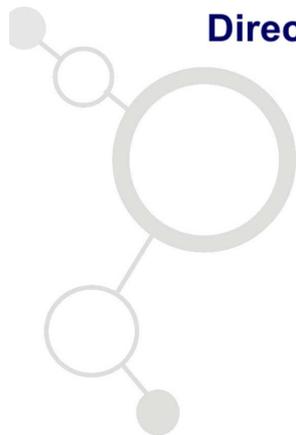


GENERADORES DE OZONO



RECUPERACIÓN DE AGUA DE LLUVIA
TRATAMIENTOS CON OZONO



Índice

1. INTRODUCCIÓN	2
2. LAS AGUAS PLUVIALES Y SU DEPURACIÓN	3
2.1. Qué son las aguas pluviales	3
2.2. Sistemas de depuración de aguas pluviales	3
3. TRATAMIENTOS AVANZADOS: EL OZONO EN LA REUTILIZACIÓN DE AGUA PLUVIAL	4
3.1. Ficha descriptiva del ozono	5
3.2. Caracterización	5
3.3. Mecanismo de acción	6
3.4. Espectro de acción	8
3.5. El Ozono como biocida eficaz	9
4. DATOS TOXICOLÓGICOS	10

1. Introducción

La energía no es el único recurso que debemos preservar si queremos asegurar un desarrollo sostenible: resulta evidente, y más en países como el nuestro, que se enfrentan a una creciente escasez de agua, la necesidad de enfoques globales respecto a su uso.

Así, la captación, almacenamiento y reutilización de las aguas pluviales supone una medida ecológica capaz de racionalizar y ahorrar costes de agua, ya que puede ser utilizada posteriormente para diversos usos: llenado de acuíferos, riego de cultivos o jardines, procesos industriales, aguas de baño, recreo y otros usos.

No obstante, cualquier almacenaje de agua constituye un riesgo, ya que en los depósitos se crea un hábitat idóneo, por las condiciones de humedad y temperatura que en ellos se da, para infinidad de microorganismos que pueden ser patógenos.

Incluso en el caso de reutilizar el agua pluvial únicamente para riego, este agua debe de cumplir unas condiciones mínimas de calidad, sin llegar a ser potable, a fin de que no constituya un riesgo para la salud de las personas en contacto con ella.

Ello es posible gracias a los **tratamientos avanzados** de aguas, que incluyen pasos adicionales a la depuración para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes.

Si se pretende la **reutilización** del agua pluvial, la **desinfección por tratamiento con ozono** es considerada el método más fiable.



Riesgos

1. Contaminación biológica

Agua almacenada contaminada por bacterias, hongos, y virus. Falta de desinfección en los conductos de agua. Formación de película biológica como reservorio de microorganismos patógenos.

2. Contaminación química

Procedente del agua de lluvia y/o de las superficies por las que discurre antes de su almacenamiento.



Consecuencias

1. Infecciones y contagios

Los trabajadores y usuarios de los espacios en los que se utiliza el agua contaminada pueden verse afectados por diversas afecciones de gravedad variable.

2. Aparición de legionelosis

Entre las consecuencias más comunes de la contaminación del agua de depósitos está la aparición de legionelosis.

Se trata de una neumonía infecciosa poco común causada por la inhalación de gotas de agua o partículas contaminadas por la bacteria *Legionella pneumophila*, ampliamente difundida en la naturaleza.

2. Las aguas pluviales y su depuración

La recuperación de aguas pluviales consiste en el filtrado del agua de lluvia captada en una superficie determinada, para su posterior almacenamiento en un depósito. A partir de ahí, y después de un tratamiento mínimo, el agua se distribuye a través de un circuito hidráulico independiente de la red de agua potable.

2.1. Qué son las aguas pluviales

La lluvia es precipitación de agua en forma de gotas. Cuando éstas alcanzan un diámetro superior a los 0,5 mm caen a la tierra por la gravedad a una velocidad superior a los 3 m/s. En estos momentos, se produce la lluvia.

Pueden definirse las aguas pluviales como el conjunto de aguas captadas y almacenadas a partir del agua de lluvia y que pueden llevar elementos extraños bien por causas naturales, bien provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana, al discurrir por espacios libres y tejados y azoteas de edificios.

