

MANUAL DE APLICACIONES DEL OZONO PARA EL CONTROL DE *LEGIONELLA*

Elaborado en el marco del proyecto Ozoleg en colaboración entre:
Ainia Centro Tecnológico
ITDI: Implantación de Tratamientos y Diseños Industriales, S.L.

Financiado por la Consellería de Empresa, Universidad y Ciencia de la Comunidad Valenciana
Convocatoria de ayudas para proyectos de especial relevancia para la Comunidad Valenciana 2006
Nº expediente GVEMP06/013

Noviembre 2007

Prefacio

El presente manual ha sido elaborado en el marco de colaboración entre ainia, ITDI para ofrecer una guía frente a los recurrentes rebrotes de legionelosis que anualmente ocurren en España y especialmente en la comunidad Valenciana.

Debido a ello, la Consellería de Empresa, Universidad y Ciencia de la Comunidad Valenciana ha considerado el tema del tratamiento de las instalaciones de riesgo con ozono como “de especial relevancia” y ha decidido financiar el proyecto OZOLEG que ha sido culminado con la elaboración de este manual.

El “Manual de aplicaciones del ozono para el control de Legionella” va dirigido a todos aquellos potenciales interesados en incorporar el uso del ozono como agente biocida en distintos tipos de aplicaciones. Este colectivo engloba a diversos sectores, potencialmente generadores de aerosoles a partir de sistemas acuáticos en el que se encuentran empresarios de la pequeña y mediana empresa, industrias, organismos administradores de espacios públicos, etc.

En este manual se encontrará un compendio de los conceptos básicos respecto al efecto biocida del ozono, al mecanismo infeccioso de Legionella, a los principales ámbitos de aplicación de los ozonizadores y a los criterios básicos a tener en cuenta para la elección de equipos. También se abordan los puntos críticos del mantenimiento de las instalaciones para la prevención de la legionelosis basados en experiencias previas de usos del ozono para dicho fin. Por último se adjuntan las referencias de todos los documentos de la Legislación nacional y autonómica sobre la prevención de legionelosis promulgados hasta el momento.

Agradecemos a la Consellería de Empresa, Universidad y Ciencia de la Comunidad Valenciana por haber apoyado esta iniciativa y esperamos que la misma sea de utilidad e interés para la minimización del problema de la legionelosis mediante tecnologías más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Índice

1. El ozono como agente biocida	1
1.1 Introducción	1
1.2 Principio de acción biocida.....	2
1.3 Ámbitos de aplicación.....	3
2. Legionella.....	4
2.1 Ecología de <i>Legionella</i>	4
2.2 Ubicación	4
2.3 <i>Legionella</i> y legionelosis	4
2.4 Instalaciones de riesgo para el desarrollo de Legionella	6
2.4.1 Torres de refrigeración	6
2.4.2 Condensadores evaporativos.....	8
2.4.3 Aparatos de enfriamiento evaporativo	9
2.4.4 Equipos mixtos.....	10
2.4.5 Instalaciones de agua sanitaria (ACS y AFCH)	11
3. Prevención y control de Legionella mediante el uso del ozono	12
3.1 Efectividad del ozono contra <i>Legionella</i>	12
3.2 Importancia del mantenimiento de las instalaciones.....	12
3.3 Conceptos de limpieza y desinfección.....	13
3.4 Tipos de tratamientos con ozono contra <i>Legionella</i> : limpieza y desinfección general, tratamiento de choque y mantenimiento preventivo	13
3.4.1 Limpieza y desinfección general y tratamiento de choque	14
3.4.2 Mantenimiento preventivo	14
3.5 Configuración de un sistema de ozonización	15
3.5.1 Elementos básicos del sistema de aplicación de ozono.....	15
3.5.2 Dosificación	17
3.6 Factores que influyen en la eficacia de la ozonización	18
3.6.1 Temperatura.....	18
3.6.2 pH y salinidad	18
3.6.3 Presencia de contaminantes.....	19
3.6.4 Diseño o configuración de la instalación de riesgo.....	19
3.7 Materiales de construcción recomendados para instalaciones de riesgo que van a tratarse con ozono	20
3.8 Seguridad laboral en instalaciones de aplicación de ozono	21
3.8.1 El ozono y la salud.....	21
3.8.2 Niveles máximos de exposición y emisiones.....	22
3.8.3 Sistemas de detección.....	22
3.8.4 Destruidores de ozono	22
3.9 Beneficios ambientales derivados del uso del ozono	23

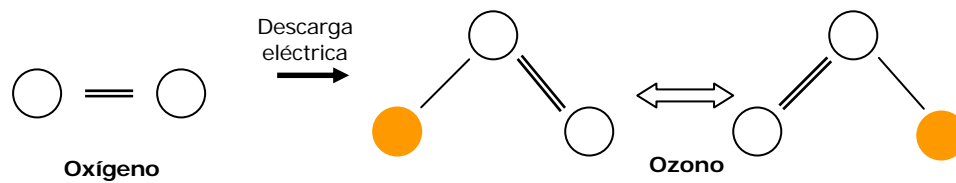
4. Experiencias previas de usos del ozono para el control de <i>Legionella</i>	24
4.1 Casos prácticos aplicación en torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	24
4.2 Ejemplos de utilización del ozono en aguas de proceso.....	26
5. Análisis de costes y viabilidad económica	28
5.1 Comparativa de costes entre tratamientos con ozono frente a otros de similar eficiencia para la prevención de legionelosis	28
5.1.1 Costes de instalación de un sistema con ozono.....	28
5.1.2 Gastos de operación para el control de <i>Legionella</i>	28
5.1.3 ¿Por qué el ozono permite ahorrar agua y energía?.....	29
5.1.4 Beneficios económicos del tratamiento de aguas de recirculación con ozono frente a los tratamientos químicos.....	29
6. Referencias	31
6.1 Experiencias previas de usos del ozono para el control de <i>Legionella</i>	31
6.2 Publicaciones respecto al uso del ozono para el control de la legionelosis	31
Anexo: Legislación nacional y autonómica sobre la prevención de legionelosis. 32	
Medidas generales de prevención	32
Medidas específicas de prevención	34
Medidas específicas de prevención en la instalación interior de agua de consumo humano	34
Medidas específicas de prevención en las torres de refrigeración y sistemas análogos (condensadores evaporativos).....	36
Programas de mantenimiento	37

1. El ozono como agente biocida

1.1 INTRODUCCIÓN

El oxígeno es uno de los elementos más comunes en la naturaleza y en ella se encuentra en diversas formas, siendo la forma de gas diatómico la más habitual. Existe una segunda forma de oxígeno gaseoso conocida como ozono, en el que en vez de presentarse en forma diatómica oxígeno (O_2), lo hace en forma triatómica ozono (O_3).

Ambas moléculas son especies distintas con propiedades, comportamientos y estructuras totalmente diferentes.



El tercer átomo de oxígeno, unido de una forma altamente inestable al resto de la molécula, es la base de las propiedades que caracterizan al ozono. La baja estabilidad de la molécula, lleva aparejada una alta reactividad, es decir que tendrá gran facilidad para ceder el átomo de oxígeno inestable y recombinarse en oxígeno. Por este motivo, no es posible envasar o almacenar el ozono, siendo necesaria la generación y utilización "in situ".

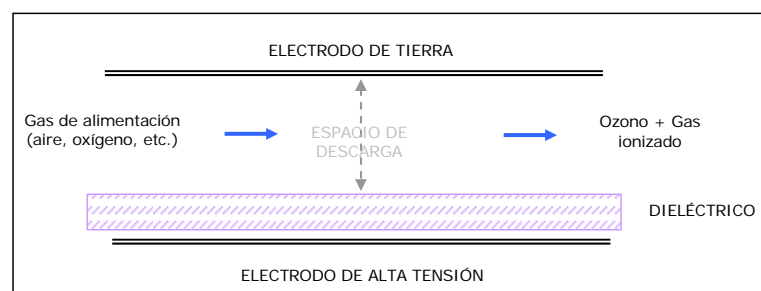


Fig. 1. Esquema de un sistema generador de ozono

Los generadores de ozono funcionan por descargas eléctricas silenciosas, las cuales se obtienen aplicando una corriente alterna de alta tensión a dos electrodos. Entre estos dos electrodos se sitúa un dieléctrico que junto con el electrodo de tierra, limita el espacio real de descarga.

El gas que fluye en el espacio de descarga generalmente es aire, debido a que constituye una fuente económica de oxígeno (aproximadamente 20%) y está disponible en cualquier parte. También puede utilizarse oxígeno puro. Al aplicar la descarga, una alta cantidad de energía es transferida al oxígeno que fluye por el espacio de descarga generando ozono mediante la siguiente reacción:



La facilidad con que el ozono se descompone hace de éste un oxidante enérgico siendo su potencial de oxidación de 2,07 voltios (referido al electrodo normal de hidrógeno a 25 °C).

Éste potencial de oxidación del ozono, es mayor que el de todas las sustancias utilizadas habitualmente como desinfectantes.

Tabla 1. Comparativa de distintos agentes oxidantes.

Agente	Potencial de oxidación (V)	Oxidación relativa *
Ozono	2,07	1,53
Peróxidos	1,78	1,31
Hipoclorito	1,48	1,09
Cloro libre	1,36	1,00
Hipobromito	1,33	0,98
Dióxido de cloro	0,95	0,70

* Referenciado al cloro (Cloro=1,00)

Fuentes: Water Quality Association Ozone Task Force. 1997. *Ozone for Point-of-use, Point-of-entry and small System Water Treatment Applications: A Reference Manual* Water Quality Association. Lisle, IL, 2-4.

1.2 PRINCIPIO DE ACCIÓN BIOCIDA

El alto poder oxidante del ozono hace que ataque a todas las sustancias susceptibles de ser oxidadas que encuentre a su paso, tanto inorgánicas (ciertos metales, sales, gases, etc.) como orgánicas (biomoléculas, microorganismos, nemátodos, huevos de insectos, olores, humos, colorantes, disolventes, etc.). De ahí su eficacia en tratamientos de desinfección y esterilización, en los que ataca a microorganismos sin que éstos puedan generar resistencia debido a que son físicamente destruidos. El ataque se realiza por oxidación de la membrana celular, causándoles la muerte o inactivación en el caso de los virus.

En general, una desinfección efectiva se consigue exponiendo los microorganismos a eliminar a concentraciones fijas de un agente desinfectante como cloro, bromo, ozono, etc. durante un determinado período de tiempo. Comparando los desinfectantes convencionales, el ozono consigue una desinfección superior a concentraciones menores y con tiempos de contacto más cortos que el resto de los agentes, como ya se ha mostrado en la Tabla 1.

Por ejemplo, el cloro requiere un tiempo de contacto considerable para oxidar y destruir los microorganismos. En cambio, la oxidación por ozono empieza de inmediato al entrar en contacto con la membrana o la pared celular del microorganismo. Al oxidar la membrana, la célula se rompe y su citoplasma se dispersa rápidamente en el agua (lisis). En condiciones ideales, una oxidación continua con ozono llegaría a convertir la mayoría del contenido de la célula en dióxido de carbono y agua.

