

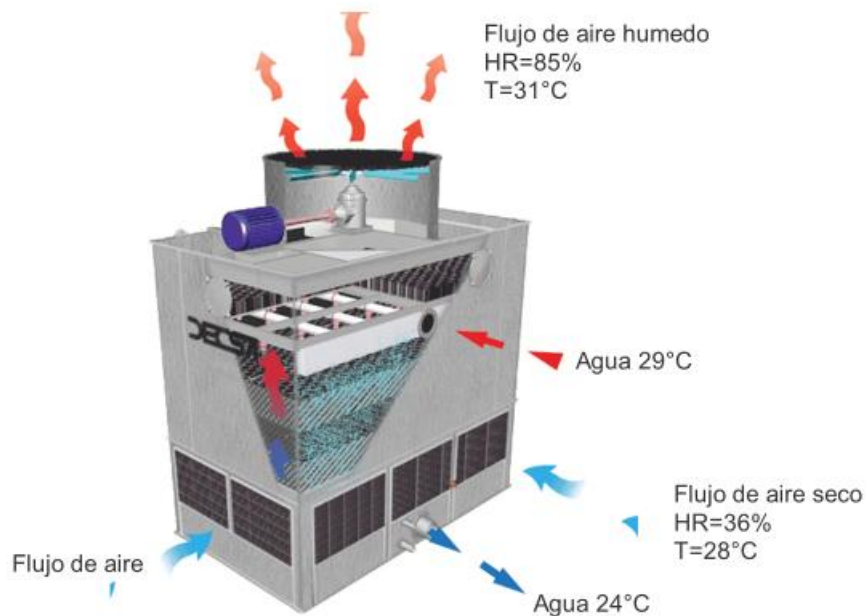
Los sistemas de enfriamiento tienen como objetivo disipar el calor generado por la operación de equipos como: inyección y moldeo de plásticos, calderas, sistemas de enfriamiento por compresión de un gas (chillers), condensadores de vapor, etc.

En todos estos se emplea como medio de extracción del calor, el agua, por sus propiedades físicas, su disponibilidad y bajo costo entre otras razones.

Las configuraciones posibles de sistemas de enfriamiento pueden ser variables, pero podemos considerar o generalizar que existen dos circuitos: sistema cerrado y sistema abierto.

En el circuito cerrado, el agua de enfriamiento circula continuamente a través de los componentes que se calientan y el calor se transmite al agua.

Este calor absorbido por el agua debe cederlo a su vez a otro receptor externo para que el agua disminuya su temperatura y pueda nuevamente regresar al circuito para continuar otro ciclo de enfriamiento y así sucesivamente.



**Figura 1:** torre evaporativa con enfriamiento por circulación de aire. El agua pierde calor y disminuye su temperatura. El aire incrementa su humedad con el agua evaporada.

Circuito Cerrado: cuando el agua de enfriamiento no está en contacto con el medio ambiente y cede su calor a otro fluido por transferencia o contacto sin mezclado, se dice que es un circuito cerrado.

El agua circulante para enfriamiento no cambia su composición, no se evapora y no se altera su masa, pero esto es ideal ya que siempre hay fugas y derrames y deberá compensarse por las pérdidas, pero “idealmente” en un ciclo cerrado se tienen estas condiciones y en la práctica se acerca a este modelo cuando las fugas y pérdidas de agua son mínimas.

Circuito Abierto: el sistema abierto consiste en un sistema de bombeo donde el agua está fluyendo continuamente y se pone en contacto con el o los componentes de los que hay que

