

# TRATAMIENTOS Y DISEÑOS ALTERNATIVOS DE LAS INSTALACIONES DE RIESGO DE PROLIFERACION DE LEGIONELLA NEUMOPHILA

## *ALTERNATIVES TREATMENT IN THE INSTALLATIONS FOR LEGIONELLOSIS RISK REDUCTION*

**José Macias Macias**

Ingeniero Industrial. Jefe de Servicio de Mantenimiento y Electromedicina. Hospital Juan Ramón Jiménez. Huelva

### 1. INTRODUCCIÓN

La dilatada experiencia del autor en el campo de la ingeniería de mantenimiento hospitalario, ha servido de base para sugerir distintas alternativas para prevenir la aparición de la bacteria *Legionella Neumophila* en las instalaciones de riesgo. Lo que se pretende con las recomendaciones propuestas de diseño, uso y tratamiento de dichas instalaciones, es crear en ellas entornos hostiles para la vida microbiana y especialmente para la legionela, combinando métodos físicos y químicos. De esta forma lograremos disminuir las poblaciones de la bacteria, por debajo de los niveles que a la luz de los conocimientos actuales, resultan infectivos.

Se describen opciones diferentes a los métodos de tratamiento tradicionales, que permiten obtener los mismos resultados minimizando los riesgos, tanto para las personas como para el medio ambiente. También se exponen los resultados de varios experimentos, mediante los cuales se ha intentado conocer como se comportan las instalaciones y los materiales que las componen, frente a la agresión que producen los métodos biocidas. Y por último, se comparan los distintos tipos de instalaciones centralizadas de producción y almacenamiento de agua caliente y se estudian las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

Las propuestas que se formulan pretenden tres cosas y por este orden: controlar las poblaciones de legionela evitando que originen la enfermedad en las personas, proteger las instalaciones en las que puede desarrollarse la bacteria, y en la medida de lo posible, evitar daños al medio ambiente derivados del vertido de sustancias peligrosas.

### 2. PROPUESTA DE DESINFECCIÓN ALTERNATIVA DE ALJIBES DE AGUA POTABLE A LA DESCRITA EN EL RD. 865/2003

Una determinada cantidad de agua contenida en un depósito o aljibe, en el cual no se ha detectado la presen-

cia de *Legionella Neumophila*, y en el que se ha mantenido un índice de cloro residual acorde con lo dispuesto en la RTSAP (entre 0.2 y 0.8 ppm) no debería de clorarse hasta 20-30 ppm por varios motivos:

- Vamos a clorar un agua que puede usarse. En el peor de los casos si no nos fiamos, podemos tirarla al alcantarillado sin añadirle productos químicos contaminantes como son los agentes cloradores y decloradores. Lo único que vamos a hacer EN EL PEOR DE LOS CASOS es devolver poblaciones de legionelas a su hábitat natural (léase el Preámbulo del Real Decreto 865/2003).
- Si cloramos el agua, vamos a desperdiciar cantidades importantes de un recurso escaso, sin obtener utilidad alguna. Además la cantidad de agentes cloradores y decloradores va a depender de la cantidad de agua almacenada y podemos estar hablando de cientos de metros cúbicos de agua y cientos de kg. de reactivos químicos por cada edificio. Multiplíquese por todos los hospitales, hoteles, estaciones, aeropuertos y otros edificios colectivos que hay en España y podrá apreciarse de que magnitudes tanto económicas como volumétricas estamos hablando, PARA TIRARLAS A LOS RIOS O AL MAR.

### 2.1. DESINFECCIÓN ALTERNATIVA

Para la desinfección anual en caso de depósitos no contaminados se sugiere lo siguiente:

- Utilizar el agua hasta agotar los aljibes o eliminarla a través de los desagües si no nos fiamos de su pureza microbiológica o química.
- Limpiar a fondo las paredes con cepillo duro.
- Realizar las reparaciones necesarias y aclarar con agua limpia.

- Impregnar las paredes, suelo y techo de los aljibes, pulverizando sobre ellos o aplicando a brocha o rodillo una solución de hipoclorito sódico apto para agua potable conteniendo 30 ppm de cloro residual libre, manteniendo su acción varias horas. (En definitiva lo que se propone es lo que contempla el Real Decreto 865/2003 para los elementos no desmontables).
- Aclarar posteriormente con abundante agua fría. Dada la escasa cantidad de reactivo que se empleará en esta tarea, no es necesario neutralizarlo, pues conseguiremos rápidamente diluciones no peligrosas ni para el medio ambiente ni para los trabajadores que realizan las tareas descritas.
- Volver a llenar con agua y añadir la cantidad agente clorador necesario para lograr las concentraciones de cloro que prescribe la Reglamentación técnico-sanitaria para el agua potable (0,2 – 0,8 ppm de cloro residual libre)

Con este procedimiento se consiguen exactamente los mismos objetivos que lo dispuesto en el Real Decreto, con un considerable ahorro de mano de obra, energía, agua y reactivos químicos, además de evitar vertidos importantes de sustancias contaminantes al medio ambiente.

Veamos ahora la desinfección en caso de brote de legionelosis o depósito contaminado.

## 2.2. DESINFECCIÓN CON CLORO

En caso de brote de legionelosis o frente a un aljibe que presenta un análisis microbiológico con presencia significativa de legionelas, el tratamiento a seguir estaba descrito en el apartado C del ANEXO 3 del Real Decreto 909/2001, y el RD 865/2003 lo reproduce en una de sus disposiciones. Sin embargo a la vista de experiencias sufridas, debe tenerse en cuenta y asumirse cuando se vaya a realizar una desinfección de choque de toda la red lo siguiente:

- Si se representa el contenido de cloro libre en agua en función de la cantidad de agente clorador que se va añadiendo al agua contenida en un aljibe, se observa que la materia orgánica presente propicia una curva ascendente al principio, descendente a continuación debido a la combinación del cloro con la misma y una vez pasado un punto determinado, la curva vuelve a ser ascendente otra vez con una pendiente inferior a los 45°. Por lo tanto no son válidos cálculos simples que permitan saber la cantidad de hipoclorito a añadir teniendo en cuenta el volumen de agua almacenada. Es necesario ir midiendo continuamente el índice de cloro conforme se va añadiendo agente clorador. Es muy fácil pasarse de los índices recomendados. Esta tarea puede consumir varias horas de trabajo si el aljibe es de varios cientos de M<sup>3</sup>.
- Es recomendable neutralizar el cloro libre con METABISULFITO SODICO apto para uso alimentario 5]. Este agente de clorador es igual de eficaz que el TIO-

SULFATO SODICO y considerablemente más barato. La neutralización se acelera agitando el agua.

- A continuación debe limpiarse y repararse el aljibe. Luego debe llenarse con agua limpia. Estas tareas pueden durar varios días en un hospital.
- La segunda hipercloración en la cual debe distribuirse el desinfectante por toda la red de manera ordenada desde el principio hasta el final INUTILIZA LA RED PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DURANTE EL TIEMPO NECESARIO PARA ALCANZAR 3-4 ppm EN LOS PUNTOS TERMINALES, MANTENER ESE ÍNDICE DE CLORO Y NEUTRALIZAR LUEGO TODO EL AGUA CONTENIDA EN LAS TUBERÍAS. Esta tarea puede durar más de un día, desde el inicio de los trabajos hasta el comienzo de la neutralización.
- La neutralización debe llegar a todos los puntos por lo cual es preciso abrir todos los grifos y duchas para garantizar que en ningún ramal quedan residuos ni de agente clorador libre ni de neutralizante.

A la vista de lo anterior, un tratamiento de choque mediante hipercloración ante casos de legionelosis, INUTILIZA LA RED DE AGUA FRÍA DURANTE VARIOS DÍAS y esto debe asumirse y evitar soluciones parciales, como sería hiperclorar solo el aljibe y no abrir todos y cada uno de los puntos terminales, bien por olvido, bien por no creerlo necesario, so pena de incumplir la literalidad del decreto y lo que es más grave, NO ERRADICAR LA LEGIONELLA.

