



EL OZONO

**DOCUMENTO ELABORADO POR:
EL DEPARTAMENTO TÉCNICO DE OZOGAS**

OZOGAS C/. Francesc Bolós, 27 08031 - BARCELONA
TEL/FAX. (93) 407 00 54

INDICE

	<u>Pág.</u>
1-<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2-<u>CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES</u>	3
3-<u>OZONIZACIÓN</u>	4
3.1-<u>Desinfección mediante ozono</u>	5
3.1.1-Descomposición del ozono en agua	6
3.1.2-Mecanismos de desinfección del ozono	6
3.1.3-Capacidad desinfectante del ozono	7
3.1.4-Factores que influyen en la eficacia del ozono	8
a). Estado físico de los microorganismos.....	8
b). Materia orgánica.....	9
c). PH.....	9
d). Temperatura.....	9
e). Concentración de ozono en agua.....	10
3.1.5-Efectos secundarios	10
3.2-<u>El ozono como oxidante</u>	10
3.2.1-Eliminación de detergentes	12
3.2.1-Eliminación de pesticidas	13
4-<u>CONCLUSIONES</u>	14
5-<u>TABLAS DE INTERÉS</u>	16

1. – INTRODUCCIÓN

El ozono, forma alotrópica del oxígeno, se encuentra en la atmósfera producido por las irradiaciones de los rayos U.V. del sol sobre el oxígeno atmosférico. El espesor medio de la capa de ozono atmosférico sería de 3mm., aunque su concentración varía según la altitud, siendo máxima entre los 20 y 50 km.

El ozono atmosférico absorbe gran parte de la radiación ultravioleta emitida por el sol. Actúa como potente filtro de esta radiación, protegiéndonos de los efectos nocivos que ocasionaría si llegase a la superficie de la tierra.

Actualmente el ozono es una especie química perfectamente definida, no obstante no fue hasta 1.785 cuando Van Harum, por diferentes manifestaciones eléctricas, describió la presencia de “un olor característico” en algunas de sus investigaciones con máquinas electroquímicas.

En 1.840, Schönbein demostró que efectivamente se trataba de una especie química determinada, un gas al que debido a su olor llamó “ozono”, del griego “ozein” (desprendedor de olor).

La definición de su identidad fue objeto de fuerte controversia, algunos autores lo definían como un óxido de nitrógeno, otros como peróxido de oxígeno superior al agua oxigenada ($H_2 O_2$). Este problema quedó resuelto cuando en 1.860 se obtuvo O_3 a partir de O_2 puro, por lo que quedó demostrado que se trataba de una variedad alotrópica del oxígeno.

Los trabajos realizados por varios autores entre los años 1.861 y 1.922, llevaron a atribuirle la fórmula O_3 .

La descripción de las características físico-químicas del ozono se deben al investigador alemán H. P. Otto, que determinó, el peso molecular, la densidad, etc., logrando además, producirlo de forma controlada artificialmente por medio de descargas eléctricas.

La primera aplicación del ozono en el mundo del agua, como agente desinfectante, se debe al francés De Meriteus en 1.886, y desde 1.906 se desinfecta mediante ozono, el agua del río Vesubio en Niza. En 1965, a raíz de los estudios publicados por el equipo investigador del Dr. Coin, se definen las condiciones de aplicación del ozono para la destrucción de los Virus de la Poliomiélitis.

Posteriormente, el empleo del ozono se ha ido extendiendo, y actualmente es usado en numerosos países para potabilización y diversos tratamientos de agua, como agente bactericida y virulicida.

OZOGAS, no recomienda únicamente el empleo del ozono en el mundo de la potabilización de agua, sino también, para la oxidación de compuestos orgánicos e inorgánicos, así como para la eliminación de detergentes, pesticidas, colorantes, etc.; en el tratamiento de aguas residuales y en desinfección de equipos e instalaciones.

Así mismo, OZOGAS recomienda el empleo del ozono en múltiples aplicaciones para la industria en general. En el sector alimentario, las aplicaciones pueden ser muy diversas, efectuando tratamientos tanto de agua de procesos, como tratamientos periódicos de desinfección sanitaria de conducciones, filtros, llenadoras, envasadoras, así como diversos tratamientos de envases, enjuagadoras, etc.

Para tratamientos ambientales, las aplicaciones a la industria alimentaria son muy diversas, efectuando tratamientos de sanitización, desinfección y esterilización periódicos o continuos a salas de manipulación o puntos específicos, así como para sanitización de envases, silos de almacenamiento de envases, etc.

En las cámaras de conservación de productos hortofrutícolas, aunque estos se conservan en frío, la maduración de los mismos se sigue realizando. La eliminación mediante ozono de ciertos gases que se generan durante este proceso y que favorecen a su vez la maduración (etileno, etc.), Prolonga la vida media de dichos productos y favorece el transporte a largas distancias.

En las granjas de cría y engorde de ganado, la degradación de los purines genera una cantidad de gases que aumenta el stress de los animales influyendo negativamente en su desarrollo y mermando el engorde de las crías. La eliminación de estos gases indeseables del ambiente de granjas, produce un desarrollo más eficaz y rápido. Se ha llegado a contabilizar hasta un incremento del 5% en carne.

Para tratamientos de sanitización ambiental de instalaciones, silos de almacenamiento de materiales (envases, tapones, etc.), la aplicación del ozono es muy interesante, ya que favorece tanto el mantenimiento de la esterilidad de los mismos, como la consecución de la misma durante su almacenamiento, evitando que la contaminación propia del producto, pase de el envase a la materia envasada.

El ozono, también es muy utilizado para tratamientos ambientales de aire acondicionado y conducciones de aire. Estas conducciones aunque normalmente poseen filtros de aire, paulatinamente van adquiriendo suciedad, hasta tal punto que es la propia conducción la que puede ejercer un aporte contaminante a la sala donde va destinada. El ozono crea un desinfección en continuo en las conducciones, además de ejercer varios efectos beneficiosos a la propia sala, como son:

- Restablecimiento de la carga de oxígeno del aire.
- Oxidación y eliminación de la materia orgánica del ambiente.
- Eliminación de olores, óxidos de carbono, alquitranes, etc., y otros productos nocivos procedentes de la combustión del tabaco.