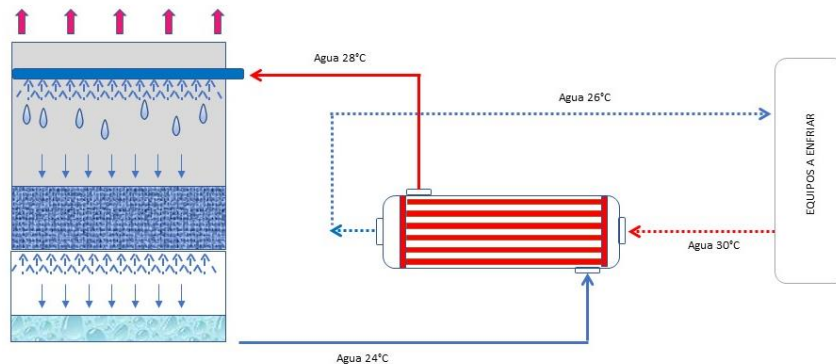
extraer el calor. El calor que se absorbe debe disiparse a otro receptor y en este caso el agua fluye a través de una columna empacada donde el agua cede este calor al aire que circula. De esta forma el agua disminuye su temperatura y pasa a un nuevo ciclo donde el agua se bombea para contacto con el o los componentes de manufactura que requieren de enfriamiento.

Donde ocurre la disipación del calor del agua de enfriamiento se llaman comúnmente “torres de enfriamiento o torres evaporativas”. Este nombre se debe a que parte del agua se evapora y se integra al aire que circula por la torre de enfriamiento

A diferencia de los sistemas cerrados, en los circuitos abiertos ocurren pérdidas de agua por:

- Fugas y derrames
- Evaporación de agua
- Arrastre de gotas de agua

Estas pérdidas deberán compensarse agregando la cantidad de agua necesaria para mantener el nivel hidráulico y estabilidad en el equipo de bombeo.



**Torre abierta:** el agua que fluye por el exterior de los tubos del intercambiador absorbe el calor del agua que circula por el interior de los tubos.

Esta se distribuye en una torre evaporativa donde el agua se enfría de 28°C a 25°C, regresando nuevamente al circuito de intercambio de calor.

**Sistema Cerrado:** el agua que sale de la planta de producción a 30°C se enfría en un intercambiador de tubos a 26°C y se encuentra en un circuito cerrado.

Los dos tipos de agua en el circuito requieren de tratamiento pero el tratamiento requerido para la torre abierta y para el circuito cerrado es diferente.

**Figura 2:** combinación de un circuito abierto y un circuito cerrado en un sistema de enfriamiento de agua por tubos, en un intercambiador de calor y por torres evaporativas.

## GENERALIDADES DE TORRES DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes. Son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los intercambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre por la transmisión de calor del cuerpo caliente al más frío a través de una pared.

En el interior de las torres se monta un empaque o relleno con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría.

En las torres se colocan deflectores o eliminadores de gotas o niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objeto de disminuir en lo posible las pérdidas de agua.

El agua se introduce en la parte superior de la torre por medio de vertederos o por boquillas para tener expuesta el agua en su máxima área de contacto posible con el aire que fluye verticalmente hacia el domo de la torre.

El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente.

En estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre.

Se recomienda el tratamiento del agua a enfriar y del agua del circuito, agregando: álcalis, algicidas, bactericidas, protectores de corrosión y de agentes que eviten la formación de incrustaciones.

También se requiere tener control de las características del agua en el circuito realizando periódicamente análisis microbiológicos así como de las características y los iones que son causantes de las incrustaciones y de la corrosión en los elementos de la torre.

#### La evaporación como causa de enfriamiento.

El enfriamiento de agua en una torre tiene su fundamento en el fenómeno de evaporación. La evaporación es el paso de un líquido al estado de vapor y solo se realiza en la interface de un líquido; un ejemplo es la evaporación del agua de los mares.

Cuando el agua se evapora sin recibir calor del exterior es necesario que tome de sí misma el calor que necesita, esto origina que el agua se enfríe y por lo tanto que su temperatura disminuya.

Ejemplos cotidianos del enfriamiento natural por evaporación son:

1: Se sabe que el agua contenida en un jarro poroso se mantiene muy fresca a causa de la evaporación que se produce en la superficie del jarro, ya que fluye a través de sus poros y en contacto con el aire no saturado se evapora.

2: Un líquido caliente se enfría vaciándolo de un recipiente a otro porque aumenta la evaporación al incrementarse el contacto con el aire.

3: El frío que se experimenta al salir de un baño se debe a la evaporación rápida del exceso de humedad en la piel al contacto con el aire.