## 2.3. DESINFECCIÓN TÉRMICA (SOLO VÁLIDA PARA LOS SISTEMAS DE AGUA CALIENTE SANITARIA)

- Elevar la temperatura del agua del depósito hasta 70° C, dejando luego correr la misma por toda la red hasta que se alcance una temperatura de 60° C en las salidas y dejar correr EN CADA PUNTO TERMINAL durante al menos 10 minutos. La operación completa va a depender de la magnitud de la instalación, pero con total seguridad durará varias horas, pues evidentemente no pueden abrirse todos los grifos a la vez y pretender mantener la temperatura de salida. NINGUNA INSTALACIÓN COLECTIVA SE DISEÑA NI SE CONSTRUYE PARA UNA SIMULTANEIDAD DEL 100 %.
- Vaciar el sistema, limpiar a fondo las paredes de los depósitos, realizar las reparaciones necesarias y aclarar con agua limpia.
- Volver a llenar para su funcionamiento habitual.

Es recomendable efectuar estas operaciones por la noche o en horas de baja demanda para evitar riesgos de quemaduras a posibles usuarios inadvertidos. De cualquier manera el sentido común más elemental aconseja dar la máxima publicidad antes de efectuar estas tareas y tomar medidas de precaución para evitar daños a las personas.

La desinfección térmica es la más recomendable para las redes de agua caliente sanitaria por varios motivos:

- Es mucho menos agresiva desde el punto de vista físico-químico que las hipercloraciones, que atacan a las redes de acero galvanizado. Téngase en cuenta que este material ha sido ampliamente utilizado y es el constituyente de la mayoría de las redes de agua de los edificios tanto residenciales (bloques de viviendas) como colectivos (hoteles, hospitales, colegios, residencias estaciones, aeropuertos, edificios de oficinas, etc.)
- No introduce elementos ajenos a las redes, por tanto no es preciso neutralizar nada.
- Como dije antes, es aconsejable realizar el choque térmico durante la noche para evitar posibles quemaduras.
- Es fácil de realizar, ya que la mayoría de las instalaciones permiten elevar la temperatura del agua caliente hasta los valores previstos en el Real Decreto. Concretamente en hospitales son muy comunes los interacumuladores con circuitos primarios alimentados bien con vapor a temperaturas superiores a los 120 °C o con agua caliente procedente de una caldera a 90° C.
- Alcanzando temperaturas en el agua circulante de 70° C y logrando hacer salir por los puntos terminales agua a 60° C, está perfectamente asegurada la destrucción de todas las poblaciones de legionela existentes en una instalación de agua caliente sanitaria, incluyendo las que se encuentran en las biopelículas y en el interior de las incrustaciones por muy diferentes que sean de sus congéneres planctónicos. ESTAMOS HABLANDO DE UNA PASTEURIZACIÓN.

Por el contrario, el cloro reacciona no solo con la microflora bacteriana, sino también con los compuestos orgánicos y minerales del agua, de las incrustaciones y con el metal de las tuberías. Además, el choque térmico, a di-

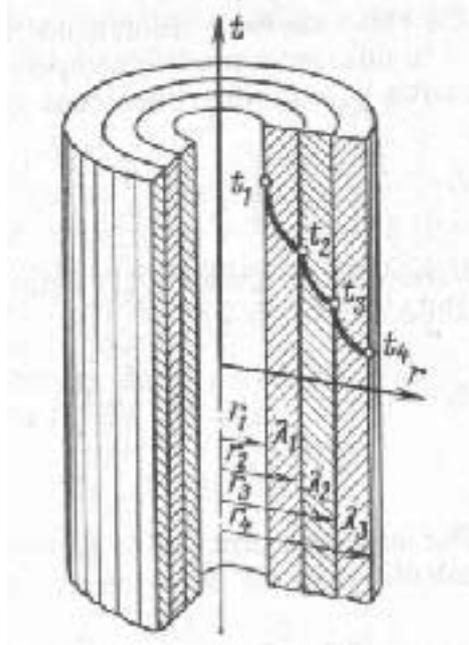


FIGURA 1  
Pared cilíndrica de capas múltiples

ferencia de la cloración, garantiza que el agente desinfectante (agua muy caliente) llega a todas las partes de la instalación. Para demostrarlo, consideraremos un elemento cualquiera de tubería en la que hemos conseguido introducir agua caliente a 70° C, con una temperatura exterior del aislamiento de 26° C. El perfil de temperaturas desde dentro hacia fuera, será el representado en la figura 1 y que se explica analíticamente dando valores a los radios y conociendo los valores de conductividad térmica de los materiales de las distintas capas.

En el régimen permanente, el flujo calorífico que atraviesa todas las capas viene definido por la expresión:

$$Q = \frac{2\pi(t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}}$$

$t_1$ : temperatura del agua en el interior del tubo igual a 70° C

$t_2$ : temperatura de la unión entre la capa de incrustaciones y el metal del tubo

$t_3$ : temperatura del tubo por la parte exterior

$t_4$ : temperatura del aislamiento por la parte exterior. Hemos hallado un valor de 26° C

$D_1$ : diámetro de la sección útil de la tubería. Es igual a la sección nominal del tubo menos el doble del espesor de la capa de incrustaciones. Para un tubo de 4" y con un espesor de incrustaciones de 5mm. como las de las fotografías, podemos considerar que vale alrededor de 90 mm

$D_2$ : diámetro nominal de la tubería, sin incrustaciones. Su valor es de 100 mm

$D_3$ : diámetro externo de la tubería. Suponiendo un espesor de 5 mm. su valor asciende a 110 mm

$D_4$ : diámetro de la tubería forrada con el aislamiento a base de fibra de vidrio y de 40 mm de espesor. Su valor asciende a 190 mm

$\lambda_1$ : conductividad térmica de la capa de incrustaciones. Según la bibliografía consultada, las incrustaciones tienen un valor que oscila entre 0.13 y 3,14 W/m°C. Tomaremos un valor central de 1.65 W/m°C

$\lambda_2$ : conductividad térmica del acero galvanizado. Su valor es de 50 W/m°C

$\lambda_3$ : conductividad térmica del aislamiento de fibra de vidrio. Su valor es de 0.050 W/m°C

Con todos los datos facilitados y haciendo cálculos hallamos un valor del flujo de calor de 25.21 W/m de tubería. Con este valor estamos en condiciones de calcular los valores de  $t_2$  y  $t_3$ , cuyas expresiones son similares y valen:

$$T_2 = t_1 - \frac{Q_1}{2\pi \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad T_3 = t_2 - \frac{Q_1}{2\pi \lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}$$

Realizando unos sencillos cálculos, hallamos los valores de  $t_2=69.74$  °C y  $t_3=69.73$  °C. Puede argumentarse que el modelo elegido no es riguroso desde el punto de vista

científico ya que en la capa límite situada entre el agua y la pared del tubo es preciso tener en cuenta el fenómeno de la convección.

Los cálculos realizados para un tubo de acero galvanizado de un diámetro comercial de 4", con una velocidad de circulación de agua habitual en redes de agua caliente sanitaria entre 1,5 y 2 m/s, con la temperatura del agua a 70° C y una viscosidad cinemática correspondiente de 0,416 mm<sup>2</sup>/seg. permiten obtener un coeficiente adimensional de Reynolds de aproximadamente 420.000. Esto implica que estamos ante un flujo turbulento con un n° de Prandtl de 2,53. Empleando la ecuación de Dittus-Boelter hallamos el n° de Nusselt y de aquí despejamos el coeficiente convectivo o de película, cuyo valor en las condiciones que estamos considerando vale aproximadamente 12.500 kcal/m<sup>2</sup> × h × °C. Si introducimos este valor en la ecuación general del flujo calorífico que atraviesa todas las capas, su pequeña cuantía en términos de resistencia al flujo térmico, comparada con los otros términos correspondientes a la conducción térmica no altera prácticamente el resultado y por tanto en los cálculos se ha prescindido de él ya que no es significativo. El error introducido es mínimo y el gradiente de temperaturas expuesto es razonablemente parecido a la realidad.

