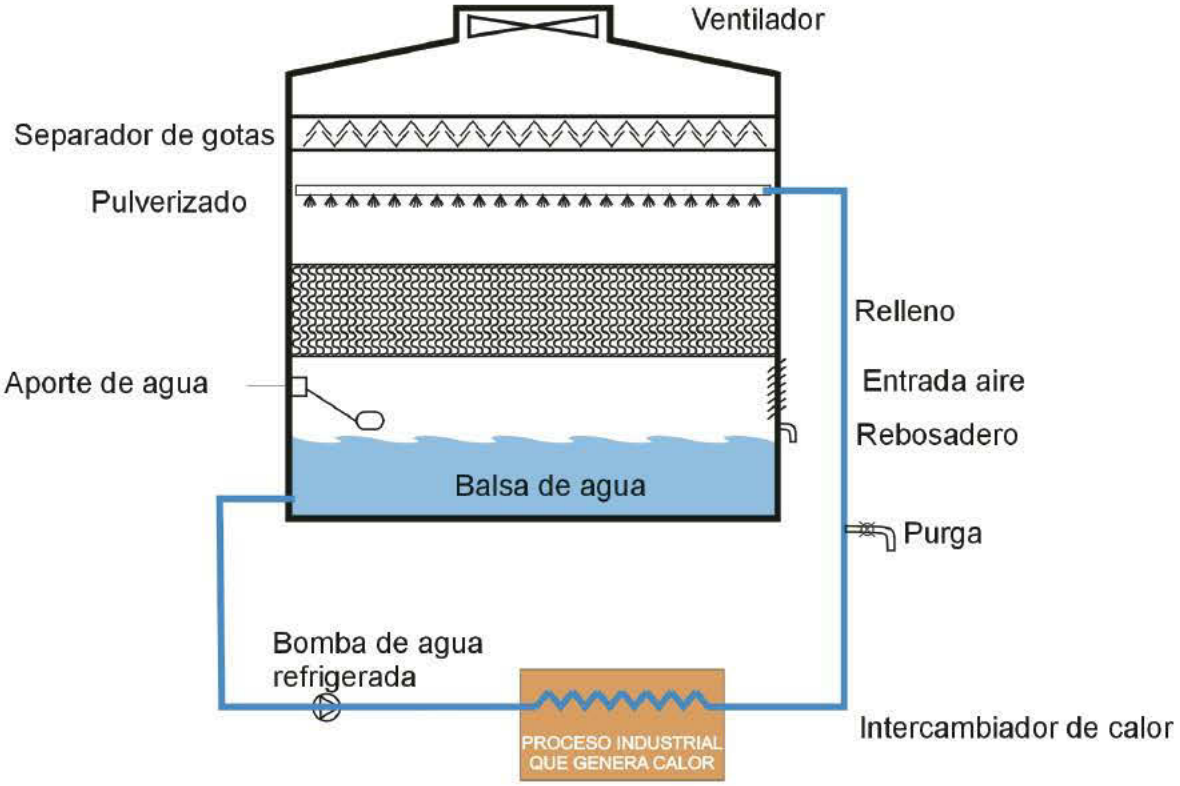


Figura 2. Esquema de una torre destinada a la refrigeración de un proceso industrial

2. EVOLUCIÓN TÉCNICA

Los sistemas de refrigeración por efecto de la evaporación de agua se han empleado con fines industriales y/o para el acondicionamiento del aire desde principios del siglo pasado. Los principios y técnicas no ha variado sustancialmente ya que la base del sistema es muy sencilla, sin embargo especialmente en los últimos años ha habido una evolución sustancial en cuanto a la calidad de los materiales y la accesibilidad de las instalaciones.

Actualmente los conocimientos técnicos han llevado a la eliminación del uso de rellenos de celulosa, madera o fibrocemento que anteriormente eran bastante comunes. La legislación vigente no permite la utilización de estos materiales porque favorecen el crecimiento microbiológico.

3. DESCRIPCIÓN

En este apartado se describen los tipos de torres por distintas categorías y la terminología específica de estas instalaciones.

3.1 Torres de refrigeración

Hay equipos de múltiples tamaños y estructuras según la potencia a disipar, el fabricante, los materiales, etc., sin embargo podríamos clasificar las torres de refrigeración en dos grandes categorías:

- Equipos de tiro natural
- Equipos con ventilación mecánica

3.1.1 Equipos de tiro natural

Hay varios tipos de equipos de tiro natural, entre ellos destacan:

3.1.1.1 Equipos basados en efecto chimenea

En los que el agua pulverizada genera un punto caliente en la parte baja de la torre e induce el movimiento ascendente del aire habitualmente en contracorriente (figura 3).

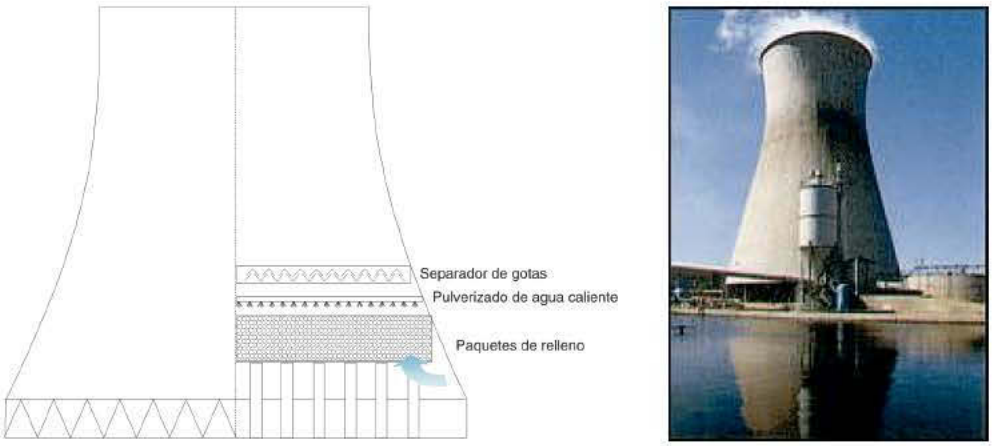


Figura 3. Equipos basados en efecto chimenea

Estos equipos se emplean casi exclusivamente en grandes industrias y en centrales de producción de energía eléctrica (térmicas, nucleares, etc.), en general, sistemas que necesitan mover y refrigerar grandes cantidades de agua.

Estas instalaciones habitualmente no disponen de separadores de gotas, debido a la elevada perdida de carga que provocan estos elementos que diminuyen excesivamente el flujo de aire. No obstante, dada su elevada altura y geometría, la emisión de aerosoles es muy limitada.

3.1.1.2 Los equipos de tiro natural por efecto venturi

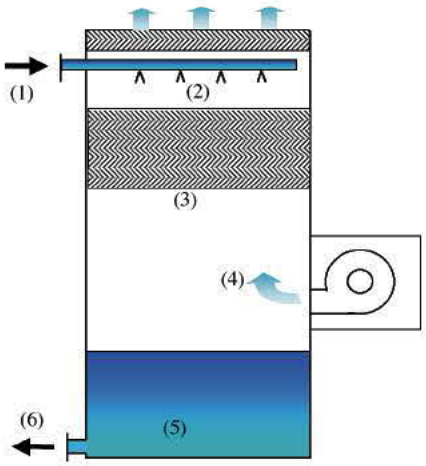
Son muy poco utilizados en España, pero sirven para disipación de cargas térmicas medias/bajas.

En cualquier caso las instalaciones de tiro natural se emplean en un pequeño porcentaje de las aplicaciones de torres de refrigeración en nuestro país.

3.1.2 Equipos con ventilación mecánica

3.1.2.1 Equipos de tiro forzado

Los equipos con ventilación mecánica denominados de tiro forzado, disponen de ventiladores (normalmente de tipo centrifugo salvo en las instalaciones industriales que ocasionalmente son axiales) ubicados en la parte baja de la torre que impulsan el aire al interior de la misma sobrepresurizando e impulsando por tanto su salida por la parte superior a través del relleno, el esquema general y una foto de un típico equipo de estas características se puede ver en la figura 4.

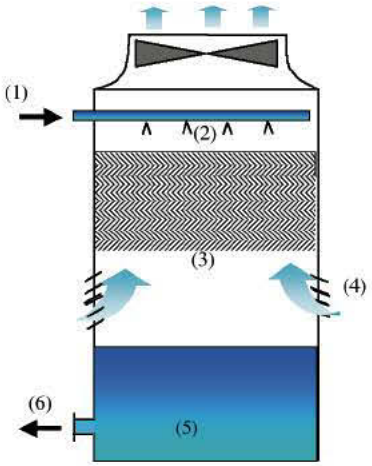


El agua de retorno procedente del punto de uso (1) es pulverizada por la parte superior de la torre (2) pasando a través del relleno (3), cuya misión es incrementar el tiempo de retención y por tanto el contacto con el aire ascendente (4) cuyo único punto de entrada es a través del ventilador. En el relleno se produce el enfriamiento, quedando el agua refrigerada en la balsa de la torre (5) que se impulsa (6) por medio de equipos de bombeo para reiniciar el ciclo de intercambio de calor en el punto de uso.

Figura 4. Torres de refrigeración de tiro forzado

3.1.2.2 Equipos de tiro inducido

Los equipos de tiro inducido a diferencia de los anteriores funcionan en depresión, es decir el ventilador, localizado en la parte superior de la torre, extrae aire del interior de la unidad que se renueva a través de aperturas localizadas en la parte baja de la misma, según se puede apreciar en la fotografía y el esquema mostrados en la figura 5.

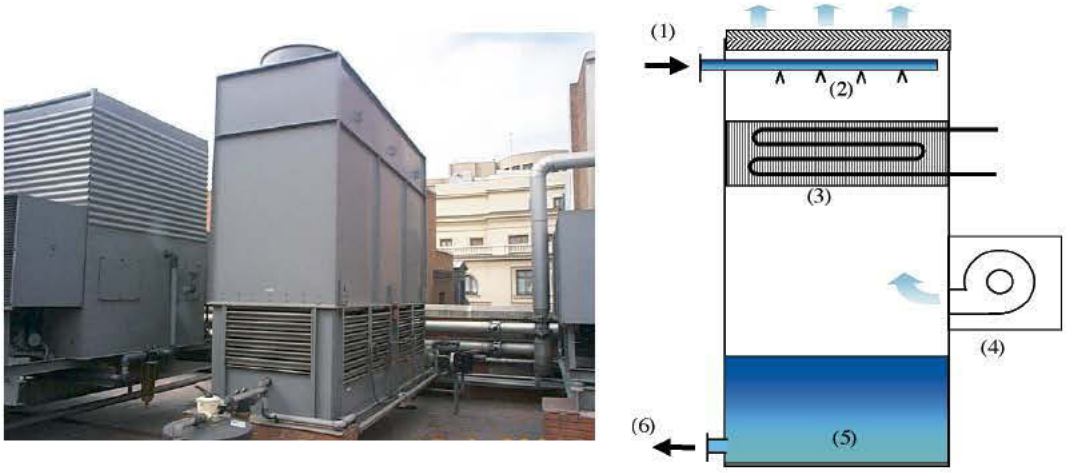


El agua de retorno procedente del punto de uso (1) es pulverizada por la parte superior de la torre (2) pasando a través del relleno (3), cuya misión es incrementar el tiempo de retención y por tanto el contacto con el aire ascendente (4) cuya zona de entrada es a través de las aperturas laterales. En el relleno se produce el enfriamiento, quedando el agua refrigerada en la balsa de la torre (5) que se impulsa (6) por medio de equipos de bombeo para reiniciar el ciclo de intercambio de calor en el punto de uso.