Las aguas de escorrentía pluvial pueden evacuarse, o no, conjuntamente con las aguas residuales domésticas e industriales, dando lugar a los sistemas denominados unitarios, o separativos. Los sistemas de pluviales no usados pueden convertirse en un foco de infecciones. Ciertamente existe la posibilidad de poner en las cabeceras de los ramales arcos de descarga que, cada cierto tiempo, descargan una cantidad determinada de agua para limpiar los conductos, pero es un gasto que muchas zonas no se pueden permitir precisamente por falta de agua y por ser necesario hacerlo en las estaciones secas.

2.2. Sistemas de depuración de aguas pluviales

La recuperación de aguas pluviales consiste en utilizar las cubiertas de los edificios como captadores. De este modo, el agua se recoge mediante canalones o sumideros en un tejado o una terraza y se conduce a través de bajantes, para almacenarse finalmente en un depósito, que puede estar enterrado o situado en superficie.

El depósito se debe dimensionar en función de los usos acordados, la superficie de la cubierta y la pluviometría de la zona; posteriormente el agua disponible se impulsa y distribuye a través de un circuito hidráulico independiente de la red de agua potable. Los consumos admisibles o autorizados con agua pluvial son usos en los que no se requiere agua potable. Lo más práctico,

fácil y barato es derivarla para riego; se necesita un mínimo de infraestructura y se consigue, asimismo, un buen ahorro. En muchos municipios ya existen normativas para el aprovechamiento de las aguas pluviales, con motivo de las recientes sequías y las perspectivas climatológicas a medio y largo plazo.

Previamente a su almacenamiento, el agua debe ser filtrada a fin de eliminar todos aquellos elementos de diferente tamaño, que por su acción mecánica, pueden afectar al funcionamiento del sistema depurador, así como para evitar restos orgánicos que podrían constituirse en materia orgánica apta para el sustento de colonias de microorganismos.

El agua del depósito requiere, no obstante, un tratamiento de higienización a fin de que no se corrompa y pueda ser un reservorio de microorganismos indeseables, ya que el filtrado no es garantía de desinfección.

Así pues, si el objetivo es la **reutilización del agua de lluvia**, es necesario un **tratamiento avanzado** de las aguas del depósito.

Los tratamientos avanzados incluyen pasos adicionales para mejorar la calidad del agua eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO₅ en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. **Si se pretende la reutilización del agua pluvial, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable.**

3. Generadores de Ozono: el ozono en la reutilización de aguas pluviales

Los generadores de ozono consiguen, con una instalación sencilla, una eficaz desinfección incluso de aguas residuales tratadas, cuánto más de las aguas pluviales, que generalmente contiene una concentración muy baja de contaminantes, dada su nula manipulación.

Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de aguas a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización

3.1. Ficha descriptiva del ozono

Identificación	
Nombre químico	ozono
Masa molecular relativa	48 g/L
Volumen molar	22,4 m ³ PTN/Kmol
Fórmula empírica	O ₃
Número de registro CAS	10028-15-6
Referencia EINECS	233-069-2
Densidad (gas)	2,144 g/L a 0°C
Densidad (líquido)	1,574 g/cm ³ a - 183°C
Temperatura de condensación a 100kPa	-112°C
Temperatura de fusión	-196°C
Punto de ebullición	-110,5°C
Punto de fusión	-251,4°C
Temperatura crítica	-12°C
Presión crítica	54 atms.
Densidad relativa frente al aire	1,3 veces más pesado que el aire
Inestable y susceptible de explotar fácilmente	Líquido -112°C Sólido -192°C
Equivalencia	1 ppm = 2 mg/m ³