También se ha empleado en el ámbito hospitalario, tanto para la desinfección del ambiente e instalaciones, como en procesos terapéuticos (ozonoterapias).

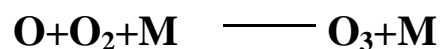
2.CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES

El ozono es un compuesto gaseoso que posee una tonalidad azul. En estado líquido, a temperatura inferior a -115°C ., tiene color índigo.

Como ya hemos mencionado, es una forma alotrópica del oxígeno, en el cual tres átomos de oxígeno se combinan para formar ozono. La formación se da cuando moléculas de oxígeno son excitadas lo suficiente para descomponerse en oxígeno atómico, de dos niveles energéticos diferentes, y las colisiones entre los diferentes átomos son los que generan la formación del ozono.

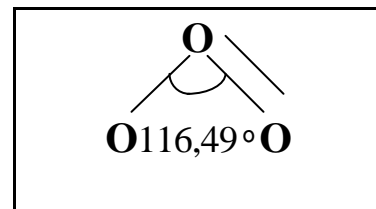
El ozono es un gas sumamente inestable, se descompone rápidamente por efecto de la luz, calor, choques electrostáticos, etc., y tiende a descomponerse produciendo oxígeno, elemento con el que siempre está en equilibrio.

El mecanismo que explica la formación del ozono en las descargas eléctricas es el siguiente:



Siendo la misión de **M** retirar el excedente de los rendimientos energéticos, del orden del 5% con el aire.

La molécula del ozono tiene una estructura angular de $116,49^{\circ}$ y una distancia interatómica de 1,287 Å (Amstrong), aunque se admite que el ozono se encontraría como un dímero del ozono (O_3)₂, y por otra parte, una forma polimerizada del ozono llamada oxozono.



En resumen podemos indicar que las características físico - químicas más importantes son:

OZONO: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Peso molecular.	48.
Temperatura de condensación.	<-115 °C.
Temperatura de fusión.	-190 °C.
Punto de ebullición.	110,5 °C.
Densidad (líquido).	1,572 g/l.
Densidad (gas).	2,144 g/l.
Presión crítica	54,6 atm.

Solubilidad en agua (con aire a 15g/m³ O₃):

a 10 °C. = 8 mg/l.

a 30 °C. = 2 mg/l.

Energía interior = 34 Kcal/mol.

Solubilidad en soluciones salinas < solubilidad en solución acuosa.

3. OZONIZACIÓN

Se puede denominar ozonización a cualquier tratamiento en el que se aplique ozono.

Aunque los más conocidos y desarrollados son las aplicaciones de ozonización sobre agua, no hay que olvidar que también se han aplicado exitosamente para tratamientos ambientales, para desinfección, oxidación desodorización, etc., como se ha comentado en la introducción de este manual.

No obstante en este punto vamos a desarrollar únicamente aplicaciones del ozono en agua.

Desde este punto de vista podemos diferenciar:

3.1.-Desinfección mediante ozono

3.2.-El ozono como oxidante

Antes de pasar a desarrollar estos apartados, comentaremos algunas de las características generales del ozono.

Como ya hemos mencionado, es un elemento que se disuelve con gran facilidad en agua, así mismo es muy labil reaccionando con otros elementos. La descomposición del ozono en el agua se ve favorecida por diversos factores. Su degradación es directamente proporcional al aumento de la temperatura, al aumento de la alcalinidad y la presencia de materia oxidable.

Este último punto es bastante importante, ya que hemos de tener en cuenta que el ozono es uno de los oxidantes más energéticos que se conocen, y que posteriormente desarrollaremos dicha propiedad.

3.1.-DESINFECCIÓN MEDIANTE OZONO

El agua es una vía potencial de transmisión de enfermedades tanto de origen vírico, bacteriano o parasitario y la sensibilidad de estos agentes tóxicos es muy distinta a los diferentes agentes biocidas. Estos patógenos si se ordenasen de mayor sensibilidad a mayor resistencia a los distintos desinfectantes, en primer lugar estarían las células vegetativas de bacterias, después los virus, esporas bacterianas y por último los quistes de protozoos.

Aunque se emplea cloro en muchos procesos de potabilización de agua y desinfección, existen numerosos gérmenes capaces de resistir tanto las concentraciones habituales de dosificación como dosis que superan en mucho la habitual. Diferentes autores han publicado artículos en los que se habla de diversos gérmenes resistentes a fuertes concentraciones de cloro.

Wolfe y Col. (1984) respecto a *Flavobacterium*, Shaffer y Col. (1980) aisló polivirus en aguas fuertemente cloradas y que en pruebas posteriores de laboratorio resultaron extremadamente resistentes al cloro, resultados muy parecidos obtuvieron Payment y Col. con virus coxsackie y polivirus del tipo 3. Ward y col. (1984) aislaron en aguas cloradas *E. coli*. Kaswichtalt en 1985 determino que en aguas con dosis de cloro libre por encima de los 6 PPM. (dosificación normal esta entre 0,5 - 1 PPM) y con un tiempo de contacto por encima de los 30 minutos, aun se seguían aislando virus de la poliomielitis así como enterovirus.

Este factor junto con el hecho de que las aguas pueden portar muchas sustancias que al reaccionar con el cloro generan una serie de productos, muchos de ellos con efectos cancerígenos y mutagénicos están cuestionando la bondad del cloro, como potabilizante y desinfectante.

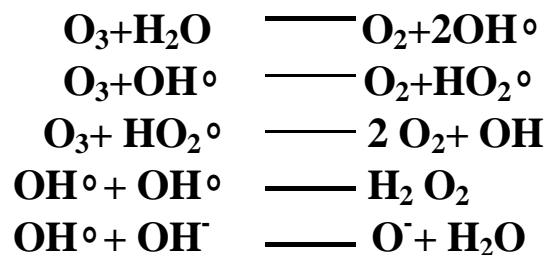
La primera experiencia en desinfección de agua mediante ozono se remonta a 1886. Diferentes autores, y de hecho se admite, que un agua que mantiene una concentración de ozono residual superior a 0,4 mg/L. durante un periodo de tiempo no inferior a 4 minutos aseguran una desinfección adecuada, incluso en estas condiciones se asegura la eliminación de los virus de la poliomielitis. En la tabla II se determina el índice de letalidad del ozono respecto a otros agentes desinfectantes sobre diversos microorganismos.

