

EXPERIENCIAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA REGENERADA PARA SU USO EN TORRES DE REFRIGERACIÓN



INTRODUCCIÓN

Dada la escasez de recursos hídricos en la zona y con el objetivo de utilizar las aguas regeneradas, en las que no se requieran exigencias de calidad comparables a las destinadas para consumo doméstico, parece adecuado poner en marcha la reutilización de las aguas residuales, evitando la disminución de los recursos destinados para abastecimiento.

En nuestro caso, esta finalidad consiste en aprovechar el agua residual como materia prima para obtener como producto final agua con una calidad suficiente para su utilización en Torres de Refrigeración.

- ▶ Gestión sostenible de los recursos hídricos:
 - + Incrementa los recursos existentes.
 - + Garantiza la fiabilidad y regularidad de los recursos disponibles.
 - Riesgos sanitarios: normativa.
 - Aceptación pública.

ANTECEDENTES

- 1994, ausencia de normativa estatal, la Consejería de Salud determinó sus propios criterios: "Criterios para la evaluación sanitaria de proyectos de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas":

Estándares de calidad para uso de aguas regeneradas en Torres de Refrigeración
(Uso Industrial)

- Coliformes fecales < 1.000 ufc/100 ml Circuitos semicerrados (*Torres refrigeración*)
- Coliformes fecales < 10.000 ufc/100 ml en circuitos abiertos.

- Junio de 2003: proyecto construcción planta de regeneración de agua en las instalaciones de EMASA en la EDAR Guadalhorce con una capacidad de tratamiento de 400 l/s, para garantizar el suministro de agua para Torres de Refrigeración.
- Mayo de 2004 EMASA solicita ante la Confederación Hidrográfica del Sur autorización administrativa para el uso de agua regenerada.
- Julio de 2006: Ensayos de tratabilidad en laboratorio con muestras de salida secundario.
- Octubre 2006, en proceso de construcción del Tratamiento Terciario, borrador del R.D., de uso de aguas regeneradas, en el que se prohíbe el uso para Torres de Refrigeración.
- Noviembre 2006, Consejería de Salud, autoriza la construcción de Tratamiento terciario, indicando un futuro estudio de la calidad de agua obtenida.

ANTECEDENTES



Dadas las características del agua tratada a la salida de la EDAR, para su regeneración y utilización final prevista, es necesario establecer un tratamiento terciario para conseguir los parámetros de calidad de agua marcados.