A la vista de todo lo anterior y como puede apreciarse, con espesores de aislamiento y condiciones de servicio habituales, logramos que la pared externa del tubo tenga una temperatura similar a la del agua caliente corriente. Esto demuestra que el choque térmico, garantiza la destrucción de todas las poblaciones de legionelas, tanto las contenidas en el agua circulante, como las de la biocapa e incluso las que pudieran encontrarse en las incrustaciones. Ninguna de ellas resiste los 70° C.

Sin embargo no todo son ventajas. La realización de choques térmicos en instalaciones antiguas presenta varios problemas que es preciso tener en cuenta y por lo tanto asumir los inconvenientes que producen. Todo esto se traduce en un envejecimiento prematuro de las tuberías:

- A temperaturas por encima de 60° C se produce una inversión de polaridad hierro-zinc pasando el hierro a comportarse como ánodo y se sacrifica este metal en beneficio del otro, cuando en circunstancias normales de menor temperatura ocurre lo contrario.
- A estas temperaturas superiores a 45° C que era la máxima contemplada en el antiguo Reglamento de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, el agua se vuelve más agresiva por desprendimiento del CO<sub>2</sub> disuelto en ella y ataca tanto a la capa protectora de carbonatos que siempre se forma, como al metal base. Esto se traduce en gruesas capas de óxido de hierro y corrosiones de las tuberías como se aprecia en las fotografías.
- Existen sales como el sulfato cálcico (SO<sub>4</sub>Ca) cuya solubilidad disminuye con la temperatura y tienden a formar incrustaciones que reducen la sección efectiva de las tuberías. Por tanto disminuyen los caudales reales en los puntos terminales, llegando al atasco cuando las incrustaciones llegan a los límites mostrados en las fotografías adjuntas.



Figura Nº2

### 3. EFECTOS DEL ENVEJECIMIENTO POR USO EN LAS TUBERÍAS DE DIVERSOS MATERIALES

Las fotografías a las que se aludió son las mostradas a continuación. En una de ellas (FIGURA 2) se pueden apreciar los efectos del agua caliente en cuatro materiales distintos:

- A la izquierda se ve una válvula de compuerta construida en bronce con el elemento de cierre en posición intermedia. No se aprecian signos ni de corrosión ni incrustaciones acusadas, solo al fondo se ven algunos depósitos rojizos, mezcla de corrosiones del hierro de la tubería base e incrustaciones de sales insolubles. Tiene 20 años de servicio en nuestra instalación de agua caliente.
- En segundo lugar se aprecia una pieza de latón con incrustaciones calcáreas. Tiene 5 años de servicio en la instalación de agua caliente sanitaria del Hospital Vázquez Díaz, de Huelva.
- En tercer lugar puede verse un trozo de tubo de cobre con una ligera capa de incrustaciones y ningún síntoma de corrosión. Tiene 10 años de servicio en la instalación de agua caliente del Hospital Vázquez Díaz, de Huelva.
- Por último se ve una T de acero galvanizado en la que son evidentes los signos de corrosión tanto por fuera como por dentro y una gran cantidad de incrustaciones que prácticamente han cegado la sección útil. Así es como se encontraba la red de agua caliente sanitaria del Hospital Infanta Elena en el otoño de 2002, tras 19 años de servicio. Realizar hipercloraciones o choques térmicos a una instalación en estas condiciones tendrá un resultado fácil de imaginar. A esto es a lo que me refiero en párrafos precedentes y recuérdese que en toda España hay muchas redes de agua caliente en éste o parecido estado.

En la otra fotografía (FIGURA Nº 3) y a la izquierda, se pueden apreciar los efectos del agua fría en un trozo de



Figura Nº3



**Figura 4. Corrosion en serpentín de acero inoxidable 304**

tubo de acero galvanizado tras 20 años de servicio. Se ve una capa de incrustaciones de aproximadamente dos milímetros de espesor, que no ha reducido apenas la sección útil del tubo, y ningún síntoma de corrosión. A la derecha se aprecia un trozo de tubo de polietileno de alta densidad, prácticamente intacto tras 14 años transportando agua fría.

Se ha observado que tras un choque térmico y el aumento posterior de la temperatura del agua caliente sanitaria para adaptarnos al Real Decreto 865/2003, nuestras instalaciones pasaron de tener una avería en habitaciones de hospitalización cada mes, a una a la semana. Dado que se trataba de una instalación con más de 20 años, al reparar debíamos cambiar TODAS las tuberías de la habitación afectada pues las encontramos en un estado lamentable, fenómeno mas acusado en la red de agua caliente.

El problema se resolvió definitivamente sustituyendo completamente toda la red de tuberías, tanto de agua fría como caliente, y colocando acero inoxidable 316L.

Por descuido o error, los serpentines iniciales de caldeo mediante vapor de agua a 180° C de los depósitos de agua caliente se colocaron de acero inoxidable 304. Al cabo de dos meses de funcionamiento presentaban las perforaciones que pueden apreciarse en la fotografía de la figura 4. Se observan en el octavo tubo comenzando por arriba y junto a la placa soporte, dos agujeros penetrantes motivados por la corrosión. El origen se debe a las altas temperaturas del agua (hasta 70° C) y a niveles de cloro libre compatibles con la normativa vigente: entre 0,2 y 0,8 ppm. En la norma UNE 100-030-2001 no se recomienda este tipo de acero para las instalaciones de agua caliente sanitaria.

#### 4. DESINFECCIÓN DE TORRES DE REFRIGERACIÓN Y CONDENSADORES EVAPORATIVOS

##### 4.1.-Consideraciones previas

Una torre de refrigeración asociada a cualquier instalación sea de climatización, frío industrial o una planta de producción de energía eléctrica, forma parte de un sistema dinámico complejo. Las características físico-químicas

del agua son cambiantes, pues la temperatura, salinidad, materias en suspensión, pH y concentraciones de agentes químicos biocidas, antiincrustantes y anticorrosivos, dependen en gran medida de la carga térmica que en cada momento esté disipando la torre.

Se ha observado que las concentraciones de biocidas recomendadas por los fabricantes no garantizan el control de *Legionella Neumophila*. Ello se debe a que las pruebas realizadas en los laboratorios han sido hechas en instalaciones estáticas, con líquidos limpios y en ausencia de otros factores que alteran la respuesta de los principios activos. Las torres reales funcionan con aguas de procedencias dispares y en condiciones muy duras, con lo cual las características físico-químicas del agua son muy variadas y modifican la respuesta de los biocidas. Se enumeran a continuación los factores mas significativos a tener en cuenta:

- Si no existe un buen régimen de purgas y un mantenimiento adecuado, las concentraciones salinas aumentan rápidamente. Esto da lugar a dos efectos indeseables: aumentan los fenómenos de corrosión y las incrustaciones por un lado y se favorece el crecimiento de microorganismos por otro al crearse un caldo de cultivo mas rico en posibles nutrientes. Es significativo observar en las torres que llevan algún tiempo funcionando y a las que no se ha prestado la atención adecuada, la presencia de sólidos en suspensión y multitud de adherencias a las superficies originales. Este fenómeno es mas acusado en torres metálicas que en las constituidas con materiales