Durante la evaporación natural se absorbe calor y esto constituye un proceso de enfriamiento.

#### Mecanismo de la evaporación.

En la superficie del agua que está en contacto con aire no saturado sucede lo siguiente:

1. Inicialmente el agua toma calor de sí misma para evaporarse y así se crea un gradiente de temperatura entre el seno del agua y la superficie de contacto.

2. El aire recibe humedad (vapor) y por lo tanto energía en forma de calor latente de vaporización

3. Después el aire le proporciona energía al agua, la que se evapora cada vez más a expensas de la energía del aire que de sí misma, hasta establecerse un estado de equilibrio a la temperatura de bulbo húmedo del aire.

Variables que influyen en la evaporación.

En la superficie de contacto agua/aire el calor total que gana el aire (Q) está dado por la relación:

$$Q = A h(t_2 - t_1)$$

Q=calor absorbido por el aire que fluye=calor perdido por el agua que circula en el circuito

h=calor sensible del agua Kcal/Kg

A=Área de contacto de las gotas que se forman por aspersión.

t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub> son las temperaturas del agua antes y después de intercambiar calor con el aire que fluye

Con la que se deduce que la evaporación depende de:

1. Las propiedades del sistema

Presión total: La evaporación es más rápida a bajas presiones o en el vacío y más lenta a presiones altas.

Área de contacto (A). La masa de agua evaporada es proporcional a la superficie en la cual se efectúa la evaporación.

Coefficiente de transferencia de calor (h) el cual depende entre otras variables, de la velocidad del aire. La evaporación se acelera a mayor velocidad de las corrientes de aire, el viento desplaza las capas de aire sobre la superficie de evaporación y arrastra consigo la humedad.

Diferencia de temperatura entre el agua y el aire.

2. Efecto difusional de masa

Humedad del aire: La evaporación es más rápida, cuanto más seco esté el aire o menos saturado de vapor.

3. Propiedades del agua.

Presión de vapor.

Conductividad térmica del agua (k). La alta conductividad térmica favorece la evaporación.

Aunque la teoría de la evaporación del agua y su integración al aire circulante es mucho más compleja de lo que se ha expuesto, solo pretendemos enfatizar los hechos que son:

- Cuando una masa de aire entra en contacto con el agua, parte del agua se integra al flujo de aire en forma de vapor.
- Este fenómeno causa el enfriamiento de la masa de agua que entra en contacto con el aire, ya que para evaporarse el agua toma calor de sí misma.
- La fuerza impulsora que favorece la integración del agua al aire es la humedad relativa del aire. Cuanto menor sea la humedad del aire mayor es la fuerza impulsora y más agua se integra al aire con un consecuente descenso en la temperatura del agua.
- Mayor flujo de aire, mayor evaporación
- Menor tamaño de gotas de agua mayor evaporación y mayor enfriamiento del agua en el circuito de enfriamiento.

## PROBLEMAS ASOCIADOS A SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO INDUSTRIALES

Los problemas que en mayor o menor intensidad (no necesariamente en ese orden de importancia) se tienen en sistemas de enfriamiento abiertos y cerrados son:

- Corrosión
- Incrustaciones
- Algas y microorganismos
- Sólidos en suspensión

Corrosión: la corrosión causa daños irreversibles a los componentes del equipo. No se puede evitar por completo, pero debe mantenerse en control ajustando la composición química y fisicoquímica del agua que circula.

También, es necesario agregar los productos químicos que de acuerdo con la composición del agua y de los materiales a proteger prevengan la corrosión.

Incrustaciones: para evitar el taponamiento y formación de incrustaciones se debe controlar la composición del agua (con las purgas requeridas) además de la adición de sustancias químicas que prevengan la formación de depósitos incrustantes.

Algas y microorganismos: el descontrol microbiológico puede causar la aparición de algas y microorganismos. Además de representar un problema de salud por la posible presencia de legionella y otras especies, el crecimiento microbiológico forma películas microbianas que pueden generar gases corrosivos y taponamientos.