El nivel de ozono requerido para la desinfección depende tanto del tipo de organismos a eliminar como de la demanda total de ozono en el agua. Esta demanda de ozono puede verse incrementada por la presencia de materia orgánica, la temperatura, etc. Con los parámetros de operación y dosis de ozono correctos, un sistema de tratamiento por ozono consigue una desinfección completa de manera rápida y a un coste menor que cualquier otro biocida empleado correctamente.

Existe además otro beneficio de carácter ecológico y es su descomposición después de actuar. Todos los biocidas químicos, dejan sustancias remanentes de mayor o menor toxicidad en el medio en que actúan. Sin embargo, el producto de descomposición del ozono es el oxígeno; por lo que no se liberan sustancias tóxicas que puedan afectar al medio ambiente o a las personas en contacto con las sustancias tratadas con ozono.

1.3 ÁMBITOS DE APLICACIÓN

El ozono, a diferencia de cualquier otro agente biocida, puede ser aplicado en tratamientos de esterilización, desinfección, desodorización en todo tipo de instalaciones sin riesgo alguno para los usuarios. Por tanto, su uso se extiende a todo tipo de instalaciones o edificios que dispongan de sistemas como los que el Real Decreto 865/2003, clasifica como instalaciones de riesgo para la proliferación de *Legionella* y que se listan en el capítulo 3.

2. *Legionella*

2.1 ECOLOGÍA DE *LEGIONELLA*

Legionella es una bacteria ambiental capaz de sobrevivir en un amplio rango de temperaturas (6.1), mostrando su mejor desarrollo entre 30 °C y 40°C (20, 22) y destruyéndose a 70°C (11). Su nicho natural son las aguas superficiales como lagos, ríos, estanques.

De todas las especies y serogrupos de Legionellas, *L.pneumophila* serogrupo 1 es la mas abundante en el medio ambiente y quizás por ello la responsable de más de la mitad de las legionelosis descritas en humanos (16, 14).

Una característica biológica importante de esta bacteria es su capacidad de crecer dentro de otras células (protozoos, amebas, etc.) por lo que, la presencia de dichas microorganismos en ambientes naturales favorece la multiplicación y supervivencia de Legionella (19, 6, 23).

2.2 UBICACIÓN

Las bacterias del género *Legionella* se pueden encontrar en ambientes acuáticos naturales, así como en diversas instalaciones de edificios, siendo los sistemas de agua sanitaria y las torres de refrigeración las instalaciones que con mayor frecuencia se han identificado como fuentes de infección. Por tanto, las recomendaciones aquí expuestas se centran fundamentalmente en estos tipos de instalaciones. Otras como piscinas, humidificadores y equipos de terapia personal serán citados pero en menor detalle y profundidad.

2.3 *LEGIONELLA* Y LEGIONELOSIS

Legionelosis

La legionelosis es una enfermedad bacteriana de origen ambiental que presenta fundamentalmente dos formas clínicas: la infección pulmonar o "Enfermedad del Legionario" caracterizada por neumonía con fiebre alta; y la forma no neumónica conocida como "Fiebre de Pontiac", que se manifiesta como un síndrome febril agudo y autolimitado.

La neumonía es clínicamente indistinguible de otras neumonías y con frecuencia los pacientes requieren hospitalización. Según informes de la OMS el periodo de incubación normalmente es de 2 a 10 días; más frecuente en personas entre 40 y 70 años, siendo más frecuente en varones que mujeres y raramente observable en niños.

El riesgo de contraer la enfermedad depende del tipo e intensidad de la exposición y del estado de salud del sujeto susceptible. El riesgo aumenta en inmunocomprometidos, diabéticos, pacientes con enfermedad pulmonar crónica así como en fumadores o alcohólicos (14).

La frecuencia de la enfermedad oscila entre el 0,4 y 14 % y puede llegar a alcanzar el 80 % en pacientes inmunocomprometidos (6). La letalidad de la enfermedad supone menos del 5 % de la sociedad pero puede llegar a ser del 15 o 20 % si no se instaura un tratamiento antibiótico adecuado.

Mecanismos de contagio

La entrada de *Legionella* en el organismo humano se produce básicamente por inhalación de aerosoles que contengan un número suficiente de bacterias (3, 12), no habiendo evidencia de su posible transmisión de persona a persona (25), ni de la existencia de reservorios animales conocidos. Para que se produzca infección en el hombre, se tienen que dar una serie de requisitos (5, 17):

- **Posibilidad de entrada en las instalaciones:** Que el microorganismo tenga una vía de entrada a las instalaciones en cuestión. Esto suele producirse por aporte de aguas naturales contaminadas por la bacteria, normalmente en pequeñas cantidades.
- **Capacidad de multiplicación:** Que *Legionella* se multiplique en el agua hasta conseguir un número suficientes como para que sea un riesgo para personas susceptibles. La multiplicación es función de la temperatura del agua, de su estancamiento y de la presencia de otros contaminantes, incluyendo la suciedad en el interior de las instalaciones.
- **Capacidad de generación de aerosoles:** El agua contaminada sólo representa riesgo cuando se dispersa en forma de aerosoles. El riesgo aumenta cuando se reduce el tamaño de las gotas, porque quedan más tiempo suspendidas en el aire y son más invasivas (sólo gotas de tamaño inferior a 5mm penetran en los pulmones).
- **Virulencia:** el desarrollo de la enfermedad requiere que el tipo de *Legionella* dispersada sea virulenta para el hombre, ya que no todas las especies producen la enfermedad.
- **Susceptibilidad:** el desarrollo de la enfermedad requiere también que las defensas (sistema inmune) de los individuos expuestos a la bacteria se encuentren debilitadas.

El desarrollo de *Legionella* en los sistemas se favorece por el estancamiento del agua y la acumulación de productos como lodos, materia orgánica, material de corrosión, etc.; que sirven como nutrientes, para el crecimiento de verdaderos entramados de microorganismos denominados biocapas (ver 6.1). Dichas biocapas sirven de soporte y refugio para los microorganismos (entre ellos *Legionella*); quienes se protegen de los agentes desinfectantes que se pudieran agregar al agua.

La presencia de dicha biocapa y la temperatura del agua, juegan papel fundamental en la multiplicación de *Legionella* hasta alcanzar concentraciones infectantes para el hombre. A partir de los lugares donde se estabiliza dicha biocapa, y especialmente si existen

mecanismos generadores de aerosoles, las bacterias pueden dispersarse transportadas en pequeñas gotas, llegando hasta los pulmones de las personas donde se instala (10).

2.4 INSTALACIONES DE RIESGO PARA EL DESARROLLO DE LEGIONELLA

El Real Decreto 865/2003 divide las instalaciones de riesgo en dos grupos según su mayor o menor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella:

Instalaciones **con mayor probabilidad** de proliferación y dispersión de Legionella:

- Torres de refrigeración y condensadores evaporativos
- Sistemas de agua caliente sanitaria con acumulador y circuito de retorno
- Sistemas de agua caliente climatizada con agitación constante y recirculación a través de chorros de alta velocidad o la inyección de aire (spas, jakuzzis, piscinas, vasos o bañeras terapéuticas, bañeras de hidromasaje, tratamientos con chorros a presión, otras).
- Centrales humidificadoras industriales

Instalaciones **con menor probabilidad** de proliferación y dispersión de Legionella

- Sistemas de instalación interior de agua fría de consumo humano (tuberías, depósitos, aljibes), cisternas o depósitos móviles y agua caliente sanitaria sin circuito de retorno.
- Equipos de enfriamiento evaporativo que pulvericen agua, no incluidos en el apartado anterior
- Humectadores
- Fuentes ornamentales
- Sistemas de riego por aspersión en el medio urbano
- Sistemas de agua contra incendios
- Elementos de refrigeración por aerosolización, al aire libre
- Otros aparatos que acumulen agua y puedan producir aerosoles

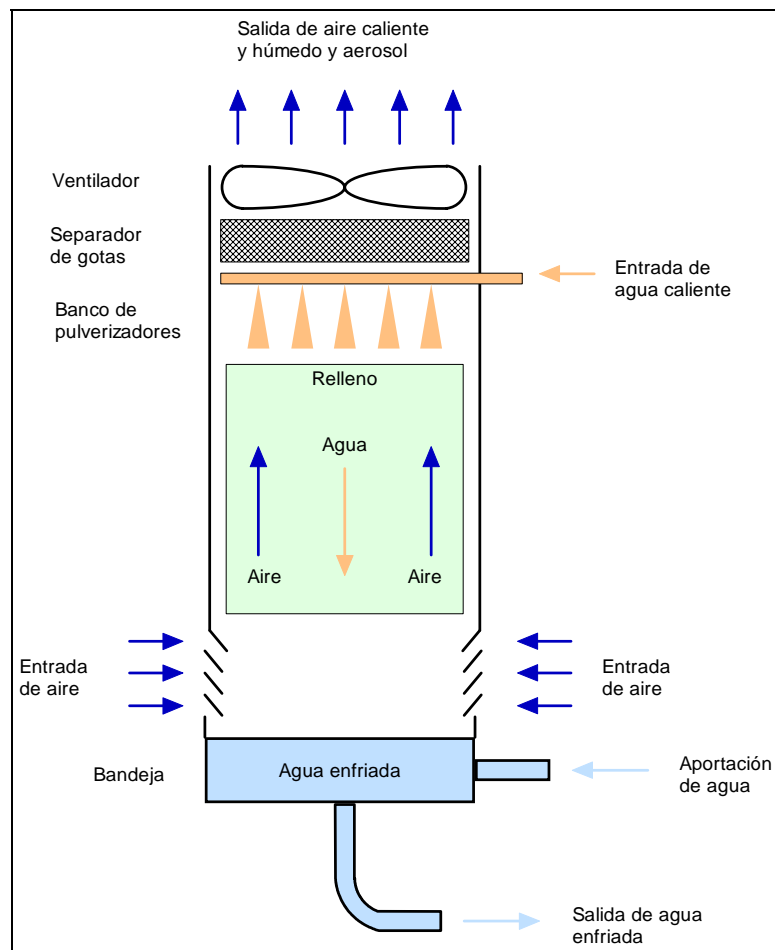
Por otro lado, de acuerdo al Decreto 173/2000, las instalaciones consideradas de mayor riesgo para la instalación y dispersión de *Legionella* son las siguientes:

- Torres de refrigeración
- Condensadores evaporativos
- Aparatos de enfriamiento evaporativo
- Humectadores

2.4.1 Torres de refrigeración

Las torres de refrigeración son sistemas mecánicos destinados a enfriar masas de agua en procesos que requieren una disipación de calor. Como los circuitos de agua son circuitos cerrados, se hace necesario enfriar el agua para poderla utilizar de nuevo. Este enfriamiento se lleva a cabo en las torres de refrigeración.

El enfriamiento se lleva a cabo mediante evaporación poniendo en contacto parte del agua caliente con aire a contracorriente. Este proceso se denomina enfriamiento evaporativo. La evaporación superficial de una pequeña parte del agua inducida por el contacto con el aire, da lugar al enfriamiento del resto del agua que cae en la balsa a una temperatura inferior a la de pulverización.



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

Equipos de tiro natural

- Basados en efecto chimenea. El agua pulverizada genera un punto caliente en la parte baja de la torre e induce el movimiento ascendente del aire habitualmente en contracorriente.
- Basados en efecto venturi. Son muy poco utilizados en España, pero sirven para disipación de cargas térmicas medias/bajas.