Figura 5. Torres de refrigeración de tipo inducido

3.2 Condensadores evaporativos/Torres a circuito cerrado

Los condensadores evaporativos y las torres a circuito cerrado son equipos en los que el relleno se sustituye por un serpentín que realiza la condensación directa del gas refrigerante en el caso de condensador evaporativo y actúa de intercambiador de calor en el caso de una torre a circuito cerrado, la figura 6 nos muestra un ejemplo de esquema junto a una fotografía exterior de un equipo.



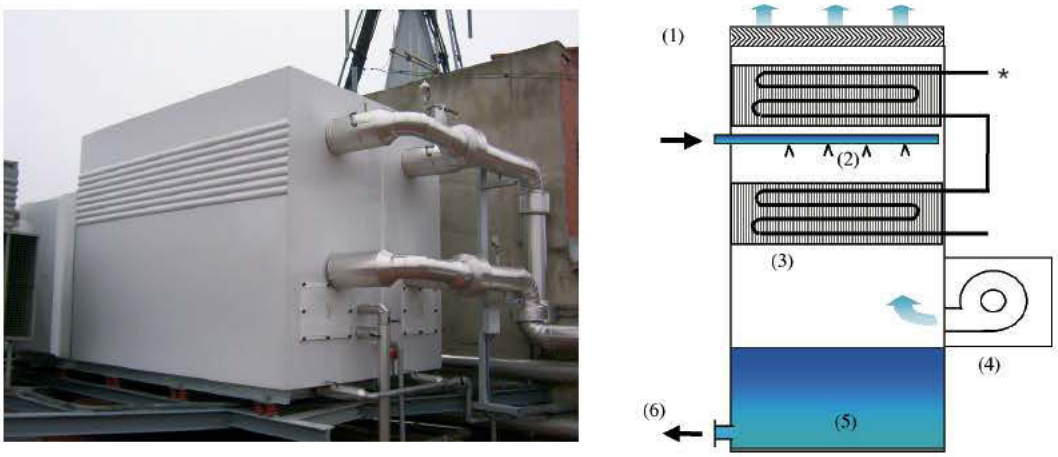
El agua (1) se pulveriza desde la parte superior del condensador/ torre a circuito cerrado (2) sobre el serpentín (condensador o intercambiador de calor) (3), en cuyo interior se condensa el refrigerante o se realiza el intercambio de calor. El aire se introduce sólo a través del ventilador (4). El agua de balsa de la torre (5) se impulsa (6) por medio de equipos de bombeo para reiniciar el ciclo (1).

Figura 6. Condensadores evaporativos

3.3 Equipos mixtos

Estos equipos disponen de un sistema de doble batería de condensación, se denominan mixtos porque pueden funcionar como condensadores por aire en las épocas frías y como condensadores evaporativos en épocas calidas. En la figura 7 se puede encontrar un esquema de este tipo de instalación, junto a una fotografía de un equipo.

Estos equipos disminuyen la visibilidad del penacho de emisión de gotas en época cálida y lo eliminan en modo condensación por aire. Su principal limitación es el alto coste de la inversión.



El agua (1) se pulveriza desde la parte superior de la torre (2) entre dos serpentines (intercambiador de calor) (3), en cuyo interior se condensa el refrigerante. El aire se introduce sólo a través del ventilador (4). El agua de balsa de la torre (5) se impulsa (6) por medio de equipos de bombeo para reiniciar el ciclo (1). El sistema puede operar sin pulverización de agua como sistema condensador por aire cuando las condiciones ambientales lo permiten.

Figura 7. Equipo de condensación mixto

La parte superior del condensador (*) puede ayudar a limitar la salida de gotas de agua contribuyendo a la eficacia del separador de gotas.

Cuando la temperatura del aire lo permite, se puede prescindir de la pulverización, disminuyendo por tanto el riesgo de dispersión de *Legionella*. En todos los casos el agua pulverizada y el aire fluyen a contracorriente en el relleno o en el serpentín.

Existen otros tipos de equipos como las torres hibridas o equipos de flujo paralelo que no se describen en la presente guía dado que son de uso muy reducido en España.

Es preciso tener en consideración que estos equipos pueden estar largos periodos de tiempo con el agua estancada, si ese periodo supera el mes, de acuerdo al Real Decreto 865/2003 deben desinfectarse antes de su puesta en marcha, por tanto debería desactivarse el funcionamiento automático. Como solución práctica se puede instalar un sistema que active las bombas de recirculación de agua al menos durante 30 minutos al día dosificando desinfectante, independientemente de los requerimientos térmicos.

3.4 Usos especiales de torres de refrigeración

Algunas torres de refrigeración tienen usos especiales, que les confieren características que deben de ser tenidas en cuenta aisladamente, por tanto algunas de las recomendaciones que aparecen es esta guía no les son de aplicación.

Entre estos usos se pueden destacar los siguientes:

a) Torres que utilizan agua de mar

La evidencia científica actual indica que es altamente improbable el crecimiento de bacterias del tipo *Legionella* en el agua de mar, por tanto, las torres que utilizan exclusivamente agua de mar en su funcionamiento quedarían excluidas del ámbito de aplicación del Real Decreto. No obstante se recomienda realizar revisiones para comprobar su funcionamiento y estado higiénico-sanitario con la misma periodicidad establecida para el resto de las torres.

b) Torres que refrigeran aguas residuales en depuradoras

En algunos sistemas de depuración de aguas residuales se usan torres para disminuir la temperatura del agua, antes de proceder a su vertido para cumplir la legislación vigente. Estas suelen ser torres de circuito único, sin recirculación, en las que se airea el agua

Estas aguas suelen tener concentraciones elevadas de microorganismos que pueden dificultar el crecimiento de *Legionella* (tanto aerobios como anaerobios) y los parámetros físico-químicos se suelen mantener fuera de los rangos normales por su origen. Por tanto, en este tipo de torres no se deben considerar los análisis de parámetros físico-químicos y de aerobios totales en los controles habituales. Será suficiente garantizar niveles de *Legionella*, de acuerdo a los requisitos de esta guía.

3.5 Clasificación en función de la forma en que el aire atraviesa el relleno

- **Flujo en contracorriente:** El aire atraviesa de abajo a arriba el relleno de la torre.
- **Flujo cruzado:** El aire atraviesa de forma lateral el relleno de la torre.

A continuación se muestran los esquemas de los diferentes tipos de torres según la forma de los flujos de aire y agua (figura 8).

Figura 8. Tipos de torres

3.6 Terminología específica

En este apartado se presenta un listado de términos asociados a las torres de refrigeración y condensadores evaporativos, sus características, mantenimiento y tratamiento:

- ***Balsa***

  Recipiente (bandeja) ubicado en la parte inferior del equipo enfriador que recoge el agua una vez terminado su recorrido a través del proceso de refrigeración.

- ***Intercambiador de calor***

  Elemento de la instalación destinado a permitir la transferencia de calor entre dos fluidos sin que se produzca mezcla entre ellos.

- ***Pérdidas por evaporación***

  Caudal de agua evaporada en el proceso de enfriamiento.

- ***Pérdidas por arrastre***

  Cantidad de partículas líquidas arrastradas por la corriente de aire después de haber atravesado el separador de gotas.

- ***Relleno***

  Materiales que se insertan en la parte media de la torre con el fin de servir de soporte al agua pulverizada para incrementar el tiempo y la superficie de contacto con el aire ascendente.

- ***Tiempo de circuito***

  Es el tiempo que tarda en dar el agua una vuelta completa al circuito.

- ***Tiempo de residencia***

  Es el tiempo máximo que se mantiene en el circuito cualquier producto químico añadido al sistema.

4. CRITERIOS TÉCNICOS Y PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN

Este apartado incluye descripciones de las características técnicas óptimas de una instalación, así como de los protocolos, condiciones de operación, etc., siguiendo las diferentes fases del ciclo de vida útil de la misma.

4.1 Fase de diseño

En la fase de diseño de instalaciones, se procederá a seleccionar los equipos a instalar en función del dimensionamiento, determinado por los cálculos de cargas térmicas, en este punto se tienen en consideración criterios tanto de tipo técnico como económico.

Los puntos que se tendrán en consideración en este apartado serán los siguientes:

- Selección del tipo de condensación/refrigeración
- Localización del equipo
- Características técnicas de la torre: criterios de selección
  - — Materiales
  - — Facilidad de desmontaje para la limpieza completa
  - — Facilidad de desaguado de la torre
  - — Calidad del separador de gotas
- Sistemas de desinfección y control de la calidad del agua

4.1.1 Selección del tipo de condensación/refrigeración

La primera cuestion, evidentemente, es realizar un estudio para asegurar que el empleo de torres de refrigeración y/o condensadores evaporativos es, en efecto, la solución técnico-económica más adecuada, y debe tenerse

en consideración que las reglamentaciones actuales exigen un mantenimiento y control adecuado para los componentes de estas instalaciones.

En principio, como alternativa se puede considerar la condensación por aire, no obstante, la condensación por aire no siempre será más ventajosa, todos ellos, presentan ventajas e inconvenientes que se reflejan en la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Ventajas y desventajas de diferentes sistemas de refrigeración

<table>
<tr><th>CONDENSACION POR AIRE</th><th colspan="2">TORRES DE REFRIGERACION</th><th>CONDENSADORES EVAPORATIVOS/TORRES A CIRCUITO CERRADO</th><th></th></tr>
<tr><td>No presenta riesgo de dispersión de Legionella pneumophila.</td><td colspan="2" rowspan="2">Permite gran flexibilidad al poder distanciar tanto como se precise las etapas de condensación y evaporación.</td><td>Presentan menor riesgo de emisión de gotas que las torres de refrigeración, especialmente en los de tipo mixto.</td><td rowspan="6">VENTAJAS</td></tr>
<tr><td rowspan="2">No tiene consumo de agua.</td><td>El riesgo de dispersión de Legionella se concentra exclusivamente en el circuito de balsa y pulverizado.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Para cargas térmicas de hasta 1.000 kW se pueden usar sistemas autónomos condensados por aire, manteniendo las perdidas energéticas dentro de niveles aceptables.</td><td colspan="2" rowspan="3">La inversión inicial suele ser más económica que otras opciones.</td><td>Al disminuir el tamaño del circuito de agua el condensador puede presentar menores problemas de corrosión que el intercambiador en las torres de refrigeración.</td></tr>
<tr><td>Consumen menos agua que las torres de refrigeración, ya que tienen un rendimiento de intercambio térmico superior.</td></tr>
<tr><td colspan="3">El funcionamiento no depende significativamente de las condiciones atmosféricas exteriores y por ello es mucho más fiable.
Son equipos más eficaces que los basados en condensación por aire, el consumo energético global del sistema disminuye.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Para disipar cargas térmicas elevadas, necesitan mucho espacio y son equipos ruidosos, lo cual debe considerarse en entornos urbanos con limitaciones de espacio y vecinos cercanos.</td><td rowspan="3" colspan="2">Requiere tuberías de agua que si no se tratan adecuadamente pueden suponer un reservorio para la bacteria.</td><td>La inversión inicial es elevada.</td><td rowspan="5">DESVENTAJAS</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A igualdad de cargas térmicas requieren un mayor tamaño de equipamiento.</td></tr>
<tr><td>La eficiencia en la condensación depende de las condiciones climáticas exteriores.</td></tr>
<tr><td>Elevado consumo eléctrico.</td><td colspan="3">Requiere un mantenimiento higiénico y un control exhaustivo que precisa mayores recursos económicos y humanos.</td></tr>
<tr><td>Las distancias de separación entre las etapas de condensación y evaporación son limitadas.</td><td colspan="3">Existe riesgo de transmisión de Legionella al entorno cercano al utilizar agua en su funcionamiento.</td></tr>
</table>

Estas son consideraciones generales que deben particularizarse para las circunstancias de cada caso concreto, pero constituyen una guía que puede ayudar a la selección del equipo mas adecuado.

