



Las mediciones del ozono

OLIVER SHIRK

Dräger Sicherheitstechnik GmbH.

Traducido y revisado por Raquel Morón Hodge.

Dräger Hispania

SUMARIO

El autor describe someramente la composición y características del ozono, exponiendo después, de una forma sencilla, los diferentes sistemas de medición más usuales, así como sus campos de aplicación. También facilita diferentes tablas numéricas, con los valores límite ambientales y el rango de medida de los tubos colorimétricos.

Palabras clave: Higiene industrial, ozono, sistemas de medición.

El ozono es la forma triatómica del oxígeno, que se desarrolla a partir del oxígeno atmosférico mediante procesos catalíticos sujetos a la influencia de la radiación de alta energía (luz ultravioleta). Estas reacciones se aceleran considerablemente debido a la polución del aire por la presencia de gases nitrosos (NO_x). Después del flúor, el ozono es el segundo elemento químico en la lista de elementos altamente oxidantes.

Este gas, de color azul y olor característico (a bajas concentraciones tiene un olor «eléctrico» y a altas con-

centraciones recuerda al cloro), es poco soluble en agua y, por tanto, puede penetrar en las capas profundas del tejido pulmonar a través del tracto respiratorio.

En la literatura se han descrito los siguientes efectos del ozono:

EL OZONO EN LA ATMÓSFERA EXTERIOR

En la atmósfera (entre 15 y 50 kilómetros sobre la Tierra), la capa de ozono actúa como un filtro que protege la superficie de la tierra de la peligrosa radiación ultravioleta (UV) procedente del sol. La creciente degradación de la capa de ozono, debida a sustancias como los clorofluorocarbonos (CFCs), está produciendo, de hecho, un aumento de la radiación UV. En las capas cercanas a la superficie de la Tierra se forma ozono debido a la radiación UV de alta energía, especialmente en presencia de contaminantes como los gases nitrosos.

Los efectos del ozono (Tabla 1) han conducido a la especificación de valores límite o valores de referencia. En Europa, el valor de referencia para la concentración de ozono en exteriores es de 180 µg/m³. Cuando la concentración supera este valor de 180 µg/m³ se emiten comunicados a través de la radio y la televisión y se advierte a la población que corre mayor riesgo sobre cómo debe protegerse. Las concentraciones de ozono pueden variar significativamente en función del lugar y del tiempo. Al final de la tarde, por ejemplo, las concentraciones de este gas pueden ser mucho mayores en las afueras de una ciudad o en las áreas rurales que las que se detectan

El ozono es un gas de color azul y olor característico (a bajas concentraciones tiene un olor «eléctrico», y a altas concentraciones recuerda al cloro), es poco soluble en agua y, por tanto, puede penetrar en las capas profundas del tejido pulmonar a través del tracto respiratorio.

en el centro de la ciudad. Este efecto se debe a que el ozono se degrada más rápidamente en presencia de otros contaminantes; es decir, la concentración de ozono disminuye antes en las ciudades que en áreas con bajas concentraciones de otros contaminantes aéreos (NOx, partículas de polvo).

Con el fin de determinar la concentración de ozono en una región se toman los valores medios en puntos de

diferente distribución. Si a la población local le preocupa la concentración de ozono, ésta debería realizar sus propias mediciones, especialmente aquellos individuos que sufren de enfermedades respiratorias o asma, pero también los que practican algún tipo de deporte.

EL OZONO EN INTERIORES. VIVIENDAS Y OFICINAS

El ozono también puede producirse en interiores debido al efecto de la luz UV sobre el oxígeno atmosférico. Además del aire exterior que alcanza el interior de los edificios a través de la ventilación, existen otras fuentes de ozono en interiores, como pueden ser:

- Fuentes de radiación UV.
- Faxes.
- Impresoras láser.
- Fotocopiadoras.

Los modelos más modernos de estas dos últimas máquinas suelen ir equipados con filtros de ozono. Sin embargo, si estos filtros se contaminan, el propio equipo puede llegar a convertirse en un emisor de ozono. La posibilidad de realizar medidas de ozono permite saber si ha llegado el momento de cambiar dichos filtros.

EL OZONO EN EL LUGAR DE TRABAJO. SECTOR INDUSTRIAL

El ozono también puede estar presente en diferentes lugares de trabajo, como:

- Talleres de soldadura.
- Imprentas donde se utilizan arcos eléctricos para preparar el material a imprimir y donde se endurece el barniz mediante UV.
- Aquellas áreas donde el ozono se utiliza para desinfección (piscinas).

La concentración de ozono en estos lugares de trabajo se evalúa en función del Valor Límite Ambiental (VLA-ED) (Tabla 2) o concentración máxima que se permite en los lugares de trabajo.