TABLA II : INDICE DE LETALIDAD

DESINFECTANTE	BACTERIAS	VIRUS	ESPORAS
OZONO:	500	0,5	2
HIPOCLOROSO:	20	1	0,5
HIPOCLORITO:	0,2	0,02	0,0005
CLORAMINA:	0,1	0,005	0,002

3.1.1. DESCOMPOSICIÓN DEL OZONO EN AGUA

La descomposición del ozono en el agua es muy conocida y ha sido objeto de numerosos estudios. La comprensión de los mecanismos de desinfección del ozono, pasa necesariamente por el conocimiento de las diversas especies oxidantes que se generan a lo largo de la descomposición del ozono. Peleg después de una revisión bibliográfica sugirió en 1.976 las etapas de descomposición del ozono en las siguientes:



Hoigné y Bader sugirieron que el ozono molecular y los radicales hidróxilo son muy reactivos y son especies predominantes en los procesos de ozonización.

3.1.2.- MECANISMOS DE DESINFECCIÓN DEL OZONO

Se conoce sobradamente que el ozono posee un fuerte poder desinfectante (Morris y Col. en 1975 indican que elimina 3.125 veces más rápidamente *E. Coli* que el cloro) y la eficiencia de la desinfección está ligada a su concentración en la fase acuosa.

En cuanto a las estructuras de las bacterias y virus, podemos indicar que en los casos de bacterias podemos distinguir dos grandes grupos: Bacterias Gram Negativas (B.G.N) y Bacterias Gram Positivas (B.G.P.). La diferencia entre ambas es que las B.G.N. (*Salmonellas, Shigella, E. coli, Coliformes, Pseudomonas, etc.*) poseen una envuelta formada por dos membranas, la celular o citoplasmática que se trata de una membrana interna, y otra membrana externa constituida por Lipopolisacáridos, Fosfolípidos y Proteínas.

Entre estas dos membranas hay un espacio ocupado por proteínas solubles y peptidoglicano. Todo el conjunto suele estar recubierto por una estructura de polisacáridos o por una barrera proteica.

Las B.G.P. (*Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Clostridium*, etc.) no poseen la membrana externa pero la membrana interna (citoplasmática) está recubierta por cadenas de polisacáridos enlazados por cadenas peptídicas.

Fallo (1984) demostró que los exopolisacáridos no protegen a las bacterias del ozono debido a la baja reactividad del ozono con los azúcares. Por contra reacciona con lípidos y proteínas (Duguet 1981) oxidando las membranas y eventualmente liberando el contenido celular. Casi todos los constituyentes celulares son muy sensibles a las acciones del ozono, enzimas, ácidos nucleicos, etc.

Además de estos mecanismos biocidas, se supone que el ozono interfiere la respiración celular al destruir la deshidrogenasa, enzima que participa en la respiración celular (Sykes, 1958).

En el caso de los virus, tres son, principalmente las estructuras alterables por el ozono: La membrana externa, la cápside y los ácidos nucleicos.

Sobre la membrana externa actúa sobretodo sobre los ácidos grasos, en la cápside al ser de naturaleza proteica puede ser destruida formándose subunidades proteicas. Los ácidos nucleicos pueden ser oxidados por el ozono. Esta última etapa es la que se considera como la etapa sensible de la inactivación viral (Block, 1984).

En la tabla III se recogen distintas dosis biocidas del ozono frente a diferentes gérmenes.

TABLA III dosis biocidas del ozono frente a diferentes gérmenes

<i>E. Coli</i> 30.000.000 u.f.c./ml. T ^a = 13,5 °C.			<i>Serratia Marcescens</i> 40.000.000 u.f.c./ml. T ^a = 12 °C.			<i>Ps. Aeruginosa</i> 12.000.000 u.f.c./ml. T ^a = 11,7 °C.		
ozono mg/l.	Nº gérmenes 100ml. Después de tratamiento		ozono mg/l.	Nº gérmenes 100ml. Después de tratamiento		ozono mg/l.	Nº gérmenes 100ml. Después de tratamiento	
	3 min.	1 hora.		3 min.	1 hora.		3 min.	1 hora.
0,16	0	0	0,7	2	0	0,38	0	0
0,13	2	0	0,52	6	1	0,29	2	1
0,08	11	6	0,38	16	3	0,18	6	1
0,02	s/d.	s/d.	0,22	s/d.	9	0,12	138	96

3.1.3.- CAPACIDAD DESINFECTANTE DEL OZONO

Como cualquier desinfectante la capacidad de desinfección del ozono depende de la concentración en la que se encuentre y el tiempo de contacto entre el desinfectante y los agentes patógenos.

El ozono reacciona muy rápidamente frente a los patógenos ya que es tóxico para los mismos “per se”, no como el cloro que es necesaria su disociación antes de que adquiera poder desinfectante. Así mismo, su dependencia a las condiciones medioambientales son menores que las de otros desinfectantes.

La eficacia de un desinfectante se mide por la ley de Chick, la determinación del coeficiente específico de letalidad permite comparar la eficacia de los distintos desinfectantes frente a determinados microorganismos.

Este poder biocida puede venir determinado, en parte por el fuerte poder oxidante caracterizado por su potencial de oxido-reducción elevado.

Varios autores demuestran la rapidez de actuación del ozono frente a varias bacterias, virus y protozoos, observando una inactivación de coliformes y bacterias patógenas, incluidas *Salmonellas spp.* Recientes estudios realizados sobre rotavirus y quistes de *Giardia Lamblia* demuestran reducciones de más del 99%.