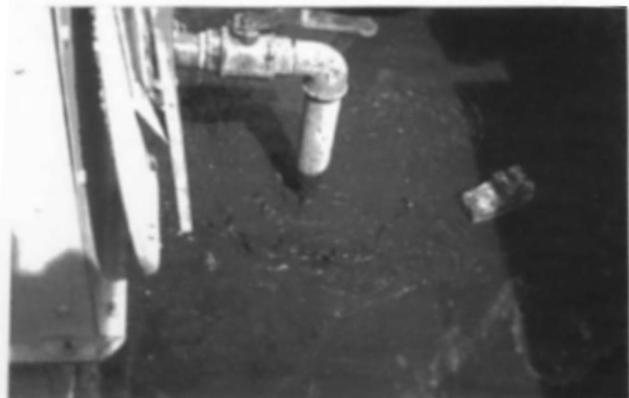


**Figura 5 : Efectos de la corrosion en el exterior de una torre**



**Figura 6: Separador de gotas semidestruido por la corrosion**

**EFFECTOS PRODUCIDOS POR ENVEJECIMIENTO Y MANTENIMIENTO INADECUADO EN TORRES DE REFRIGERACIÓN**



**Figura 7: Presencia de lodos y suciedad en el agua de la torre**

plásticos. En estas adherencias se forman biocapas a las que difícilmente llegan los biocidas. Este es uno de los motivos por los cuales las concentraciones recomendadas por los fabricantes de los microbicidas en el agua circulante no garantizan el control de la Legionella, en instalaciones reales. Todo esto que se describe se puede observar en las fotografías siguientes.

- A lo largo del día, al ser cambiante la carga térmica que debe disipar la torre, es variable la cantidad de agua que disipa y variable por tanto la cantidad de agua de reposición que entra en la unidad de tiempo. Dependiendo del sistema elegido para añadir el biocida, nos podemos encontrar con fluctuaciones en la concentración que en cada momento tenemos del agente activo en el agua circulante. Estas alteraciones potencian la posibilidad de encontrarnos con resistencias bacterianas.
- El empleo de un solo biocida, siempre el mismo, puede provocar que la bacteria se acostumbre y para lograr el mismo efecto, debemos ir aumentando las concentraciones del agente activo en el agua circulante. Este problema se evita alternando los biocidas. En nuestro caso lo que hacemos es agotar una garrafa de un compuesto determinado de un fabricante concreto y luego cambiar a otro de fabricante distinto con un agente activo totalmente

diferente desde el punto de vista químico. Así se evitan las resistencias y se puede seguir manteniendo las concentraciones recomendadas pues siguen siendo eficaces.

- En torres que trabajan con criterios de eficiencia energética, los ventiladores no siempre están funcionando. En los momentos en los cuales están parados el régimen de formación de aerosoles es distinto. Puede observarse que en estas ocasiones en las torres de tiro inducido, la caída del agua desde los difusores favorece la formación de microgotas ALREDEDOR de la torre, al aparecer salpicaduras por las entradas de aire. Cuando arrancan los ventiladores y se crea la depresión debida al tiro, estas gotas no se aprecian y lo que se observa es el penacho característico de la torre.

#### 4.2. Experiencias observadas

En el punto A del ANEXO 4 del Real Decreto 909/2001 se definían perfectamente las operaciones de revisión de todas y cada una de las partes que componen una instalación de condensación mediante torres de refrigeración o dispositivos análogos y por tanto no voy a ser reiterativo. Me centraré en aquellos aspectos que me resultan discutibles o mejorables, a la luz de mi experiencia.

El Real Decreto 865/2003 contempla dos tipos de limpiezas y desinfecciones: la normal y la de choque en caso de brote de legionelosis. Leyendo el texto, y si elegimos cloro como agente desinfectante, se observa que en ambos casos se postula lo siguiente:

- Cloración hasta alcanzar al menos 20 ppm de cloro libre residual, añadiendo biodispersantes y anticorrosivos compatibles en cantidad adecuada, manteniendo parados los ventiladores para evitar la formación y salida de aerosoles
- Mantener el nivel de cloro libre durante un periodo determinado (dos o tres horas), midiendo su valor periódicamente y reponer la cantidad perdida mientras esta recirculando el agua del sistema.
- Neutralizar el cloro manteniendo la recirculación del agua.
- Vaciar y aclarar con agua a presión.
- Reparar las anomalías encontradas
- Limpiar a fondo las superficies del sistema con detergentes y agua a presión y aclarar
- Nuevamente, cloración hasta alcanzar al menos 20 ppm de cloro libre residual, añadiendo biodispersantes y anticorrosivos compatibles en cantidad adecuada, manteniendo parados los ventiladores para evitar la formación y salida de aerosoles
- Mantener el nivel de cloro libre durante un periodo determinado (dos horas), midiendo periódicamente y reponer la cantidad perdida mientras esta recirculando el agua del sistema.

- Neutralizar el cloro y proceder a recircular de igual forma que en el punto anterior
- Vaciar, aclarar con agua a presión y añadir el desinfectante de mantenimiento, si este es cloro mantener un nivel de 2 ppm añadiendo anticorrosivo compatible en cantidad adecuada.
- Las piezas desmontables se limpiaran a fondo y las no desmontables se limpiaran en la medida de lo posible y ambas serán desinfectadas con una solución de cloro libre de 20 ppm.

Debido a la aparición en varias ocasiones de colonias de legionelas en nuestras torres, procedimos a tratarlas como si hubiésemos tenido un brote, siguiendo escrupulosamente lo expuesto en los párrafos anteriores transcrito de lo dispuesto en los Reales Decretos 909/2001 y 865/2003 con los siguientes resultados:

- La cantidad de cloro libre en forma de hipoclorito no era exactamente la calculada teniendo en cuenta el volumen de la bandeja de la torre mas el del resto de la instalación: tuberías de ida y vuelta y condensadores. Ello era debido a la presencia de materia orgánica que consumía cloro. Fue preciso añadir mas hipoclorito sódico del calculado inicialmente, hasta conseguir los niveles requeridos. Llegar a 15 o 20 ppm exactamente es difícil, ya que debido a la presencia de sustancias orgánicas consumidoras de cloro, observamos que añadiendo hipoclorito se obtenían valores correspondientes a una curva ascendente, luego descendentes y hasta que no sobrepasamos el punto critico no volvíamos a observar valores crecientes. Este fenómeno ya se ha explicado para el caso de aljibes y sistemas de agua para consumo humano tanto fría como caliente.
- Cada hora medíamos cloro libre y se añadía hipoclorito si era necesario. En cada ocasión la instalación se comportó de distinta forma, pues unas veces se mantenía el índice de cloro desde una medida hasta la siguiente y en otras se consumía el cloro y era preciso reponer. Sin embargo lo más preocupante fue comprobar que el hipoclorito, agente químico corrosivo, lograba arrancar algunas incrustaciones de las tuberías y a pesar de limpiar la instalación, al cabo de varias horas de funcionamiento normal, la torre inexplicablemente rendía muy mal. La paramos y al desmontar los colectores donde asientan los difusores comprobamos que todos los materiales desprendidos de las paredes de los tubos y otros lugares de la instalación como condensador, paredes de la torre y material de relleno, se habían concentrado allí, en la boca de salida de los difusores. Este punto es el que tiene menores secciones de paso de todo el circuito. Este fenómeno ocurrió TODAS las veces que tratamos las torres y fueron al menos 6 ocasiones. Además y remitiéndonos al artículo publicado por el autor y que trata sobre el COMPORTAMIENTO DE LOS TUBOS EMPLEADOS EN LA DISTRIBUCION DE AGUA FRIA Y CALIENTE EN LOS EDIFICIOS FRENTE A LAS HIPERCLORACIONES, en el que se describe que ocurre con los materiales habitualmente empleados en las insta-

laciones de transporte de agua fría, caliente y de climatización frente al hipoclorito sódico, podemos deducir que cada vez que se hiperclora una torre de chapa se somete a una agresión química importante, que se traduce en corrosiones, arrastres de material y en definitiva a un acortamiento de su vida útil.