TABLA 1. Efectos del ozono

µg/m³	Efectos
Desde:	
30	Perceptible al olfato; sin embargo, la habituación es muy rápida.
70	Irritaciones iniciales de la conjuntiva ocular.
100	Probabilidad de jaquecas.
160	En animales se reduce la capacidad de resistencia a infecciones pulmonares bacterianas.
160 a 200	Disfunción pulmonar, especialmente al hacer ejercicio.
200	Aumento de la cantidad de leucocitos, inactivación del sistema de inmunidad.
240 a 300	Mayor frecuencia de ataques de asma.
240 a 700	Reducción de la fuerza física.
400	Tos, dolor torácico. Después de 4 horas de exposición a 400 µg/m³ de ozono tienen lugar cambios hormonales y enzimáticos.
800	Reacción inflamatoria de los tejidos.
1000	Después de 6-10 horas de exposición: daños iniciales en los cromosomas humanos.

TABLA 2. Valores límites ambientales para exposición diaria (VLA-ED) recomendados en España

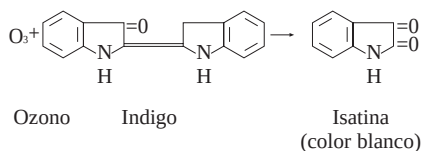
Trabajo	VLA-ED (µg/m³)
Fuerte	100
Moderado	160
Ligero	200

SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL OZONO

A continuación se describen tres sistemas de medida que permiten conocer de forma fácil la concentración de ozono:

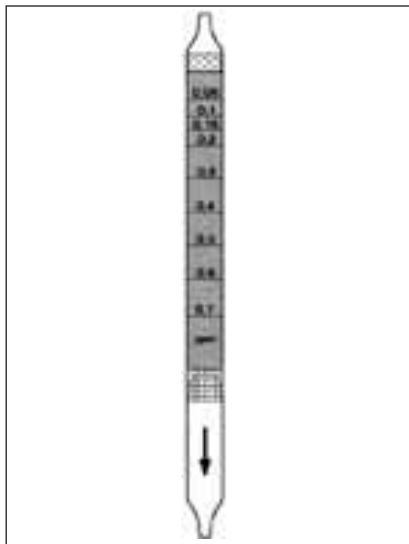
Medición del ozono mediante tubos colorimétricos

Un método que se utiliza especialmente en lugares de trabajo es la medición con tubos detectores de medida directa. En éstos, el gas a medir reacciona con una serie de reactivos que se encuentran dentro del tubo, de forma que permite la lectura de la concentración del gas. En el caso de los tubos detectores de Ozono, uno de los sistemas utilizados se basa en el índigo: un colorante natural, de color azul, que en presencia de ozono se oxida a isatina, de color blanco.



Mediante la aspiración de un volumen de aire definido a través del sistema se hace pasar la muestra de aire a analizar a través de este sistema de reactivos. En presencia de ozono, el índigo en el tubo se decolora a lo largo de una cierta longitud, de azul pálido al blanco de la isatina. La escala impresa sobre el tubo permite leer directamente la concentración de ozono en ppm (Fig. 1). Con el fin de permitir que la muestra de aire pase por

FIGURA 1. Tubo detector de ozono 0,05/b de Dräger.



el tubo se utiliza una bomba adaptada a este sistema de tubos que puede ser tanto manual como automática (Fig. 2). Con cada embolada de estas bombas se aspira una muestra de aire de un volumen determinado. El rango de medida del tubo puede extenderse aumentando el número de emboladas, de modo que se pueden

Las concentraciones de ozono pueden variar significativamente en función del lugar y del tiempo.

leer concentraciones de ozono muy bajas (Tabla 3).

Medición del ozono mediante el CMS

El sistema más reciente de medida puntual de gases (CMS) se basa, igualmente, en un sistema de reacciones colorimétricas que se combina con la electrónica para proporcionar una mejor reproducibilidad y precisión en los resultados. El sistema está compuesto de dos elementos: el chip, específico para el gas a medir, y el analizador, común para todas las medidas (Fig. 3).

Cada chip consiste en una tarjeta de plástico que contiene 10 capilares o canales de medida rellenos de una serie de reactivos químicos. Sobre el chip se encuentra impreso un código de barras con toda la información necesaria para el analizador, desde la sustancia y el rango que mide hasta parámetros relativos a la sensibilidad de los reactivos, incluyendo el caudal necesario para la medida. El chip de ozono permite medir concentraciones desde 25 a 1.000 ppb. de ozono mediante una reacción indirecta con una precapa que contiene bromo.

Al igual que en los tubos colorimétricos, en cada medida el analizador aspira mediante una bomba de mem-

FIGURA 2. Tubos detectores de ozono Dräger y bomba de aspiración manual accuro



TABLA 3. Rango de medida con el tubo detector de Dräger Ozono 0,05/b en distintas unidades

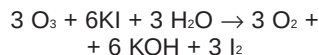
Nº de emboladas	µg/m³	ppm	ppb
5	200 ... 2800	0,1 ... 1.4	100 ... 1400
10	100 ... 700	0,05 ... 0.7	50 ... 700
100	10 ... 140	0,005 ... 0.07	5 ... 70

brana la muestra de aire a través de uno de los 10 capilares del chip, produciéndose la reacción colorimétrica en presencia de ozono. Mediante una lectura optoelectrónica de la velocidad a la que tiene lugar este cambio de color (velocidad de reacción), el analizador proporciona la medida de la concentración. Para determinar esta concentración, el analizador utiliza, además, la cantidad (masa) de aire que ha pasado por el capilar durante la medida, que mide gracias a un control de flujo másico, y la sensibilidad de los reactivos incluidos en el capilar, dato que obtiene el código de barras ya mencionado.