4.1.2 Localización del equipo

Las torres de refrigeración han sido frecuentemente asociadas a la aparición de brotes comunitarios de legionelosis. La elevada producción de aerosoles, que pueden ser inhalados por los transeúntes, hace que su localización sea uno de los principales factores a tener en consideración a la hora de diseñar y montar una instalación.

Ya en la fase de diseño se debe realizar un pequeño estudio sobre la localización más adecuada, teniendo en cuenta que debe evitarse la proximidad a cualquier punto de riesgo como pueden ser tomas de aire exterior, ventanas practicables, zonas de paso de personas, etc. También debe prestarse especial cuidado al tipo de usos de los inmuebles del entorno cercano, presencia de hospitales o clínicas, centros geriátricos, colegios, etc.

La Norma UNE EN 100030 en su anexo A, incluye a título informativo un extracto de la norma ASHRAE 62-1989R, en la que se ofrece un método teórico de cálculo de la distancia de seguridad, que tiene en cuenta, entre otros factores, el caudal de expulsión de agua de la torre, la velocidad de descarga del efluente y el sentido de los vientos predominantes en la zona.

En general la mejor ubicación para la mayoría de las instalaciones en los edificios, con algunas excepciones, es la cubierta, ya que se encuentra alejada de zonas de paso de personas. Sin embargo, es preciso tener cuidado ya que ésta es también la mejor localización para las tomas de aire exterior del edificio. Por tanto, se ubicarán ambos elementos lo más alejados posible.

4.1.3 Criterios de selección

Tradicionalmente el criterio fundamental de selección era la carga térmica a disipar, actualmente con los conocimientos sobre las torres y condensadores evaporativos entendemos que se deben incluir algunos nuevos criterios, entre los que cabe destacar los siguientes:

a) Materiales

Los requisitos que debemos exigir a los materiales son de dos tipos; que sean resistentes a la acción de los biocidas, y que eviten o al menos no favorezcan la aparición de la biocapa.

En la tabla 2, se incluyen datos útiles para seleccionar y valorar los materiales, no solo de la propia torre sino también de las tuberías de aporte y distribución hasta los intercambiadores. También incluye un gran número de materiales, algunos de ellos no se suelen aplicar en torres o condensadores evaporativos, pero puede servir como referencia para otras instalaciones.

Tabla 2. Criterios de selección de materiales

	VENTAJAS	INCONVENIENTES	USOS
Cobre	Instalación sencilla. Admite desinfección térmica y por cloro y peróxidos. Limita la formación de biocapa por la acción bactericida de contacto.	Es difícil encontrar materiales normalizados para dimensiones grandes. Posibilidad de corrosión por "erosión/cavitacion" en tubos recalentados mucho tiempo.	Tuberías. Soportes. Válvulas. Boyas. No muy usado en torres y condensadores.
Acero inoxidable AISI 316L	Adaptado a aguas corrosivas y agresivas. Soporta la desinfección química (mejor con peróxidos).	Coste muy elevado. Instalación difícil, solo personal altamente cualificado. La instalación se debe pasivar. Los productos de corrosión favorecen el crecimiento microbiano.	Tuberías. Soportes. Válvulas. No muy usado en torres y condensadores.

Acero galvanizado	Instalación sencilla. Disponibilidad de grandes diámetros.	Puede producirse degradación acelerada a partir de 60 ºC, en función de la composición química del agua (Ver norma UNE 112 076 Prevención de la corrosión en circuitos de agua). Pérdidas de carga muy importantes en la red cuando se produce corrosión o depósitos calcáreos en el interior. La presencia de iones cobre en el agua favorece la corrosión galvánica. La desinfección química es poco eficaz en canalizaciones corroídas. Los productos de corrosión favorecen el crecimiento microbiano.	Tuberías. Soportes. Válvulas. Boyas. Carcasa de la torre. Relleno. Separadores de gotas. Uso habitual en torres y condensadores.
Titanio	Alta resistencia a la corrosión. Soporta la desinfección química. Buenas propiedades de intercambio térmico.	Coste muy elevado. Instalación difícil, solo personal altamente cualificado.	Tubos intercambiadores en equipos de usos especiales (Centrales térmicas, grandes instalaciones, etc.).
Polibutileno (PB) y polipropileno (PP)	Admite bien las aguas corrosivas. Soporta la desinfección térmica y química (cloro y peróxidos). No se fragiliza, permite su limpieza.	Coste elevado. No produce llama pero si humos. No es autoexinguible.	Tuberías. Relleno. Separadores de gotas. Uso habitual en torres y condensadores.
Polivinil-Cloruro (PVC)	Admite bien las aguas corrosivas. Material muy resistente. Material autoextinguible. Soporta la desinfección química (cloro y peróxidos).	Coste medio. Puede ser poco resistente al calor (> 60 ºC) pero esto no es un inconveniente en los usos relativos a torres de refrigeración. Aceptable para su uso en torres de refrigeración. Produce gases tóxicos si se quema. Su eliminación inadecuada puede perjudicar el medioambiente.	Tuberías. Relleno. Separadores de gotas. Uso habitual en torres y condensadores.
Polietileno (PE) y Polietileno de alta densidad (PEHD)	Admiten bien las aguas corrosivas. Soportan la desinfección química (cloro y peróxidos) especialmente el de alta densidad. Muy fácil instalación.	Coste medio. Puede ser poco resistente al calor pero esto no es un inconveniente en los usos relativos a torres de refrigeración.	Tuberías. Relleno. Separadores de gotas. Carcasa. Uso habitual en torres y condensadores. Poco usado en España.
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	Admiten bien las aguas corrosivas. Resistentes. Soporta la desinfección química (cloro y peróxidos.)	Coste medio. Puede tener problemas de resistencia al calor (> 90 ºC) pero esto no es un inconveniente en los usos relativos a torres de refrigeración.	Tuberías. Relleno. Separadores de gotas. Carcasa. Uso habitual en torres y condensadores.

b) Facilidad de desmontaje para la limpieza completa

La completa destrucción de la biocapa es una de las claves para asegurar que los tratamientos contra *Legionella* son totalmente efectivos.

La biocapa se puede destruir al menos parcialmente con productos químicos biodispersantes, pero la forma más efectiva de asegurar una limpieza completa es por medios mecánicos. Esto será imposible en las redes de tuberías y ahí es donde los biodispersantes químicos son más efectivos. La peor situación se da cuando las torres están construidas con puntos inaccesibles, especialmente en el relleno, por ello, una correcta limpieza requiere el desmontaje completo del relleno, y por tanto es preciso que éste sea fácilmente desmontable.

c) Facilidad de desaguado de la torre

El proceso de limpieza de una torre exige el uso de agua pulverizada para arrastrar la suciedad acumulada en las paredes, por tanto, es muy importante disponer de una adecuada pendiente y un desagüe suficiente que permita eliminar el agua fácilmente en el proceso de limpieza, así como que permita el rápido vaciado para minimizar el tiempo de la operación de limpieza.

La fotografía adjunta (Foto 1) muestra la balsa de una torre en la que el desagüe se encuentra en un lateral dificultando la eliminación de depósitos.

Foto1

c) Calidad del separador de gotas

Uno de los componentes de las torres al que anteriormente no se daba mucha importancia es el separador de gotas, sin embargo, este elemento permite una protección excelente frente a *Legionella*, un buen separador de gotas minimizará la salida de aerosoles y por tanto la posibilidad de que estos afecten a los individuos del entorno. Los separadores de gotas suelen estar fabricados con diversos tipos de plásticos o acero galvanizado.

De la estructura del separador dependerá la eficacia de retención del mismo. Los separadores más simples consisten en una malla metálica, que presenta el inconveniente de que no son muy eficaces. En España se usa muy poco este sistema.

Otros tipos de separadores disponen de lamas curvadas o quebradas, tanto metálicas como de diversos materiales plásticos, que consiguen parar las microgotas por simple impacto sobre su superficie, volviendo éstas a la balsa de la torre por gravedad.

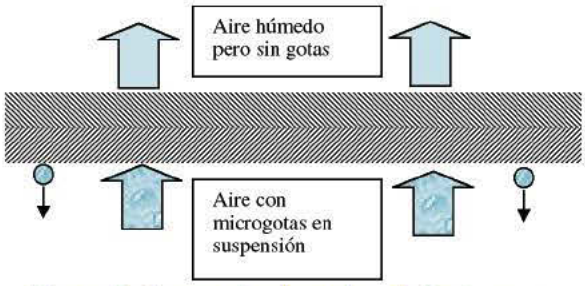


Figura 9. Separador de gotas de 2 pliegues

A mayor número de pliegues (en la figura 9 se aprecia un separador de 2 pliegues) en la estructura del separador, mayor eficiencia. Los separadores convencionales existentes actualmente en el mercado (habitualmente de 2 pliegues) tienen una eficacia de retención[1] que oscila entre el 2 y el 12% de emisión sobre el flujo de agua evaporada, con un valor medio del 5%, que, por ejemplo, para un salto térmico de 5 °C, habitual en aire acondicionado, equivale aproximadamente al 0,05% sobre caudal circulante definido en el artículo 7.2.e) del Real Decreto 865/2003.

Estructuras con tres pliegues pueden llegar a alcanzar una eficacia de retención superior al 99%.

Otro aspecto de gran importancia es la colocación del separador de gotas, una colocación descuidada sobre el marco de soporte puede dar lugar a la salida de gotas, tal como se ve en la foto 2.

Foto 2

4.1.4 Sistemas de desinfección y control de la calidad del agua

Mediante la desinfección se consigue controlar el crecimiento microbiano dentro de niveles que no causen efectos adversos. Desde la fase de diseño de una torre o condensador evaporativo se debe contemplar la necesidad de realizar desinfecciones, previendo, por tanto, todos los elementos que deben formar parte del equipamiento necesario para su realización.

[1] Para el cálculo de la eficacia de retención sobre el caudal circulante, debemos disponer de los siguientes datos: Eficacia del separador de gotas sobre el agua evaporada (dato facilitado por el fabricante del separador) y salto térmico (temperatura del agua caliente – temperatura del agua enfriada). Para calcular la eficacia puede aplicarse la siguiente formula:
Eficacia sobre el caudal circulante (%)=Eficacia del separador sobre el agua evaporada (%) * Salto térmico (°C) / 585 (Calor latente de vaporización del agua en Kcal/m^3).

Para el mantenimiento de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en condiciones normales de operación en una torre o condensador evaporativo se deberán contemplar los siguientes aspectos:

- Control de incrustaciones.
- Control de crecimiento de algas.
- Control de biocapa.
- Control de crecimiento de microorganismos.
- Control de la corrosión.
- Control de sólidos disueltos en el agua.
- Control de sólidos en suspensión.

Para cada uno de estos aspectos, se describe la naturaleza del problema, los efectos y modos de prevención. Es importante tener en consideración que todos estos aspectos están interrelacionados y que deben controlarse conjuntamente.

a) Control de incrustaciones

Las incrustaciones se manifiestan por la formación de cristales insolubles en las superficies de las instalaciones.

Los cristales que aparecen en las torres de refrigeración y condensadores evaporativos suelen ser carbonatos de calcio e hidróxidos de magnesio en la mayoría de los casos, aunque ocasionalmente también incluyen productos de corrosión como óxidos e hidróxidos de hierro.

La capacidad incrustante de un agua depende principalmente de la concentración de iones calcio y magnesio, para referirse a la cantidad de estos iones disueltos en el agua se ha desarrollado el término de dureza del agua.

Otros factores fisicoquímicos como la presencia de ión bicarbonato, la temperatura del agua y el pH determinan la posibilidad de formación de incrustaciones al influir en el equilibrio químico de los iones disueltos.