3.1.4.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICACIA DEL OZONO

Los principales factores que influyen sobre el poder desinfectante del ozono son:

- a) Estado físico de los microorganismos
- b) Materia orgánica
- c) pH
- d) Temperatura
- e) Concentración de ozono en el agua

a) Estado físico de los microorganismos:

Generalmente los microorganismos presentes en el agua están en estado libre encontrándose formas distintas, agregados, fijados sobre materiales, absorbidos etc. Las formas en las que se presentan y la naturaleza del material de soporte condicionan la eficacia del desinfectante. Hoff en 1978 demostró que los flóculos de sulfato de aluminio no afectan a la eficacia del ozono, así mismo la bentonita no protege al polivirus sabin tipo 1 y *E. Coli* absorbidos en ella frente a la acción del ozono mientras que sí lo hace con el bacteriófago F2.

También se ha observado que cuando los microorganismos están agregados, son más resistentes a los desinfectantes, incluido el ozono, que cuando están de forma independiente.

Esto se ha constatado al realizar previamente un tratamiento con ultrasonidos para destruir estos agregados y verse como aumentaba el poder biocida de los desinfectantes

Las células vegetativas de las bacterias son los organismos más sensibles a la acción del ozono, junto con algunos tipos de virus, por contra los microorganismos más resistentes a la acción del ozono, y de cualquier desinfectante, son los quistes de protozoos, si los ordenásemos de mayor a menor resistencia frente al ozono, el orden sería el siguiente:

Quistes de protozoos, esporas bacterianas, esporas de hongos y levaduras, microbacterias, virus no lípidos, células vegetativas de hongos y levaduras y células vegetativas de bacterias y virus lipídicos. Así mismo también conviene indicar que dentro de las células vegetativas también depende de la fase de desarrollo de las bacterias. Un cultivo bacteriano en fase exponencial es más resistente a la acción de los desinfectantes que un cultivo en fase estacionaria.

b) Materia orgánica:

La materia orgánica que se encuentra en el agua, por lo general es fácilmente oxidable. Este fenómeno entra en competencia directa con el uso del ozono como desinfectante. De hecho el ozono residual aparece en el agua cuando un porcentaje de este ozono ha sido empleado para la oxidación de esta materia orgánica.

Esta cantidad de ozono se denomina “Demanda Química de Ozono”, Brodard en 1985 fue quien determinó que es necesario aplicar cierta dosis de ozono en el agua antes de que se produzca la inactivación de los microorganismos presentes en el agua, aunque al contrario que con otros agentes desinfectantes, este ozono empleado en satisfacer la demanda química de ozono ya produce una cierta inactivación de microorganismos.

A este efecto de consumo de ozono para oxidación de la materia orgánica presente en el agua hay que unir el comentario realizado en el apartado anterior, ya que la materia orgánica sirve de sustrato para la agregación y/o absorción de gérmenes, lo que les confiere, como hemos comentado anteriormente, mayor resistencia a la acción desinfectante.

c) pH:

Aunque el efecto del pH es menor sobre el ozono que sobre otros desinfectantes, también se ve afectado por este factor. El aumento del pH se acompaña por un crecimiento de la velocidad de descomposición del ozono bajo formas de especies oxidantes que tienen reactividades diferentes con los constituyentes de los microorganismos.

Por ejemplo, el ozono oxida muy fácilmente los grupos amina del material proteínico cuando estos se encuentran en forma protonada, es decir a pH elevado. El pH juega un papel muy importante en las agregaciones de virus, generalmente a pH bajos los virus tienden a

agregarse, aunque el pH en el que los virus se agregan depende del tipo de virus y su punto isoelectrónico (Sharp 1982).

En general se puede decir que a pH básico la descomposición del ozono es algo más elevada, aunque la capacidad biocida del ozono se mantiene estable en un pH que esté comprendido entre 5,5 y 9,8.

Se ha observado en diferentes estudios frente a determinados patógenos que la eficacia del ozono aumenta sensiblemente a medida que aumenta el pH.

d) Temperatura:

Este factor influye también sobre la capacidad de desinfección de la mayoría de agentes desinfectantes. Con referencia al ozono, aumenta la velocidad de difusión y reacción del ozono y aumenta la velocidad de destrucción del ozono en sus radicales.

No obstante, diversos autores indican que variaciones de temperatura entre 0 y 37 °C. afectan relativamente poco a la eficacia desinfectante del ozono. Roy en 1980 determina un pequeño aumento de la eficacia cuando la temperatura sube. De todas formas, en los casos más extremos una temperatura elevada aumenta la cinética de inactivación de los gérmenes según la teoría de Van Hoff-Arrhenius.

e) Concentración de ozono en agua:

Al igual que con cualquier otro desinfectante, la única forma de control de la aplicación del ozono, es medir la concentración del mismo obtenida en el agua, es decir, es controlar el ozono libre residual de dicha agua.

Como se puede ver en las diferentes tablas que hemos ido incluyendo, cada contaminante necesita una dosis y un tiempo de contacto mínimo para su eliminación y por lo general, a mayor dosis, menor tiempo de contacto.

Sin embargo, se considera estipulado que manteniendo una dosis residual de ozono de 0,4 mg/l. durante un tiempo no inferior a 4 minutos, asegura una desinfección del agua prácticamente total (por encima del 99,9%). Obteniendo una inactivación de la mayoría de microorganismos con dosificaciones y tiempo de contacto menores.

3.1.5.- EFECTOS SECUNDARIOS

En el tratamiento de agua mediante ozono, la gran reactividad del mismo y su labilidad, hace que este sea un tratamiento muy enérgico y sin adición de compuestos estables al agua, que pueden reaccionar con diversos componentes del propio agua, generando productos indeseables después del tratamiento, ya que la concentración de ozono residual que

permanece en el agua, tras un cierto tiempo desde su incorporación, es nula, por lo que no hay posibilidad de formación de este tipo de compuestos.

Esta es una de las grandes ventajas ya que impide que el ozono pueda conferir cualquier tipo de características “añadidas” al agua. No deja restos de sabor, olor, etc. en las aguas tratadas con ozono al cabo de poco tiempo después de su aplicación.