Medición de ozono por difusión

El ozono, también se puede medir por difusión. En este caso, el sistema de medición consiste en unas tiras de papel para mediciones individuales impregnadas de un reactivo sensible al

ozono, que cambia de color en su presencia. Esta reacción colorimétrica se basa en la oxidación del yoduro de potasio, que pasa a hidróxido potásico, y en la producción de yodo de color amarillo-marrón en presencia de ozono.



Las tiras de papel impregnadas se insertan en un soporte y se colocan en el área a medir. Tras la exposición correspondiente (diez minutos para las medidas en exteriores y veinte minutos para interiores), se puede leer la concentración de ozono comparando el color adquirido por la tira con el código de colores impreso en el soporte. De este modo es posible determinar si se ha sobrepasado el valor límite permitido de ozono, tanto en exteriores como en interiores.

Este sistema de medición del ozono tiene las siguientes ventajas frente a otros sistemas de medida:

La concentración de ozono en los lugares de trabajo se evalúa en función del valor límite ambiental (VLA-ED) o concentración máxima que se permite en los lugares de trabajo.

- Se trata de un sistema de medición por difusión por lo que no necesita una bomba.
- Es fácil de manipular y analizar, y cualquiera puede usarlo.
- El tiempo de medición es corto (diez minutos en exteriores), permitiendo realizar mediciones de ozono antes de realizar actividades como el deporte.
- Tiene un coste bajo.

En las Tablas 4 y 5 se recoge la evaluación de todos los resultados posibles, dependiendo de la decoloración de la tira y considerando la desviación estándar en el caso del sistema Bio-Check Ozono (Fig. 4).

FIGURA 3. CMS: Sistema de medición de ozono mediante chips de Dräger.



FIGURA 4. Bio-Check ozono de Dräger.



CAMPOS DE APLICACIÓN

Considerando los efectos del ozono descritos anteriormente, las mediciones de ozono son útiles en varios campos. Algunos ejemplos típicos de las aplicaciones de las mediciones de ozono mediante los tubos detectores, el chip de ozono o las medidas por difusión son:



Las mediciones de ozono en el exterior resultan especialmente importantes para aquellas personas que sufren enfermedades en el aparato respiratorio.

TABLA 4. Evaluación de la lectura del Bio-Check Ozono en exteriores (10 minutos de exposición)

Código de color	Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Límite europeo $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	U.S. $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$
A	30-90	Muy inferior a la Directiva europea	Muy inferior al estándar
B	90-150	Inferior a la Directiva europea	Inferior al estándar
C	150-210	Dentro de la Directiva europea	Inferior al estándar
D	210 o más	Superior a la Directiva europea	Dentro de o superior al estándar

TABLA 5. Evaluación de la lectura del Bio-Check Ozono en interiores (20 minutos de exposición)

Código de color	Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Límite ASHRAE* $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Límite en el lugar de trabajo PEL-TWA** y VLA-ED $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$
A	30-90	Muy inferior a la Directiva europea	Muy inferior al límite
B	90-150	Inferior a la Directiva europea	Inferior
C	150-210	Dentro de la Directiva europea	Dentro del límite
D	210 o más	Superior a la Directiva europea	Superior al límite

* ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning.

** PEL-TWA: Límite de exposición permisible del Occupational Safety and Health Administration (Medida ponderada en el tiempo).

– Medición de ozono en distintos lugares de trabajo para monitorizar el Valor Límite Ambiental (VLA).

– Medición de la concentración de ozono en instrumentos equipados con filtros para ozono, con el fin de monitorizar la eficiencia de filtrado (y cambiar los filtros si es necesario).

– Medición de las concentraciones de ozono en exteriores para determinar la situación local. Esto resulta especialmente importante para aquellos grupos de personas que sufren enfermedades del tracto respiratorio (por ejemplo, asmáticos) o gente muy sensible.

– Mediciones de ozono previas a la realización de un ejercicio físico fuerte (eventos deportivos).

BIBLIOGRAFÍA

JÜRGEN FALBE (1991): *Römpf Chemie-Lexikon*, 9ª edición, 4º vol.

ERNST DAHLKE (1994): *Der Ozon-Ratgeber (The Ozone Guide)*, Südwest. DAR/BUND. Summer, Sund and... Ozone 05.93

VDI 4300. Parte 1ª, borrador: *Medida de la contaminación en interiores/Aspectos generales de la estrategia de las mediciones*.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1991): *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*.