Para evaluar el carácter incrustante de un agua se han desarrollado varios índices que engloban los efectos combinados de todos estos parámetros, tal y como se describen en el punto 4.1.3 Prevención de incrustaciones calcáreas del capítulo 2 de Agua Fría de Consumo Humano

Para determinar qué tipo de medidas antiincrustación se deben implantar en una instalación, es necesario conocer la calidad del agua de aporte al sistema (dureza, conductividad, pH, bicarbonatos, alcalinidad, etc.) y las características de funcionamiento del sistema de refrigeración, tales como: Potencia en kW/h, volumen de la instalación, caudal de agua recirculada, salto térmico, temperatura máxima, etc.

A partir de los datos anteriores, se determinan el número de ciclos de concentración y el tratamiento antiincrustación más adecuado para optimizar el funcionamiento de la torre.

El tratamiento antiincrustación puede ser externo, para evitar la entrada de iones calcio o magnesio al sistema, o interno para evitar la precipitación de las sales en las superficies interiores del mismo.

Como norma general los tratamientos externos suelen utilizarse para aguas semiduras, duras o muy duras, aunque también se deben tener en cuenta otros factores, como el tamaño de la instalación, el tratamiento interno, etc.

Un tratamiento externo habitual consiste en la instalación de un sistema de descalcificación, dicho sistema esta basado en un lecho de resinas que capta los iones calcio o magnesio, intercambiándolos por iones sodio, estas resinas tienen una capacidad limitada de intercambio por lo que periódicamente se regeneran habitualmente de forma automática mediante cloruro sódico.

Los tratamientos internos suelen estar basados en el uso de aditivos químicos, como por ejemplo, fosfonatos, fosfatos o poliacrilatos que actúan interfiriendo el proceso de formación de cristales.

El uso de aditivos químicos en algunos casos se combina con la regulación del pH.

b) Control de crecimiento de algas

El primer factor a tener en cuenta con respecto al crecimiento de algas es que se ve favorecido por la incidencia de la luz del sol que activa la producción de la fotosíntesis, y por tanto el desarrollo de algas verdes.

Las aperturas para la entrada de aire en algunos tipos de torres permiten el paso de la luz, así como los separadores de gotas más simples o incluso algunos tipos de mirillas de inspección que están localizadas en las paredes a la altura del relleno y por tanto facilitan el crecimiento en zonas que además son difíciles de limpiar.

Las algas, igual que los protozoos en general, facilitan cobijo y protección a *Legionella* frente a la acción de los productos biocidas en el agua, por tanto es recomendable su ausencia. Esto se puede conseguir mediante la minimización de la incidencia de la luz solar y mediante la limpieza periódica de las superficies interiores. Existen además biocidas químicos con efecto algicida que se pueden adicionar a la balsa normalmente en dosis de choque, aunque éstos sólo serán efectivos en las zonas donde el contacto del agua tratada con las superficies sea continuo o suficiente y difícilmente las evitará en zonas exteriores de la torre.

c) Control de crecimiento de microorganismos

Para el control de crecimiento de microorganismos, principalmente bacterias aerobias y *Legionella*, se pueden emplear diversos tipos de tratamientos físicos, fisicoquímicos y químicos. Son tratamientos que por cualquiera de las vías anteriormente mencionadas destruyen o evitan el desarrollo de las bacterias en el agua. La presencia de una biocapa proporciona a las bacterias protección frente a los desinfectantes.

Los productos químicos biocidas utilizados en la desinfección del agua de torres deben estar inscritos en el Registro Oficial de la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo (http://www.msc.es). Cuando se trate de procedimientos físicos o fisicoquímicos no requieren dicho registro, pero deberán ser de probada eficacia frente a *Legionella*.

El nivel de bacterias aerobias en un sistema es un indicador de su grado de desinfección, aunque no implique necesariamente la presencia de Legionella, la cual deberá confirmarse con una analítica posterior.

Dependiendo de posibles problemas detectados en particular de corrosión, es recomendable el control de bacterias específicas como las bacterias sulfatoreductoras que se desarrollan en ambientes anaerobios y son capaces de generar corrosiones graves y localizadas.

d) Control de la biocapa

La biocapa, en general, está formada por sustancias de origen orgánico segregadas por las propias bacterias y otros microorganismos como mecanismo de defensa especialmente cuando las condiciones de supervivencia no son adecuadas para el desarrollo microbiano. Se forma un entorno endosimbionte en el que se produce un intercambio de nutrientes y protección mutua frente a agresiones externas.

La biocapa está formada principalmente por polisacáridos, y puede eliminarse mediante el uso de detergentes o biodispersantes. Estos se suelen emplear durante el proceso de higienización periódica de la torre, no obstante en torres con una gran tendencia a formar biocapa, por el tipo de materiales, temperaturas o cualquier otro factor puede resultar conveniente la adición de biodispersantes regularmente.

e) Control de la corrosión

La corrosión consiste en el desgaste superficial de los metales ya sea por medios físicos, químicos o electroquímicos.

En torres de refrigeración la corrosión más importante se produce debido a la disolución del metal por el efecto de formación de pila electrolítica. Una parte de la superficie metálica actúa como cátodo, cediendo electrones al agua que los usa para generar grupos oxidrilo (OH^-) y otra parte actúa como ánodo, la parte que se desgasta, y en la que el metal pasa al agua en forma de ión.

Por ejemplo, el hierro pasa a Fe^{2+} y posteriormente una vez en disolución, en concentración suficiente, acabara por formar hidróxido de hierro, $Fe(OH)_2$, para pasar después a hidróxido férrico insoluble añadiendo una molécula de agua y oxígeno. Ésta última es la responsable de la capa parda característica de la corrosión en materiales férricos.

Para evitar este fenómeno, frecuentemente se dosifican productos que crean una película protectora sobre las superficies metálicas, como por ejemplo, poliaminas, fosfatos de zinc, silicatos, molibdatos, etc.

Para la evaluación del nivel de protección frente a la corrosión se pueden emplear las técnicas de la Norma ASTM D-2688-94 que describe los métodos para evaluar la corrosividad del agua por test de pérdida en peso en testigos de corrosión.

f) Control de sólidos disueltos en el agua

La evaporación constante de parte del agua en circulación en la torre aumenta la concentración de los iones presentes en el agua. Dichos iones provienen principalmente del agua de aporte al cual se incorporan la fracción soluble de las partículas que el agua recoge del aire en el proceso de pulverización y el tratamiento químico realizado mediante la adición de biocidas, algicidas, antiincrustantes, etc. Este fenómeno de concentración da lugar a un aumento de la salinidad que puede favorecer las incrustaciones y/o la corrosión. La presencia de iones disueltos incrementa el nivel de conductividad del agua, por tanto ésta es una medida indirecta de la calidad de la renovación del agua de la balsa de la torre.

Para valorar el nivel de conductividad en la balsa de una torre es necesario referirlo a la conductividad del agua de aporte, ya que ésta es muy variable según la procedencia de la misma. La relación entre la conductividad del agua en la balsa y la del agua de aporte nos permitirá establecer los ciclos de concentración.

Habitualmente según estos factores se determina un nivel máximo admisible que nos servirá a efectos de valor de control para definir el nivel de purga adecuado.

La purga de agua puede fijarse mediante una apertura en el retorno, de manera que siempre que la bomba de recirculación funcione se produzca una salida de agua y por tanto una renovación de la misma (en este caso es recomendable que la válvula no sea manipulable fácilmente para evitar el cierre accidental de la misma), se puede disponer de una válvula temporizada de manera que se abra periódicamente. La apertura fija o periódica de la válvula debe estar basada en un estudio previo de la evolución de la conductividad del agua de la torre.

El medio más recomendable, es mediante una sonda conductimétrica que comande a su vez una válvula de purga automática.

Independientemente del medio empleado es preciso tener en consideración que la determinación del nivel de purga debe estar basada en un estudio que tenga en consideración la calidad del agua de aporte, la adición de productos químicos, el régimen de funcionamiento y las perdidas por evaporación, que podrán variar mucho según la zona climática y geográfica.

g) Control de sólidos en suspensión

La pulverización del agua sobre una corriente de aire ascendente provoca el constante ensuciamiento de la misma con las partículas del ambiente exterior. Estas partículas en suspensión se valoran mediante el grado de turbidez del agua. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Formacina (UNF, también se usan las siglas en inglés NTU).

Es importante mantener el agua libre de partículas, ya que entre éstas hay muchas de origen vegetal y animal que aportan materia orgánica y por lo tanto potenciales nutrientes a las bacterias.

Las partículas naturales, unidas a productos de corrosión e incrustaciones, contaminantes de proceso en caso de torres industriales, etc., crean fangos que tienden a depositarse en los puntos de disminución de la velocidad de circulación del agua.

El control de este fenómeno, se hace de forma indirecta al diluir con agua nueva la balsa de la torre, y por otra parte retirando físicamente las partículas en suspensión mediante sistemas de filtración, de arena u otros medios similares como filtros de tipo ciclón.

Se pueden instalar filtros de partículas en suspensión en las tomas de aire exterior de los ventiladores. En la fotografía (foto 3), se observa el ventilador de aire protegido para limitar la emisión de ruido y con un sistema de filtros. En España no es habitual este tipo de instalaciones. Si no es posible evitar la presencia de partículas en suspensión en el agua, se puede limitar la formación de fangos, mediante cambios en la velocidad del agua o usando biodispersantes que evitan la aglomeración de la materia sólida.

Como regla general todos los productos químicos empleados para el tratamiento de los fenómenos referidos anteriormente deben aplicarse en puntos en los que se asegure la mezcla adecuada con el agua circulante, como por ejemplo el tramo de tubería de succión de la bomba de recirculación y de la forma mas automatizada posible.

Foto 3

4.2 Fase de instalación y montaje

Es importante asegurar que en la fase de instalación se consideran y respetan las características del diseño adecuado para la torre, especial importancia adquiere en este punto la localización final del equipo, ya que este aspecto no suele quedar perfectamente fijado en el diseño inicial y la ubicación última puede depender de la evolución de la obra. El responsable de ejecución debe asegurarse que la ubicación final del equipo cumple con los requisitos legales y en cualquier caso, la torre debe ubicarse lo más alejada posible de cualquier área de riesgo (consultar el apartado 4.1 Fase de Diseño).

Durante la fase de montaje se evitará la entrada de materiales extraños. En cualquier caso el circuito de agua deberá someterse a una limpieza y desinfección previa a su puesta en marcha.

Hay que prevenir la formación de zonas con estancamiento de agua que pueden favorecer el desarrollo de la bacteria. La instalación del separador de gotas es de gran importancia y debe cuidarse la correcta fijación sobre los marcos de soporte de forma que no aparezcan puntos que faciliten el escape de cantidades importantes de agua.

4.3 Fase de vida útil: Mantenimiento de la instalación

4.3.1 Criterios de funcionamiento

Habitualmente las condiciones de temperatura en un sistema de refrigeración por agua no pueden modificarse, este parámetro depende de las características de diseño del sistema y de las condiciones ambientales. Sin embargo, cuando los requisitos exteriores lo permitan el sistema puede hacer su función de refrigeración del agua sin necesidad de poner en funcionamiento los ventiladores, esto supone un ahorro energético y al mismo tiempo una disminución del riesgo de dispersión de *Legionella*, ya que si no se ventila no se impulsa aire cargado de gotas de agua al exterior.

Existe la posibilidad de establecer un sistema automatizado que vaya incrementando el caudal de aire en función de la temperatura del agua, teóricamente incluso se podría plantear el uso de ventiladores con variadores de velocidad, aunque en la práctica, por cuestiones económicas, estas medidas no son comunes.