### 4.3. Otros hallazgos

Resulta procedente comentar que en algunas ocasiones, en los análisis microbiológicos aparecían colonias de *Aspergillus fumigatus*, con o sin presencia de legionella. Dada la peligrosidad que tal hongo representa para personas inmunodeprimidas, procedimos a tratar a las torres con un biocida activo frente a los dos agentes patógenos: legionela y aspergillus. Empleamos con éxito peróxido de hidrógeno al 3% en dosis de 6 a 10 litros por metro cúbico de agua circulante en la instalación. Estas concentraciones deben manejarse con cautela, porque va a depender mucho la cantidad de agua oxigenada empleada, de factores tales como: salinidad del agua circulante, cantidad presente en el agua de ambos microorganismos, tipo de torre y material del que están construidas, tanto ellas como las tuberías y equipos asociados a la instalación, productos químicos adicionales que se estén añadiendo, manera en la que se añaden las sustancias ( no es lo mismo dosificar en continuo que realizar tratamientos de choque) Recordemos que el agente verdaderamente activo, al igual que sucede con el ozono, es el oxígeno atómico, que aparece cuando se rompen las moléculas de  $O_3$  y  $H_2O_2$ . Estos productos deben manejarse con precaución ya que resultan agresivos tanto para las personas como para las instalaciones.

### 4.4. Propuesta de tratamientos no corrosivos

A la vista de las nuestras experiencias , para tratar las torres metálicas se sugiere lo siguiente:

- Adición de agentes desinfectantes inscritos en el Registro de Plaguicidas aptos para combatir la Legionella del Ministerio de Sanidad y Consumo, basados en principios activos que no ataquen químicamente a los componentes metálicos de las instalaciones, como los siguientes:
  - WSCP (Poli(oxietileno (dimetilimino)etileno(dimetilimino)etileno dicloruro)
  - 2,2 – dibromo- 3-nitrilpropionamida (DBNPA) .
  - Cloruro de dimetil didecil amonio (debe añadirse con antiespumante)
  - Sulfato de tetrakis(hidroximetil)fosfonio.
- Mantener el nivel del agente desinfectante a niveles ligeramente superiores a lo recomendado por los fabricantes, ya que hemos observado, como se ha expuesto en párrafos anteriores que dichos productos no son igual de eficaces en las instalaciones reales que en condiciones controladas de laboratorio. Medir periódicamente la concentración del agente ac-

tivo si es posible, y reponer la cantidad perdida mientras esta recirculando el agua del sistema. De esta forma se mantendrán los niveles de agentes bactericidas adecuados que garanticen la eliminación de las colonias de legionela. Es necesario añadir biodispersantes y anticorrosivos compatibles en cantidad adecuada, para llegar a los lugares más recónditos de las instalaciones y no producir daños. Durante estas operaciones, se mantendrán parados los ventiladores para evitar la formación y salida de aerosoles. Es necesario pulverizar el separador de gotas para combatir las bacterias que pudiesen encontrarse allí acantonadas

- Vaciar y aclarar con agua.
- Llenar nuevamente la instalación y proceder a una limpieza química con un detergente que contenga: Tensioactivos biodegradables, zeolitas, bactericidas a base de perboratos o cualquier otro generador de oxígeno activo, antiespumante y enzimas. Cualquier detergente de los denominados “ecológicos” para lavado de vajilla a máquina reúne estas propiedades. La dosis usual es de 2 a 5 kg/m<sup>3</sup> de volumen del sistema, dependiendo de la dureza del agua. A mayor dureza, más detergente.
- Vaciar y aclarar con agua
- Reparar las anomalías encontradas.
- Limpiar a fondo las superficies del sistema con medios mecánicos.
- Nuevamente, otra desinfección hasta alcanzar los niveles que garanticen la eliminación de las colonias de legionela que hayan podido desprenderse, manteniendo parados los ventiladores para evitar la formación y salida de aerosoles.
- Mantener el nivel de agente desinfectante para tratamiento de choque durante un periodo determinado (dos horas), midiendo periódicamente y reponer la cantidad perdida mientras esta recirculando el agua del sistema.



Figura 8: Aspecto correcto del interior de una torre

- Vaciar, aclarar con agua a presión y añadir el desinfectante de mantenimiento en cantidad adecuada, a la vista de la experiencia y siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Las piezas desmontables se limpiarán a fondo y las no desmontables se limpiarán en la medida de lo posible y ambas serán desinfectadas con una solución de cloro libre de 20 ppm si son de plástico y con agente bactericida si son metálicas.

Siguiendo estas recomendaciones es posible mantener las torres de enfriamiento como se puede apreciar en la figura siguiente.

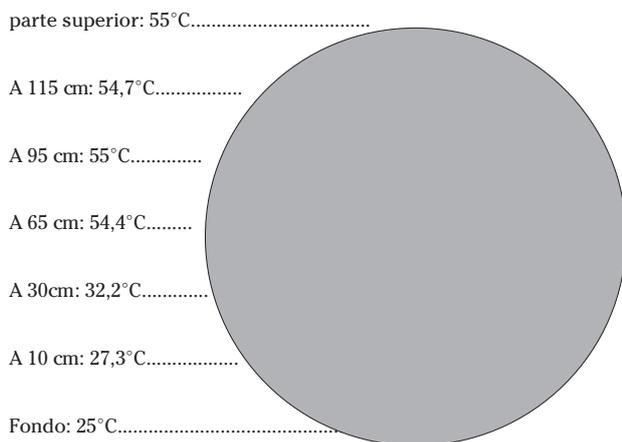
#### 4.5. Conclusiones y recomendaciones

Las redes de distribución de agua fría y caliente de los edificios colectivos, construidas con acero galvanizado y las torres de refrigeración de chapa galvanizada sufren ataques químicos con las hipercloraciones, si se opta por este método de tratamiento bactericida. Esto va a provocar problemas como los descritos en párrafos precedentes, con los consiguientes inconvenientes de disfunciones, corrosiones, vertidos incontrolados de soluciones con alto contenido en cloro libre y agentes neutralizantes e inhibidores de la corrosión (perjudiciales todos para el medio ambiente.) Evidentemente y como dice el texto de los Reales Decretos 909/2001 y 865/2003 estas operaciones deben ser realizadas por personal entrenado y con las medidas de protección adecuadas ya que se trata del manejo de sustancias químicas agresivas, pero a nosotros nos quedan algunas dudas y que formulamos públicamente:

- a) ¿Para añadir hipoclorito al agua es necesario inscribirse en el Registro de Plaguicidas?
- b) ¿Para añadir un aditivo antilegionella, que no se diferencia demasiado del resto de los empleados hasta ahora, a base de amonio cuaternario en cantidades ínfimas, del orden de medio litro/m<sup>3</sup> de agua mediante una bomba dosificadora en continuo, y siguiendo las instrucciones del fabricante como hasta ahora, es necesario inscribirse en el Registro de Plaguicidas?
- c) ¿Cuáles son esos productos eficaces contra la legionella, que no suponen riesgo para las instalaciones, ni para la salud de los operarios u otras personas que puedan resultar expuestas?
- d) ¿Se ha pensado que los inhibidores de corrosión a base de fosfatos favorecen la proliferación de algas y otros microorganismos y van a romper el equilibrio ecológico de las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR), si no se usan adecuadamente?
- f) ¿Se ha considerado que el uso masivo de agentes cloradores y la elevación por tanto de los índices de cloro libre por encima de lo que dispone la RTSAP, además de ser peligroso por la posibilidad de producir accidentes, va a generar compuestos órgano halogenados potencialmente cancerígenos?