Para esto se requiere el uso continuo de biocidas como cloro y sus derivados, yodo y otros biocidas y algicidas

Sólidos suspendidos: aunque el agua originalmente no contenga partículas sólidas, estas se pueden integrar en la operación de enfriamiento cuando el aire trae polvo y el agua se pone en contacto con este en las torres evaporativas.

Estas partículas son abrasivas, además de que coprecipitan con componentes originalmente solubles en el agua (sulfatos, carbonatos ...) y forman precipitados muy adherentes y difíciles de remover.

Para evitar esto, es necesario una continua filtración del agua que circula en el circuito de enfriamiento.

## CONTROL Y TRATAMIENTO EN CIRCUITOS CERRADOS

Si el agua no se evapora, su composición química debe permanecer constante. Si no hay fugas o estas pérdidas son mínimas, no es necesario agregar químicos protectores en un largo periodo (un año).

En circuitos cerrados se agrega una mezcla de agentes anticorrosivos y se ajusta la composición del agua para tener un Índice de Langelier (IL) entre cero y +1.

Cada mes o cuando se considere conveniente se agrega un biocida no oxidante y un algicida para evitar desarrollo microbiológico.

El agua en circulación deberá circular por tuberías y depósitos donde sea mínimo su contacto con el exterior para evitar alteraciones en la composición del agua.





1

2

3

4

1 formación de biopelículas por crecimiento de algas y microorganismos  
2 y 3 daños en empaques de torres de enfriamiento por solidos acumulados  
4 corrosión en intercambiadores de calor

### CONTROL Y TRATAMIENTO EN CIRCUITOS ABIERTOS

En este tipo de operación siempre se tendrán pérdidas, por lo que es necesario agregar agua de repuesto.

Las pérdidas por el agua que se evapora siempre conducen a una alteración en la composición del agua en el circuito y se hace necesario una purga o extracción de agua para disminuir la salinidad y la concentración de algunos componentes que pueden precipitar formando incrustaciones.

El agua de repuesto es agua de la red o del pozo de suministro del usuario de los equipos de enfriamiento. El valor de control más usual es el contenido de solidos disueltos (STD o TDS). Si se fija este valor limite en 2500 ppm, por ejemplo, al detectar este valor limite un control de STD, se abre una válvula de forma manual o automática hasta alcanzar un valor de STD seleccionado que puede ser por ejemplo 750 ppm.

Este vaciado de agua se llama “purga” y tiene como consecuencia una disminución en los químicos que protegen contra la incrustación, corrosión y formación de microorganismos, por lo que es necesario estar dosificando estos productos y cuantificar la concentración de los químicos en el circuito.

#### Remoción de polvos y partículas (SS Solidos Suspendidos)

En los circuitos abiertos es necesario disponer de un eficiente sistema de filtración de partículas sobre todo si la zona donde se tiene el circuito abierto es zona polvosa y con vientos que integran polvo y partículas al agua de enfriamiento.

También por su exposición al medio ambiente, la contaminación microbiológica y el acarreo de esporas de algas por el aire que circula favorece el crecimiento microbiano.

Se requiere un estricto control de biocidas manteniendo la dosificación de cloro 1.0-2.0 ppm y eventualmente un tratamiento shock para remoción de cúmulos microbianos.

Después de un cierto número de ciclos de enfriamiento, se alcanza un valor limite en alguno de los parámetros de calidad del agua y es necesario disminuir este valor, lo cual se efectúa con purgas periódicas, ya sea en forma manual o automatizadas.

Control biológico

Cloro o desinfectante 1.0-2.0 ppm  
Alguicida (sales cuaternarias de amonio) 5-10 ppm  
Glutaraldehído un galón cada mes

Control de incrustaciones

pH entre 8.0 y 9.5  
Conductividad STD no mayor de 2000 ppm  
Dureza no mayor de 100 ppm  
Alcalinidad: 350-900 ppm  
Fosfatos 30-50 ppm

Control de corrosión

pH entre 8.0 y 9.5  
Alcalinidad: 350-900 ppm  
Dureza 30-70 ppm  
Fosfatos 30-50 ppm  
STD no mayor de 1500-2500 ppm  
Sulfato de zinc 1.0-2.0 ppm

Se requiere efectuar purgas cuando la calidad del agua se encuentre fuera de los parámetros de estos niveles.