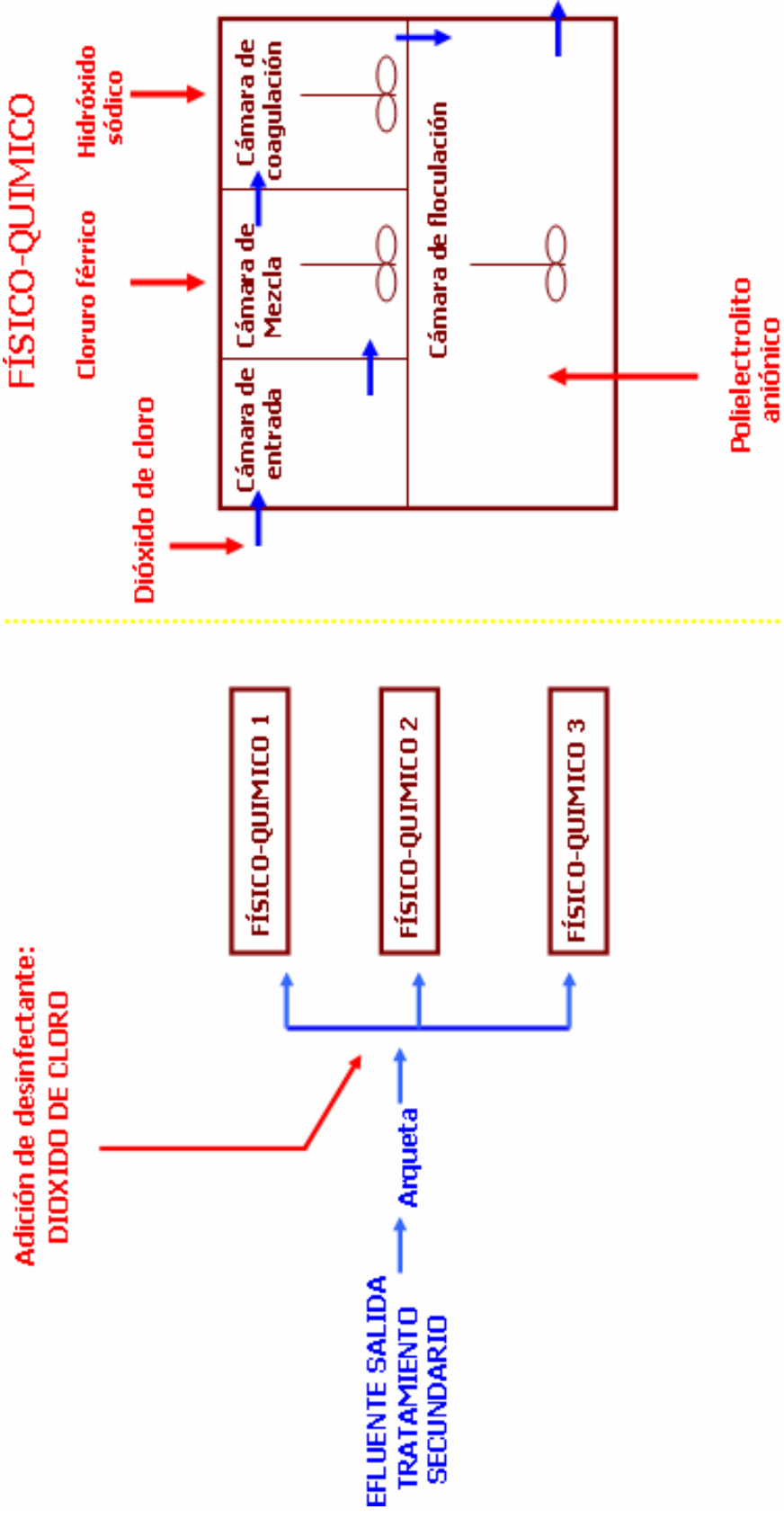
Con este fin se construyó una planta que consta de los siguientes procesos:

1. Físico-químico. Dosificación de reactivos.
 - Coagulación (precipitación fosfatos)
 - Floculación
2. Clarificación
3. Filtración
4. Tratamientos de desinfección



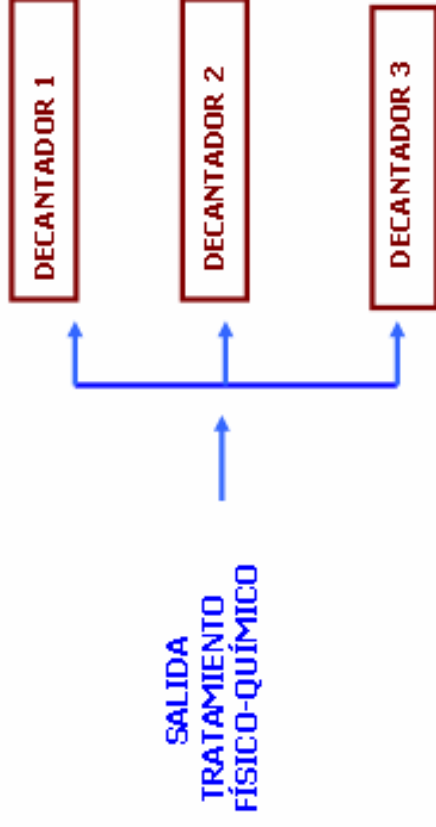
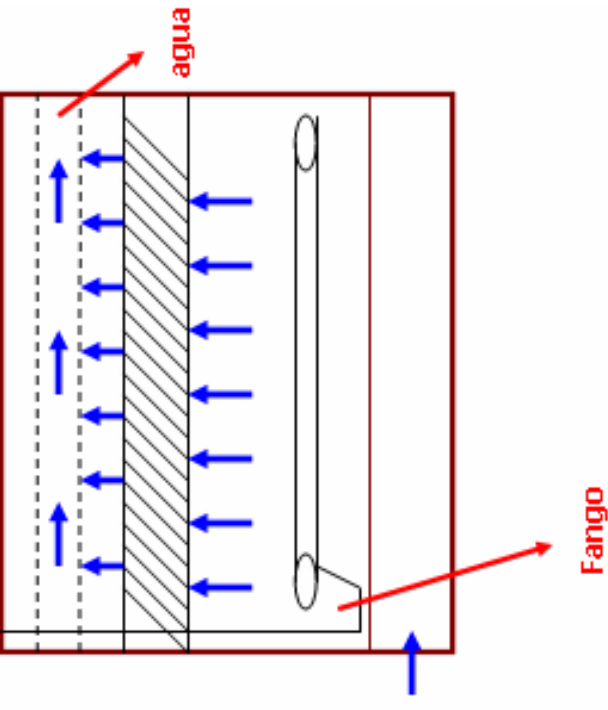
TRATAMIENTO Terciario: FÍSICO-QUÍMICO