Recordemos la toxicología del cloro gas, la cual podemos emplear por analogía en caso de cloro libre disuelto en agua:

- 1) Contenido admisible en el aire respirado sin peligro durante ocho horas de trabajo ..... 1 ppm.
  - 2) Olor perceptible..... 3,5 ppm.
  - 3) Irritación de la garganta ..... 15 ppm
  - 4) Aparición de tos por irritación ..... 30 ppm.
  - 5) Máximo admisible para estancias de corta duración ..... 40 ppm
  - 6) Peligroso incluso para estancias de corta duración ..... 40 ppm
  - 7) Rápidamente fatal..... 1000 ppm
- g) En los centros públicos, ya sean hospitales, colegios, estaciones aeropuertos, etc. existen servicios de mantenimiento propios o contratados que unidos a la presión política posibilitan el cumplimiento del Real Decreto pero ¿qué está ocurriendo en el sector privado: hoteles, restaurantes, discotecas, centros comerciales, etc.?
- h) Los sucesos de los últimos veranos y en la primavera de 2006, tras un año de vigencia del RD 909/2001 y algo más de dos del 865/2003 hacen pensar que no se ha creado o no funciona bien el dispositivo de control que vigile el cumplimiento de la normativa vigente. Dicho dispositivo de control parece razonable pensar que debe estar constituido por personal formado y competente. Por todo ello debe instruirse a los inspectores en cuestiones de ingeniería de las instalaciones.



**Figura 9.-DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE TEMPERATURAS Tanque horizontal de almacenamiento de ACS Hospital Infanta Elena. Huelva**

Siendo:  
 Temperatura de entrada del agua fría: 23,5°C  
 Temperatura de trabajo del tanque: 57°C  
 Temperatura del agua de retorno: 48,3°C  
 Volumen del depósito: 5000 litros  
 Diámetro del depósito: 130 cm  
 Longitud del depósito: 450 cm  
 Fecha: Septiembre de 2002.  
 Hora de toma de datos: 12:00

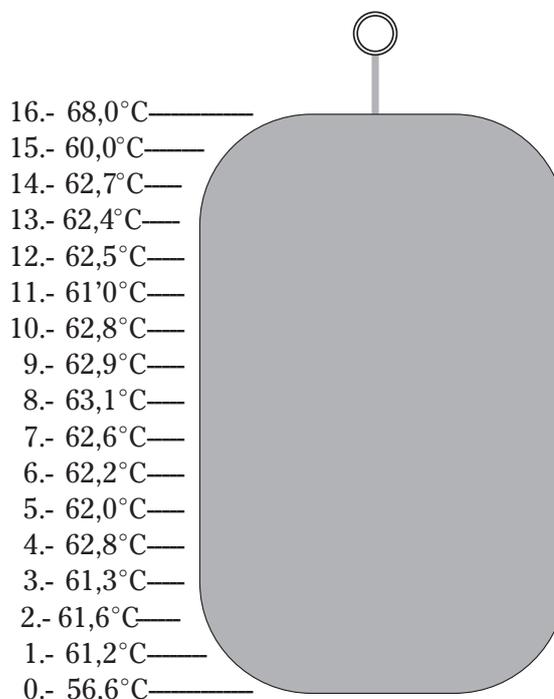
**5. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA CALIENTE SANITARIA: OBSERVACIONES Y EXPERIENCIAS.**

En este punto se van a comentar varias observaciones realizadas en hospitales públicos, centros especialmente sensibles a la presencia de bacterias en el agua caliente sanitaria. En la referencia 14. se encuentra ampliada la información que se expone a continuación.

En el Hospital Infanta Elena se disponía hasta octubre de 2004, de 6 acumuladores de agua caliente horizontales con serpentines de acero inoxidable inmersos en la masa de agua y alimentados con vapor saturado a 10 kg/cm<sup>2</sup> y 180 °C. El gradiente térmico observado, midiendo con un termómetro de contacto la superficie exterior del depósito de acero galvanizado al que se retiró el aislamiento en los puntos de medida, es el de la figura inferior. Como el acero tiene una alta conductividad térmica y la posible capa de incrustaciones no introduce una resistencia significativa, la temperatura interna del agua en dichos puntos puede ser de uno o a lo sumo 2° C mas elevada.

Como puede observarse en la figura 9, se cumple lo dispuesto en la norma UNE 100-030-2001, pues hay estratificación y el agua que se envía a los consumidores esta por encima de los 55°C.

En el Hospital Juan Ramón Jiménez se observó que la temperatura superficial de uno de los tanques tenía los valores que aparecen en la figura 10, reproducida también a continuación. Dado que todos estaban alimentados de forma similar y las temperaturas que marcaban los termómetros de esfera eran iguales, podemos inferir que las condiciones de los otros 4 eran muy similares.



**Figura 10.-DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE TEMPERATURAS Tanque vertical de almacenamiento de ACS. Lecturas tomadas a una hora punta de consumo (14:30h). Hospital Juan Ramón Jiménez. Huelva.**

Como puede apreciarse en dicha figura, no hay estancamiento, ni estratificación pues la temperatura es homogénea en toda la masa de agua y tiene valores difícilmente compatibles con la existencia de poblaciones de legionella.

Intervalos entre puntos: 20 cm  
 Altura del tanque (generatriz): 300 cm  
 Volumen: 6000 litros  
 Fecha: 22-10-2002

En el Hospital de Minas de Riotinto hay 3 acumuladores de agua caliente verticales con serpentines de acero inmersos en la masa de agua y alimentados con vapor saturado a 10 kg/cm<sup>2</sup> y 180 ° C. Se encontraron las temperaturas que aparecen en la figura 11, midiendo con un termómetro de contacto la superficie exterior del depósito de acero galvanizado al que se había quitado el aislamiento en los puntos de medida. Dado que el acero tiene una alta conductividad térmica y la posible capa de incrustaciones no introduce una resistencia significativa, la temperatura interna del agua en dichos puntos puede ser de uno o a lo sumo 2° C más elevada.

Intervalos entre puntos: 20 cm  
 Altura del tanque (generatriz): 290 cm  
 Volumen: 3000 litros  
 13/1/2005

Como puede verse, al igual que en el primer caso correspondiente al Hospital Infanta Elena, también se cumple lo dispuesto en la norma UNE 100-030-94, pues hay estratificación y el agua que se envía a los consumidores está por encima de los 55° C

## 6. RECOMENDACIONES PARA INSTALACIONES DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

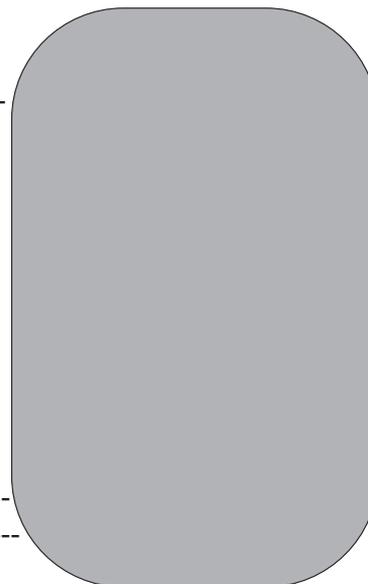
Respecto a cual es el tipo de depósito más adecuado, horizontal o vertical, depende de si existe estratificación o no.

En los dos casos estudiados con estratificación, se aprecian diferencias. En el depósito antiguo del hospital Infanta Elena se puede distinguir que desde el fondo del mismo hasta una altura de 50 cm, encontramos valores de temperaturas del agua dentro del rango de máximo desarrollo de la bacteria. Mediante cálculos geométricos se puede saber que en este caso concreto y en el momento que se hicieron las mediciones había 2160 litros de agua con temperaturas menores de 42° C. Esto representa el 43% del volumen útil del depósito.