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

Equipos con ventilación mecánica

En las torres de refrigeración el agua caliente procedente del circuito, se pulveriza desde la parte superior de la torre. El aire es impulsado mediante un ventilador desde la parte inferior a la superior. Dicho ventilador puede situarse en dos ubicaciones distintas, en base a lo cual, las torres de refrigeración se puede clasificar como:

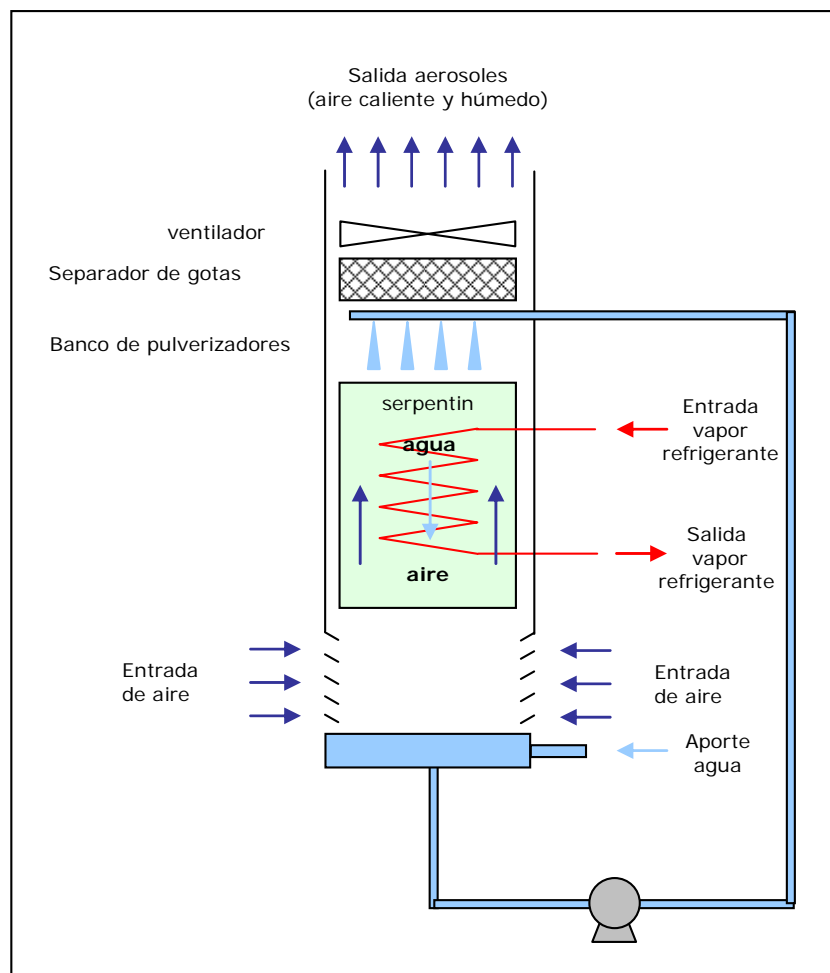
- Torre de refrigeración **de aire forzado**: el ventilador se sitúa en la parte inferior de la torre, soplando aire hacia el interior de la misma.
- Torre de refrigeración **de tiro inducido**: el ventilador se sitúa en la parte superior de la torre, extrayendo el aire que ingresa por aperturas localizadas en la parte inferior.

Por la parte superior de la torre se produce la salida de aire llevando pequeñas gotas de agua arrastradas en su recorrido ascendente. Para aumentar la superficie de contacto aire – agua, se emplean materiales de relleno en el interior de la torre. Para que no se dispersen las gotas de agua en el ambiente exterior, se instala un separador de gotas antes de la salida de la corriente de aire. El agua condensada y enfriada se recoge en la parte inferior de la torre, mediante una bandeja con un sistema de medición del nivel, el cual determina la cantidad de agua de renovación que hay que aportar al circuito para compensar las pérdidas por evaporación y por las purgas de regulación de la conductividad.

El mayor peligro de transmisión de la legionelosis se focaliza en la salida de aire (parte superior de la torre), en forma de pequeñas gotas (aerosol) en cuyo interior puede haber microorganismos contaminantes como *Legionella*.

2.4.2 Condensadores evaporativos

Al igual que en el caso de las torres de refrigeración, los condensadores evaporativos se utilizan para enfriar el agua del proceso. La diferencia es que ahora el agua caliente pulverizada cae sobre un serpentín por cuyo interior circula un líquido refrigerante. Al mismo tiempo, una corriente ascendente de aire evapora parte del agua pulverizada, la cual sufre un enfriamiento, enfriando a su vez el líquido refrigerante.



De manera similar a las torres de refrigeración, el aire sale al exterior a través del separador de gotas, y el agua enfriada se recoge en una bandeja situada en la parte inferior que, de igual modo que en las torres, dispone de un sistema de control del nivel de agua para determinar cuándo y en qué medida hay que aportar agua de renovación.



En las torres de refrigeración y condensadores evaporativos, los puntos clave son:

- El separador de gotas
- La bandeja de recogida de agua

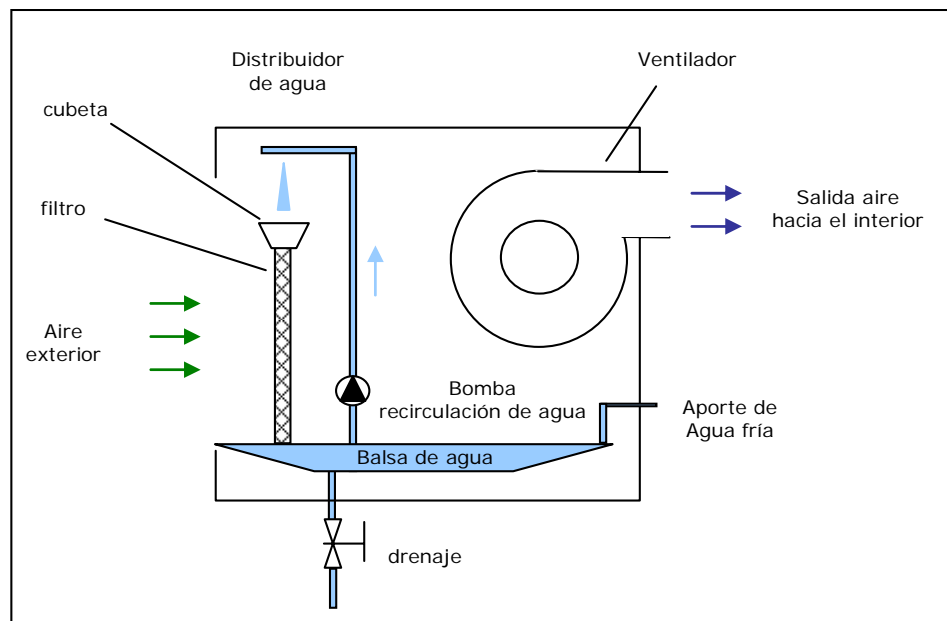
2.4.3 Aparatos de enfriamiento evaporativo

En este caso el aire es enfriado mediante una corriente de agua fría e introducido en ambientes cerrados para su acondicionamiento.

Los aparatos de enfriamiento evaporativo pueden presentar dos configuraciones:

- **Pulverización de agua en una corriente de aire:** se generan aerosoles que penetran en los locales que se pretende acondicionar.
- **Contacto entre una corriente de aire y una superficie mojada:** la generación de aerosoles es menor, reduciéndose por tanto el riesgo para la salud de las personas (mostrado en la figura adjunta).

Tanto en los aparatos de pulverización como en los de contacto, la cantidad de aerosol que se introduce en el local puede verse reducida considerablemente si el aire circula a través de una serie de conductos antes de penetrar en el local, ya que las paredes de los conductos actúan como separadores de gotas.



Existe un tipo de aparatos de enfriamiento evaporativo que trabajan a agua perdida (no se recircula el agua). Estos aparatos no suponen riesgo de proliferación de legionella, puesto que no se da estancamiento de agua en absoluto, y la bacteria no encuentra las condiciones óptimas para su proliferación.

2.4.4 Equipos mixtos

Estos equipos disponen de un sistema de doble batería de condensación. Se denominan mixtos porque pueden funcionar como condensadores por aire en las épocas frías y como condensadores evaporativos en épocas cálidas.

Es preciso tener en consideración que estos equipos pueden estar largos periodos de tiempo con el agua estancada. Si ese periodo supera el mes, de acuerdo al Real Decreto 865/2003, deben ser desinfectados antes de su puesta en marcha.

Como **solución práctica** a éste problema, la *“Guía técnica para la Prevención y Control de la Legionelosis en instalaciones”* 2006 (elaborada por el Ministerio de Sanidad y Consumo) propone instalar sistemas que activen la recirculación de agua al menos durante 30 minutos al día, dosificando el biocida de elección e independientemente de los requerimientos térmicos.

2.4.5 Instalaciones de agua sanitaria (ACS y AFCH)

Las instalaciones de agua fría de consumo humano (AFCH) o de agua caliente sanitaria (ACS), si no son convenientemente diseñadas y mantenidas, pueden convertirse en focos amplificadores de *Legionella*.

Se considera que las instalaciones de ACS que incluyen acumulador y circuito de retorno (hoteles, hospitales, residencias de ancianos, polideportivos, vestuarios laborales, o instalaciones centralizadas en general) presentan mayor susceptibilidad para la proliferación de *Legionella* que las instalaciones más sencillas.

Los aerosoles creados en una instalación de ACS no son emitidos al ambiente exterior, por lo que la población expuesta se limita a los usuarios de dicha instalación. Sin embargo, dichas instalaciones presentan considerable riesgo de contagio por la elevada población que las utiliza y por que en algunos casos, sus usuarios son personas especialmente susceptibles (inmunosuprimidos, ancianos, etc.).



Para la prevención y control de *Legionella* se deben procurar las siguientes medidas:

- evitar la entrada de *Legionella* a la instalación,
- evitar su multiplicación y
- evitar su aerosolización

3. Prevención y control de *Legionella* mediante el uso del ozono

3.1 EFECTIVIDAD DEL OZONO CONTRA *LEGIONELLA*

El ozono es efectivo para la eliminación de una gran variedad de microorganismos tales como bacterias, virus, protozoos, levaduras, hongos y esporas de bacterias y hongos.

La eliminación de los microorganismos se produce oxidación de los lípidos de membrana y paredes celulares, provocando su destrucción mecánica. Este mecanismo de eliminación es más rápido que el de otros biocidas que requieren la difusión del mismo a través de la membrana para ser eficaces. Estudios científicos han demostrado una reducción de más de 3 log de *Legionella pneumophila* tras 15 minutos frente a concentraciones de 0,19 mg/L de ozono en agua (Ruiz *et al.* 2003). Otros estudios científicos prueban una reducción de 5 log de *Legionella* en agua, por la aplicación de 2 mg/L de ozono durante 6 horas seguidas (16).

Debido al mencionado mecanismo de acción, no se han encontrado indicios de que las bacterias puedan desarrollar resistencia a la acción del ozono, a diferencia de lo que ocurre con otros biocidas.