Efluentes clarificados libres de materia en suspensión o en estado coloidal.



TRATAMIENTO TERCIARIO: DECANTACIÓN LAMELAR

Decantación por gravedad de los flocúlos más pesados en decantadores rectangulares lamelares.



TRATAMIENTO TERCIARIO: FILTROS DE ARENA

Retención de materia particulada al pasar el agua por una capa filtrante (arena) de tipo abierto, filtración por gravedad de flujo descendente, distintos espesores de lecho filtrante.

A. Canal de entrada de agua y reparto a los filtros.

Previa dosificación de Dióxido de cloro. Impide desarrollo actividad biológica.

B. Canal de recogida del agua filtrada

C. Canal de agua de lavado.



Para restablecer el medio filtrante, un puente de vaivén, se mueve a lo largo del filtro, lavando a contracorriente los alveolos de dos en dos, independientemente de los demás, permitiendo el funcionamiento normal de los restantes, quedando fuera de servicio una mínima parte del filtro durante el lavado, dejando libre el resto de la superficie filtrante.

Lavado a contracorriente se produce cuando aumenta el contenido en sólidos en suspensión o cuando se produce pérdida de carga.

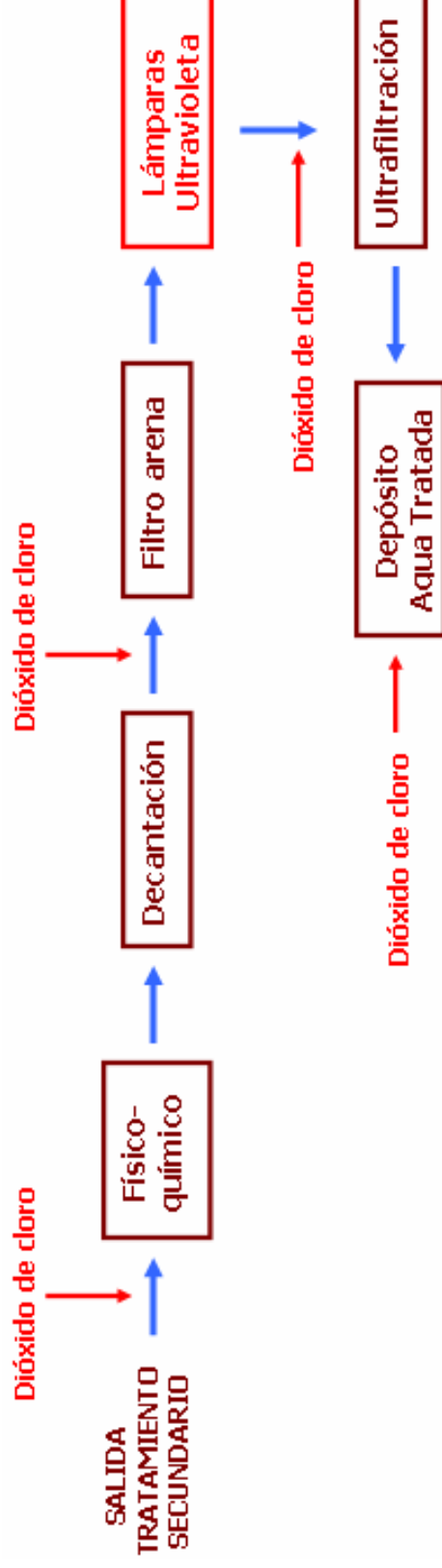
Las natas o flotantes se eliminan mediante una bomba sumergible.

