



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Lavado de gases: tratamiento con ozono por vía húmeda

Autor: María del Mar Pérez Calvo

Institución: Cosemar Ozono, S.L.

e-mail: laboratorio@cosemar-ozono.com

RESUMEN

Lavado de gases' es el término general que se aplica a los procedimientos de limpieza o purificación de emisiones gaseosas, tanto en industria como en laboratorio, recurriendo a un líquido como medio colector. El líquido lavador puede ser agua, aceite, una solución alcalina o agua ozonizada, dependiendo de los contaminantes a eliminar. El ozono es un poderoso oxidante, capaz de degradar productos químicos muy tóxicos, como compuestos orgánicos, que oxida parcialmente a compuestos biodegradables. Asimismo el gas oxida cetonas, aldehidos, compuestos alifáticos, hierro, manganeso, sulfuros, sulfitos, fenoles, NOx, cianuros, etc. En el caso de tratamiento con ozono, el principio de funcionamiento del mismo es el lavado de los gases mediante un elevado caudal de agua en recirculación que retiene los contaminantes, principalmente restos parcialmente quemados que provocan opacidad y olores, así como aceites, que son arrastrados y fijados por el agua y oxidados por el ozono, que oxida asimismo el resto de compuestos químicos que puedan estar presentes en las emisiones. A la hora de diseñar un sistema de lavado de gases con ozono, ya sean de origen industrial o procedentes de cocinas, se debe actuar en primer lugar aislando los gases en cuestión y conduciéndolos hasta la zona de tratamiento. A partir de ahí, se hace pasar el gas por una columna de agua ozonizada propulsada por una bomba de acero inoxidable auto aspirante, que recircula el agua de un depósito inferior. El agua, una vez terminado el lavado, cae por gravedad al depósito de recirculación situado en la parte inferior de la torre. Finalmente el aire, ya libre de partículas, sale al exterior por la chimenea de escape, donde un separador de gotas asegura que la humedad relativa del aire de salida sea la adecuada, pasando previamente por un destructor de ozono que garantiza que no haya emisiones de este gas al ambiente.

Palabras Clave: Lavado de gases. Ozono. Oxidación de gases por vía húmeda.

1.- INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del fuego el hombre ha contaminado la atmósfera con gases perniciosos y polvo. Cuando se empezó a utilizar el carbón como combustible en el siglo XIX este problema comenzó a ser una preocupación general.

Cualquier sustancia que, añadida a la atmósfera, produzca un efecto apreciable sobre las personas o el medio puede ser clasificada como contaminante; así, pues las partículas en suspensión están también incluidas.

Existen infinidad de gases que se liberan a la atmósfera y que pueden ser calificados como contaminantes. Estos gases se pueden clasificar como derivados de sus elementos más característicos, de tal manera que tenemos compuestos derivados del carbono, azufre, nitrógeno etc.

El control de la composición de los gases residuales en la atmósfera se suele realizar mediante la técnica de la absorción de los gases en líquidos, ya que los gases residuales son, en general, mezclas de componentes gaseosos, algunos de los cuales son solubles en una fase líquida seleccionada, aunque la mayor parte constituye un gas portador prácticamente insoluble. El contacto directo del gas con el líquido hace que la transferencia de materia ocurra entre las dos fases en direcciones controladas básicamente por los gradientes de concentración de los componentes individuales.

Lavado de gases es el término general que se aplica a los procedimientos de limpieza o purificación de emisiones gaseosas, tanto en industria como en laboratorio recurriendo, como indicábamos, a un líquido como medio colector.

Los contaminantes del aire así tratado (lavado) son separados del flujo gaseoso al entrar en contacto con un líquido, ya sea por empaque húmedo, aspersion, burbujeo u operaciones equivalentes.



Los lavadores de gases son utilizados ampliamente para la eliminación de polvos, nieblas, vapores y olores, así como para la neutralización de gases tóxicos.

El líquido lavador puede ser agua, aceite, una solución alcalina o agua ozonizada, dependiendo de los contaminantes a eliminar.

2.- TRATAMIENTO DE GASES CON OZONO POR VÍA HÚMEDA. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El principio de funcionamiento del tratamiento de humos es el lavado de los gases mediante un elevado caudal de agua en recirculación que retiene los contaminantes, principalmente restos parcialmente quemados que provocan opacidad y olores, así como aceites, que son arrastrados y fijados por el agua y oxidados por el ozono, que oxida asimismo los compuestos químicos procedentes de la combustión.