3.2 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

El mantenimiento de las instalaciones es fundamental para la prevención y control de la legionelosis en las mismas. No puede hablarse de una instalación bien tratada si a su vez dicha instalación no está correctamente mantenida.

Como principios generales de prevención, el Real Decreto 865/2003 establece:

- Eliminación o reducción de zonas sucias, mediante un buen diseño y un correcto mantenimiento.
- Evitar las condiciones que favorecen la supervivencia y multiplicación de *Legionella* mediante el control de la temperatura del agua y la desinfección continua de la misma.
- Ubicación de las instalaciones de riesgo en lugares que no sean frecuentados por personas (cuando esto sea posible). De este modo, el aerosol se deposita en el suelo o bien se evapora, evitándose así la inhalación por parte de las personas. También se consigue la dispersión del aerosol, con lo que la concentración de bacterias en el aire disminuye por debajo de los niveles de riesgo para las personas.

El Real Decreto 865/2003 y el Decreto 173/2000 establecen también una serie de medidas generales y específicas para la prevención y control de la legionelosis, que se detallan en el anexo de legislación.

3.3 CONCEPTOS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

Los conceptos de limpieza y desinfección se confunden a menudo. Es conveniente distinguir sus significados:

Limpieza: es la remoción física de la suciedad mediante productos (generalmente detergentes) seleccionados en función del tipo de suciedad y las superficies donde se asienta. Aún cuando un objeto esté limpio puede contener agentes invisibles (microorganismos o sustancias químicas).

Desinfección: es la reducción, mediante agentes químicos (desinfectantes) o métodos físicos adecuados, del número de microorganismos en las instalaciones.

El ozono es un agente oxidante cuya acción es fundamentalmente desinfectante (biocida). Es muy importante que la instalación a desinfectar se haya limpiado previamente, eliminando suciedad inorgánica y materia orgánica. Esto también puede conseguirse con el ozono, pero deben respetarse las dosis y tiempos de aplicación necesarios, pues hasta que la suciedad no ha sido eliminada, no sucede la desinfección.

La completa destrucción de la biocapa es una de las claves para asegurar que los tratamientos contra *Legionella* sean totalmente efectivos. La biocapa se puede destruir parcialmente con productos químicos biodispersantes, pero la forma más efectiva de asegurar una limpieza completa es por medios mecánicos. Existen estudios que prueban la vinculación entre factores que favorecen la instalación de biocapas y la proliferación de *Legionella*. Por ejemplo, la presencia de incrustaciones en la superficie interior de las instalaciones favorece de manera indiscutible el anclaje de biocapas y por ello, el mantenimiento de dichas superficies libres de incrustaciones, no solo incrementa la vida útil de las instalaciones, sino que evitaría la implantación de *Legionella*.

La peor situación se da cuando las instalaciones están construidas de tal modo que existen puntos inaccesibles, pues una correcta limpieza requiere el desarme completo de los elementos y por tanto, que fuesen fácilmente desmontables. Esto es prácticamente imposible en las redes de tuberías y ahí es donde los biocidas con capacidad dispersante como el ozono son más efectivos.

3.4 TIPOS DE TRATAMIENTOS CON OZONO CONTRA *LEGIONELLA*: LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN GENERAL, TRATAMIENTO DE CHOQUE Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El Real Decreto 865/2003 contempla tres tipos de tratamientos que es necesario realizar según la instalación de riesgo de la que se trate. La limpieza y desinfección general es obligatoria para todas las instalaciones, y debe realizarse con frecuencia anual o

semestral en función del tipo de instalación. El tratamiento de choque se aplica cuando se detecta una concentración de *Legionella* superior a un cierto límite establecido por el Real Decreto, y consiste básicamente en aplicar un procedimiento más agresivo que la limpieza y desinfección general. El mantenimiento preventivo mediante dosificación de biocida es obligatorio solamente en algunas instalaciones como las torres de refrigeración o los condensadores evaporativos, y consiste en mantener una pequeña dosis de biocida en el sistema para evitar la multiplicación de la bacteria en el caso que ésta se introduzca en la instalación de riesgo con el agua de aporte.

3.4.1 Limpieza y desinfección general y tratamiento de choque

En los tratamientos de limpieza y desinfección general o de choque se deben dosificar cantidades enérgicas de ozono (del orden de 5 mg/L) durante el periodo de tiempo necesario para que desaparezcan las incrustaciones existentes en el sistema. Esto último puede comprobarse fácilmente por la progresiva reducción de turbidez en el agua durante el tratamiento de choque.

El tiempo necesario para la eliminación de incrustaciones mediante ozono es muy variable y depende de una gran cantidad de factores como calidad del agua, materiales de la instalación, geometría de la misma, temperatura de trabajo, tiempo en funcionamiento desde la última limpieza general o desde su construcción, etc.

La experiencia indica que en instalaciones como torres de refrigeración, si están correctamente mantenidas, el tiempo necesario para eliminar las incrustaciones mediante uso del ozono, no suele sobrepasar al de una semana. Al cabo de dicho periodo, se observa una considerable reducción en la turbidez del agua y en ocasiones, un importante depósito de sales depositadas en la balsa. La limpieza mecánica de la dicha balsa permite eliminar las sales del sistema dejándolo en buenas condiciones de operación.

En los casos en que se aplican tratamientos de limpieza y desinfección general o de choque sucesivos similares al descrito, se han observado drásticas reducciones en las incrustaciones lo que conlleva reducciones en los tiempos de limpieza y costes.

En el caso de circuitos de agua, tanto ACS como AFCH, el tiempo del tratamiento de choque sugerido puede alcanzar hasta las cuatro semanas.

3.4.2 Mantenimiento preventivo

El aporte de ozono de manera preventiva no sólo reduce el depósito de incrustaciones en la superficie de las instalaciones sino que mantiene condiciones oxidativas en el agua capaces de evitar el crecimiento bacteriano.

Después de realizada la limpieza de choque inicial, dosis permanentes de entre 0,3 y 0,5 mg/L de ozono, generan un medio levemente oxidativo dando lugar a condiciones de mantenimiento preventivo de formación de biocapas en las instalaciones y a posibles colonizaciones con *Legionella*.

3.5 CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE OZONIZACIÓN

3.5.1 Elementos básicos del sistema de aplicación de ozono

El sistema básico de aplicación de ozono debe constar de los siguientes elementos:

- generador de ozono
- sistema de disolución-inyección de gas generado en el seno del agua
- sistema de control de la capacidad oxidativa del agua

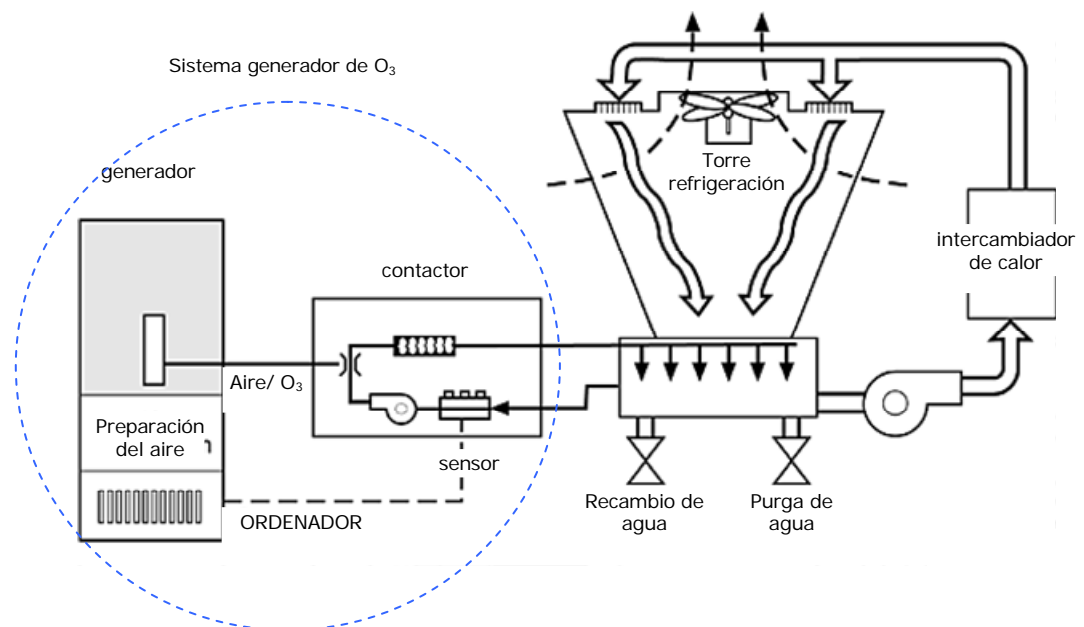


Fig. 2. Esquema general de un sistema generador de ozono acoplado a una torre de refrigeración

Generador de ozono

El generador de ozono es el componente esencial de un sistema de ozonización (ver Fig. 1). Es en este componente donde se produce la descarga eléctrica de tipo corona y donde el oxígeno se transforma en ozono.

Todo generador de ozono, necesita de un sistema que ponga en movimiento el gas que a través de él. En la mayoría de los casos la fuerza de succión del sistema de inyección (venturi) que va acoplado al generador es suficiente para producir una corriente de aire. Cuando la fuerza del sistema venturi no es suficiente, los generadores cuentan con un sistema propio para el movimiento del aire (compresor).

La calidad del ozono generado depende de las características del gas introducido en el generador. El gas de entrada puede ser aire ambiente sin tratar, aire tratado y oxígeno puro.

El aire ambiente sin tratar, contiene cantidades variables de humedad y su temperatura depende de la temperatura ambiente, por tanto, la concentración de ozono generada es muy variable dependiendo de estos parámetros.

El aire tratado se obtiene por deshidratación del aire ambiente, por enfriamiento de éste y/o enriquecimiento en oxígeno. En la medida en que más se optimice cada uno de dichos tratamientos, mayor es la concentración de oxígeno en el aire de entrada y mayor la concentración de ozono generado.

La concentración de ozono en el gas que sale del generador es un factor muy importante, especialmente si se utilizará para ozonizar líquidos. A mayor concentración de ozono en el gas de salida, mayor fracción molar del mismo y por tanto mayor disolución para un mismo volumen de gas.

Por ello los generadores de ozono son más eficientes (independientemente de su capacidad de generación) cuanto más seco ingrese el gas de alimentación (ver Fig. 1). De ahí el frecuente empleo de deshidratadores de aire para incrementar la concentración de ozono en el gas de salida. Los equipos existentes en el mercado permiten prácticamente duplicar la producción nominal del generador de ozono cuando se suministra aire deshidratado a baja temperatura (-60 °C).

Lo mismo puede decirse de la alimentación de equipos generadores por medio de oxígeno puro o de concentradores de oxígeno. Estos permiten rendimientos de los equipos de ozono entre tres y cuatro veces superiores a los obtenidos cuando se alimentan con aire ambiente.

Sistema de inyección-disolución de ozono

El método habitual de inyección de ozono en el seno del líquido es mediante un sistema venturi. De esta manera, el movimiento del líquido a ozonizar actúa también como fuerza motriz de la inyección de ozono.

El gas inyectado forma grandes burbujas en el líquido, por lo que deben interponerse sistemas que incrementen la turbulencia del flujo, reduzcan el tamaño de las burbujas y aumenten la disolución de ozono. A estos sistemas se los denomina reactores de mezcla.