TRATAMIENTO TERCIARIO: DESINFECCIÓN

La finalidad de la desinfección es eliminar bacterias, virus y parásitos patógenos, antes de la reutilización del agua residual.

Con objeto de garantizar la ausencia de eutrofización y crecimiento biológico en el agua durante su tratamiento y conseguir los parámetros microbiológicos marcados para la calidad del agua de salida, se ha instalado un sistema de desinfección basado en la *dosificación de dióxido de cloro* a lo largo del proceso y una desinfección final mediante un *equipo de luz ultravioleta* seguida de una adición de cloro mediante dosificación de dióxido de cloro.

Además, el sistema cuenta con una dosificación de dióxido de cloro en los depósitos de almacenamiento para asegurar el nivel de cloro residual óptimo.



TRATAMIENTO TERCIARIO: DESINFECCIÓN



Dióxido de Cloro:

- ▶ **Su acción bactericida es muy rápida.**
- ▶ **Mejora la calidad del agua, neutraliza olores y elimina el color.**
- ▶ **No forma clorofenoles, ni reacciona con el amoníaco, por lo que no forma cloraminas. También destruye los precursores de trihalometanos y aumenta la coagulación.**

Se genera in situ debido a su inestabilidad.

- **Formación de dióxido de cloro a partir de ácido clorhídrico y clorito sódico, mediante mezclado y dilución de estos dos productos en agua en un reactor especialmente diseñado para ello**



TRATAMIENTO TERCARIO: DESINFECCIÓN

Radiación Ultravioleta:

El tratamiento del agua con radiación UV consigue, rápidamente, la inactivación de los microorganismos presentes, como consecuencia del daño fotoquímico ocasionado en sus ácidos nucleicos, lo que impide la duplicación de estos microorganismos.

Ventajas:

- La desinfección con luz ultravioleta es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- No existe efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier organismo acuático.
- Necesita un periodo de contacto muy inferior al de otros desinfectantes.
- Requiere menor espacio que otros métodos



REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre

A partir de diciembre de 2007 se estableció el Régimen Jurídico de la reutilización de aguas regeneradas mediante el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, en el que se establecen los criterios de calidad para la reutilización de aguas según sus usos, además de la frecuencia mínima de muestreo y el análisis de cada parámetro.

El RD 1620/2007, de 7 de diciembre:

- Define el concepto de reutilización.
- Determina los requisitos necesarios para llevar a cabo el uso de las aguas regeneradas y los procedimientos para obtener la concesión exigida en la ley
- Incluye disposiciones relativas a los usos admitidos y exigencias de calidad para cada caso
- Recoge los criterios de calidad mínimos obligatorios exigibles para la utilización de las aguas regeneradas según los usos
- Condiciones básicas para la reutilización de las agua depuradas.
 - Titular de la concesión o autorización: responsable de la calidad del agua regenerada desde el sistema de reutilización hasta el punto de entrega.
 - Usuario del agua regenerada: responsable de evitar el deterioro de la calidad del agua desde el punto de entrega hasta los lugares de uso.

Con la aparición del Real Decreto se tuvo que ampliar el tratamiento, pues con lo proyectado hasta el momento no se cumplían las calidades exigidas por el mismo. Esta ampliación consistió en membranas de ultrafiltración.