3.2.- EL OZONO COMO OXIDANTE

La mejor forma de definir el efecto oxidante del ozono es compararlo con los oxidantes más empleados, donde se aprecian que salvo su menor reactividad frente al amoníaco, con respecto a las demás sustancias que habitualmente se encuentran en el agua es el más reactivo.

De hecho es normal si se tiene en cuenta que presenta el potencial de oxido-reducción más elevado después del fluor (ver tabla IV). El ozono es uno de los elementos más empleados para oxidar compuestos indeseables en el agua.

TABLA IV
potenciales de oxido-reducción

OXIDANTE	E (Voltios)
OZONO	2,07
HOCl	1,49
Cl ₂	1,36
HOBr	1,24
ClO ₂	1,15
Br ₂	1,07

El poder oxidante del ozono se presenta en tres facetas:

1-.Oxidación por pérdida de un átomo de oxígeno: Produce unas reacciones muy energicas comparables a otros oxidantes.

2-.Oxidación directa por la adición de ozono en el cuerpo oxidado: Se producen unos compuestos denominados ozónidos. Estos compuestos son muy inestables y producen un desdoblamiento químico de la molécula orgánica.

3-.Oxidación actuando como catalizador que favorece la función oxidante del oxígeno que le acompaña en el aire ozonizado: En esta acción catalítica el oxígeno es el oxidante principal y la reacción se produce a temperaturas más bajas y a una velocidad mayor que en presencia del oxígeno del aire únicamente.

Aunque el ozono actúa como catalizador, este no es un catalizador propiamente dicho ya que una vez acabada la reacción, no se recupera ozono debido a su labilidad y a que este se emplea como oxidante en alguna de las dos facetas anteriores.

Bailey y Col. en 1975 indica que el ozono puede oxidar ligaduras múltiples de carbono olefínico y carbono acetilénico, moléculas aromáticas, carbo-cíclicas, heterocíclicas, ligaduras carbono-hidrógeno en alcoholes, éteres, aldehidos, aminas, e hidrocarburos; ligaduras silicio-carbono, silicio-silicio, y silicio-hidrógeno y varios tipos de ligaduras carbono-metal.

Basados en estos datos existen numerosos estudios sobre la bondad en la aplicación del ozono como oxidante, tanto para la eliminación de algún contaminante específico como para el tratamiento general del agua.

Se pueden resaltar como aplicaciones del efecto oxidante del ozono las siguientes:

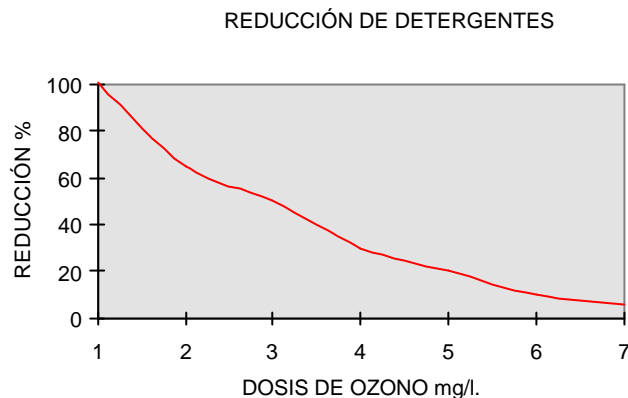
- Eliminación de hierro y manganeso.
- Eliminación de color, sabor y olores desagradables.
- Mejoras en las etapas de floculación.
- Destrucción de algas y control de su desarrollo.
- Oxidación y eliminación de cianuros.
- Oxidación y eliminación de fenoles.
- Eliminación de detergentes.
- Oxidación de pesticidas.
- Eliminación de colorantes.
- Eliminación de compuestos nitrogenados.
- Eliminación de metales disueltos.
- Etc.

3.2.1.-ELIMINACIÓN DE DETERGENTES

El ozono es un elemento que por sus características tanto biocidas como oxidativas le hacen un elemento muy indicado para tratamientos en los que sea preciso una desinfección rápida, eficaz y de amplio espectro, o bien para la eliminación de componentes orgánicos e inorgánicos susceptibles de oxidación, como ya se ha comentado en el capítulo anterior (el ozono como oxidante), entre los que se encuentran los detergentes y los pesticidas.

En concreto sobre los detergentes, el ozono ejerce sobre ellos una oxidación avanzada obteniendo como resultado una reducción o eliminación rápida y eficaz. En la gráfica V, se observa la reducción de detergentes en tanto por ciento sobre diferentes dosis de ozono obtenidas en agua.

GRAFICA V



3.2.2.-ELIMINACIÓN DE PESTICIDAS

La ozonización de compuestos disueltos en agua por sí misma puede constituir un proceso de oxidación avanzada en el que interviene el radical hidroxilo procedente de la descomposición de ozono catalizada por ion hidroxilo, o bien iniciada por la presencia de trazas de otras sustancias, como cationes de metales de transición.

En un proceso de ozonización hay que considerar dos posibles vías de acción oxidante: la directa debida a la reacción entre el ozono y los compuestos disueltos y la radical derivada de las reacciones entre los radicales generados en la descomposición del ozono (radical hidroxilo) y los propios compuestos disueltos. La combinación de ambas vías para la eliminación de compuestos dependerá de la naturaleza de los mismos, del pH del medio y de la dosis de ozono.

Por otra parte, los procesos de ozonización han sido ampliamente estudiados habiéndose establecido modelos cinéticos y siendo numerosas las investigaciones sobre ozonización de compuestos individuales. Como ejemplo, en la tabla V se indican algunos resultados concernientes a la ozonización de pesticidas.