Cuando la instalación no funcione en continuo, permaneciendo parada en periodos inferiores a un mes se recirculara agua con biocida diariamente, si es posible con los ventiladores apagados, para asegurar la correcta distribución del biocida.

4.3.2 Revisión

En la revisión de una instalación se comprobará su correcto funcionamiento y su buen estado de conservación y limpieza.

La revisión de todas las partes de una instalación para comprobar su buen funcionamiento, se realizará con la siguiente periodicidad (Tabla 3).

Tabla 3. Periodicidad de las revisiones

Elementos de la instalación	Periodicidad
Bandeja: Debe comprobarse que no presenta suciedad general, algas, lodos, corrosión, o incrustaciones. El agua debe estar clara y limpia.	**MENSUAL**
Relleno: Debe verificarse la ausencia de restos de suciedad, algas, lodos, etc. Asimismo, debe comprobarse su integridad.	**SEMESTRAL**
Tuberías y condensador: Para facilitar la inspección conviene disponer de algún punto desmontable que permita revisar las superficies interiores al menos en un punto como representación del conjunto de las tuberías.	**SEMESTRAL**
Separador de gotas: No debe presentar restos de suciedad, algas o lodos y debe estar correctamente colocado sobre el marco soporte. Dada su importancia, se asegurará su correcta instalación e integridad después de cada limpieza y desinfección.	**MÍNIMO ANUAL** (recomendado Semestral)

Filtros y otros equipos de tratamiento del agua: Revisar que se encuentran correctamente instalados y en buenas condiciones higiénicas.	**Filtro aporte**	**SEMESTRAL**
	Filtro recirculación	**MENSUAL**
	Otros equipos	**MENSUAL**
Exterior de la unidad: No debe sufrir corrosión y debe presentar integridad estructural.		**ANUAL**

En general, se revisará el estado de conservación y limpieza, con el fin de detectar la presencia de sedimentos, incrustaciones, productos de la corrosión, lodos, algas y cualquier otra circunstancia que altere o pueda alterar el buen funcionamiento de la instalación.

Si se detecta algún componente deteriorado se procederá a su reparación o sustitución.

Se revisará también la calidad físico-química y microbiológica del agua del sistema determinando los siguientes parámetros (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros de control de calidad del agua

Parámetro	Método de análisis	Periodicidad
Nivel de cloro ó Biocida utilizado	Según principio activo.	**DIARIO**
Temperatura	Termómetro de inmersión de lectura directa.	**MENSUAL**
pH	Medidor de pH de lectura directa o colorimétrico.	
Conductividad	Sonda electroquímica de lectura directa	
Turbidez	Turbidímetro.	
Hierro total	Espectrofotométrico o colorimétrico.	
Recuento total de aerobios en el agua de la balsa	Según norma ISO 6222. Calidad del agua. Enumeración de microorganismos cultivables. Recuento de colonias por siembra en medio de cultivo de agar nutritivo.*	**MENSUAL**
Legionella sp	Según Norma ISO 11731 Parte 1. Calidad del agua. Detección y enumeración de *Legionella*.	Adecuada al nivel de peligrosidad de la instalación según el algoritmo de evaluación de riesgo. Mínimo: **TRIMESTRAL** Aproximadamente 15 días después de la realización de cualquier tipo de limpieza y desinfección.

* La norma ISO 6222 especifica dos niveles de temperatura. A efectos de torre de refrigeración y condensadores evaporativos será suficiente el análisis a 36° C dado que es la temperatura más cercana al rango de trabajo de la instalación.

Se incluirán, si fueran necesarios, otros parámetros que se consideren útiles en la determinación de la calidad del agua o de la efectividad del programa de mantenimiento de tratamiento del agua.

Todas las determinaciones deben ser llevadas a cabo por personal experto y con sistemas e instrumentos sujetos a control de calidad, con calibraciones adecuadas y con conocimiento exacto para su manejo y alcance de medida.

Los ensayos de laboratorio se realizarán en laboratorios acreditados o que tengan implantados un sistema de control de calidad. En cada ensayo se indicará el límite de detección o cuantificación del método utilizado.

4.3.3 Protocolo de toma de muestras

El punto de toma de muestra en la instalación es un elemento clave para asegurar la representatividad de la muestra, en la tabla siguiente se incluyen algunas pautas a tener en consideración para cada uno de los parámetros considerados:

Tabla 5. Toma de muestras

Parámetro	Protocolo de toma de muestras
Nivel de cloro ó Biocida utilizado	La muestra debe ser representativa de la concentración de biocida en el circuito. El punto circuito. El punto de toma de muestras estará alejado del aporte de agua y del punto de inyección de biocida: ❒ Si el biocida se adiciona en un punto de circulación del sistema fuera del depósito principal, la muestra se recogerá en la balsa principal. ❒ Si el biocida se adiciona en la balsa principal, la muestra se recogerá en el retorno de agua a la torre. Se deberá tener en cuenta el régimen de adición de los biocidas: Cuando por el tipo de biocida utilizado es conveniente mantener una concentración residual mínima la muestra se tomará, preferentemente, instantes antes de la adición. En el caso de adiciones de choque, como el caso de biocidas no oxidantes, en los que no es necesario mantener una concentración residual mínima, la toma de muestras se deberá realizar un tiempo significativo después de su adición en función del volumen del agua de la balsa y del caudal de recirculación de la instalación.
pH	Se medirá en el mismo punto que el utilizado para el análisis de biocida
Temperatura **Hierro total** **Conductividad** **Turbidez**	Directamente de la balsa en un punto alejado de la entrada de agua de red o en el circuito de retorno en función de las características de la instalación o de la evaluación del riesgo. Considerar el valor del parámetro más desfavorable para el algoritmo de determinación del riesgo.
Recuento total de aerobios	Las muestras deberán recogerse en envases estériles, a los que se añadirá el neutralizante adecuado al biocida utilizado. Una parte de la muestra de agua se tomará de la balsa (en un punto alejado del aporte y de la inyección del biocida) y otra parte del retorno, constituyendo una única muestra para proceder al análisis.

Legionella sp	Las muestras deberán recogerse en envases estériles, a los que se añadirá el neutralizante adecuado al biocida utilizado. Una parte de la muestra de agua se tomará de la balsa (en un punto alejado del aporte y de la inyección del biocida) y otra parte del retorno, constituyendo una única muestra para proceder al análisis. El volumen total de muestra recogida deberá ser al menos de1 litro. Recoger posibles restos de suciedad e incrustaciones de las paredes de la balsa mediante una torunda estéril que se añadirá al mismo envase de recogida. Medir temperatura del agua y cantidad de cloro libre y anotar en los datos de toma de muestra. **Normas de transporte:** **Para las muestras ambientales (agua)**, tal y como especifica el punto 2.2.62.1.5 del Acuerdo Europeo de Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR 2003), las materias que no es probable causen enfermedades en seres humanos o animales no están sujetas a estas disposiciones. Si bien es cierto que *Legionella pneumophila* puede causar patología en el ser humano por inhalación de aerosoles, es prácticamente imposible que estos se produzcan durante el transporte. No obstante, los recipientes serán los adecuados para evitar su rotura y serán estancos, deberán estar contenidos en un paquete externo que los proteja de agresiones externas.
Para todos los parámetros, las muestras deberán llegar al laboratorio lo antes posible, manteniéndose a temperatura ambiente y evitando temperaturas extremas. Se tendrá en cuenta la norma UNE EN ISO 5667 3 de octubre de 1996. "Guía para la conservación y la manipulación de muestras".	

Hay que tener en cuenta que estas recomendaciones son generales y que el punto de toma de muestras dependerá en muchos casos del diseño, de las características de la instalación y otros factores que se determinarán en función de la evaluación del riesgo. Por lo que este aspecto deberá tenerse en cuenta a la hora de realizar dicha evaluación.

4.3.4 Limpieza y desinfección

Durante la realización de los tratamientos de desinfección se han de extremar las precauciones para evitar que se produzcan situaciones de riesgo, tanto entre el personal que realice los tratamientos, como para los usuarios de las instalaciones.

En general, para los trabajadores se cumplirán las disposiciones de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y su normativa de desarrollo. El personal deberá haber realizado los cursos autorizados para la realización de operaciones de mantenimiento higiénico-sanitario para la prevención y control de legionelosis, Orden SCO 317/2003, de 7 de febrero.

Se pueden distinguir tres tipos de actuaciones en la instalación:

1. Limpieza y programa de desinfección de mantenimiento
2. Limpieza y desinfección de choque
3. Limpieza y desinfección en caso de brote

4.3.4.1 Limpieza y programa de desinfección de mantenimiento

Se corresponderá con los programas de tratamiento continuado del agua especificados en el artículo 8.1 del Real Decreto 865/2003 para las instalaciones de mayor probabilidad de proliferación y dispersión de *Legionella*. Puede realizarse con cloro, con cualquier otro tipo de biocida autorizado, sistemas físicos o físico-químicos de probada eficacia.

Los biocidas se suministran habitualmente en forma liquida o sólida y se adicionan por dosificación en continuo. La dosificación en continuo debe ser entendida como sistemas de adición mediante bombas dosificadoras de líquidos o la dilución en continuo de productos sólidos que aseguren, en ambos casos, una aportación automática sin intervención manual para proporcionar un residual continuo mínimo de biocida, especificado por el fabricante y que sea eficaz para la desinfección de agua frente a *Legionella*.

La dosificación puede realizarse mediante bomba dosificadora temporizada, proporcional al caudal de agua de entrada al sistema o comandada por una sonda de medición de residual de biocida. No esta permitida la adición manual periódica directa a la balsa del biocida.

El anexo 4 del Real Decreto 865/2003 exige determinar el nivel de biocida o cloro utilizado en la desinfección diaria. Técnicamente algunos biocidas, como es el caso de los no oxidantes, actúan por desinfección de choque puntual en el momento de adición, agotándose al cabo de algunas horas; periódicamente se pueden realizar varias adiciones para asegurar la desinfección continua del agua. Esto implica que la concentración residual ira variando, por tanto el nivel detectado es diferente según el momento en que se tome la muestra del agua para análisis.

Para controlar la buena dosificación de este tipo de biocidas se deberá disponer de los sistemas de registros adecuados, electrónicos o escritos, de las cantidades diarias de biocida añadidas acorde a las indicaciones del fabricante y del aplicador.

4.3.4.2 Limpieza y desinfección de choque

Se corresponderá con las limpiezas preventivas anuales especificadas en el Anexo 4B Procedimiento General, del Real Decreto 865/2003.

En dicho anexo se incluye un protocolo para el caso de utilizar cloro; en caso de utilización de otros biocidas, estos deberán estar autorizados específicamente para su uso en tratamientos de choque, y quedará constancia del protocolo utilizado según las indicaciones del fabricante y del aplicador.

Acorde con el principio general del Real Decreto 865/2003, de que una desinfección sin limpieza exhaustiva no será efectiva, siempre se debe parar la instalación y eliminar la suciedad físicamente. En casos particulares en los que sea imposible la parada se podrá realizar una desinfección de choque según el protocolo definido en Anexo 4B del Real Decreto 865/2003, en caso de usar cloro, para equipos que no puedan cesar su actividad.

En el caso de uso de otro tipo de biocidas, estos deberán estar autorizados específicamente para su uso en tratamientos frente a *Legionella* en esa instalación, y quedará constancia del protocolo utilizado según las indicaciones del fabricante y del aplicador. Este protocolo deberá contemplar la adición de concentraciones y/o tiempo de recirculación (es decir, el tiempo que se mantiene la concentración de choque del biocida) superiores a los empleados en instalaciones que pueden parar para compensar la falta de limpieza.