AUTORIZACIÓN USO

- ▶ En febrero de 2010, el Servicio de Dominio Público Hidráulico informa favorablemente la Autorización para reutilización de aguas residuales depuradas procedentes de la EDAR Guadalhorce a la empresa EMASA.
- ▶ Agencia Andaluza del Agua, autoriza a EMASA la reutilización de aguas residuales procedentes de la EDAR Guadalhorce los usos:
 1. Agua de proceso, limpieza y refrigeración de torres de la planta de Ciclo Combinado.
 2. Baldeo de calles, riego de parques y jardines urbanos, taludes, agua de proceso y limpieza excepto para la industria alimentaria, cuando la utilización del agua se realice directamente a partir de camión cisterna u otro vehículo sin un almacenamiento intermedio.
 3. Para los usos para campo de golf, riego de zonas urbanas, es necesaria una valoración individualizada para cada lugar o instalación.
- ▶ Futuros usos en estudio:
 - a) Lavanderías Industriales.
 - b) Zonas verdes en Cementerio.
 - c) Campos de Golf.
 - d) Pistas prácticas de Maquinaria Pesada.

USOS



La planta es capaz de producir agua de dos calidades, en función del uso al que se destina y el RD 1620/2007.

Los usos previstos se resumen en la siguiente tabla:

Nº USO	USO PREVISTO DEL AGUA REGENERADA	USO PREVISTO DEL AGUA REGENERADA. ANEXO I.1 DEL RD 1620/2007	CALIDAD SEGÚN ANEXO I.1 DEL RD 1620/2007
USO 1	Riego de parques y jardines y taludes	Riego de zonas verdes urbanas	1.2. a)
	Baldeo de calles	Baldeo de calles	1.2. b)
	Aguas de proceso y limpieza en la CCC y limpieza de colectores de agua residual	Aguas de proceso y limpieza excepto la industria alimentaria	3.1. a)
	Riego de campos de golf	Riego de campos de golf	4.1. a)
USO 2	Agua para refrigeración de torres	Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	3.2. a)

CRITERIOS DE CALIDAD

Requisitos exigidos al agua regenerada procedente del Tratamiento Terciario para el USO 2 (Torres de refrigeración), cuando el uso es exclusivamente industrial y en localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas ni cerca de lugares con actividad pública o comercial según lo establecido en el RD 1620/2007.