TABLA VI OZONIZACIÓN DE PESTICIDAS

PESTICIDA	Concentración inicial	Dosis de ozono mg/l ¹	pH	Degradación %
Aldrin	20µg.l ¹	3,7	-	95
DDT	26µg.l ¹	-	4,15	94
Dieldrin	1,3mg.l ¹	149	6,6-9,8	99
Lindano	50µg.l ¹	149	6,9-9,8	90-100
Malathion	100µg.l ¹	1-5	-	38-85
Parathion	87µg.l ¹	0-5	-	100
2,4D	22mg.l ¹	61,8	-	100
MCPA	0,5-45mg.l ¹	-	3,5-8	18-78
MCPB	18µg.l ¹	4,35	8	99
Propoxur/Baygon	44mg.l ¹	-	5,3	99
Carbaryl/Sevin	21mg.l ¹	25	-	100
Amitrol	15mg.l ¹	-	5,1	100
Atrazina	6mg.l ¹	14,9	5,5	100
Diuron	3mg.l ¹	4,5-9	1,5-11,2	100
PCP	70mg.l ¹	-	10	99

4.- CONCLUSIONES

El poder oxidante del ozono, solamente superado por el fluor, le hace ser el oxidante recomendado para la eliminación de contaminantes tanto en el tratamiento del aire como el de agua.

Su poder biocida al estar ligado a varios mecanismos de acción que actúan combinados: capacidad de penetración, poder oxidante que elimina partes fundamentales de los microorganismos, actuando sobre moléculas tipo A.D.N. proteínas, enzimas, etc.; poder de combinación con otras sustancias bloqueando rutas metabólicas o respiratorias, etc. Esta serie de mecanismos hace que la posible creación de resistencias por parte de los microorganismos sea prácticamente imposible al tener que crearlas en varios frentes completamente diferentes al mismo tiempo.

Esta capacidad biocida y esta dificultad por parte de los microorganismos a generar resistencias frente a él, le hacen el desinfectante, en líneas generales, con mayor poder biocida, aunque sobre algunos microorganismos en concreto no se muestre como el más eficaz.

Como oxidante, al ser prácticamente el elemento con mayor poder de oxidación lo hacen preferible ya que este poder de oxidación es lo que favorece su reactividad y eliminación de componentes indeseables que porta el agua, ác. Húmicos y Flúvicos, hierro, manganeso, plomo, detergentes, pesticidas, materia orgánica, etc.

Otra de las características que es reseñable del ozono, es su rápida desaparición del agua que ha tratado. Un cierto tiempo después del tratamiento, prácticamente no queda ozono residual en el agua.

Esta característica, que en el caso de tratamientos de aguas potables de distribución pública, en muchos casos hace que se emplee un tratamiento secundario con otro biocida de mayor persistencia, que asegure una capacidad desinfectante mientras se distribuye por la red. En el caso de tratamientos de agua de proceso específicos de la industria en general, y en especial la alimentaria, permite obtener una mejora sustancial de la calidad de dicha agua, eliminando posibles contaminaciones, sin alterar sus características organolépticas.

Es decir, el ozono es un elemento que por sus características, tanto biocidas como oxidantes, le hacen un elemento muy indicado para tratamientos en los que sea preciso una desinfección rápida, eficaz y de amplio espectro (actúa sobre flora contaminante muy diversa), o bien para la eliminación, tanto del aire como del agua, de muy diferentes poluentes mejorando las características iniciales del mismo.

El ozono es un elemento que por sus características puede ser empleado en numerosas y diferentes aplicaciones y campos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, OZOGAS recomienda el empleo del ozono en diferentes campos, abarcando una amplia gama de tratamientos, tanto de agua, como ambientales.

- Tratamientos de aguas de proceso industriales.
- Desinfección de superficies, depósitos, filtros, conducciones, llenadoras. Como desinfectante en limpiezas C.I.P.
- Tratamientos de silos de almacenamiento de envases, tapones, etc.
- Tratamientos de aguas residuales.
- Desinfección ambiental y superficial de “Salas Blancas”, tipo salas de manipulación alimentaria, etc.

-Desodorización y eliminación de poluentes ambientales que pueden causar diversos tipos transtornos (Alquitranes, etileno, etc.).

-Tratamientos de salas de almacenamiento y frigoconservación de frutas y verduras, que permite una mejor conservación, y evita en muchos casos, la maduración prematura del producto.

-Pretratamiento (lavado) de materia prima muy contaminada (baños de limpieza de verdura, tomates, fruta, etc., antes de ser procesada.).

-Desinfección y desodorización ambiental de circuitos de acondicionamiento de aire y a salas y locales.

-Desinfección y desodorización de granjas de nacimiento, cría y engorde.

Los generadores de ozono destinados a la industria para satisfacer tratamientos específicos, tanto ambientales como de agua, tienen un consumo energético bajo, necesitan muy poco mantenimiento, y son simples y funcionales.

OZOGAS, ha creado una gama de generadores de ozono e instalaciones de alta calidad, especialmente destinados a los diversos sectores de la industria alimentaria.

OZOGAS ha confeccionado varios manuales técnicos de información sobre el ozono, para aplicaciones específicas a diversos sectores alimentarios, que pone a su disposición.

ANEXO TABLAS

OZONO: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Peso molecular.	48g/ml.
Temperatura de condensación.	<- 115 ° C.
Temperatura de fusión.	- 190 ° C.
Punto de ebullición.	110,5 ° C.
Densidad (líquido).	1,572 g/l.
Densidad (gas).	2,144 g/l.
Presión crítica	54,6 atm.

ÍNDICE DE LETALIDAD

DESINFECTANTE	BACTERIA	VIRUS	ESPORA
OZONO:	500	0,5	2
HIPOCLOROSO:	20	1	0,5
HIPOCLORITO:	0,2	0,02	0,0005
CLORAMINA:	0,1	0,005	0,002

POTENCIALES DE ÓXIDO-REDUCCIÓN

OXIDANTE	E (VOLTIOS)
OZONO	2,07
HOCl	1,49
Cl ₂	1,36
HOBr	1,24
ClO ₂	1,15
Br ₂	1,07

**DOSIS BIOCIDAS DEL OZONO
FRENTE A DIFERENTES GÉRMENES**

<i>E. Coli</i> 30.000.000 u.f.c./ml. T ^a = 13,5°C.		<i>Serratia Marcescens</i> 40.000.000u.f.c./ml. T ^a = 12°C.		<i>Ps. Aeruginosa</i> 12.000.000u.f.c./ml. T ^a = 11,7°C.	
ozono mg/l.	Nº gérmenes 100ml. Después de tratamiento	ozono mg/l.	Nº gérmenes 100ml. Después de tratamiento	ozono mg/l.	Nº gérmenes 100ml. Después de tratamiento
	3 min. 1 hora.		3 min. 1 hora.		3 min. 1 hora.