A la hora de diseñar un sistema de lavado de gases con ozono, ya sean de origen industrial o procedentes de cocinas, se debe actuar en primer lugar aislando los gases en cuestión y conduciéndolos hasta la zona de tratamiento.

Para ello se extrae el aire de las instalaciones mediante turbinas o extractores adecuados; los gases, dirigidos por tuberías, ingresan en la torre de lavado a través de una tolva de entrada.

A partir de ahí, se hace pasar el gas por una columna de agua ozonizada propulsada por una bomba de acero inoxidable auto aspirante, que recircula el agua del depósito inferior.

La inyección de ozono se realiza a la salida de la bomba de extracción, en la tubería encargada de llevar el agua aspirada por la bomba hasta la parte superior de la torre. Desde ahí, el agua ozonizada es expulsada mediante una tubería llena de toberas; estas toberas generan chorros entrecruzados que aumentan el tiempo y superficie de contacto, creando así una densa columna que deja el gas libre de residuos.

El agua, una vez terminado el lavado, cae por gravedad al depósito de recirculación situado en la parte inferior de la torre. Finalmente el aire, ya libre de partículas, sale al exterior por la chimenea de escape, donde un separador de gotas asegura que la humedad relativa del aire de salida sea la adecuada, **pasando previamente por un destructor de ozono que asegura que no haya emisiones de este gas al ambiente.**



GASES	AIRE LIMPIO (ppm)	AIRE CONTAMINADO (ppm)
CO ₂	320	400
CO	0,1	40 - 70
CH ₄	1,5	2,5
N ₂ O	0,25	--
NO _x	0,001	0,2
O ₃	0,02	0,5
SO ₂	0,0002	0,2
NH ₃	0,01	0,02

Contaminantes gaseosos en aire (Fuente: Ingeniería Ambiental & Medio Ambiente)

3.- QUÉ ES EL OZONO

FICHA DESCRIPTIVA

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

3.1.- CARACTERIZACIÓN

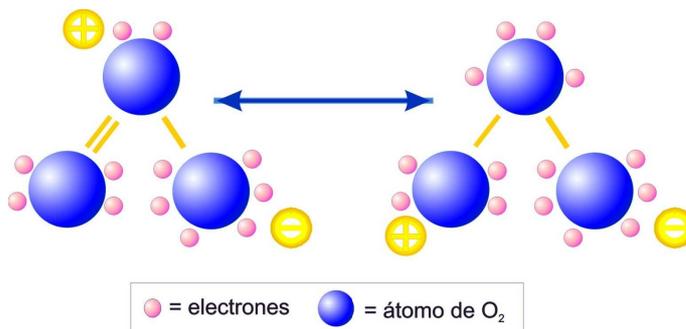
El ozono es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno, cuya función más conocida es la de protección frente a la peligrosa radiación ultravioleta del sol; pero también es un potente oxidante y desinfectante con gran variedad de utilidades. La más destacada es la desinfección de aguas.

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 $1,28\text{Å}$.

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: pasar 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 pasa el gas. Estos electrones provocarán la disociación de las moléculas de oxígeno que posteriormente formarán el ozono.

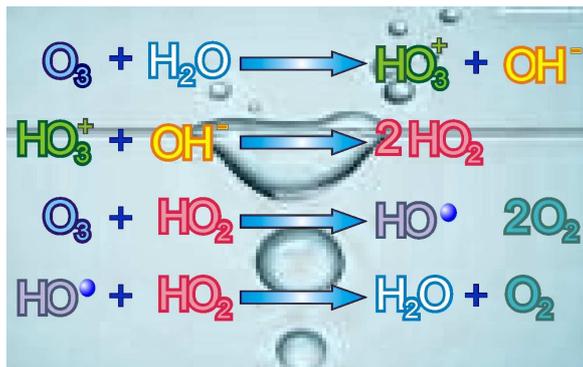
Estructura del ozono (O_3): es una forma alotrópica del oxígeno producida por la activación de la molécula de O_2 en una reacción endotérmica.



3.2.- 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.