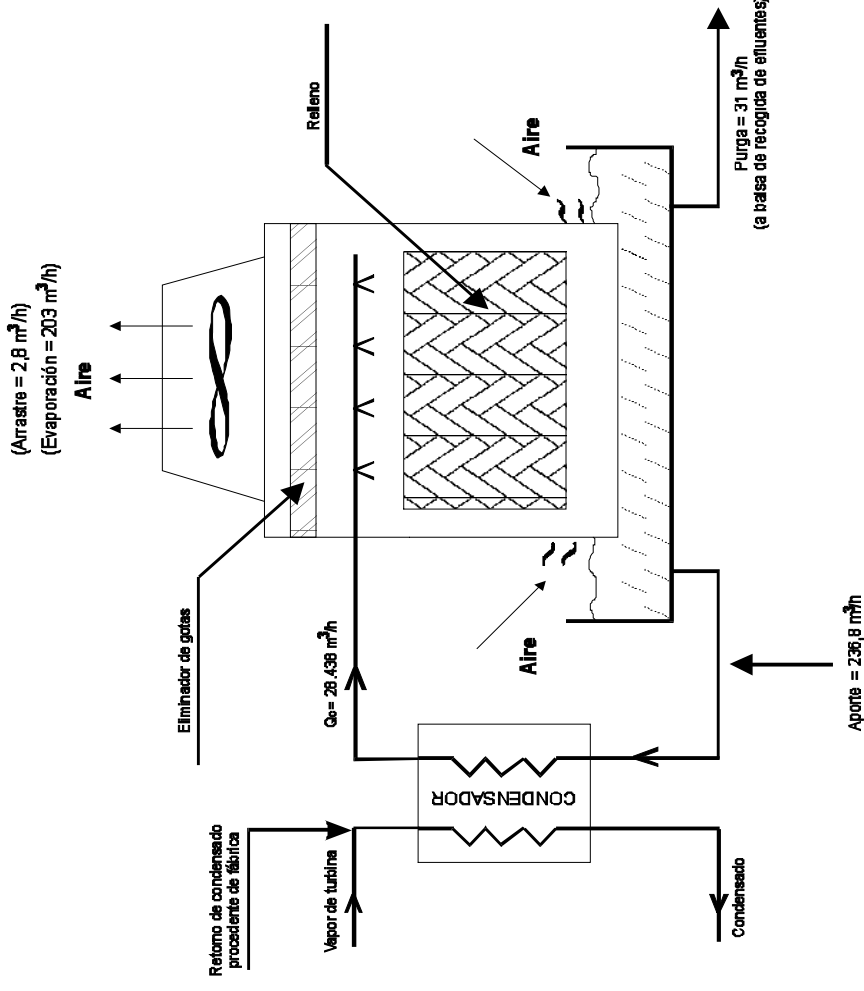
PUNTO DE ENTREGA

PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS
Sólidos en suspensión (mg/l)	5	Diario
Turbidez (UNT)	1	Diario
Escherichia Coli (ufc/100 ml)	Ausencia	3 veces/semana
Nematodos Intestinales (Huevo/10 l)	1	Semanal
Legionella spp (ufc/l)	Ausencia	3 veces/semana

TORRES DE REFRIGERACIÓN

La refrigeración del ciclo de vapor se realizará con agua en torres de refrigeración húmedas de tiro mecánico.

Se dispondrá de una torre de refrigeración en la que se hallan las celdas de refrigeración. Cada celda contiene los elementos básicos para el intercambio de calor. En la parte superior se encuentran el difusor de salida del aire y el ventilador, más abajo, la zona de eliminadores de gotas de arrastre, la entrada del agua caliente, el relleno donde se produce el intercambio, la entrada de aire y la balsa de recogida del agua fría para su recirculación.



El agua regenerada servirá de aporte para compensar las pérdidas de agua que se producen en el circuito de refrigeración, por evaporación de parte de la misma, por la necesidad de purga para mantener la adecuada concentración de sales en el circuito, así como por otras pérdidas (arrastre de gotas en las torres).

TORRES DE REFRIGERACIÓN

Además de cumplir los criterios para la utilización de agua regenerada, se realizará una prevención y control de la legionelosis en la torre de refrigeración, al igual que en muchas otras instalaciones en las que la Legionella es capaz de proliferar y diseminarse, para lo que se cumplirá los requerimientos al respecto del Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico – sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

► Las medidas preventivas se basan en:

1. La eliminación o reducción de zonas sucias mediante un buen diseño y el mantenimiento de las instalaciones.
2. Evitar las condiciones que favorezcan la supervivencia y multiplicación de Legionella, mediante el control de la temperatura del agua y la desinfección continua de la misma.

Considerando lo establecido en el Real Decreto 865/2003, en la Norma UNE 100030 y en el Decreto 287/2002, las medidas preventivas y de control de la legionelosis, para las torres de refrigeración deben considerar lo siguiente:

- UBICACIÓN : reduzca al mínimo el riesgo de exposición de las personas a los aerosoles.
- MATERIALES constitutivos del circuito hidráulico resistirán la acción agresiva del agua y del cloro u otros desinfectantes.
- EQUIPOS FÁCILMENTE ACCESIBLES para su inspección, limpieza, desinfección y toma de muestras.
- Suficientes puntos de PURGA para vaciar completamente la instalación.
- Disponer de sistemas SEPARADORES DE GOTAS de alta eficiencia cuyo caudal de agua arrastrado será menor del 0,05 % del caudal de agua circulante.
- Deberán disponer de sistemas de dosificación en continuo del BIOCIDA.

TORRES DE REFRIGERACIÓN

En 2008, la Consejería de Salud, nos exige que en el caso de utilizarse cloro como biocida para la desinfección de mantenimiento del agua de la torre, se debería alcanzar una concentración equivalente a 2mg/l de cloro libre residual tal y como se recoge en el Anexo 4 del RD 865/2003.

En febrero de 2010, se solicita a la Consejería de Salud, la valoración de un cambio en el programa de tratamiento del agua de la torre de refrigeración de la planta de Ciclo Combinado, debido a la dificultad de mantener esta concentración de cloro libre en el agua.