Si los niveles de fosfatos se encuentran por debajo de 20 ppm deberá dosificarse mayor cantidad de mezcla de químicos o corregir por concentración de fosfatos en la mezcla de inyección.

**CONCEPTO DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO**

Los conceptos clásicos de tratamiento de agua para evitar los problemas de corrosión, incrustaciones, control microbiológico y problemas asociados siempre ha sido el purgar eventualmente cuando la concentración de sólidos disueltos (STD) o la alcalinidad o algún otro parámetro crítico que pueda causar problemas en los equipos del sistema de enfriamiento alcance un valor límite.

**PURGA Y CONTROL DE LA SALINIDAD EN EL AGUA DE ENFRIAMIENTO**

Cuando se abre la línea de la purga para disminuir los niveles de salinidad, se debe recuperar el agua evaporada y esto se hace con agua de la red que, aunque tiene salinidad natural, es menor que la del circuito y disminuye su concentración.

Cuando se hace la purga, el agua que se desecha lleva consigo salinidad y químicos que se agregan para protección de la torre.

No solo es un problema de pérdida de agentes químicos protectores que deben reponerse; también estos agentes químicos son una fuente que contribuye a los desechos de contaminantes de la empresa o industria que opera los sistemas de enfriamiento.

**ALTOS NIVELES DE TURBIDEZ Y SOLIDOS SUSPENDIDOS**

La turbidez en el agua en torres de enfriamiento casi siempre está relacionada con los Solidos Suspendidos (SS).

El aire que en forma natural o forzada circula por las torres de enfriamiento, acarrea partículas de polvo de arcillas y tierras insolubles en agua. Estos SS siempre causan problema porque:

- Tienen características abrasivas para las bombas, tuberías y demás componentes.
- Coprecipitan con incrustaciones de sílice y carbonatos formando depósitos muy duros y difíciles de remover.
- Favorecen la formación de aglomerados con películas microbiológicas que taponean los equipos y son de naturaleza corrosiva.

La turbidez y presencia de SS no siempre es posible evitarla, sobre todo cuando la torre se encuentra en zonas arenosas y polvosas, pero deben implementarse equipos y tratamientos para remover estas partículas dentro del mismo circuito de la torre de enfriamiento.

**CONCEPTO DE TRATAMIENTO FESTA-HIDROGEL**

Muchos proveedores de programas de tratamiento de agua para torres de enfriamiento ofrecen una solución única para todos los tipos de agua, con formulaciones únicas para todos los tipos de agua, lo cual no siempre es lo más conveniente.

*Tabla 1:* composición de diferentes muestras de agua empleadas en torres de enfriamiento

PARÁMETRO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	LIMITES
ALCALINIDAD	611	245	114	748	52	200-800
CLORUROS	13.2	11.5	6.9	77	1.8	>50
CONDUCTIVIDAD STD	682	411	128	980	22	200-800
DUREZA	288	365	145	410	55	50-100
FOSFATOS	2.3	2.8	1.5	2.6	0.3	20-50
NITRATOS	14.2	7.15	3.9	19.9	0.25	>10
pH	7.2	8.1	6.9	7.7	6.8	7.0-9.0
SÍLICE	18	54.3	11	17.2	1.22	>100
SULFATOS	115	48	18	188	4.2	>100

De acuerdo con esta tabla, con excepción de la muestra 5, todas las demás muestras requieren de ablandamiento en ciclo sodio para remover o disminuir la dureza a niveles aceptables.

Las muestras 1, 2 y 4 tienen una alta salinidad (STD) y en unos cuantos ciclos de concentración se va a presentar saturación de sales y deberá purgarse con mayor continuidad lo que causa mayor consumo de agua y de químicos que finalmente son parte del agua del drenaje.

La muestra 2 puede presentar incrustaciones de sílice cuando ocurre la concentración por pérdidas evaporativas.

Las altas concentraciones de nitrógeno y fosforo (muestras 1 y 4), además de la concentración de solidos por evaporación favorece la formación de algas y microorganismos ya que estos elementos son nutrientes y estimulan su crecimiento.