Para el caso de las principales instalaciones de riesgo los puntos sugeridos para la incorporación de ozono al sistema son los siguientes:

Instalaciones de riesgo	Puntos sugeridos para la incorporación de ozono
Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	Balsa o depósito de acumulación del agua
Sistemas ACS con acumulador y circuito de retorno	En el circuito de agua a la salida de los elementos de calentamiento y en el acumulador

Sistemas de agua climatizada	A la salida de la recirculación y/o en la inyección de aire
Centrales humidificadoras industriales	En el agua suministrada para la humidificación y en el ambiente de que se va a humidificar suministrando el ozono en fase gaseosa

Medición de la concentración de ozono

La determinación de la concentración de ozono es muy complicada debido a la elevada reactividad – y por tanto inestabilidad – de este gas. En el tiempo que transcurre desde la toma de muestras hasta el análisis, el ozono presente en el agua se recombina parcial o totalmente en oxígeno, falseando la medida. Por este motivo, conviene utilizar sistemas de análisis en línea.

La determinación en línea de la concentración de ozono disuelto en agua o en fase gas se realiza por medio de analizadores de ozono. Estos equipos dan una medición fiable de la concentración de ozono, pero presentan el inconveniente de su elevado coste. Además, es necesario realizar una adecuada selección del equipo, ya que no todos son aptos para las aplicaciones industriales, que requieren equipos estables y robustos.

Una alternativa sencilla y económica a la medición de la concentración del ozono es la instalación de sondas para la medición del potencial redox (capacidad oxidativa del agua ozonizada). Esta medición permite hacerse una idea bastante aproximada de la concentración de ozono en la misma.

Dicho parámetro hace referencia al potencial que una especie tiene para reducirse respecto a otra que se toma como referencia (habitualmente el hidrógeno H^+/H) y se mide en voltios o milivoltios (V o mV)

En general mientras mayor sea el potencial redox del agua ozonizada mayor será la concentración de ozono en ésta y mayor será su capacidad oxidativa. Es importante que, si bien el potencial redox da una idea bastante aproximada respecto a la concentración de ozono, no debe considerarse una correlación lineal entre ambos pues pueden existir muchos factores que modifiquen el potencial redox de un medio.

3.5.2 Dosificación

El dimensionamiento de los sistemas de ozonización se realiza en función de la cantidad de agua contenida en las instalaciones y de los caudales de circulación de las mismas. Evidentemente no se dosifica de la misma forma un sistema cerrado que uno abierto.

Sistemas cerrados

Por sistema “cerrado” se entiende aquel en que el aporte de agua no es continuo, como podría ser el caso de una torre de refrigeración. Estos sistemas necesitan una menor dosificación de ozono, pues una vez conseguida la correspondiente desinfección del agua existente, sólo se necesita mantener el sistema a salvo de las contaminaciones exteriores,

extremo este que se consigue por la acción del ozono existente en el agua que inhibe el desarrollo bacteriano de cualquier especie. Para este tipo de sistema es suficiente la adición de 0,3 mg/L de ozono residuales, es decir 0,2 mg/L de agua en la balsa.

Sistemas abiertos

En los sistemas abiertos, el agua se aporta constantemente. Este es el caso de las redes de AFCH o las centrales humidificadoras (utilizadas para incrementar la humedad ambiental en industrias con requerimientos específicos).

En este tipo de sistemas, el aporte de ozono debe garantizar la idoneidad del agua al entrar en el sistema y mantener concentraciones de ozono similares a los sistemas "cerrados". De ahí la necesidad de dimensionar una mayor cantidad de ozono, bien por equipos de mayor potencia, bien por la utilización de diversos equipos de refuerzo en distintos puntos del sistema. Este tipo de sistemas requieren al menos una adición de ozono igual o superior a 0,5 mg/L, en función de la calidad del agua aportada al sistema.

3.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICACIA DE LA OZONIZACIÓN

Es conveniente aquí considerar las limitaciones inherentes a las aplicaciones de ozono, bien por sus condiciones de estabilidad, bien por sus condiciones de aplicación.

3.6.1 Temperatura

La relación entre la concentración de ozono y la temperatura es inversa; a mayor temperatura, menor concentración de ozono disuelto en el agua, para un volumen constante de agua y una cantidad igual de ozono aplicada. Esto ha sido demostrado por multitud de estudios científicos (4).

La estabilidad del ozono disminuye con la temperatura de tal modo que, en sistemas en los que la temperatura sea cercana a los 50 °C no se esperan buenas eficiencias de tratamientos con ozono debido a dos fenómenos:

- la rápida descomposición de ozono en oxígeno a dicha temperatura.
- la reducción de la solubilidad en agua, tanto del ozono como de cualquier otro gas, al aumentar la temperatura.

3.6.2 pH y salinidad

Tanto el pH como la salinidad del agua son muy importantes a la hora de diseñar los programas de desinfección de los distintos sistemas usando los biocidas habituales (cloro, yodo, sales de cobre, etc.).

En el caso del ozono, se ha demostrado que tanto la conductividad como el pH, no influyen significativamente en su efectividad biocida (6). También se ha demostrado que dicha acción biocida es levemente superior en medios ligeramente alcalinos (20).

Estos hechos sitúan al ozono en una situación favorable respecto a otros biocidas debido a que la legislación vigente para la prevención de legionelosis se recomienda el uso de biocidas cuya eficacia no dependa del pH.

3.6.3 Presencia de contaminantes

La presencia de contaminantes en el agua reduce la efectividad biocida del ozono, ya que éste se consume en la eliminación de dichos contaminantes. Los más habituales son la DQO, que puede estar presente de forma natural o bien incorporarse con el aire de entrada al generador, y la dureza del agua (se recomienda ablandar y/o filtrar previamente el agua de aporte si ésta supera los 500 mg/L de CaCO₃).

3.6.4 Diseño o configuración de la instalación de riesgo

Hay que tener en cuenta varios aspectos:

Columna de agua

La aplicación de ozono por inyección directa en el seno del agua, se verá condicionada por la columna de agua existente entre el punto de inyección y la superficie del agua. De tal modo que dicha columna marcará el tiempo y velocidad de que dispondrán las burbujas de ozono para su disolución en agua.

Geometría del sistema

La geometría de un sistema es la forma en que están dispuestos y conectados entre sí los distintos elementos que componen la instalación.

En general, a mayor número de elementos que generen turbulencia (codos, cambios de sección, irregularidades, etc.) mayor será la disolución de ozono en agua, pero de la misma forma mayor será también la velocidad de descomposición en oxígeno y menor será el tiempo de acción biocida.

En el caso de la utilización de un reactor de mezcla (dispositivo que aumenta la disolución de ozono en el seno del agua), el grado de disolución del ozono en el sistema, dependerá fundamentalmente de la eficiencia lograda por este dispositivo.

Un elemento a evitar son los tramos ciegos de tubería, donde se estanque el agua, pues en esos puntos es más fácil que se den las condiciones adecuadas para la proliferación de *Legionella*.

Longitud de las conducciones

Si las conducciones son muy largas, se puede dar que el tiempo de residencia del ozono es demasiado corto y no llega suficiente concentración de ozono a los puntos distantes de la red. En estos casos hay que prever varios puntos de inyección de ozono a lo largo de las conducciones.

Sistema de inyección

En los casos en que la inyección del ozono se realiza mediante “venturi”, la velocidad de dicha inyección esta condicionada al diseño del venturi y al caudal de líquido que el sistema sea capaz de hacer pasar por ese punto por unidad de tiempo. En general a mayor velocidad flujo, habrá una mayor cantidad de ozono inyectado. Si la velocidad disminuye por debajo de un límite, el sistema será incapaz de inyectar ozono.

¿Qué hay que evitar?

- **Presencia de materia orgánica.** Incluso pequeños valores DQO en el agua reducen la eficiencia del ozono residual
- **Altas temperaturas del agua.** Temperaturas de más de 40-50°C disminuyen el tiempo de residencia del ozono y reducen la eficacia global del tratamiento
- **Aguas de relleno duras** (> 500 mg/L de CaCO₃). Se recomienda ablandar y/o filtrar previamente el agua de relleno
- **Tramos ciegos.**



3.7 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN RECOMENDADOS PARA INSTALACIONES DE RIESGO QUE VAN A TRATARSE CON OZONO

Lógicamente, el ozono al ser un fuerte agente oxidante requiere de la utilización de elementos que no se vean afectados por su presencia. Por tanto, es conveniente utilizar una serie de materiales y de evitar otros en las instalaciones a tratar. A continuación se muestra una tabla con materiales sugeridos.

Materiales sugeridos	Materiales a evitar
PVC	Caucho natural
Polietileno (PE)	Caucho de etileno propileno dieno (EPDM)
Polipropileno (PP)	Hierro
Vitón®	Otros materiales fácilmente oxidables
Plásticos en general	
Otros materiales resistentes a la oxidación	

3.8 SEGURIDAD LABORAL EN INSTALACIONES DE APLICACIÓN DE OZONO

La seguridad ofrecida por los sistemas de ozono para los tratamientos de desinfección en instalaciones de riesgo es muy superior a la ofrecida por los sistemas tradicionales, debido a sus especiales características. Esto no obstante no significa que su utilización no entrañe riesgos que deban ser minimizados.

3.8.1 El ozono y la salud

El ozono es fácilmente detectable mediante un característico y desagradable olor metálico y la exposición a dicho agente causa diversos grados de irritación de las vías respiratorias. Hay que tener en cuenta que los tiempos de exposición son fundamentales. No es lo mismo una exposición de unos minutos que una prolongada.

Según la concentración y la duración del episodio de exposición al ozono se puede observar los siguientes síntomas:

- tos
- irritaciones de faringe y cuello
- dificultades respiratorias (“garganta seca”, “sensación de sangre en la garganta” a altas concentraciones)
- irritaciones de ojos
- vómitos en casos extremos
- disminución del rendimiento, cansancio
- dolor de cabeza y empeoramiento de la función pulmonar que podría llegar al edema

Estos últimos efectos severos son muy raros debido la alta sensibilidad de los seres humanos al ozono y a que, mantener una exposición prolongada requiere de un importante esfuerzo voluntario.

Los síntomas son variables pues dependen de la sensibilidad de las personas a dicho agente ya que estos síntomas también se pueden deber a otras perturbaciones generales del estado de la salud. Sin embargo, las personas que, a priori, podrían resultar más afectadas por el ozono son los enfermos de corazón y pulmón, los niños y las personas de edad avanzada.

Como indicador general, se considera que el ejercicio físico intenso bajo concentraciones de ozono del orden de los 0,4 mg/m³ (8 veces superiores a las máximas admitidas por la legislación española) podría llegar a disminuir la capacidad pulmonar de forma no irreversible hasta un 5% en un periodo entre 0,5 y 2 h.

Es importante recalcar sin embargo, que, en todos los casos conocidos de personas que hayan sufrido sobre-exposiciones puntuales al ozono, se ha observado una recuperación total sin efectos a largo plazo.

3.8.2 Niveles máximos de exposición y emisiones

Los niveles máximos de exposición al ozono han sufrido variaciones durante los últimos años. Ha sido necesario establecer niveles máximos de exposición a ozono para trabajos pesados o realizando trabajos de menor esfuerzo físico.

