

Control de registro			
Rev.	Fecha	Autor	Descripción
#1	14/05/2020	José Miguel Peña	Descripción de tecnologías

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
José Miguel Peña Calidad de Producto 14/05/2020		

Tabla de contenido

Introducción	2
Ozono	2
Radiación ultravioleta	3
Oxidación fotocatalítica	5
Ionización.....	5
Filtración electrostática.....	6
Conclusiones	6
Bibliografía.....	7

Introducción

Actualmente, en los países industrializados el 90% del tiempo discurre en espacios interiores [1]. Esta tendencia en los hábitos de vida ha implicado cambios significativos tanto en el consumo que se produce en los edificios, como en las exigencias de confort y calidad del aire requeridos en ellos.

La situación actual relacionada con el COVID-19 ha supuesto nuevas inquietudes para los usuarios, muchas relacionadas con la purificación e higienización del aire. El virus se transmite tanto directamente por aerosol rico en partículas virales (respiración, tos), como indirectamente (a través de superficies contaminadas).

Ante esta situación, se plantea analizar la viabilidad de incorporar funcionalidades de purificación e higienización en el sistema Airzone.

El primer paso será habilitar el relé ON/OFF de la central, para permitir su activación desde la app de Airzone Cloud.

Como este relé podrá activar/desactivar equipos que utilicen diferentes equipos. Este documento servirá de base para conocer las distintas tecnologías existentes en el mercado con las que se podría realizar un tratamiento de purificación del aire.

Ozono

El ozono (O_3) es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los dos átomos que componen normalmente el gas de oxígeno.

La generación de ozono se consigue al pasar un flujo 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.

El ozono es un potente oxidante que reacciona con proteínas y lípidos, particularmente con membranas biológicas. Su uso como agente desinfectante requiere de ciertas concentraciones. A pesar de la falta de investigaciones realizadas con CoV-2, se puede estimar esta concentración del orden de 2 mg/m^3 (o 1ppm) para que sea efectivo.

Sin embargo, la OMS ha establecido los peligros asociados al uso del ozono en presencia de personas y en particular establece los límites de exposición humana que no permiten su utilización eficaz como biocida en presencia de personas.

De acuerdo con las recomendaciones de la OMS sobre la calidad del aire [2], el límite para la concentración de ozono es de $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ durante 8 horas de promedio. Esto es equivalente a 0.051 ppm durante el mismo intervalo [3]. En caso de que la concentración de ozono se mantuviese por encima de este límite de forma crónica, se podrían producir efectos adversos en la salud de los individuos expuestos.

Otro factor a tener en presente es que el ozono no se encuentra recogido en la [lista](#) de virucidas autorizados por el Ministerio de Sanidad en España.

Si el tratamiento se realiza sin ocupación, es necesario eliminar el ozono una vez usado en el proceso de desinfección ya que tal como se ha indicado, incluso bajos niveles de concentración pueden presentar un peligro para la salud. Existen distintas técnicas de

eliminación de ozono como son la absorción de carbono, la descomposición térmica o la destrucción catalítica.

El tiempo de vida (tiempo que tarda una cantidad inicial de ozono en reducirse a la mitad) depende de tres factores: humedad relativa, temperatura y flujo de aire [4].

De forma aproximada y sin poder garantizar la precisión de la estimación, podríamos considerar un tiempo de vida aproximado de unas 8 horas para una vivienda de unos 100 m². Disponiendo esta vivienda de un sistema capaz de impulsar 2000 m³/h. Con unas condiciones ambientales de 23 °C en temperatura y 50 % en una humedad relativa. Y con una concentración inicial de 0,05 ppm.

Los generadores de ozono del tipo A (vertido directo) y B (vertido indirecto acoplado a conductos) según la norma UNE 400201:1994 [5], son los únicos que se pueden emplear en presencia de ocupantes.

Estos generadores deben incluir un mecanismo de control automático de producción, que garantice que no se supera el nivel máximo de inmisión (concentración del contaminante a nivel del suelo) no supere los 100 µg/m³ (0,05 ppm). Además, las concentraciones de oxidantes totales en la zona tratada no pueden superar los 200 µg/m³. También será preciso que incorporen un indicador luminoso, en un lugar visible.

Además según esta norma también es conveniente colocar el generador a una altura no inferior a 220 cm (en algunos casos particulares se admite una altura de 150 cm, pero nunca a ras de suelo) y su instalación debe llevarse a cabo por un técnico especialista.

Los equipos generadores de ozono necesita un mantenimiento preventivo que consiste, básicamente, en la limpieza del módulo productor de ozono. Es necesario realizar una limpieza cada 6 meses aproximadamente para alargar la vida útil del generador de ozono.

Esta norma, también hace referencia a que el funcionamiento conjunto entre los generadores de ozono y los equipos de aire acondicionado debe hacerse siempre con el "impulsor" (ventilador de la unidad) funcionando. Nunca se debe generar ozono con el impulsor apagado o funcionando defectuosamente. Para evitar concentraciones peligrosas se debe disponer de un sistema de medición adecuado.

Teniendo en cuenta estos aspectos parece inviable la aplicación de ozono como tratamiento de higienización en presencia de personas.