0,16	0	0	0,7	2	0	0,38	0	0
0,13	2	0	0,52	6	1	0,29	2	1
0,08	11	6	0,38	16	3	0,18	6	1
0,02	s/d.	s/d.	0,22	s/d.	9	0,12	138	96

COMPARACIÓN PODER DESINFECTANTE

Microorganismo	ozono			Cloro libre			Dioxido de cloro		
	mg/l Residual	Tiempo contacto	% Reducc.	mg/l Residual	Tiempo contacto	% Reducc.	Mg/l Residual	Tiempo contacto	% Reducc.
Bacterias									
<u>E. coli</u>	0,04-0,07	0,08 - 0,5	99	0,2	15	99,9	0,3 - 0,8	0,6 - 1,8	99
<u>Micobacterium fortuitum</u>	0,8-1,08	0,58	99	1	30	99,4	-	-	-
Virus									
polio-1	0,2	10 - 15	80 - 97	-	-	-	0,4-0,8	5	99,9
Rotavirus-1	0,15	4,83	99	0,4	1,1	99,9	0,5-1	0,2-0,6	99
Quistes de protozoos									
<u>Giardia muris</u>	0,1 - 0,7	2,8 - 12,9	99	2,5	30	90	0,1 - 5,5	1,3 - 1,68	99
<u>Naegleria ssp.</u>	0,5 - 2	2,1 - 7,8	99	0,5 - 1	60 - 180	99,9	0,8 - 1,9	7,8 - 79,4	99

PODER DESINFECTANTE DEL OZONO FRENTE A DISTINTOS GÉRMENES

MICROORGANISMO	OZONO		
	mg / l RESIDUAL	TIEMPO CONTACTO	% REDUCCIÓN
BACTERIAS			
<u>E. coli</u>	0,04-0,07	0,08-0,5	99
	5	10	99,89

COLIFORMES TOTALES			
ESREPT. FECALES	5 0,29-0,36	18 0,6	99 99,94
<u>S. TYPHIMURIUM</u>	0,8-1,08	0,58	99
<u>MICOBACTERIUM FORTUITUM</u>			
VIRUS			
Polio-1	0,29-0,36	0,6	99,5
Polio-2	0,15	4,833	99
Rotavirus SA 11	0,1-0,3	0,12-0,19	99
Rotavirus humano	0,4	15	99,99
QUISTES DE PROTOZOOS			
<u>Giardia muris</u>	0,15-0,7	2,8-12,9	99
<u>Giarda lamblia</u>	0,11-0,48	0,94-5	99
<u>Naegleria ssp.</u>	0,55-2	2,1-7,8	99
<u>Naegleria ssp.</u>	0,4	4	99
Acanthamoeba polyphaga	0,4	4	95
acanthamoeba ssp.	0,4	4	99

ACCIÓN DE DISTINTOS OXIDANTES
SOBRE ELEMENTOS QUE PORTA EL AGUA.

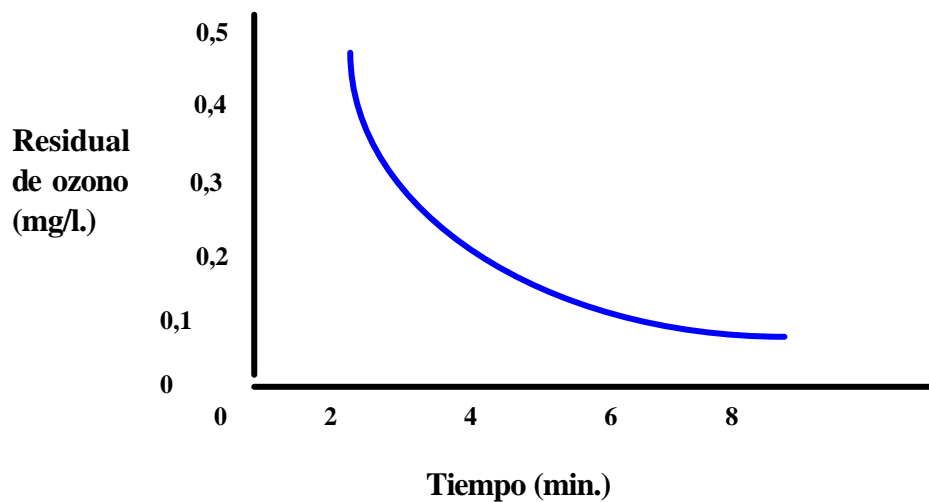
ELEMENTO CONSIDERADO	AIRE	CLORO	DIOXIDO DE CLORO	OZONO	PERMANGANATO POTASICO
• MATERIA ORGÁNICA	0	2	1	1	1
• PODER DESINFECTANTE G ^{AL}	0	2	2	3	1

+SOBRE BACTERIAS	0	3	2	3	2
+SOBRE VIRUS	0	1	1	3	1
+SOBRE MICROALGAS	0	1	1	2	1
+SOBRE QUISTES PROTOZOOS	0	1	1	2	0
• ELIMINACIÓN ESPECÍFICA DE ELEMENTOS					
+HIERRO	2	2	2	2	2
+MANGANESO	0	1	2	3	3
+PLOMO	-	-	-	3	-
+AMONIACO	0	2	0	1	0
+NITRITOS	0	2	0	1	0
• MEJORA CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS					
+ELIMINACIÓN DE COLOR	0	1	1	2	0
+ELIMINACIÓN OLOR	0	0	0	2	0
+ELIMINACIÓN SABOR	0	0	0	2	0

NÚMERO DE COLIFORMES FECALES EN 100 ML.