En el depósito vertical del hospital de Riotinto, mediante cálculos geométricos más simples, hallamos que en las condiciones en las que se encontraba el día de la observación, había 860 litros entre 25 y 42° C. Esto representa el 29% de la capacidad del depósito.

Podemos deducir que en condiciones de operación como las que presentaban los depósitos de los hospitales estudiados, con temperaturas de salida muy parecidas, resultan más adecuados los verticales que los horizontales como dispone la normativa española, pues tienen me-

13.-	58.5°C—
12.-	57°C—
11.-	56°C----
10.-	55°C----
9.-	53°C----
8.-	50°C----
7.-	48°C----
6.-	47°C----
5.-	46°C----
4.-	45°C----
3.-	38°C----
2.-	29.5°C-----
1.-	25.5°C-----



**Figura 11.-DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE TEMPERATURAS**  
**Tanque vertical de almacenamiento de ACS.**  
**Lecturas tomadas a una hora punta de consumo**  
**Hospital Riotinto. Huelva.**

nos volumen porcentual de agua a temperaturas de riesgo.

Una ventaja adicional es que los recipientes verticales ocupan menos superficie horizontal en las salas de máquinas y no suelen necesitar estructuras de soporte, lo que facilita su instalación.

Sin embargo, en los depósitos verticales los serpentines de calentamiento suelen ser más pequeños que los correspondientes a los tanques horizontales a igualdad de volumen, ya que en estos últimos el haz tubular puede ser más largo, y al disponer de mayor área de transmisión, permiten mayor potencia calorífica. Este factor da pie a pensar razonablemente, que los tiempos de calentamiento serán menores en los horizontales que en los verticales, manteniendo iguales el resto de circunstancias (temperatura del agua fría, fluido primario de caldeo, material constitutivo del serpentín, consumo instantáneo de agua caliente)

Si no existe estratificación debido a la existencia de bombas de recirculación del agua del interior de los depósitos, es indistinto el empleo de un tipo u otro frente al riesgo de proliferación de la bacteria.

En lo que atañe al tipo de conexión, si están en serie ¿Cómo se reparan o limpian los averiados?. En paralelo podemos hacer lo que queramos, en serie no, so pena de parar toda la instalación. Además si están en serie, cuando uno se contamine, introduciremos las bacterias en el resto de los que están detrás según el sentido del flujo de agua. Creo que es más sensato disponer baterías de dos en serie y estas baterías en paralelo, para poder seguir manteniendo el servicio durante las reparaciones o cuando se realicen tareas de limpieza y mantenimiento. Es evidente que hay que tener cuidado de no dejar zonas muertas.

Si la temperatura se utiliza como medio de control de la legionela, lo ideal sería que el circuito de retorno de agua caliente esté diseñado para proporcionar una temperatura del agua circulante de 55° C aproximadamente, no bajando nunca de los 50° C, como aparece descrito tanto en las legislaciones manejadas como en las recomendaciones de ASHRAE y de la Comisión Europea. Esto implica que el sistema de calentamiento debe tener la potencia adecuada que garantice una temperatura de salida constante incluso en los momentos de máxima demanda. Por consiguiente la instalación debe ser capaz de calentar todo el volumen almacenado desde la temperatura de entrada del agua fría a 20° C hasta 60° C en un tiempo no superior a dos horas. En los tanques de cierta capacidad, a partir de 2000 litros, como ya se ha comentado antes, resulta conveniente instalar bombas en derivación controladas por la temperatura de las capas inferiores. De esta manera lograremos remover el agua del interior del depósito trasladándola desde la parte superior a la inferior para evitar la estratificación. El hecho de elegir este sentido de circulación del agua vehiculada por las bombas instaladas en derivación, obedece a lo siguiente:

- 1) No introducimos agua relativamente fría en la parte superior del depósito. De esta forma evitamos el riesgo de enviar a través de la tubería de salida, que habitualmente esta en la zona superior de los tanques, agua a temperatura inferior a la de trabajo. Piénsese que en determinados momentos del día pueden producirse demandas puntuales elevadas. Si metemos agua fría arriba, dicha agua a baja temperatura puede incorporarse al flujo de salida y corremos el riesgo de introducir bacterias en la red.
- 2) El sentido indicado no presenta ningún tramo retrógrado. Por efecto de la convección combinada, el agua en el interior del depósito va de abajo arriba: (Componente natural por diferencia de temperaturas entre el agua fría y caliente y componente forzada por efecto de la bomba) y por acción de la bomba en el semicircuito exterior de arriba abajo, dado que se aspira por arriba y se mete por la parte inferior del tanque.
- 3) Desde el punto de vista de homogeneización térmica, el efecto de difusión turbulenta (Ley de Fick) permite que se produzca mayor transferencia de calor en la unidad de tiempo, dispersando una corriente de agua caliente en una masa fría que lo contrario: el agua caliente tiene menor viscosidad y mayor conductividad térmica que el agua fría en el intervalo de temperaturas que estamos estudiando (entre 20° y 60° C)

De esta forma lograremos dos cosas: mantener una temperatura superior a 55° C homogénea en toda la masa del agua, evitando volúmenes a las temperaturas de máximo desarrollo de la bacteria (entre 20 y 45° C) y evitar el estancamiento del agua que también es un factor que favorece la proliferación de las poblaciones de legionella.

Respecto de intercambiadores externos o internos, cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes.

Intercambiadores externos:

Ventajas:

- Facilitan las tareas de limpieza tanto de los depósitos como de los propios intercambiadores.
- Permiten aumentar la potencia de caldeo mas fácilmente que en el caso de intercambiadores internos, sobre todo los de placas.

Inconvenientes.

- Necesitan espacio adicional al no estar integrados en los tanques, aunque los de placas minimizan este inconveniente.
- No permiten calentar un depósito concreto en caso necesario, sin interferir en la operación del resto de acumuladores. Es preciso instalar mas de uno para mantener el servicio en caso de averías o trabajos de mantenimiento y limpieza.

Intercambiadores internos:

Ventajas:

- No necesitan espacio adicional al estar integrados en los depósitos.
- Permiten calentar un recipiente concreto en caso necesario, sin interferir en la operación del resto de acumuladores.

Inconvenientes:

- Dificultan las tareas de limpieza tanto de los depósitos como de los propios intercambiadores.
- Para aumentar la potencia de caldeo es necesario instalar nuevos tanques, si mantenemos constantes el resto de condiciones.

Un buen ejemplo a seguir, desde el punto de vista del autor, es contar con un sistema de producción y almacenamiento de agua caliente sanitaria como el que actualmente posee el Hospital Infanta Elena, de Huelva, cuya fotografía es la que aparece en la figura 12, ya que cumple