4.3.4.3 Limpieza y desinfección en caso de brote

Se corresponderá con las limpiezas especificadas en el Anexo 4C del Real Decreto 865/2003 Procedimiento en caso de brote. En este caso sólo esta autorizado el uso de cloro como biocida.

En la tabla 6, se describe un cuadro resumen de todos los procedimientos de limpieza y desinfección usando cloro que se encuentran descritos en el anexo 4 del Real Decreto 865/2003.

Tabla 6. Resumen de procedimientos de limpieza y desinfección usando cloro

	ANEXO 4 B: Procedimiento general		**ANEXO 4 C:**
	Instalaciones que pueden parar	**Instalaciones de funcionamiento continuo**	**Procedimiento en caso de brote**
PRIMERA ETAPA			
Concentración desinfectante	5 mg/l de cloro residual libre + biodispersantes y anticorrosivos pH: 7-8	5 mg/l de cloro residual libre + biodispersantes y anticorrosivos pH: 7-8	20 mg/l de cloro residual libre + biodispersantes y anticorrosivos pH: 7-8
Tiempo de recirculación	3 horas Comprobación de nivel de cloro residual libre cada hora	4 horas Comprobación de nivel de cloro residual libre cada hora	3 horas Comprobación de nivel de cloro residual libre cada hora
Neutralizado y vaciado	SI	A criterio del responsable	SI
Limpieza física	SI - Piezas desmontables: 15 mg/l -20 min.	SI- Piezas accesibles o desmontables.	SI - Piezas desmontables: 15 mg/l -20 min.
SEGUNDA ETAPA			
Concentración desinfectante	NO APLICA	NO APLICA	20 mg/l de cloro + biodispersantes y anticorrosivos pH: 7-8
Tiempo de recirculación			2 horas comprobación de nivel de cloro residual libre cada _ hora
Neutralizado y vaciado			SI
Limpieza física			NO
CONDICIONES NORMALES			
Concentración desinfectante	2 mg/l de cloro residual libre en continuo + anticorrosivos.	Dispositivos de dosificación en continuo 2 mg/l de cloro residual libre en continuo +	2 mg/l de cloro residual libre en continuo + anticorrosivos

4.3.5 Criterios de valoración de resultados

En la Tabla 7 se relacionan los distintos parámetros a medir con su valor de referencia y las actuaciones correctoras que pueden adoptarse en caso de desviaciones de los mismos.

Tabla 7. Acciones correctoras en función del parámetro

Parámetro	Valor de referencia	Actuación correctora en caso de incumplimiento
Nivel de cloro **ó** **Biocida utilizado**	2 mg/l Cloro residual libre. Usar dispositivo automático, añadiendo anticorrosivo compatible con el cloro, en cantidad adecuada. Según fabricante.	Revisar y ajustar el sistema de dosificación de cloro o biocida cuando la concentración se encuentre por debajo del valor de referencia.
Temperatura	Según condiciones de funcionamiento.	No aplicable.
pH	6,5 9,0	Se valorará este parámetro a fin de ajustar la dosis de cloro a utilizar (UNE 100030) o de cualquier otro biocida. Se recomienda calcular el índice de Ryznar o de Langelier para verificar la tendencia agresiva o incrustante del agua.
Índice de Langelier	> 0 Agua incrustante 0 Equilibrio < 0 Agua agresiva	Se valorará este parámetro a fin de determinar el programa de tratamiento del agua de modo que ésta en ningún momento podrá tener características extremadamente incrustantes ni corrosivas.
Índice de Ryznar	< 6 Agua incrustante 6 7 Equilibrio > 7 Agua agresiva	
Conductividad	Debe estar comprendida entre los límites que permitan la composición química del agua (dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, otros) de tal forma que no se produzcan fenómenos de incrustación y/o corrosión.	El sistema de purga se debe automatizar en función a la conductividad máxima permitida en el sistema indicado en el programa de tratamientos del agua.
Turbidez	< 15 NFU	Diluir con agua de aporte de la torre Retener físicamente las partículas en suspensión mediante sistemas de filtración, de arena u otros medios similares como filtros de tipo ciclón por la recirculación de una parte del agua del sistema (entre un 10 y 20% del caudal recirculado)
Hierro total	< 2 mg/l	Revisar el programa de tratamiento anticorrosivo
Recuento total de aerobios	< 10000 Ufc/ml	Con valores superiores a 10000 Ufc/ml será necesario comprobar la eficacia de la dosis y tipo de biocida utilizado y realizar un muestreo de *Legionella*.

Legionella sp	≥ 1000 ≤ 10000 Ufc/L (*)	Revisar el programa de mantenimiento y realizar las correcciones oportunas. Remuestreo aproximadamente a los 15 días.
	> 1000 ≤ 10000 Ufc/L	Se revisará el programa de mantenimiento, a fin de establecer acciones correctoras que disminuyan la concentración de *Legionella*. Limpieza y desinfección de acuerdo con el anexo 4 B (Real Decreto 865/2003) Confirmar el recuento, a los 15 días. Si esta muestra es menor de 100 Ufc/L, tomar una nueva muestra al cabo de un mes. Si el resultado de la segunda muestra es < 100 Ufc/L continuar con el mantenimiento previsto. Si una de las dos muestras anteriores da valores ≥ 100 Ufc/L, revisar el programa de mantenimiento e introducir las reformas estructurales necesarias. Si supera las 1000 Ufc/L, proceder a realizar una limpieza y desinfección de acuerdo con el anexo 4 (Real Decreto 865/2003). Y realizar una nueva toma de muestras aproximadamente a los 15 días.
	> 10000 Ufc/L	Parar el funcionamiento de la instalación, vaciar el sistema en su caso. Limpiar y realizar un tratamiento de acuerdo con el anexo 4 C (Real Decreto 865/2003), antes de reiniciar el servicio y realizar una nueva toma de muestras aproximadamente a los 15 días.

(*) El límite inferior de detección del método de análisis debe ser igual o menor a 100 Ufc/L.

4.3.6 Resolución de problemas asociados a la instalación

Ocasionalmente, se dan casos en las torres de refrigeración y condensadores evaporativos, de gran persistencia en la presencia de *Legionella sp* incluso después de haber realizado tratamientos de choque una vez detectada su presencia. En estos casos es necesario revisar la instalación en busca de tramos de tubería de poco uso, ramales estancados, tramos ubicados por debajo del nivel del punto de desagüe, o que por alguna razón no se puedan desaguar adecuadamente.

Algunas instalaciones disponen de tramos de tubería by-pass, que sólo se abren ocasionalmente, estos se deben abrir para asegurar el tratamiento del agua interior cuando se realiza la desinfección de circuitos.

Asimismo, la obstrucción de pulverizadores puede crear puntos de estancamiento en los tramos de conducto de pulverizado. Algunas instalaciones disponen de equipos de reserva, a menudo con un sistema automático de funcionamiento que se activa de forma alterna. La desinfección debe garantizar que todos estos equipos y sus tramos asociados han sido tratados. También es útil, en estos casos, cambiar el principio activo del desinfectante, usando uno diferente al que se este empleando en continuo en la instalación.

4.3.7 Descripción de registros asociados a las instalaciones

Se dispondrá en estas instalaciones de un Registro de Mantenimiento donde se deberán indicar:

- Plano señalizado de la instalación con la descripción de flujos de agua.
- Operaciones de mantenimiento realizadas incluyendo las inspecciones de las diferentes partes del sistema.
- Análisis de agua en la balsa realizados incluyendo registros de biocida diarios (añadido o residual) en aquellas instalaciones que los utilicen.
- Certificados de limpieza-desinfección.
- Resultado de la evaluación del riesgo.

El contenido del registro y de los certificados de los tratamientos efectuados deberá ajustarse al Real Decreto 865/2003. No obstante en el Anexo 1 de este capítulo se recoge un modelo de registro de mantenimiento.

5. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LA INSTALACIÓN

El riesgo asociado a cada instalación concreta es variable y depende de múltiples factores específicos relacionados con la ubicación, tipo de uso, estado, etc.

5.1 Criterios para la evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo de la instalación se realizará como mínimo una vez al año, cuando se ponga en marcha la instalación por primera vez, tras una reparación o modificación estructural, cuando una revisión general así lo aconseje y cuando así lo determine la autoridad sanitaria.

La evaluación del riesgo de la instalación debe ser realizada por personal técnico debidamente cualificado y con experiencia, preferiblemente con titilación universitaria de grado medio o superior y habiendo superado el curso homologado tal como se establece en la Orden SCO/317/2003, de 7 de febrero, por el que se regula el procedimiento para la homologación de los cursos de formación del personal que realiza las operaciones de mantenimiento higiénico-sanitaria de las instalaciones objeto del Real Decreto 865/2003.

Las tablas 8, 9 y 10 a continuación permiten determinar los factores de riesgo asociados a cada instalación

Las tablas presentan factores estructurales, asociados a las características propias de la instalación; factores de mantenimiento, asociados al tratamiento y al mantenimiento que se realiza en la instalación; y factores de operación, asociados al funcionamiento de la instalación.

En cada tabla se indican los criterios para establecer un factor de riesgo "BAJO", "MEDIO" o "ALTO" así como posibles acciones correctoras a considerar.

La valoración global de todos estos factores se determina con el "Índice Global" que figura en la tabla 11. Este Índice se calcula para cada grupo de factores (estructural, mantenimiento y operación) a partir de las tablas anteriores y se establece un valor global ponderado.

El Índice global permite la visión conjunta de todos los factores y facilita la decisión sobre la necesidad y la eficacia de implementar acciones correctoras adicionales en función de las características propias y específicas de cada instalación.

Este algoritmo es un indicador del riesgo, que en cualquier caso siempre debe utilizarse como una guía que permite minimizar la subjetividad del inspector pero que no sustituye el análisis personalizado de cada situación concreta.

Independientemente de los resultados de la evaluación de riesgo, los requisitos legales de cualquier índole (Real Decreto 865/2003 u otros que le afecten) relativos a estas instalaciones, deben cumplirse.

La evaluación del riesgo incluirá la identificación de los puntos idóneos para la toma de muestras. Asimismo, se valorará la necesidad de tomar muestras del agua de aporte.

Tabla 8. Evaluación del riesgo estructural de la instalación

FACTORES DE RIESGO ESTRUCTURAL	BAJO	MEDIO		ALTO	
	FACTOR	FACTOR	ACCIONES A CONSIDERAR	FACTOR	ACCIONES A CONSIDERAR
Procedencia del agua	Agua fría de consumo humano.	Captación propia tratada.	Controlar con la frecuencia indicada en la sección. Revisar el correcto funcionamiento de los equipos de tratamiento.	Captación propia no tratada. Procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.	Controlar con la frecuencia indicada la contaminación microbiológica e introducir equipos de tratamiento, como mínimo filtración y desinfección.