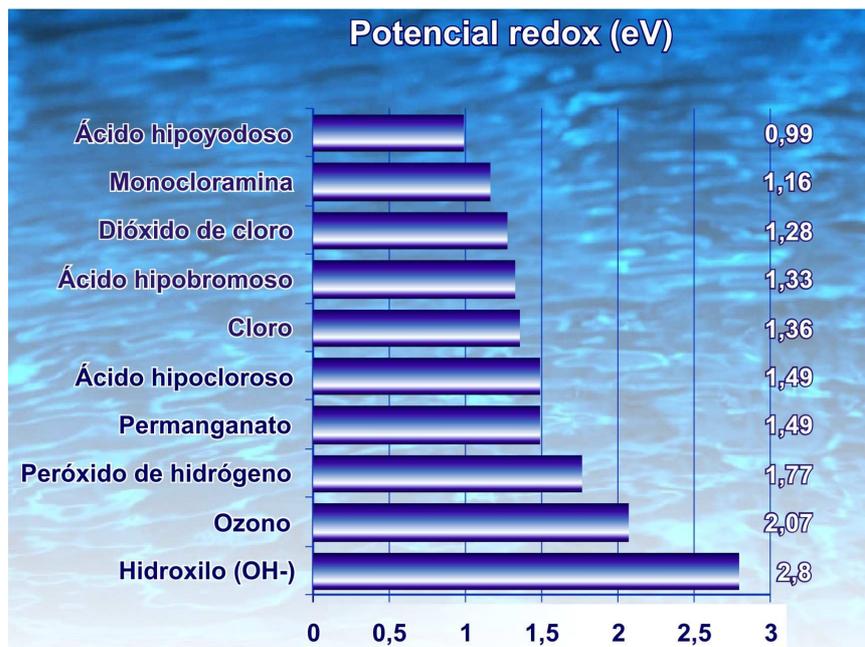


Los radicales libres hidroxilo, (OH^\bullet), se generan en el agua como a continuación se expone:

Los radicales libres así generados, constituyen uno de los más potentes oxidantes en agua, con un potencial de $2,80\text{ V}$. 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:



3.3.- ESPECTRO DE ACCIÓN DESINFECTANTE

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, propiciando 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).

3.4.- OXIDACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS

En lo que respecta a la contaminación química del ambiente, el ozono, por su alto poder oxidante, posee un amplio espectro de acción, siendo capaz de interaccionar, desactivándolos, con compuestos orgánicos e inorgánicos. Debido a su estructura, los átomos del ozono necesitan fuertemente captar electrones, lo que hace que reaccione rápidamente con cualquier molécula, especialmente aquellas que poseen dobles enlaces o anillos aromáticos: aldehídos, cetonas, derivados nitrogenados, derivados del azufre, hidrocarburos, ácidos, etc. Esta interacción, se traduce en una mejora del ambiente a nivel de compuestos que:

- Son nocivos para la salud
- Enrarecen el ambiente, provocando una sensación de ausencia de oxígeno.
- Producen malos olores.
- Pueden llegar a producir irritaciones, reacciones alérgicas, etc.

*El ozono oxida,
entre otros
compuestos,
sulfuros, NOx y
cianuros*

De los tres problemas señalados, aquel sobre el que la acción del ozono resulta más patente es el de los malos olores, fácilmente apreciable por las personas a ellos sometidas.