Las regulaciones internacionales sobre el ozono, coinciden con las nacionales. Ambas estiman en 0,1 mg/m³ como la cantidad de ozono máxima a la que puede estar expuesta una persona realizando un trabajo normal durante un plazo de 8 horas. Esta cantidad se reduce a 0,05 mg/m³ para personas realizando un ejercicio físico intenso.

3.8.3 Sistemas de detección

Afortunadamente, altas concentraciones de ozono ambiental son fácilmente detectadas por el olfato que provocan molestias mucho antes de que puedan llegar a ser dañinas. Para la mayoría de las personas, el ozono ambiental es fácilmente detectable mediante el olfato lo que permite tomar las medidas convenientes para corregir la anomalía en las áreas de trabajo (abandonar el área, apertura de ventanas, cierre de válvulas, apagado de generadores, etc.).

Sin embargo, exposiciones bajas y prolongadas reducen la sensibilidad olfativa y hacen necesario el uso de detectores ambientales de ozono, que aseguren la calidad del aire; especialmente en el caso de aplicaciones en espacios interiores cerrados o con escasa aireación.

Sensores fijos ajustados a los valores máximos de exposición, permiten mantener las áreas de trabajo en adecuadas condiciones. Sistemas de alarma acoplados a los detectores, permiten acusar la superación de dichos valores y actuar en consecuencia.

3.8.4 Destrucción de ozono

Es conocida la alta reactividad e inestabilidad del ozono por lo que su destrucción (descomposición a oxígeno) es bastante sencilla. Habitualmente se utilizan los siguientes tipos de sistemas de destrucción:

- **Térmicos.** Basados en la alta inestabilidad del ozono a las altas temperaturas. A temperaturas > 150 °C la presencia de ozono es prácticamente nula, por lo que estos modelos hacen pasar el ozono por tubos a 200 °C o superiores. Estos sistemas están calibrados para mantener dicha temperatura en función del caudal de aire que pasa. Son los recomendados para grandes caudales.

- **Catalíticos.** Sistemas que utilizan algún tipo de agente capaz de catalizar la descomposición del ozono en oxígeno. El más utilizado es el carbono activado (con gran velocidad de catalítica). Se recomiendan para pequeños caudales de aire pero su uso también se extiende a caudales medios y grandes.
- **Mixtos.** En ocasiones se utilizan ambos tipos de sistemas en combinación para asegurar destrucciones absolutas o cuando la operatividad así lo aconseja.

3.9 BENEFICIOS AMBIENTALES DERIVADOS DEL USO DEL OZONO

En una instalación clásica con circuitos de agua se requiere el uso de desinfectantes, desincrustantes, anticorrosivos, biocidas, alguicidas, y correctores de pH, además de reactivos específicos para la corrección de problemas particulares del agua de cada sistema (acumulación de metales, incremento de iones pesados, etc.). Es por tanto imprescindible el almacenamiento y control de los productos utilizados, su dosificación y la correspondiente eliminación de sus residuos. Todo esto, implica un elevado coste tanto económico como medioambiental.

En tratamientos por ozono, el biocida se genera "in situ" lo que conlleva una serie de ventajas medioambientales:

- Ausencia de emisiones contaminantes. Se suprime la eliminación de productos halogenados (trihalometanos, clorofenoles, cloraminas, etc.) debidos a su acción en los efluentes de las aguas de recirculación.
- Reducción drástica de la necesidad de adición de productos químicos estabilizantes de aguas y por tanto la necesidad de almacenarlos.
- Ausencia de riesgo de transporte y almacenamiento de productos químicos de toxicidad variable, así como la gestión de sus residuos.
- Inocuidad frente a la capa de ozono. En caso de que se produjese alguna liberación de ozono de las instalaciones, nunca afectaría (ni positiva ni negativamente) a la capa de ozono, pues simplemente se descompondría antes de alcanzarla.
- Eliminación de la necesidad de gestionar los filtros gracias al uso de filtros especiales confeccionados en plásticos.
- Aumento de la concentración de oxígeno disuelto (OD) en los efluentes con lo que se reduce la DBO y la DQO, la necesidad de aireación de los mismos y los costos de dichos tratamientos en las aguas receptoras.

4. Experiencias previas de usos del ozono para el control de *Legionella*

4.1 CASOS PRÁCTICOS APLICACIÓN EN TORRES DE REFRIGERACIÓN Y CONDENSADORES EVAPORATIVOS.

La utilización ozono como tratamiento del agua de torres de refrigeración lleva consigo analizar una serie de factores entre los que se encuentran:

- el diseño del sistema
- la temperatura de funcionamiento
- la resistencia de los materiales al ozono
- la calidad del agua de relleno y
- el volumen total de agua recirculada.

Este último parámetro es importante para realizar los cálculos respecto a las dosis mínimas de ozono a inyectar para lograr tratamientos efectivos. Se debe establecer asimismo el caudal de agua en el sistema, es decir, el número de veces que el agua recorre el circuito por hora.



Partiendo de aguas "limpias" (en cuanto a materia orgánica) y sistemas limpios (nuevos o recién mantenidos), bastará con mantener **0,2 mg O₃/L** en el agua recirculada para lograr condiciones efectivas para el control de *Legionella*.

En el caso de que la instalación no se encuentre en debidas condiciones (en cuanto a mantenimiento y/o corrosión), se deben incrementar las concentraciones de ozono a valores en torno a los 0,5 mg O₃/L y registrar valores de ORP superiores a 700 mV. Esto indicará que el sistema ha alcanzado las condiciones oxidativas deseadas. En caso de que esto no ocurra, a pesar de haber registrado el pico de ozono disuelto, los niveles se reducirán gradualmente hasta 0,2 mg O₃/L.

A continuación se detallan casos prácticos: Los dos primeros han sido realizados por el Departamento de Energía del Gobierno de los Estados Unidos, el tercero ha sido presentado en España por una empresa privada.

Caso 1

- **Instalación:** Edificio de Montaje de Vehículos (EMV) del Centro Espacial Kennedy de la NASA (KSC), Florida.
- **Tipo:** Torres de refrigeración (4)

- **Capacidad del sistema:** 8.750 kW/torre
- **Fecha de instalación:** Febrero de 1.994
- **Capacidad de Ozono:** 600 g/h

Las cuatro torres de refrigeración tienen una capacidad total de 10.000 toneladas (35.000 kW) y contienen un total de 772.000 L de agua de refrigeración. Las torres presentaban un coeficiente volumétrico medio de 553.000 L/día. El promedio de purga fue de 254.000 L /día), siendo el resto una combinación de arrastre de gotas y evaporación. Según se informó, las torres funcionaban con una relación de concentración que oscilaba entre 4 y 7. El agua de refrigeración circulaba a un ritmo de 28.000 L/minuto por cada torre. La temperatura del agua de la torre cae de 43,3 °C a 32,2 °C.

Esta experiencia demostró que el tratamiento con ozono puede ser tomado como método viable para el tratamiento del agua en torres de refrigeración.

Caso 2

- **Instalación:** Lockheed Martin Electronics and Missiles Ocala Operation, Ocala, Florida.
- **Tipo:** Torres de refrigeración (2)
- **Capacidad del sistema:** 2.5 m³/torre – 300 m³/hora-torre
- **Fecha de instalación:** Febrero de 1.994
- **Capacidad de Ozono:** 30 g/h

La Lockheed Martin Electronics and Missiles Ocala Operation es responsable de la producción de montajes electrónicos, circuitos impresos y cableados preformados para exploración espacial, sistemas de armamento de defensa y sistema de comunicación de defensa. Las torres de refrigeración soportan diversos equipos de ensayo y de producción. También soportan refrigeración secundaria de sistemas centrales climatización y aire acondicionado.

El sistema consta de dos torres de refrigeración a contracorriente Marley convencionales con una capacidad de funcionamiento de 2.250 L cada una. Las torres funcionan con una temperatura del agua de entrada de aprox. 23,8 °C para que se produzca un descenso de la temperatura total de 5,6 °C. La instalación no estaba conectada a una planta de tratamiento de aguas residuales de obras públicas, por lo que para eliminar el agua de purga había que transportarla fuera de la planta.

Como la instalación no estaba conectada a una fuente de agua exterior, la fuente de agua de relleno eran aguas residuales tratadas recicladas del proceso de fabricación. Este agua tenía un contenido de carbono orgánico total (COT) superior a 1.500 mg/L. Esta elevada concentración de COT se traducía en una gran necesidad de sustancias químicas para tratar el agua de las torres que se reflejaba en elevados costes de tratamiento.

La concentración de CaCO₃ en el agua era de 50 mg/L (relativamente blanda) y contenía sulfato ferroso del procesos de fabricación. El escaso sistema de control se tradujo en o bien un uso excesivo de productos químicos, o bien en una carga de productos químicos insuficiente, con la formación de incrustaciones y frecuentes requerimientos (varias veces

al año) de limpieza ácida. Los condensadores del enfriador se limpiaban al menos dos veces durante los meses de verano, debido al desarrollo de una biocapa. Las limpiezas se realizaban con ácidos múltiples productos químicos gas de cloro, otros biocidas e inhibidores de la corrosión.

Durante la puesta en marcha inicial del sistema con ozono, se observó una cantidad importante de partículas en suspensión. Estas partículas provenían de la resuspensión de incrustaciones minerales en el agua (fenómeno esperado). El recuento bacteriano de *Legionella* se redujeron en tres órdenes de magnitud, de un millón a mil unidades formadoras de colonias (UFC) y el residuo de purga se redujo un 90%. El operador informó de que un año después de la instalación del sistema de ozono no se requirió el añadido de sustancias químicas a la torre de refrigeración.

Caso 3

- **Instalación:** Fábrica situada cerca de Almería.
- **Tipo:** Torres de refrigeración
- **Capacidad del sistema:** 4.500 mg/L
- **Fecha de instalación:** febrero de 2.003
- **Capacidad de Ozono:** 4 g/h

El equipo de ozono se mantuvo funcionando las 24 horas del día, con el fin de atacar las incrustaciones aparecidas tras la última limpieza tres meses antes. A las dos semanas de operación, las incrustaciones empezaron a resuspenderse. Solo tres semanas después las incrustaciones empezaron a desintegrarse y caer en el fondo de la balsa. Fue necesario purgar y limpiar la balsa físicamente tras lo cual las purgas han sido mínimas, del orden de un 10% de las iniciales cuando la torres trabajaba sin ozono. Debido a la mala calidad del agua utilizada en la reposición, se depositaron sales (en su mayor parte carbonatos) en la balsa que debieron ser aspirados periódicamente.

En lo referente a la microbiología del sistema, los conteos de *Legionella pneumophila* han sido siempre menores al límite de detección del método (<1 ufc/L), los microorganismos cultivables a 36°C inferiores a 500 ufc y el hierro inferior a 0,2 mg/L.

4.2 EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DEL OZONO EN AGUAS DE PROCESO

Caso 4

- **Instalación:** Fábrica situada cerca de Segorbe, Castellón.
- **Tipo:** Sistema de lavado de humos
- **Capacidad del sistema:** 1.500 L
- **Fecha de instalación:** febrero de 2.003
- **Capacidad de Ozono:** 4 g/h

El equipo se ha mantuvo trabajando 24 horas al día debido a antecedentes de legionelosis en la zona. Al parecer debidos a una torre de refrigeración de funcionamiento intermitente

en la que desarrolló *Legionella pneumophila*, afectando a varias personas y ocasionando una importante alarma social.