En este sentido se propone una modificación del programa de tratamiento del agua basado en la sinergia de biocidas oxidantes y no oxidantes.

Durante los primeros 6 meses, la frecuencia de muestreo y análisis exigida por la Consejería de Salud es:

Parámetro	Valor máximo	Frecuencia muestreo y análisis (6 meses)	Frecuencia muestreo y análisis (RD 865/2003)
Temperatura (°C)	-	Mensual	Mensual
Turbidez (UNT)	<15	Mensual	Mensual
Conductividad (µS/cm)		Mensual	Mensual
pH (uds pH)	6,5-9	Mensual	Mensual
Hierro total (mg/l)	<2	Mensual	Mensual
Aerobios totales (ufc/ml)	> 10.000	Diario	Mensual
Legionella (ufc/100ml)		2 veces / semana	Trimestral
Cloro residual libre		Diario	Diario

ULTRAFILTRACIÓN



TRATAMIENTO TERCARIO: Ultrafiltración

- Proceso conducido por presión utilizado para la eliminación selectiva de materia en suspensión, partículas, macromoléculas de gran tamaño, materia coloidal o microorganismos, pero no elimina iones o materia disuelta como ocurre en la ósmosis inversa.
- La fuerza motora para el transporte de componentes, que son suficientemente pequeños para pasar a través de la membrana, es una diferencia de presión hidráulica entre el lado de alimentación y el de permeado (0,5 a 5 bares). El mecanismo de separación es, fundamentalmente, el de "exclusión por tamaño o tamizado".
- Las membranas presentan un tamaño de corte con el que se consigue una gran eliminación de contaminantes como microorganismos (p.ej. Giardia y Cryptosporidium), partículas, sólidos en suspensión (incluyendo materia coloidal) o turbidez, generando un filtrado de gran calidad.

Propiedades deseables en una membrana de UF:

- Alta porosidad y poros de tamaño pequeño para producir un permeado de alta calidad y alto caudal.
- Resistente y robusta.
- Alta tolerancia a agentes químicos de limpieza.
- Fácil de limpiar.
- Flujo eficiente.

TRATAMIENTO Terciario: Ultrafiltración

Membranas:

Fibra hueca

Diámetro fibra: 0,8mm

Material: Poliestersulfona

Tamaño poro: 0,025 μm

Interior-Exterior

Planta:

4 filtros malla: 50 μm

8 líneas o "racks"

52 membranas/línea

Datos de diseño:

Q producción: 903 m³/h
de permeado partiendo de
1.004 m³/h de entrada

Los restantes se pierden
en procesos de lavado.