Figura 12 : Nuevos depósitos de acs del Hospital Infanta Elena

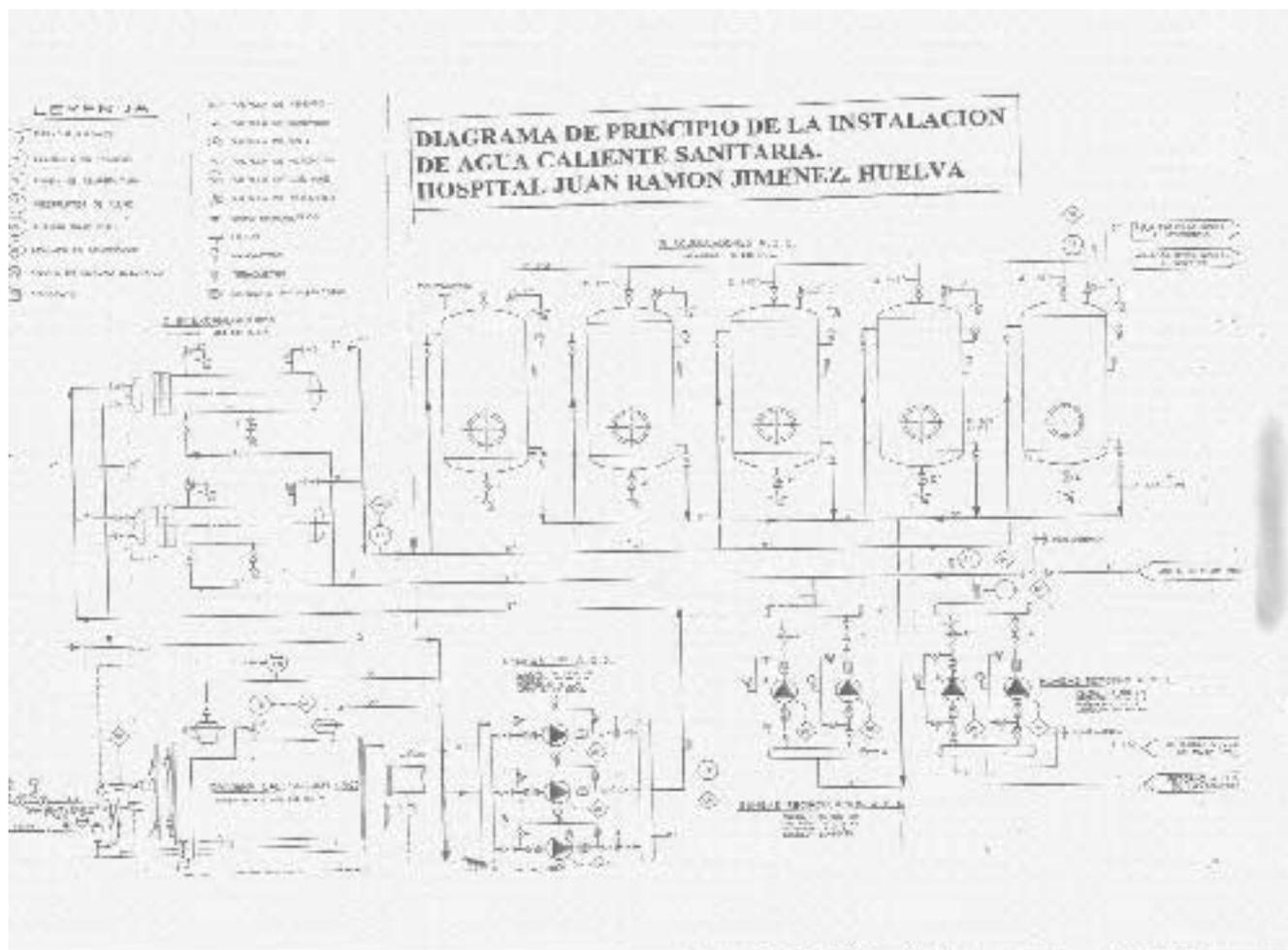


Figura 13: Diagrama de la instalación de agua caliente sanitaria. Hospital Juan Ramon Jiménez de Huelva

muchos de los requisitos expuestos anteriormente y está de acuerdo con la mayoría de las recomendaciones de la Comisión Europea. Combina muchas circunstancias favorables: depósitos de acero inoxidable 316L, intercambiadores internos individuales y alimentados con vapor a 180° C, recirculación del agua interior de los depósitos para evitar la estratificación y desde arriba hacia abajo, disposición serie – paralelo de los mismos de forma que se puede aislar cualquiera de ellos y mantener el servicio con el resto.

También es perfectamente válida la disposición del Hospital Juan Ramón Jiménez, también de Huelva, que tiene depósitos verticales y los intercambiadores son externos y multitubulares, tal como aparece en la figura 13. Lo importante, a pesar de resultar reiterativo, es mantener el agua en circulación y por encima de 55° C en todo momento y lugar.

#### BIBLIOGRAFIA

1. AENOR. Norma UNE 100-030-2001. Climatización: Guía para la prevención de la legionela en las instalaciones.
2. ASRHAE GUIDELINE 12/2000. Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems.2/2000
3. CONSEJERIA DE SALUD DE LA JUNTA DE ANDALUCIA. Decreto 28/2002 de 26 de Noviembre por el que se establecen medidas para el control y la vigilancia higiénico-sanitarias de instalaciones de riesgo en la transmisión de la legionelosis y se crea el Registro Oficial de Establecimientos y Servicios Biocidas de Andalucía.
4. CONSEJERIA DE SALUD DE LA JUNTA DE ANDALUCIA. Manual para la prevención y control de la legionelosis, aspergilosis y tuberculosis en instalaciones sanitarias.2002
5. DEGREMONT. Manual Técnico del Agua. 1979
6. DIRECCIÓN GENERAL DE SANIDAD Y PROTECCIÓN DE LOS CONSUMIDORES: COMISION EUROPEA. Directrices europeas para el control y la prevención de la legionelosis asociada a viajes.2001
7. EL INSTALADOR. Monográfico sobre la legionella I. Diciembre 2001
8. EL INSTALADOR. Monográfico sobre la legionella II. Marzo 2003
9. FINEGOLD, S.M. Legionelosis .Cap. 24 de la obra "Enfermedades infecciosas".
10. LANE, RUSSELL W. Control de incrustaciones y corrosión en instalaciones hidráulicas en edificios. Mcgraw-Hill.1995
11. M. A. MIJEEV ,I.M. MIJEEVA. Fundamentos de termo transferencia. Editorial Mir Moscú 1979
12. MACIAS, J. Comportamiento de los tubos de cobre empleados en los edificios y en los circuitos semiabiertos de las torres de refrigeración frente a la acción de los biocidas. El Instalador. Julio-Agosto 2003
13. MACIAS, J. Comportamiento de los tubos empleados en la distribución de agua fría y caliente en los edificios frente a las hipercloraciones. El Instalador. Febrero 2003

14. MACIAS, J. Estudio comparativo de los sistemas centralizados de producción y almacenamiento de agua caliente sanitaria frente al riesgo de proliferación de la legionela. El Instalador. Junio 2005
15. MACIAS, J. Lucha contra la legionella respetuosa con el medio ambiente. El Instalador. Especial Marzo 2003
16. MARTÍN ZORRAQUINO. Vigilancia y control de las instalaciones respecto de las infecciones producidas por Legionella. El Instalador. Marzo 1985.
17. MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO. Real Decreto 865/2003 por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y el control de la legionelosis. BOE 18 de Julio de 2003.
18. MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO. Real Decreto 909/2001 por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y el control de la legionelosis. BOE 28 de Julio de 2001.
19. OUTOKUMPU COPPER SA. El cobre en las instalaciones sanitarias. Manual de información practica al instalador.1987
20. PANCORBO. Comportamiento de las tuberías de distribución de agua potable frente a la corrosión. Parte I, II y III. El Instalador.1985
21. PRIMO YÚFERA. Introducción a la Investigación Científica y tecnológica. Alianza Editorial.1994.
22. PURSCHEL .La calidad de las aguas y su tratamiento. Urmo SA de Ediciones.1976
23. PURSCHEL. El transporte y la distribución de agua. Urmo SA de Ediciones.1976.
24. PURSCHEL. La captación y el almacenamiento de agua potable. Urmo SA de Ediciones.1976.
25. RIO-MIRANDA. El agua de refrigeración, sus problemas y sus tratamientos. Editado por el autor. Sevilla 2002.
26. RODRÍGUEZ MONTERO, J. Corrosión de los tubos de cobre en las instalaciones de fontanería. Comunicaciones Técnicas nº 15.Instituto Nacional para la calidad en la Edificación.
27. SMITH, W.F. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. McGraw-Hill.1992
28. SUE MIUETZNER y al.Efficacy of thermal treatment and copper-silver ionization for controlling Legionella pneumophila in high-volume hot water plumbing systems in hospitals.AJIC.Diciembre 1997.
29. USF-BEKOX. El agua en instalaciones hospitalarias.2000