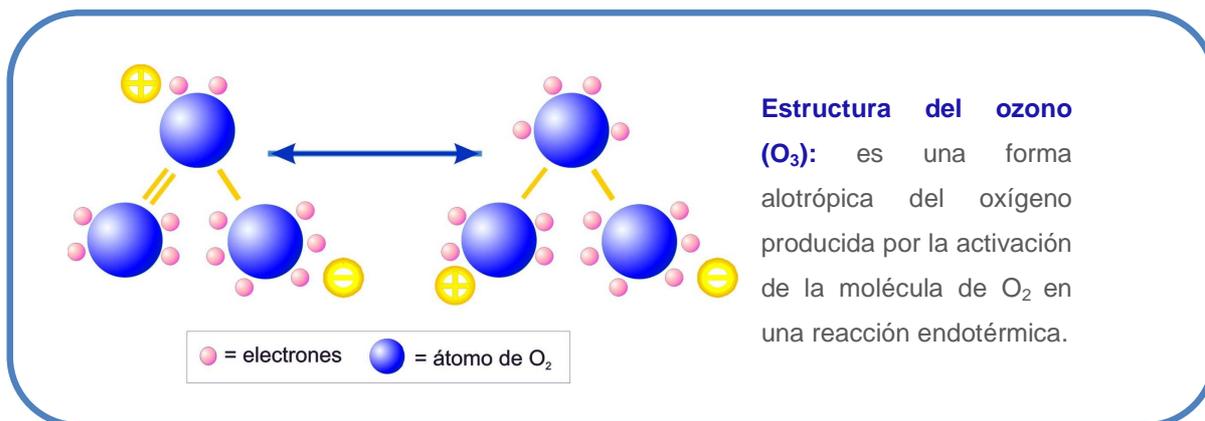
3.2. Caracterización

El ozono es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno, cuya función más conocida es la de protección frente a la peligrosa radiación ultravioleta del sol; pero también es un potente oxidante y desinfectante con gran variedad de utilidades. La más destacada es la desinfección de aguas.

Se trata de un gas azul pálido e inestable, que a temperatura ambiente se caracteriza por un olor picante, perceptible a menudo durante las tormentas eléctricas, así como en la proximidad de equipos eléctricos, según evidenció el filósofo holandés Van Marun en el año 1785. A una temperatura de -112°C condensa a un líquido azul intenso. En condiciones normales de presión y temperatura, el ozono es trece veces más soluble en agua que el oxígeno, pero debido a la

mayor concentración de oxígeno en aire, éste se encuentra disuelto en el agua en mayor medida que el ozono.

La molécula presenta una estructura molecular angular, con una longitud de enlace oxígeno-oxígeno de 1,28 Å; se puede representar de la siguiente manera:



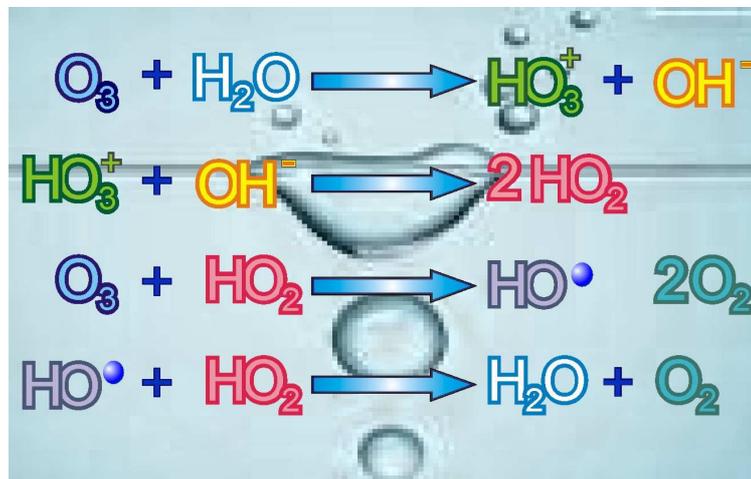
Debido a la inestabilidad del compuesto, en este tipo de aplicaciones, éste debe ser producido en el sitio de aplicación mediante unos generadores. El funcionamiento de estos aparatos es sencillo: pasan una corriente de oxígeno a través de dos electrodos. De esta manera, al aplicar un voltaje determinado, se provoca una corriente de electrones en el espacio delimitado por los electrodos, que es por el cual circula el gas. Estos electrones provocarán la disociación de las moléculas de oxígeno que posteriormente formarán el ozono.