Durante las primeras semanas de tratamiento con ozono aparecieron diversos restos de carbonato cálcico que fueron retirados de la balsa de acumulación. Se observó una fuerte carga orgánica en el agua del sistema producida por los humos y partículas absorbidas durante el proceso de lavado de humos. Esto requirió una elevada concentración de ozono para oxidar la materia orgánica existente y lograr niveles de ozono residual suficiente para los procesos de desinfección.

La destrucción de la *Pseudomona fluorescens*, principal responsable de la aparición de depósitos de carbonato cálcico en las paredes de los elementos y conducciones, facilitó la eliminación de la *L. pneumophila*, que suele refugiarse entre colonias de la otra cepa.

Actualmente unas pocas aspiraciones de las arenas aparecidas en la balsa son suficientes para mantener al sistema sin depósitos de carbonatos ni corrosión superficial. Los niveles de pH se han mantenido en el rango 7,3-7,5; dentro del cual el tratamiento con ozono puede realizarse sin necesidad de reajustes del mismo.

Caso 5

- **Instalación:** Empresa situada cerca de Beniparrell, Valencia.
- **Tipo:** Sistema de lavado de humos
- **Capacidad del sistema:** 2.000 L
- **Fecha de instalación:** enero de 2.001
- **Capacidad de Ozono:** 5 g/h

El sistema se instaló para un adecuado cumplimiento de la normativa existente de prevención. El agua de suministro proviene de un pozo con gran concentración de sales (principalmente nitratos y carbonatos) y durante el proceso absorbe gran cantidad de metales pesados.

Como la instalación se estrenó con este sistema, no se ha dado el caso de formación de biocapa por lo que los distintos elementos de la instalación se mantienen en excelentes condiciones haciendo su mantenimiento preventivo muy sencillo.

El mantenimiento se limita a la aspiración periódica (cada 30-40 días aproximadamente) de las arenas procedentes de carbonatos y óxidos de metales pesados y que se depositan en la balsa. En este caso, sí es necesaria la adición de un regulador de pH pues se trata de proceso fuertemente ácido aplicado sobre el agua de lavado y que aumentaría el nivel de corrosión del sistema si no se controlara. En cualquier caso el 98 % de los elementos del sistema son diversas clases de plásticos en lo que no se ha observado ningún deterioro en los seis años de tratamiento.

5. Análisis de costes y viabilidad económica

5.1 COMPARATIVA DE COSTES ENTRE TRATAMIENTOS CON OZONO FRENTE A OTROS DE SIMILAR EFICIENCIA PARA LA PREVENCIÓN DE LEGIONELOSIS

5.1.1 Costes de instalación de un sistema con ozono

En este apartado se mencionan costes estimados relacionados con la instalación de sistemas de ozonización. Es importante tener en cuenta que a demás de estimativos, los precios han sido obtenidos del contexto español y a la fecha de elaboración de éste manual.

Como se menciona en otros apartados, un sistema de ozonización básico, incluye: generador de ozono, sistema de tratamiento de aire, sistema inyección gas/agua, reactor de mezcla instantánea, sistema de bombeo y sistema de control Redox. En general, para los sistemas de refrigeración pequeños, un sistema de ozonización tiene un coste aproximado de 15 €/kW instalado en la torre. En caso de sistemas de refrigeración de mayor tamaño, el coste instalación de sistemas de ozonización por kW instalado suele disminuir.

El coste aproximado de instalación de un sistema de ozono para el tratamiento de una torre de refrigeración de 2.100 kW potencia es de 31.500 €.

5.1.2 Gastos de operación para el control de *Legionella*

Insumos

Los costes anuales estimados para el funcionamiento de un sistema de ozonización son los siguientes:

- Consumo eléctrico necesario para la producción del ozono (0,6 y 0,9 €/kW en sistemas de refrigeración pequeños)
- El coste anual de un tratamiento químico convencional (incluye cloro, otros biocidas, anticorrosivo, desincrustante, etc.) es de 3,80 €/kW

Gastos de mantenimiento

Los costes anuales de mantenimiento del **sistema de ozonización** que incluyen recambios y mano de obra son aproximadamente de: 0,18 €/kW.

Los costes anuales de mantenimiento de un tratamiento químico convencional que incluye mano de obra y almacenaje de los productos son aproximadamente de: 0,40 €/kW

Para ilustrar los beneficios económicos del uso del ozono para prevención de legionelosis frente al tratamiento químico convencional, se describen los gastos anuales para sistema modelo; en nuestro caso, una torre de refrigeración. En los tratamientos comparados se discriminan diferentes partidas de gastos.

Comparación del coste de funcionamiento anual de un sistema de refrigeración tipo (torre de refrigeración) con una potencia de 2.100 kW operado con tratamiento químico vs. o por tratamiento con ozono.

Partida	Tratamiento químico	Tratamiento con ozono
Funcionamiento eléctrico	0 €	903 €
Productos químicos	7.880 €	0 €
Mantenimiento (mano de obra y otros)	840 €	378 €
Consumo de energía eléctrica de la planta	118.715 €	83.479 €
Coste total/ anual	127.435 €	84.760 €

IMPORTANTE: considerar que el sistema de ozonización referido comprende: generador de ozono, sistema de tratamiento de aire, Sistema inyección gas/agua, reactor de mezcla instantánea, sistema de bombeo, sistema de control Redox.

Como vemos, mediante el uso de sistemas con ozono, se estima un ahorro de 42.675 € que equivale a un tercio del gasto anual de mantenimiento mediante tratamiento químico. Dicho ahorro permite una amortización de la inversión inicial del sistema de ozonización en un periodo menor de 300 días naturales.

5.1.3 ¿Por qué el ozono permite ahorrar agua y energía?

Los depósitos biológicos y las incrustaciones reducen la capacidad de transmitir el calor de los condensadores refrigerantes y de los intercambiadores de calor. Al eliminar y/o inhibir la formación de depósitos e incrustaciones de manera más eficaz que mediante tratamientos químicos, el tratamiento con ozono permite mejorar el rendimiento energético del sistema de refrigeración.

En una torre de refrigeración, el agua se pierde de tres maneras: arrastre de gotas, evaporación y purga. La purga es intencionada para reducir la concentración de contaminantes y el agua se sustituye con agua de relleno. El ritmo de pérdida de agua por evaporación es de unos 45,5 L/min. por cada 500 toneladas (1.750 kW) de la torre de refrigeración. El ozono no aumentará ni disminuirá el porcentaje de evaporación. Sin embargo, comparado con el tratamiento químico a las dosis permitidas, el tratamiento con ozono contribuye mucho menos a cargar sólidos disueltos en el agua de circulación y por tanto, permite el funcionamiento de la torre con ciclos de concentración más prolongados. Cuanto mayores son los ciclos de concentración, menor es el agua gastada.

5.1.4 Beneficios económicos del tratamiento de aguas de recirculación con ozono frente a los tratamientos químicos

- Eliminación de la dependencia de los reactivos químicos tanto para la acción biocida como la anticorrosiva, desincrustante etc.

- Ahorro 5 veces mayor en mantenimiento y aplicación de los productos químicos.
- Ahorro de un 20% en el consumo eléctrico.
- Las dos paradas anuales para limpieza pueden reducirse a menos de una debido al tratamiento continuo, con lo que el mantenimiento de los sistemas resulta mucho menos costoso.
- Ahorro de hasta un 90% en el gasto de agua de purga.
- Reducción de un 50% en la corrosión de los elementos.
- Recuperación de la inversión entre 1 y 3 años, dependiendo del tamaño y uso de las instalaciones.

6. Referencias

6.1 EXPERIENCIAS PREVIAS DE USOS DEL OZONO PARA EL CONTROL DE *LEGIONELLA*

6.2 PUBLICACIONES RESPECTO AL USO DEL OZONO PARA EL CONTROL DE LA LEGIONELOSIS

1. Barbaree et al 1986
2. Bartlet et al 1983
3. Baskerville et al 1981
4. Botzenhart et al., 1993
5. Colbourne et al 1988
6. Deininger et al. 1998
7. Edelstein 1995
8. Fields et al 1989,
9. Fliermans et al 1981
10. Fitzgeorge et al 1983
11. Groothuis et al 1985
12. Hoge y Breiman 1991
13. Lo Presti et al 1997
14. Martson et al 1994
15. Memorandum de la OMS 1990
16. Muraca P., Stout J. and YU V. (1986).
17. Pelaz y Martin-Bourgon 1993b
18. Reingold et al 1984
19. Rowbotham 1980
20. Ruiz et al. 2003
21. Stout et al 1985
22. Sanden et al 1989
23. Steinert et al 1997
24. Voss et al 1985
25. Yu et al 1983

Anexo: Legislación nacional y autonómica sobre la prevención de legionelosis

A continuación se detalla la legislación actualizada tanto a nivel estatal como autonómico, que abordan el control de la legionelosis.

Normativa Estatal

- 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. (Real Decreto 865/2003)
- Orden SCO/317/2003, de 7 de febrero, por la que se regula el procedimiento para la homologación de los cursos de formación del personal que realiza las operaciones de mantenimiento higiénico-sanitario de las instalaciones objeto del Real Decreto 909/2001, de 27 de julio. (Orden SCO/317/2003)

Normativa Comunidad Valenciana

- Decreto 173/2000, de 5 de diciembre, del Gobierno Valenciano, por el que se establecen las condiciones higiénico - sanitarias que deben reunir los equipos de transferencia de masa de agua en corriente de aire con producción de aerosoles, para la prevención de la legionelosis. (Decreto 173/2000)
- Orden conjunta de 22 de febrero de 2001, de las Consejerías de Medio Ambiente y Sanidad, por la que se aprueba el protocolo de limpieza y desinfección de los equipos de transferencia de masa de agua en corriente de aire con producción de aerosoles, para la prevención de la legionelosis. (Orden conjunta de 22 de febrero de 2001)
- Decreto 201/2002, de 10 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen medidas especiales ante la aparición de brotes comunitarios de legionelosis de origen ambiental. (Decreto 201/2002)
 - Corrección de errores (DOGV 4.401)
 - Corrección de errores (DOGV 4.402)

A continuación se detallan las acciones generales, específicas y de mantenimiento exigidas por la legislación.