Por lo tanto, un tratamiento único, como lo proponen algunos proveedores de servicios de tratamiento para torres de enfriamiento no funciona para todos los tipos de agua.

**SISTEMA FESTA-HIDROGEL**

Para corregir y compensar por estas variables nuestro sistema consiste en lo siguiente:

- Un sistema de filtración continua para remover y retener partículas de solidos suspendidos.
- Producción de agua por medio de osmosis inversa para reposición del agua evaporada y derramada por fugas y goteos en equipos y tubería.

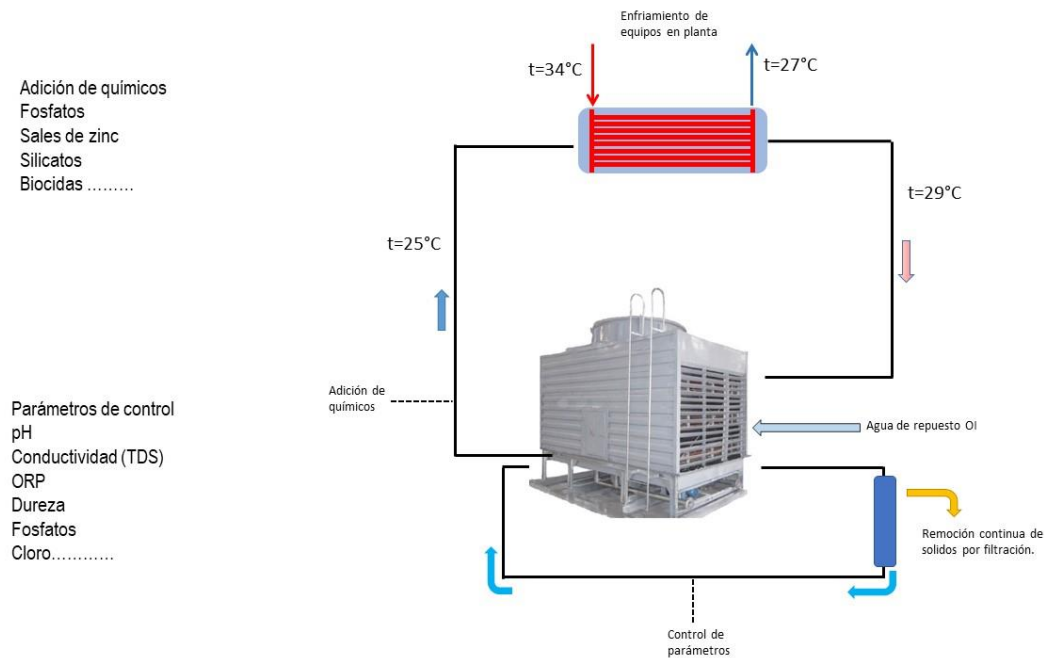
La OI remueve un 90-95% de los sólidos disueltos, por lo que el agua producida no tiene salinidad apreciable y si esta se emplea para reponer el agua evaporada, la composición del agua de enfriamiento en circulación continua no cambia apreciablemente en su concentración.

Si no ocurre concentración de sales en el agua de enfriamiento, no es necesario la purga y no hay necesidad de vaciar en el drenaje concentrados de agua con químicos disueltos.

La no presencia de nitrógeno y fosforo limita el crecimiento de algas y microorganismos y el control biológico es más efectivo.

Para evitar la corrosión y la formación de incrustaciones, se tiene mayor control en la dosificación de químicos que cumplen con este propósito.

El esquema de tratamiento FESTA-HIDROGEL es el mostrado en la figura 3.



**Figura 3:** torre de enfriamiento evaporativa. Sistema de filtración continua y de reposición de pérdidas por evaporación con agua de OI.

En resumen, este sistema FH tiene como beneficios

- Menor consumo de agua
- Mejor calidad y control de las características del agua

- Menor consumo de químicos protectores de corrosión e incrustaciones
- Por la ausencia de nutrientes y si se mantiene además un programa de control con biocidas, no hay crecimiento de algas y microorganismos
- Menos residuos al drenaje