3.3. Mecanismo de acción

Cuando este gas es inyectado en el **agua**, puede ejercer su poder oxidante mediante dos mecanismos de acción:

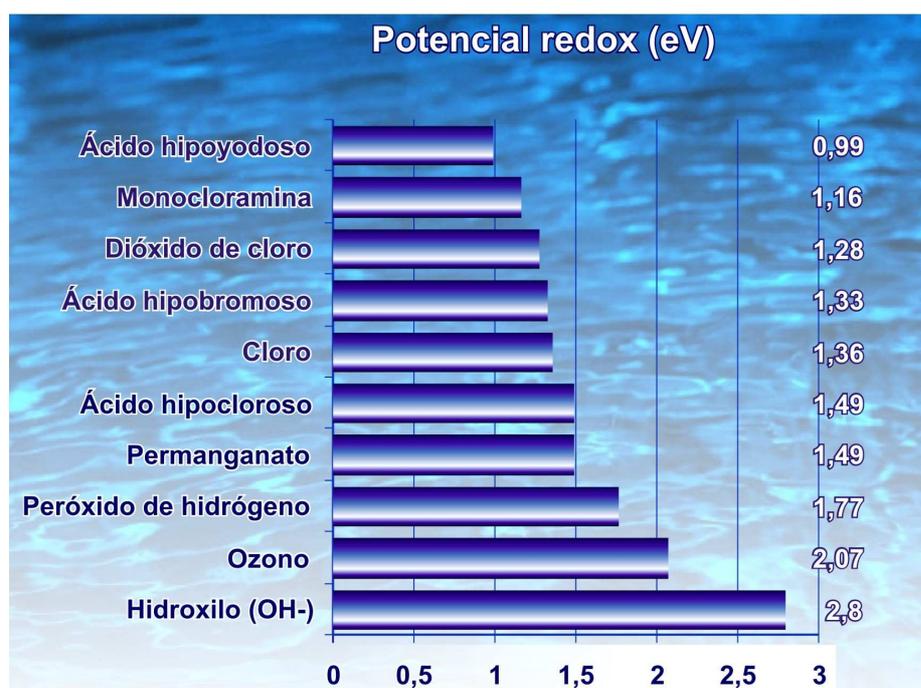
1. Oxidación directa de los compuestos mediante el ozono molecular.
2. Oxidación por radicales libres hidroxilo.

Los radicales libres hidroxilo, (OH[·]), se generan en el agua como a continuación se expone:



Los radicales libres así generados, constituyen uno de los más potentes oxidantes en agua, con un potencial de 2,80 V. No obstante, presentan el inconveniente de que su vida media es del orden de microsegundos, aunque la oxidación que llevan a cabo es mucho más rápida que la oxidación directa por moléculas de ozono.

De los oxidantes más utilizados en el tratamiento de aguas, los radicales libres de hidroxilo y el ozono tienen el potencial más alto, como se puede observar en la siguiente tabla:



Así, dependiendo de las condiciones del medio, puede predominar una u otra vía de oxidación:

- En condiciones de bajo pH, predomina la oxidación molecular.
- Bajo condiciones que favorecen la producción de radicales hidroxilos, como es el caso de un elevado pH, exposición a radiación ultra-violeta, o por adición de peróxido de hidrógeno, empieza a dominar la oxidación mediante hidroxilos. (EPA Guidance Manual, 1999).

3.4. Espectro de acción del Ozono

Se puede decir que el **ozono** no tiene límites en el número y especies de microorganismos que puede eliminar, dado que actúa sobre estos a varios niveles.

La **oxidación directa de la pared celular** constituye su principal modo de acción. Esta oxidación provoca la rotura de dicha pared, propiciado así que los constituyentes celulares salgan al exterior de la célula. Asimismo, la producción de radicales hidroxilo como consecuencia de la desintegración del ozono en el agua, provoca un efecto similar al expuesto.

Los daños producidos sobre los microorganismos no se limitan a la oxidación de su pared: el ozono también causa daños a los constituyentes de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), provocando la ruptura de enlaces carbono-nitrógeno, lo que da lugar a una **despolimerización**. Los microorganismos, por tanto, no son capaces de desarrollar inmunidad al ozono como hacen frente a otros compuestos.

El ozono es eficaz, pues, en la **eliminación de bacterias, virus, protozoos, nemátodos, hongos, agregados celulares, esporas y quistes** (Rice, 1984; Owens, 2000; Lezcano, 1999).

Por otra parte, **actúa a menor concentración y con menor tiempo de contacto** que otros desinfectantes como el cloro, dióxido de cloro y monocloramias.

Además el ozono, como indicábamos previamente, **oxida sustancias citoplasmáticas**, mientras que el cloro únicamente produce una destrucción de centros vitales de la célula, que en ocasiones no llega a ser efectiva por lo que los microorganismos logran recuperarse (Bitton, 1994).