MEDIDAS GENERALES DE PREVENCIÓN

Real Decreto 865/2003

Establece que las medidas preventivas deben apoyarse en dos principios fundamentales:

- Eliminación o reducción de zonas sucias mediante un buen diseño y un mantenimiento adecuado

- Evitar las condiciones que favorecen la proliferación de Legionella mediante el control de la temperatura del agua y la desinfección continua de la misma

Es decir, que las medidas de prevención básicas son:

- Diseño
- Mantenimiento
- Control de la temperatura
- Desinfección continua

Además, debe cumplirse lo dispuesto en estas normas:

- Real Decreto 3099/1977, de 8 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas
- Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE) y sus Instrucciones técnicas complementarias y se crea la Comisión Asesora para las Instalaciones Térmicas de los edificios, que establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios (calefacción, climatización y agua caliente sanitaria), modificado por el Real Decreto 1218/2002, de 22 de noviembre
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano
- Los vertidos procedentes de la limpieza y desinfección de las instalaciones deberán cumplir la legislación medioambiental vigente (especialmente en cuanto a límites de vertido)
- La utilización de agua que no proceda de una red de distribución (pozos) requiere la concesión administrativa de aprovechamiento del recurso, emitida por la autoridad competente en la gestión del Dominio Público Hidráulico (Confederación Hidrográfica correspondiente)

Complementariamente, hay que tener en cuenta también:

- Norma UNE 100030 IN: Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de Legionella en instalaciones

Decreto 173/2000

Separadores de gotas

Deberán instalarse separadores de gotas de alta eficacia en los aparatos y equipos que basan su funcionamiento en la transferencia de masa de agua en corriente de aire con producción de aerosoles. La cantidad de agua arrastrada será inferior al 0,1% del caudal de agua en circulación en el aparato.

Materiales

Los materiales de las instalaciones que componen el sistema de refrigeración deben ser resistentes al agua, al cloro y a otros desinfectantes. Deberán evitarse aquellos materiales

que favorecen el desarrollo de bacterias y hongos (y por tanto de Legionella), tales como cueros, maderas, masillas, uralitas, materiales a partir de celulosa, hormigones y similares.

Zonas de estancamiento de agua

Deben evitarse las zonas de estancamiento de agua en los circuitos, tales como tuberías de by-pass, equipos o aparatos de reserva, tuberías con fondo ciego y similares. Los equipos o aparatos de reserva, en caso de que existan, se aislarán del sistema mediante válvulas de cierre hermético y estarán equipados con una válvula de drenaje, situada en el punto más bajo, para proceder al vaciado de los mismos cuando se encuentren en parada técnica.

Accesibilidad

Los equipos y aparatos se ubicarán de forma que sean fácilmente accesibles para su inspección, desinfección y limpieza.

Bandejas de recogida de agua

Las bandejas de recogida de agua de los equipos y aparatos de refrigeración estarán dotadas de fondos con la pendiente adecuada y tubos de desagüe para el completo vaciado de las mismas.

Depósitos

Si el circuito de agua dispone de depósitos (nodriza, bombeo, etc....) deberán cubrirse mediante tapas herméticas de materiales adecuados, así como apantallar los rebosaderos, ventilaciones y venteos.

Desinfección certificada del agua de pozo

Si se utiliza agua de procedencia distinta a la red pública, deberá garantizarse la ausencia de bacterias del tipo Legionella mediante su desinfección previa, certificada mensualmente por laboratorio independiente e inscrito en el Registro de Laboratorios de Salud Pública de la Comunidad Valenciana.

MEDIDAS ESPECÍFICAS DE PREVENCIÓN

Real Decreto 865/2003

Estas medidas son de aplicación en los siguientes casos:

- Diseño de nuevas instalaciones
- Modificaciones y reformas de las instalaciones existentes

Medidas específicas de prevención en la instalación interior de agua de consumo humano

Garantizar la total estanqueidad y la correcta circulación del agua, evitando el estancamiento. Disponer de suficientes puntos de purga para vaciar completamente la instalación. Estos puntos deben estar dimensionados de manera que puedan retirarse todos los sedimentos.

Tratamiento del agua

Debe disponerse en el agua de aporte de sistemas de filtración según la norma UNE-EN 13443-1.

Accesibilidad

Debe facilitarse la accesibilidad a los equipos para su inspección, limpieza, desinfección y toma de muestras.

Materiales

Los materiales utilizados en contacto con el agua de consumo humano deben resistir una desinfección con elevadas concentraciones de cloro o por elevación de temperatura. Deben evitarse los materiales que favorezcan el crecimiento microbiano y la formación de biocapa en el interior de las tuberías.

Temperatura

La temperatura de agua en el circuito de agua fría debe mantenerse por debajo de 20°C (siempre que la climatología lo permita). Para ello, conviene alejar las tuberías de agua fría y agua caliente e instalar aislamientos adecuados.

La temperatura en el circuito de agua caliente estará por encima de 50°C en el punto más alejado del circuito o en la tubería de retorno al acumulador. La instalación debe permitir alcanzar los 70°C en todos los puntos de la instalación en un momento dado.

Si se utiliza un sistema de aprovechamiento térmico en el que exista un acumulador con agua que va a ser consumida y en el que no se asegure de forma continua una temperatura próxima a 60°C, se garantizará posteriormente que se alcancen 60°C en otro acumulador final antes de la distribución hacia el consumo.

Depósitos

Deben estar tapados con una cubierta impermeable que ajuste perfectamente y que permita el acceso al interior. Si están al aire libre deben estar aislados térmicamente. Si el desinfectante es cloro, se añadirá si es necesario al depósito mediante dosificadores automáticos.

Acumuladores

Debe asegurarse que el agua almacenada en los acumuladores de agua caliente finales (inmediatamente anteriores a consumo) presenta una temperatura homogénea, para evitar que haya zonas frías en el acumulador que incrementan el riesgo de proliferación de Legionella.

Válvulas de retención

Existirá un sistema de válvulas de retención, según la norma UNE-EN 1717, que evite retornos de agua por pérdida de presión o disminución del caudal suministrado. Especialmente se utilizarán para separar circuitos diferentes, o aguas de distinta calidad o uso.

Medidas específicas de prevención en las torres de refrigeración y sistemas análogos (condensadores evaporativos)

Ubicación

Deberán ubicarse de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de exposición de las personas a los aerosoles (lugares alejados de las personas y de las tomas de aire acondicionado y ventilación)

Materiales

Los materiales del circuito hidráulico deben resistir la acción agresiva del agua y del cloro u otros desinfectantes, para evitar la corrosión. Deben evitarse los materiales que favorecen el desarrollo de bacterias y hongos (cuero, madera, fibrocemento, hormigón, derivados de celulosa).

Accesibilidad

En el diseño del sistema deberá tenerse en cuenta que todos los equipos tienen que ser fácilmente accesibles para su inspección, limpieza, desinfección y toma de muestras.

Purga

Deben existir suficientes puntos de purga para permitir el vaciado completo de la instalación y la retirada de los sedimentos.

Separadores de gotas

Deben instalarse separadores de gotas de alta eficacia, cuyo caudal de agua arrastrado sea menor del 0,05% del caudal de agua circulante.

Dosificación en continuo de biocida

Decreto 173/2000

Sistemas auxiliares

El decreto establece que deben incorporarse al circuito de agua en contacto con la atmósfera los siguientes sistemas auxiliares:

- Aparato de filtración: para eliminar la contaminación producida por sustancias sólidas del ambiente
- Tratamiento químico o físico: reducción de la acumulación de depósitos

- Tratamiento químico: para evitar la corrosión de las partes metálicas del circuito
- Sistema permanente de tratamiento de desinfección por medio de agentes biocidas

Bandeja

Cuando el aparato se encuentre fuera de uso, se debe drenar el agua de la bandeja y vaciar el circuito.

Separador de gotas

Cada seis meses como mínimo, se debe controlar el estado del separador de gotas, y proceder a su limpieza, reparación y/o sustitución.

Material de relleno

Cada seis meses como mínimo, se deberá limpiar y/o sustituir el material de relleno.

Limpieza

La limpieza del separador de gotas, material de relleno y elementos desmontables se realizará mediante inmersión en soluciones desincrustantes. La limpieza del resto de instalaciones no desmontables se realizará de tal manera que se garantice la ausencia de incrustaciones, corrosiones y todo aquello que pueda favorecer el acantonamiento de la bacteria.

Dosificadores automáticos en continuo

Se considera aconsejable realizar la adición de compuestos químicos a la línea de agua del circuito mediante dosificadores automáticos en continuo, controlados por sondas de concentraciones.

Controles analíticos

A lo largo del año, deben efectuarse controles analíticos físico-químicos y microbiológicos, que comprenderán al menos de forma obligatoria los realizados con posterioridad a los trabajos de limpieza y desinfección. Los análisis serán realizados por un laboratorio independiente e inscrito en el Registro de Laboratorios de Salud Pública de la Comunidad Valenciana.

PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO

Real Decreto 865/2001

Instalaciones de mayor probabilidad de proliferación y dispersión de *Legionella*.

Contenidos mínimos del programa de mantenimiento:

- Plano señalizado de la instalación que contemple todos sus componentes. Deberá actualizarse cada vez que se realice alguna modificación. Deben

señalarse los puntos o zonas críticas en donde se debe facilitar la toma de muestras del agua

- Revisión y examen de todas las partes de la instalación para asegurar su correcto funcionamiento, estableciendo los puntos críticos, parámetros a medir y procedimientos a seguir, y la periodicidad de cada actividad
- Programa de tratamiento del agua que asegure su calidad: productos, dosis y procedimientos, parámetros de control físicos, químicos y biológicos, métodos de medición, periodicidad de cada actividad
- Programa de limpieza y desinfección de toda la instalación: procedimientos, productos a utilizar y dosis, precauciones a tener en cuenta, periodicidad
- Registro de mantenimiento de la instalación: incidencias, actividades realizadas, resultados obtenidos y fechas de paradas y puestas en marcha técnicas de la instalación, y los motivos
- Para los sistemas de agua fría de consumo humano y caliente, las torres de refrigeración y condensadores evaporativos y las bañeras de hidromasaje se detallan las condiciones específicas de mantenimiento en los anexos 3, 4 y 5 del Real Decreto

Instalaciones de menor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella

Contenidos mínimos del programa de mantenimiento:

- Esquema de funcionamiento hidráulico
- Revisión de todas las partes de la instalación para asegurar su correcto funcionamiento
- Programa de mantenimiento: deberá incluir como mínimo la limpieza y, si procede, la desinfección de la instalación.
- Registro de mantenimiento en el que deben consignarse las tareas realizadas.

La limpieza de estas instalaciones se realizará al menos una vez al año, excepto:

- Sistema de agua contra incendios: al mismo tiempo que la prueba hidráulica.
- Sistema de agua de consumo: anexo 3.

Decreto 173/2000

Las instalaciones de riesgo del Decreto 173/2000 (torres de refrigeración, condensadores evaporativos, aparatos de enfriamiento evaporativo, humectadores) se someterán a una limpieza y desinfección general dos veces al año como mínimo, preferentemente al comienzo de la primavera y el otoño, según el protocolo de la Orden conjunta de 22 de febrero de 2001, de las Consejerías de Medio Ambiente y Sanidad.

Además, se realizará una limpieza y desinfección general en las siguientes ocasiones:

- Antes de la puesta en funcionamiento inicial
- Tras una parada superior a 10 días

- Tras una operación de mantenimiento o una modificación de su estructura original por cualquier causa que pueda generar contaminación
- En caso de condiciones ambientales desfavorables (atmósfera sucia)
- Siempre que la administración competente considere que la limpieza del sistema no es la adecuada y/o cuando los controles analíticos revelen la presencia de contaminación microbiológica

Deberá existir un registro de mantenimiento y desinfección en el que conste:

- Fecha de realización de la limpieza y desinfección general y protocolo seguido
- Fecha de realización de cualquier otra operación de mantenimiento y especificación de las mismas, incidencias y medidas adoptadas
- Fecha y resultados de las distintas analíticas realizadas para el control del agua de recirculación