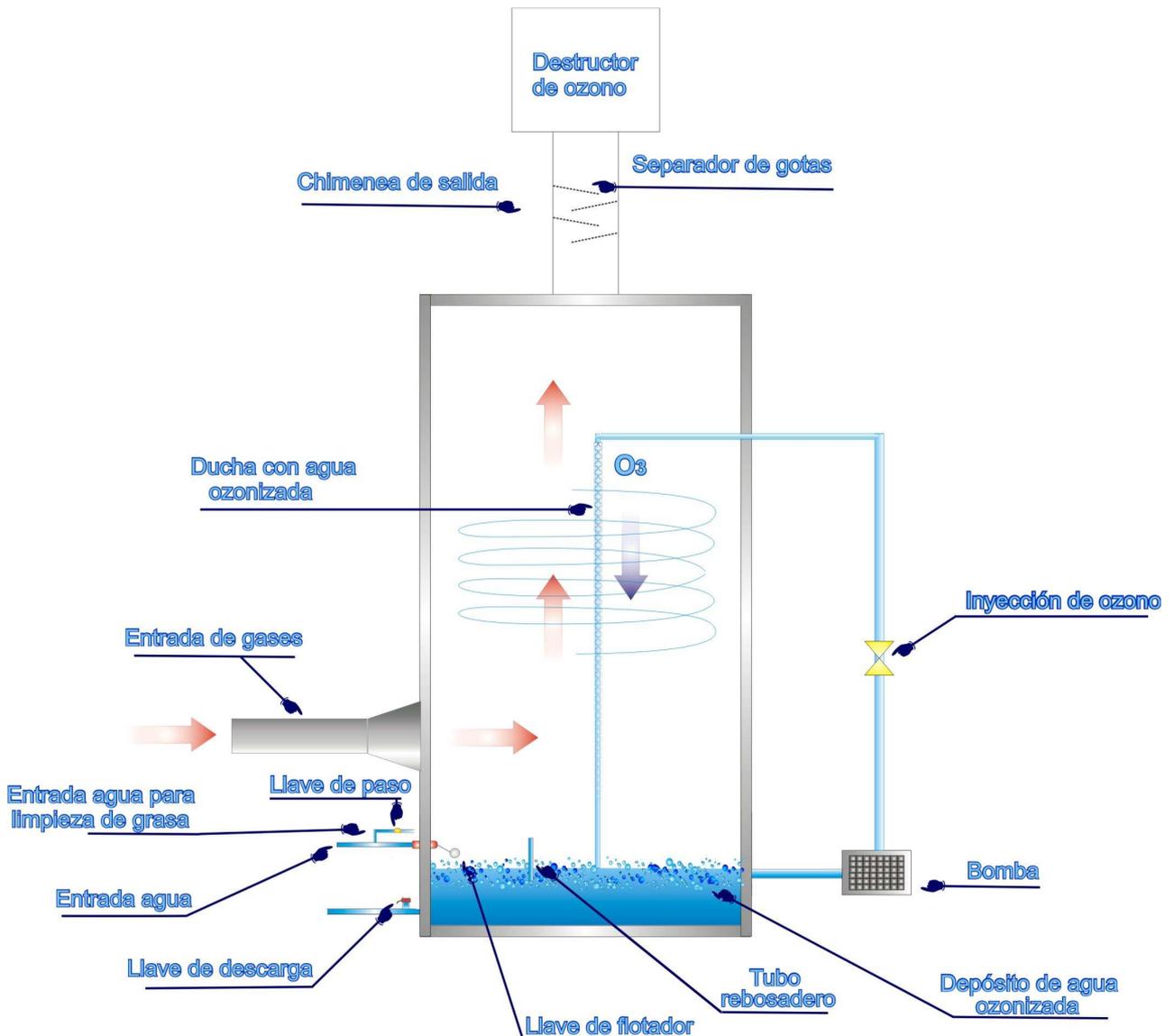
La acción desodorizante del ozono no es debida a un simple efecto de camuflaje del olor, sino que se trata de una verdadera destrucción química de éste, al descomponerse las moléculas que lo provocan. Así, la ozonización se muestra efectiva frente a todo tipo de olores como, por ejemplo, el de tabaco, habiéndose identificado tres tipos de compuestos que contribuyen al olor del mismo: acetaldehído, acroleína y ácido sulfhídrico; sobre estos el ozono ejerce una acción eficaz, de tal manera que aún en presencia de humo se constata la ausencia de olor.

El **ozono** se revela también como oxidante de otros productos químicos muy tóxicos, como compuestos orgánicos, que oxida parcialmente a compuestos biodegradables. Asimismo el gas **oxida** cetonas, aldehidos, compuestos alifáticos, hierro, manganeso, **sulfuros**, sulfitos, fenoles, **NOx**, **cianuros**, etc.

4.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Los gases a lavar, dirigidos por tuberías, ingresan en la torre de lavado a través de una tolva de entrada, como se indicaba anteriormente. El ozono es inyectado en el agua a la salida de la bomba mediante un sistema venturi.

En cuanto al movimiento del agua, esta llega al depósito inferior del sistema a través de una tubería de entrada con una válvula de flotador.



La bomba extrae agua del depósito y la impulsa hacia la parte superior de la torre de lavado.

Un conjunto de toberas de acero inoxidable expulsa agua a presión que bañará el gas que pase por este conducto. El agua expulsada por las toberas cae, por gravedad, al depósito inferior, y reinicia el ciclo.

El ozono es inyectado en el agua a la salida de la bomba mediante un sistema venturi, mientras que los ocasionales excesos de agua en el depósito saldrían por el tubo rebosadero.

Para facilitar la limpieza del depósito, existe una llave de descarga. Las grasas acumuladas en la superficie del agua se limpian accionando la llave de entrada y llenando el depósito por encima del tubo de rebosadero, saliendo por éste todas las grasas que el agua pudiera tener en suspensión.

Posteriormente, esta agua debe ser tratada apropiadamente, según su naturaleza, mediante los sistemas de filtrado necesarios para eliminar los precipitados resultantes.

5. DATOS TOXICOLÓGICOS DEL OZONO

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.