3.5. Los Generadores de Ozono como biocida eficaz

Por sus singulares características, el **ozono** cumple con gran parte de los ideales de un biocida como:

- Ser un desinfectante efectivo frente a un amplio rango de microorganismos.
- Actuar rápidamente y ser efectivo a bajas concentraciones en un amplio rango de pH.
- No causar deterioro de materiales.
- Tener un bajo coste, ser seguro y fácil de transportar, manejar y aplicar.
- Asegurar la calidad y potabilidad del agua resultante de los procesos de potabilización.
- Permitir la utilización del agua disponible en pozos y veneros como agua potable.
- Purificación del agua procedente de depósitos de aguas pluviales para su posterior reutilización en riegos, fuentes, actividades recreativas, etc., con el ahorro que dicha reutilización supone, tanto en términos de agua potable como económicos.
- Impedir la colonización de conductos y su posterior difusión en aerosoles de *Legionella sp.*
- Impedir la contaminación y los reservorios de gérmenes en las instalaciones, evitando el acantonamiento bacteriano.

Este sistema puede, además, utilizarse tanto como **tratamiento de choque** como en pequeñas concentraciones de **manera continua**. Un tratamiento continuo asegura no sólo la ausencia de microorganismos patógenos: también elimina aquellos microorganismos que forman parte de la película biológica que se forma en los conductos y que se presenta como un reservorio de patógenos a eliminar si se quiere prevenir una constante re-contaminación de las instalaciones

4 Datos toxicológicos

En cuanto a su ficha toxicológica, el **ozono** está clasificado únicamente como AGENTE IRRITANTE X_i en aire, no estando clasificado como carcinogénico.

Esta clasificación como agente irritante se refiere **exclusivamente a sus concentraciones en aire**, es decir, a los problemas derivados de su inhalación, que dependen de la concentración a la cual las personas están expuestas, así como del tiempo de dicha exposición.

La normativa emitida por la OMS recomienda una concentración máxima de ozono en aire, para el público en general, de 0,05 ppm (0,1 mg/m³).

Datos de toxicidad por inhalación

- TLV: 0,1 ppm
- Recomendaciones de seguridad de la norma UNE 400-201-94: <100 µg/m³
- Los Valores Límite Ambientales (VLA) (año 2000), establecen para el ozono límites de exposición en función de la actividad realizada, siendo el valor más restrictivo 0,05 ppm (exposiciones de 8 horas) y 0,2 ppm para periodos inferiores a 2 horas. La EPA establece un estándar de 0,12 ppm para 1 hora de exposición y la OMS propone un valor de referencia de 120 µg/m³ ó 0,06 ppm para un periodo máximo de 8 horas

Por otra parte, salvo que se almacene líquido a altas presiones, el ozono es generado *in situ*, no pudiendo existir escapes superiores a la producción programada en los generadores, ya que estos únicamente producen el gas, no lo acumulan. Los valores para producir efectos agudos letales son muy altos, de 15 ppm, concentraciones prácticamente inalcanzables en tratamientos convencionales.

Disuelto **en agua, el ozono resulta completamente inocuo**, dado que su acción sobre la materia orgánica provoca su rápida descomposición. De hecho, **el ozono se encuentra autorizado como coadyuvante en el tratamiento de aguas potables** según la resolución de 23 de Abril de 1984 del Ministerio de Sanidad y Consumo (BOE Núm. 111 de 9 de Mayo del mismo año), estando asimismo reconocido como desinfectante en la potabilización de aguas por la norma UNE-EN 1278:1999.

En palabras textuales de la norma española:

El ozono se auto-descompone en el agua. Por tanto, a las dosis habitualmente aplicadas, no se requiere generalmente ningún proceso de eliminación. [...]

Asimismo, el real decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, incluye el ozono como *sustancia para el tratamiento del agua*, ya que cumple con la norma UNE-EN correspondiente y en vigencia (incluida en el Anexo II del RD, *normas UNE-EN de sustancias utilizadas en el tratamiento del agua de consumo humano*: UNE-EN 1278:1999- Ozono).

En el *Codex Alimentarius*, el ozono viene definido por tener un uso funcional en alimentos como agente antimicrobiano y desinfectante, tanto del agua destinada a consumo directo, del hielo, o de sustancias de consumo indirecto, como es el caso del agua utilizada en el tratamiento o presentación del pescado, productos agrícolas y otros alimentos perecederos.