Agua estancada	El agua se mueve en tuberías y balsas constante o periódicamente de tal forma que el biocida accede a todos los puntos de la instalación.	Existen elementos que por características técnicas mantienen ocasionalmente el agua estancada. (Bombas de reserva, by pass, etc.)	Establecer un programa de movimiento periódico del agua en dichos elementos. Se ha de garantizar el acceso del biocida a todos los puntos de la instalación.	Existen tramos muertos, depósitos o equipos en desuso, by pass, etc. sin justificación técnica.	Eliminar dichos tramos.
Materiales **• Composición** **• Rugosidad** **• Corrosividad**	Materiales metálicos y plásticos que resistan la acción agresiva del agua y biocidas.	Hormigón. Materiales metálicos y plásticos no resistentes a las condiciones del agua de la instalación.	Sustitución de materiales o recubrimiento con materiales adecuados. Adición de inhibidores de corrosión.	Cuero. Madera. Celulosa. Otros. materiales que favorezcan el desarrollo de bacterias.	Sustitución de materiales.
Tipo de aerosolización	Nivel bajo de aerosolización.	Nivel importante de aerosolización con gotas grandes que caen por gravedad.	Disponer de separador de gotas asegurando que cumple los requisitos del Real Decreto 865/2003, artículo 7 2.e).	Nivel muy importante de aerosolización con gotas finas que son transportadas por el aire.	Disponer de separador de gotas asegurando que cumple los requisitos del Real Decreto 865/2003, artículo 7 2.e).
Punto de emisión de aerosoles. Entorno cercano a la torre	Instalación totalmente aislada de elementos a proteger.	Existen elementos a proteger pero se hallan alejados del punto de emisión, o se dispone de barreras de protección.	Ajustar distancia según norma UNE 100 030 (Anexo informativo) cuando sea aplicable.	Próximo a elementos a proteger (tomas de aire exterior, ventanas, etc.)	Ajustar distancia según norma UNE 100 030 (Anexo informativo) cuando sea aplicable.
Condiciones atmosféricas **• Vientos** **• Humedad relativa** **• Temperaturas ambientales**	El efecto de las condiciones atmosféricas no es significativo. Se han tomado medidas paliativas (apantallamiento, minimización de emisión, etc.).	Los vientos dominantes dirigen el aerosol a zonas de baja o media densidad de población.	Cuando sea posible cambiar la localización de la torre a sotavento. Si es imposible, tomar medidas de apantallamiento y/o minimización de la emisión.	Existencia de vientos dominantes que dirijan el aerosol a zonas de alta densidad de población o elementos a proteger.	Cambiar la localización de la torre a sotavento. Si es imposible, tomar medidas de apantallamiento y minimización de la emisión.
Ubicación de la instalación	Zona alejada de áreas habitadas: rurales, industriales, etc.	Zona urbana de baja o media densidad de población.	No aplica. Este factor es una condición impuesta, su impacto se paliará con medidas adicionales de prevención.	Zona urbana de alta densidad. Zona con puntos de especial riesgo: Hospitales, residencias de ancianos, etc.	No aplica. Este factor es una condición impuesta, su impacto se paliará con medidas adicionales de prevención.

Tabla 9. Evaluación del riesgo de mantenimiento de la instalación

FACTORES DE RIESGO MANTENIMIENTO	BAJO	MEDIO		ALTO	
	FACTOR	FACTOR	ACCIONES A CONSIDERAR	FACTOR	ACCIONES A CONSIDERAR
Parámetros fisicoquímicos	Cumple las especificaciones del Real Decreto 865/2003 (Tabla 1 Anexo 4).	No cumple algunas de las especificaciones del Real Decreto 865/2003 (Tabla 1 Anexo 4), o el incumplimiento es puntual.	Repetir el ensayo. Adoptar acciones correctoras específicas según el parámetro.	No cumple las especificaciones del Real Decreto 865/2003 (Tabla 1 Anexo 4).	Revisar el programa de tratamiento del agua y adoptar acciones correctoras específicas para cada parámetro.
Contaminación microbiológica	En los controles analíticos aparece: Aerobios totales < 10000 Ufc/ml y *Legionella sp* < 100 Ufc/L.	En los controles analíticos aparece: Aerobios totales 10000 100000 Ufc/ml o *Legionella sp* 100 1000 Ufc/L.	Según Real Decreto 865/2003 Anexo 4 Tablas 2 y 3.	En los controles analíticos aparece: Aerobios totales > 100000 Ufc/ml o *Legionella sp* > 1000 Ufc/L.	Según Anexo 4 Tablas 2 y 3 del Real Decreto 865/2003.
Presencia de algas	No hay presencia de algas.	Presencia ligera de algas.	Eliminar las algas. Aplicar algicidas Proteger el agua de la radiación solar.	Presencia elevada de algas.	Eliminar las algas. Aplicar algicidas Proteger el agua de la radiación solar.
Estado higiénico de la instalación	La instalación no presenta lodos, biocapa, turbidez, etc.	La instalación presenta áreas de biocapa y suciedad no generalizada.	Realizar una limpieza de la instalación.	La instalación presenta biocapa y suciedad visible generalizada.	Realizar una limpieza y desinfección preventiva de la instalación. Según Anexo 4B del Real Decreto 865/2003.
Estado mecánico de la instalación	Buen estado de conservación. No se detecta presencia de corrosión ni incrustaciones.	Algunos elementos de la instalación presentan corrosión y/o incrustaciones.	Sustituir o tratar los elementos con corrosión y/o incrustaciones. Verificar sistema de tratamiento.	Mal estado general de conservación. Corrosión y/o incrustaciones generalizadas.	Sustituir o tratar los elementos con corrosión y/o incrustaciones. Verificar sistema de tratamiento. Añadir inhibidores de corrosión o utilizar materiales más resistentes a la corrosión.
Estado del sistema de tratamiento y desinfección	La instalación dispone de un sistema de tratamiento y desinfección adecuado, funcionando correctamente.	La instalación dispone de un sistema de tratamiento y desinfección adecuado, pero no funciona correctamente.	Revisar, reparar o sustituir el actual sistema de tratamiento.	La instalación no dispone de sistema de tratamiento y desinfección.	Instalar el sistema de tratamiento y desinfección.

Tabla 10. Evaluación del riesgo operacional de la instalación

FACTORES DE RIESGO OPERACIÓN	BAJO	MEDIO		ALTO	
	FACTOR	FACTOR	ACCIONES A CONSIDERAR	FACTOR	ACCIONES A CONSIDERAR
Temperatura del agua en balsa	< 20 ºC > 50 ºC	20 < 35 ºC > 37 50 ºC	No aplica. Este factor es una condición impuesta, su impacto se paliará con medidas adicionales de prevención.	35 37 ºC	No aplica. Este factor es una condición impuesta, su impacto se paliará con medidas adicionales de prevención.
Frecuencia de funcionamiento	La torre funciona en continuo o realiza recirculaciones de agua con biocida diarias.	La torre permanece parada por periodos inferiores a un mes.	Poner diariamente en marcha las bombas de recirculación junto con el sistema de dosificación de biocida, para asegurar la correcta distribución del biocida (recircular al menos 2 volúmenes de sistema).	La torre permanece parada por periodos superiores a un mes.	Limpiar y desinfectar antes de volver a poner en marcha. Si se desea rebajar el nivel de riesgo poner diariamente en marcha las bombas de recirculación junto con el sistema de dosificación de biocida, para asegurar la correcta distribución del biocida (recircular al menos 2 volúmenes de sistema).

Tabla 11. Índice global

Riesgo estructural	Bajo	Medio	Alto
Procedencia del agua	0	8	16
Agua estancada	0	5	10
Materiales	0	4	8
Tipo de aerosolización	0	11	22
Punto de emisión de aerosoles. Entorno cercano a la torre	0	10	20
Condiciones atmosféricas	0	4	8
Ubicación de la instalación	0	8	16
TOTAL: Índice Estructural (IE)		**50**	**100**

Riesgo de mantenimiento	Bajo	Medio	Alto
Parámetros fisicoquímicos	0	8	16
Contaminación microbiológica	0	11	22
Presencia de algas	0	5	10
Estado higiénico de la instalación	0	11	22
Estado mecánico de la instalación	0	7	14
Estado del sistema de tratamiento y desinfección	0	8	16
TOTAL: Índice Mantenimiento (IM)		**50**	**100**

Riesgo de operación	Bajo	Medio	Alto
Temperatura del agua en balsa	0	20	40
Frecuencia de funcionamiento	0	30	60
TOTAL: Índice Operacional (IO)		**50**	**100**

Teniendo en consideración los diferentes pesos de cada uno de los índices de riesgo el valor medio se pondera de acuerdo a la siguiente formula:

INDICE GLOBAL: 0,30*IE+0,60*IM+0,1*IO

5.2 Acciones correctoras en función del Índice Global

INDICE GLOBAL < 60

Cumplir los requisitos del Real Decreto 865/2003 así como los especificados en el apartado 4.3 Fase de vida útil: Mantenimiento de la instalación.

INDICE GLOBAL ≥ 60 ≤ 80

Se llevaran a cabo las acciones correctoras necesarias para disminuir el índice.

Aumentar la frecuencia de revisión de la instalación: Revisión trimestral.

Un ejemplo de posibles acciones correctoras se recoge en las tablas 8, 9 y 10.

INDICE GLOBAL > 80

Se tomarán medidas correctoras de forma inmediata que incluirán, en caso de ser necesario, la parada de la instalación hasta conseguir rebajar el índice. Aumentar la frecuencia de limpieza y desinfección de la instalación con periodicidad trimestral hasta rebajar el índice por debajo de 60.

El mantenimiento y la limpieza es una parte esencial para la prevención de la legionelosis en toda instalación. Por este motivo el índice de mantenimiento considerado por separado debe ser siempre ≤ 50.

En el caso concreto que nos ocupa, torres de refrigeración, dado el riesgo potencial de estas instalaciones, es preciso tener en consideración que con un Índice de Riesgo Estructural mayor de 50 y especialmente si la ubicación o el punto de emisión de aerosoles es de riesgo alto (hospitales y residencias de ancianos), se debe garantizar una desinfección permanente del circuito. Para ello, además de maximizar los cuidados generales de mantenimiento y limpieza, se utilizaran biocidas cuya concentración sea fácilmente controlable en continuo, dispongan de efecto residual y que se dosifiquen automáticamente de tal forma que se disponga permanentemente de una concentración mínima residual efectiva frente a *Legionella*.

5.3 Ejemplo de evaluación del riesgo de una instalación

Consideremos una instalación con las características que se describen en las tablas 12, 13 y 14:

Tabla 12. Ejemplo de evaluación del riesgo estructural

FACTORES DE RIESGO ESTRUCTURAL	SITUACIÓN ACTUAL	FACTOR
Procedencia del agua	Agua de la red de distribución pública.	**BAJO**
Agua estancada	Existen elementos que mantienen ocasionalmente el agua estancada: 1 bomba de reserva y 4 metros de tubería by pass.	**MEDIO**
Materiales	Las tuberías de impulsión y retorno del condensador son de acero galvanizado.	**MEDIO**
Tipo de aerosolización	Se observa visualmente la emisión de gotas de agua grandes que caen por gravedad.	**MEDIO**
Punto de emisión de aerosoles Entorno cercano a la torre	La torre se encuentra próxima (5 metros) a las tomas de aire exterior del sistema de climatización del edificio.	**ALTO**
Condiciones atmosféricas	Los vientos dominantes dirigen el aerosol hacia unas zonas ajardinadas no muy utilizadas.	**MEDIO**
Ubicación de la instalación	En la zona se encuentra ubicada una residencia de ancianos.	**ALTO**

Tabla 13. Ejemplo de evaluación del riesgo de mantenimiento

FACTORES DE RIESGO MANTENIMIENTO	SITUACIÓN ACTUAL	FACTOR
Parámetros fisicoquímicos	Los controles analíticos ofrecen el siguiente resultado: Turbidez: 50 NTU. Fe total: 5 mg/l.	**ALTO**
Contaminación microbiológica	Los controles analíticos ofrecen el siguiente resultado: Aerobios totales: 100000 Ufc/ml. *Legionella sp*: 100 Ufc/L.	**MEDIO**
Presencia de algas	Se observa una ligera presencia de algas.	**MEDIO**
Estado higiénico de la instalación	La instalación presenta suciedad en el relleno, la balsa y el resto de los componentes.	**ALTO**
Estado mecánico de la instalación	El agua presenta una coloración marrón y se observan piezas metálicas (soportes) con corrosión visible.	**MEDIO**
Estado del sistema de tratamiento y desinfección	La instalación no dispone de sistema de tratamiento y desinfección.	**ALTO**

Tabla 14. Ejemplo de evaluación del riesgo operacional

FACTORES DE RIESGO OPERACIÓN	SITUACIÓN ACTUAL	FACTOR
Temperatura del agua en balsa	La temperatura en el agua de la balsa es de 29 ºC.	**MEDIO**
Frecuencia de funcionamiento	Las instalaciones se usan continuamente.	**BAJO**

A partir de estos factores se calcularía el Índice Global tal y como se muestra en las tablas 15, 16 y 17 aplicando a cada factor el valor asignado a su nivel de riesgo.