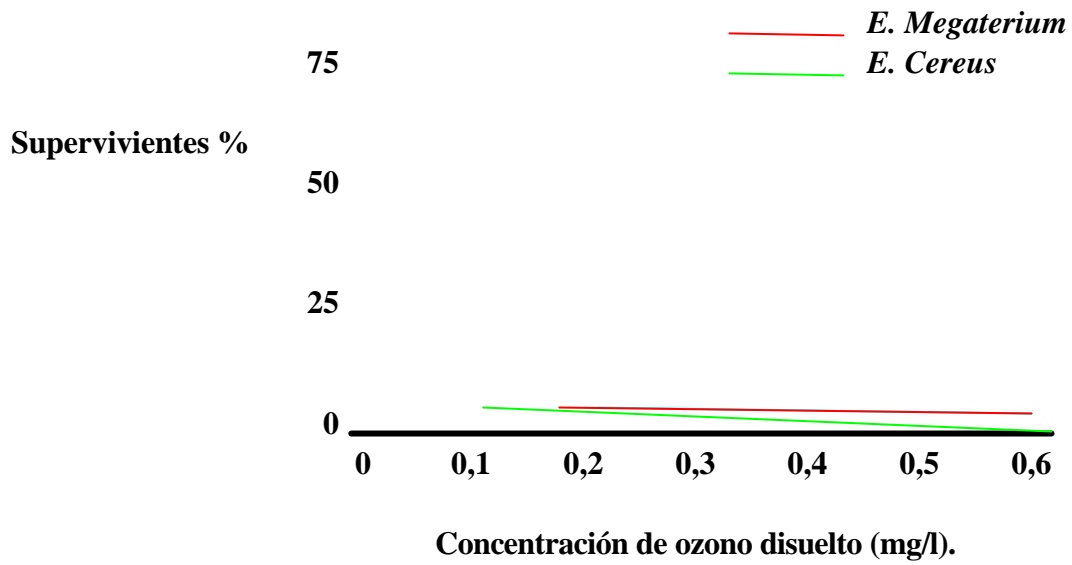
TRATAMIENTO	AGUA BRUTA	AGUA TRATADA
OZONIZACIÓN	100.000	80
RADIACIÓN U.V	100.000	800
OZONIZACIÓN +U.V	100.000	5

TIEMPO DE DESCOMPOSICIÓN DE OZONO EN AGUA

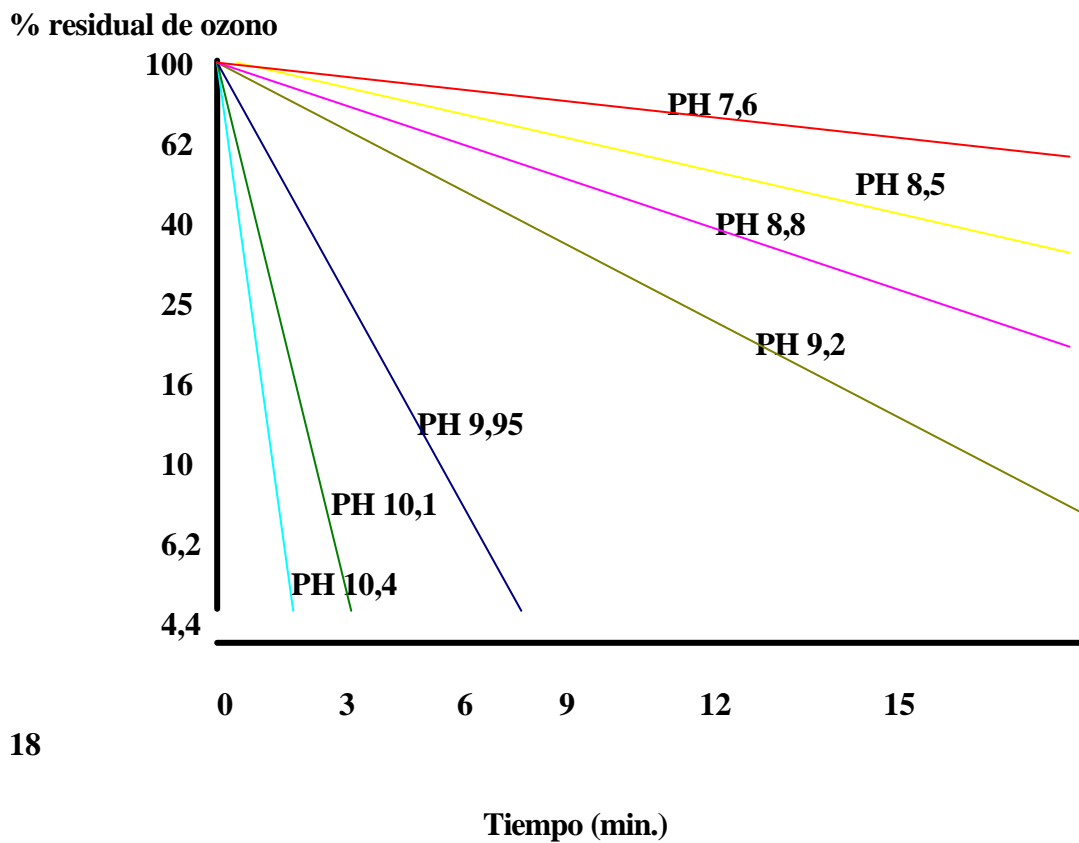


CONCENTRACIÓN DE OZONO DISUELTO





INFLUENCIA DEL PH EN LA DESCOMPOSICIÓN DEL OZONO



18

ENFERMEDADES DE TRANSMISIÓN HÍDRICA

AGENTE	Nº MUERTES	Nº DE CASOS
Gastroenteritis de etiología no determinada	251	61.478
Giardiasis	92	24.365
Toxicologías químicas	50	30.774
Shigelosis	33	5.783
Infecciones hepáticas	23	737
Gastroenteritis víricas	20	6.256
Campylobacteriosis	11	6.983
Salmonelosis	10	2.300
Tifus	5	282
Yersiniosis	2	103
Gastroenteritis por E. coli enterotoxigénica	1	1.000
Cólera	1	17
Cryptosporidiosis	1	117
Dermatitis	1	31
Amebiasis	1	4