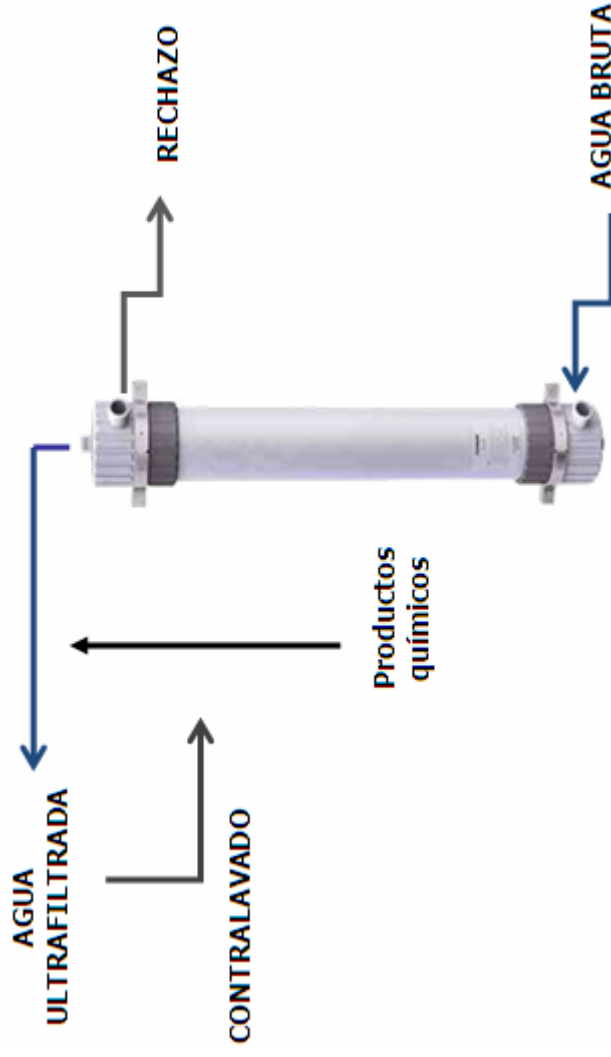


TRATAMIENTO TERCARIO: Ultrafiltración

Etapa de filtración: el agua a tratar es bombeada a través de la membrana, (previo paso por filtros de malla de 50um) en sentido de dentro hacia fuera de las fibras huecas

Durante la filtración el puerto de concentrado permanece cerrado, por lo que los módulos trabajan en modo de final ciego.

Dependiendo de la calidad del agua de alimentación, la duración del ciclo de filtración varía de 20 a 60 minutos



TRATAMIENTO TERCARIO: Ultrafiltración

LAVADO Y CONSERVACIÓN DE LAS MEMBRANAS

A medida que el ciclo de filtración transcurre, las fibras se van ensuciendo debido a la acumulación de contaminantes presentes en la alimentación y es necesario llevar a cabo un contralavado automático para mantener un caudal de producción estable.

Contralavados simples:

Objetivo: inyección de agua ultrafiltrada en sentido contrario a la filtración.

Contralavado ayudado por aire:

Se introduce aire en el interior de las fibras hasta presurizarlas. La expansión de los poros de la membrana que genera la presurización con aire permite a la corriente de contralavado arrancar más fácilmente la suciedad adsorbida en la membrana.

Contralavado químico:

En este caso se inyectan en la línea de contralavado productos químicos, cuya naturaleza y concentración dependerá del grado y la naturaleza del ensuciamiento.

Normalmente se usan productos estándar tales como:

- **Acido clorhídrico o sulfúrico:** en la eliminación de incrustaciones y material inorgánico.
- **Hidróxido sódico:** para limpieza y control de ensuciamiento orgánico.
- **Hipoclorito sódico:** como oxidante, desinfectante y eliminación de material biológico.

TRATAMIENTO TERCARIO: Ultrafiltración

Limpieza intensiva:

Cuando todos los lavados anteriormente descritos no sean suficientes para eliminar la suciedad adherida a la membrana, se puede recurrir a una limpieza química intensiva, llamada CIP, la frecuencia de esta limpieza generalmente es de 1 o 2 veces al año.

Estas limpiezas químicas son beneficiosas para la eliminación de materiales inorgánicos, orgánicos y biológicos de la membrana.

- ✓ Un aumento de temperatura de la solución ayuda a mejorar la eficiencia de la limpieza.

En la limpieza CIP se suelen utilizar los mismos reactivos químicos que los que se usan en los procedimientos CEB, pero habitualmente a mayores concentraciones.

En este caso, la solución química elegida (en función del ensuciamiento) se recircula durante varias horas por el interior de las fibras, posteriormente se dejan las membranas en remojo durante unas horas, siguiendo con una etapa adicional de recirculación de la solución química, a ser posible nueva, y finalizando con un enjuague con agua.



TRATAMIENTO TERCIARIO: Plantas piloto UF

Puesta en marcha y optimización de plantas piloto de UF:

Pensando en una futura ampliación de la planta, se puso en marcha un proyecto de optimización del funcionamiento de tres plantas piloto de ultrafiltración.

Objetivo: determinar las condiciones óptimas del proceso de ultrafiltración de agua residual, tras su paso por el Tratamiento Terciario.

Unas membranas filtraban el agua en sentido fuera-dentro y otras dentro-fuera.

Como resumen comentar que:

Las membranas Fuera-dentro consumen menos reactivos químicos, ya que necesitan menor número de limpiezas químicas que las membranas de Dentro-fuera.

Inyección de coagulante en línea, justo antes de entrar en la membrana, favorece la UF, ya que reduce la penetración de incrustantes en los poros de la membrana.