Tabla 15. Índice estructural

ESTRUCTURAL	FACTOR	VALOR
Procedencia del agua	**BAJO**	0
Agua estancada	**MEDIO**	5
Materiales	**MEDIO**	4
Tipo de aerosolización	**MEDIO**	11
Punto de emisión de aerosoles. Entorno cercano a la torre	**ALTO**	20
Condiciones atmosféricas	**MEDIO**	4
Ubicación de la instalación	**ALTO**	16
TOTAL: Índice Estructural (IE)		**60**

Tabla 16. Índice de mantenimiento

MANTENIMIENTO	FACTOR	VALOR
Parámetros fisicoquímicos	ALTO	16
Contaminación microbiológica	MEDIO	11
Presencia de algas	MEDIO	5
Estado higiénico de la instalación	ALTO	22
Estado mecánico de la instalación	MEDIO	7
Estado del sistema de tratamiento y desinfección	ALTO	16
TOTAL: Índice Mantenimiento (IM)		**77**

Tabla 17. Índice operacional

OPERACIÓN	FACTOR	VALOR
Temperatura del agua en balsa	MEDIO	20
Frecuencia de funcionamiento	BAJO	0
TOTAL: Índice Operación (IO)		**20**

Aplicando los factores de ponderación a cada índice se obtiene el resultado siguiente:

ÍNDICE GLOBAL = 0,3*IE + 0,6*IM + 0,1*IO	**66,2**

El índice global se encuentra por encima de 60, el índice de mantenimiento supera 50, lo cual nos obliga a tomar medidas, y además se deben corregir los incumplimientos al Real Decreto 865/2003.

En este caso se han detectado una distancia insuficiente con respecto a las tomas de aire exterior, de acuerdo a la norma UNE 100030, por tanto el valor de ubicación es alto. Asimismo, se han detectado otros incumplimientos tanto estructurales como de mantenimiento y de operación, en los que prácticamente todos los parámetros deben de ser corregidos.

Corrigiendo estos factores obtenemos los resultados que se muestran en las tablas 18, 19 y 20. Hay que tener en cuenta que a veces no es posible actuar contra todos los factores.

Tabla 18. Factores de riesgo estructural con acción correctora

FACTORES DE RIESGO ESTRUCTURAL	SITUACIÓN ACTUAL	ACCIÓN CORRECTORA	FACTOR (con acción correctora)
Agua estancada	Existen elementos que mantienen ocasionalmente el agua estancada: 1 bomba de reserva y 4 metros de tubería by pass.	Se establece un plan de apertura periódica de los elementos que mantienen el agua estanca, y de rotación de las bombas.	**BAJO**
Tipo de aerosolización	Se aprecia y se observa visualmente la emisión de gotas de agua grandes que caen por gravedad.	Se cambia el separador de gotas por otro más eficiente.	**BAJO**
Punto de emisión de aerosoles. Entorno cercano a la torre	La torre se encuentra próxima (5 metros) a las tomas de aire exterior del sistema de climatización del edificio.	Se colocan pantallas que aseguran una separación superior a 2 metros en altura.	**MEDIO**

Tabla 19. Factores de riesgo de mantenimiento con acción correctora

FACTORES DE RIESGO MANTENIMIENTO	SITUACIÓN ACTUAL	ACCIÓN CORRECTORA	FACTOR (con acción correctora)
Parámetros fisicoquímicos	Los controles analíticos ofrecen el siguiente resultado: Turbidez: 50 NTU Fe total: 5 mg/l.	Se instala un sistema de filtración de agua y un sistema de dosificacion de anticorrosivo. Tras las reformas los niveles se corrigen.	**BAJO**
Contaminación microbiológica	Los controles analíticos ofrecen el siguiente resultado: Aerobios totales: 100000 Ufc/ml *Legionella sp:* 100 Ufc/L	Los niveles se corrigen tras la instalación de un sistema automatizado de dosificacion de biocida.	**BAJO**
Presencia de algas	Se observa una ligera presencia de algas.	Se realiza una limpieza de la torre y las algas desaparecen. La dosificacion en continuo de biocida algicida ayudará a evitar la reaparición.	**BAJO**
Estado higiénico de la instalación	La instalación presenta suciedad en el relleno, la balsa y el resto de los componentes.	Se desmonta y se limpia el relleno cambiando las piezas rotas.	**BAJO**
Estado mecánico de la instalación	Se observan piezas metálicas (soportes) con corrosión visible.	Se reparan las piezas y se instala un sistema de dosificacion de anticorrosivo.	**BAJO**
Estado del sistema de tratamiento y desinfección	La instalación no dispone de sistema de tratamiento y desinfección.	Se instala un sistema automatizado de dosificacion de biocida.	**BAJO**

Tabla 20. Factores de riesgo operacional con acción correctora

FACTORES DE RIESGO OPERACION	SITUACIÓN ACTUAL	ACCIÓN CORRECTORA	FACTOR (con acción correctora)
No se consideran cambios			

Una vez realizadas las correcciones el Índice Global queda como se muestra en las tablas 21, 22 y 23.

Tabla 21. Índice de riesgo estructural corregido

Estructural	FACTOR		VALOR	
	Anterior	Con acciones correctoras	Anterior	Con acciones correctoras
Procedencia del agua	BAJO	**BAJO**	0	0
Agua estancada	MEDIO	**BAJO**	5	0
Materiales	MEDIO	**MEDIO**	4	4
Tipo de pulverización y tamaño de gotas	MEDIO	**BAJO**	11	0
Punto de emisión de aerosoles. Entorno cercano a la torre.	ALTO	**MEDIO**	20	10
Condiciones atmosféricas	MEDIO	**MEDIO**	4	4
Ubicación de la instalación	ALTO	**ALTO**	16	16
TOTAL: Índice Estructural (IE)			60	**34**

Tabla 22. Índice de riesgo de mantenimiento corregido

Mantenimiento	FACTOR		VALOR	
	Anterior	Con acciones correctoras	Anterior	Con acciones correctoras
Parámetros fisicoquímicos	ALTO	**BAJO**	16	**0**
Contaminación microbiológica	MEDIO	**BAJO**	11	**0**
Presencia de algas	MEDIO	**BAJO**	5	**0**
Estado higiénico de la instalación	ALTO	**BAJO**	22	**0**
Estado mecánico de la instalación	MEDIO	**BAJO**	7	**0**
del s stema de tratamiento y desinfección	ALTO	**BAJO**	16	**0**
TOTAL: Índice Mantenimiento (IM)			77	**0**

Tabla 23. Índice de riesgo operacional corregido

Operación	FACTOR		VALOR	
	Anterior	Con acciones correctoras	Anterior	Con acciones correctoras
Temperatura del agua en balsa	MEDIO	**MEDIO**	20	**20**
Frecuencia de funcionamiento	BAJO	**BAJO**	0	**0**
TOTAL: Índice Operación (IO)			20	**20**

ÍNDICE GLOBAL = 0,3*IE + 0,6*IM + 0,1*IO	66,2	**12,2**

Con la aplicación de las medidas correctoras indicadas se ha conseguido reducir el Índice Global desde 66,2 hasta un valor de 12,2 y el Índice de Mantenimiento se ha disminuido hasta un valor de 0, lo cual implica un riesgo bajo en todos los factores.

Aunque la disminución del Índice Estructural no ha sido tan drástica (60 a 34) controlando los factores riesgo de mantenimiento se reduce el índice global de forma considerable.

ANEXO 1: REGISTROS

Se debe identificar la instalación y el responsable de la misma.

> En principio el certificado de limpieza y desinfección de la empresa autorizada sirve como registro de estas actividades, no obstante recomendamos que se pueda registrar para mayor control en forma de tabla formando parte del libro de registro al que se añadirá el certificado. A continuación se detalla un posible ejemplo:

I –- OPERACIONES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

FECHA		
Tipo de operación		Desinfección de choque
		Desinfección en caso de brote
Producto utilizado	Nombre:	
	Nº de registro:	
Dosis aplicada		
Tiempo de actuación		
Protocolo seguido		

II - OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

CONCEPTO	**FECHA**	**OPERACIÓN**		**ACCIÓN REALIZADA**
Mantenimiento de equipos e instalaciones			Limpiezas parciales	.....
			Reparaciones	.....
			Verificaciones	.....
			Otras incidencias	.....
Mantenimiento del sistema de tratamiento del agua			Calibraciones y verificaciones	.....
			Reparaciones	.....
			Otras incidencias	.....

III - OPERACIONES DE REVISIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD FISICO-QUIMICA DEL AGUA

HOJA DE REVISION ANUAL/SEMESTRAL
IDENTIFICACION DE LA TORRE

CONCEPTO	ANUAL	ESTADO		ACCIÓN REALIZADA
Revisión general del funcionamiento			No se observan anomalías	No se precisa
			Se observan elementos defectuosos	... ... (acción realizada)
Revisión del separador de gotas			Buena integridad y correctamente colocado	No se precisa
			Incorrectamente colocado	... ... (acción realizada)
			Roturas o defectos	(acción realizada)
Revisión de incrustaciones			Ausencia de incrustaciones	No se precisa
			Presencia de incrustaciones	... ... (acción realizada)
Revisión de corrosión			Ausencia de procesos de corrosión	No se precisa
			Presencia de elementos con corrosión	... ... (acción realizada)

CONCEPTO	PRIMER SEMESTRE	ESTADO	ACCIÓN REALIZADA	SEGUNDO SEMESTRE	ESTADO	ACCIÓN REALIZADA
Estado del condensador		Correcto. Sin roturas			Correcto. Sin roturas	
		Oxido, obstrucciones, roturas			Oxido, obstrucciones, roturas	
Estado del relleno		Aceptable integridad			Aceptable integridad	
		Piezas defectuosas			Piezas defectuosas	
Estado de las boquillas pulverizadoras		Correcto, sin obstrucciones	No se precisa		Correcto, sin obstrucciones	No se precisa
		Presencia de obstrucciones	(describir acción realizada)		Presencia de obstrucciones	... ... (acción realizada)
Estado de los filtros de aporte		Correcto, sin obstrucciones	No se precisa		Correcto, sin obstrucciones	No se precisa
		Presencia de partículas	(describir acción realizada)		Presencia de partículas	... ... (acción realizada)

IV - RESULTADOS ANALÍTICOS Y REVISIONES

HOJA DE REVISION MENSUAL/TRIMESTRAL
IDENTIFICACION DE LA TORRE

PARAMETRO	Nivel de referencia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Legionella sp (Ufc/L)	<100												
Aerobios totales (Ufc/ml)	<10.000												
Tª (ºC)	No aplica												
pH	Según biocida												
Hierro total (Fe) - (mg/l)	<2												
Turbidez (NTU)	<15												
Conductividad (µS/cm)	Según sistema												
Inspección de la balsa	Limpia												
Filtros de recirculación y otros equipos de tratamiento del agua	Funcionamiento correcto												

Método de ensayo de *Legionella pneumophila* ISO 11731 Water Quality Detection and enumeration of *Legionella pneumophila.*

V – DETERMINACION DE NIVEL DE BIOCIDA DIARIO	
DIA	NIVEL DE BIOCIDA