Radiación ultravioleta

Se trata de una radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 100 nm (100×10^{-9} m) y los 400 nm (400×10^{-9} m). Así mismo, el espectro UV se subdivide en los siguientes segmentos:

- UV-A (onda larga entre 400 y 315 nm).
- UV-B (onda media entre 315 y 280 nm).
- UV-C (onda corta entre 200 y 280 nm).
- UV (vacío entre 200 y 100 nm).

La luz ultravioleta se puede generar de forma artificial mediante la utilización de un emisor (denominado lámpara) de cuarzo puro, que contiene un gas inerte (vapor de mercurio). Al inducir una corriente eléctrica en los polos de la lámpara, se provoca un arco voltaico y se

ioniza el gas, es decir, los átomos del gas reciben una carga eléctrica, lo cual incrementa su energía. Adicionalmente, el calor producido por el emisor se incrementa junto con la presión interna del gas, lo que aumenta la excitación de electrones haciendo que se desplacen a través de las diferentes líneas de longitud de onda, hasta el punto de convertirlos en fotones de luz UV.

Controlando la descarga eléctrica y la presión dentro del emisor es posible producir diferentes clases o tipos de luz UV antes descritos.

La luz ultravioleta tiene propiedades germicidas. Los microorganismos se desactivan por medio de la luz UV como resultado del daño a los ácidos nucleicos. El ADN y el ARN celular absorben la energía alta asociada a la radiación electromagnética. Una exposición a 24,1 mJ/cm² tienen una eficiencia del 90 %. Para alcanzar el 99 % la exposición debe alcanzar los 50 mJ/cm².

La tecnología germicida ultravioleta UVGI (Ultraviolet Germicidal Irradiation) no utiliza productos químicos para la desinfección. Sin embargo, su uso en entornos públicos es limitado porque la exposición a UV puede ser perjudicial para la salud. Se debe evitar la exposición prolongada con la piel y especialmente evitar el contacto continuado en los ojos sin protección, pues de lo contrario podría derivar en efectos cancerígenos y cataractogénicos.

La Directiva 2006/25/CE [6] establece los máximos de exposición para personas e indica que los valores límite (a 254 nm) son 2,8 mJ/cm² de dosis diaria (en 8 horas) y que en ningún caso deben ser superados. Dado que las dosis necesarias para la inactivación de los virus deberían ser muy superiores resulta imposible la aplicación de los radiadores UV-C para la esterilización de superficies o aire por radiación directa en presencia de personas.

No obstante, en una reciente publicación científica [7] se muestran evidencias de que la luz UV-C inactiva eficazmente las bacterias sin dañar la piel de los mamíferos expuestos. Esto se debe a que, debido a su fuerte absorción en los materiales biológicos, la luz UV-C no puede penetrar ni siquiera en las capas externas (no vivas) de la piel o el ojo humano. Pero sí es efectivo con bacterias y virus cuyas dimensiones son del micrómetro.

Por tanto, hay opiniones dispares sobre su uso.

Otro aspecto negativo es que esta técnica produce una cierta cantidad de ozono cuando se opera en longitudes de onda inferiores a los 200 nm. Luego el uso de UV-C evitaría este riesgo.

La eficacia del tratamiento mediante UV-C está directamente relacionada con la intensidad y el tiempo de exposición. Además, las condiciones ambientales también afectan.

- Humedad relativa: el aumento de la humedad relativa tiende a disminuir la tasa de descomposición bajo la exposición a los rayos UV [8]. Sin embargo, humedades relativas superiores al 40 % reducen la supervivencia de muchos virus [9].
- Temperatura: la temperatura del aire tiene un impacto insignificante en la susceptibilidad microbiana a los rayos UV. Sin embargo, puede tener un gran incidencia en la potencia de las lámparas de UVGI si supera los valores de diseño.
- Velocidad del aire circundante: operar un sistema UVGI a velocidades de aire superiores a las de diseño reducirá la producción de UV debido al efecto de enfriamiento convectivo en la lámpara.

- Sombras: las superficies en estas áreas de sombra no reciben una desinfección adecuada ya que la luz UV no tiene la capacidad de reflejarse bien en las superficies.
- Distancia: la distancia también juega un factor en la eficacia de la luz UV. La fuerza de la luz UV-C disminuye cuanto más se aleja de la fuente de luz, siguiendo la ley del cuadrado inverso. Esto significa que a dos veces la distancia, el UV-C tendrá $\frac{1}{4}$ de su potencia que estaba presente en el punto de referencia original.

Teniendo en cuenta estos aspectos parece que la aplicación de lámparas UV-C sería factible en el interior de conductos estancos.

La vida útil de las lámparas oscila entre el año y los dos años. Sin embargo, las labores de limpieza de la lámpara deberían tener una frecuencia mucho mayor.

Si la lámpara se orienta hacia el intercambiador de calor del equipo, habrá que tener en cuenta si se hace en la impulsión del mismo o en el retorno. En el primer caso se debe analizar el efecto de la humedad relativa. En el segundo caso el efecto de las sombras.

Del mismo modo, es preciso realizar un análisis más profundo para determinar si las velocidades de paso del aire en los conductos permitirían un tiempo de exposición adecuado.

Oxidación fotocatalítica

Es un proceso en el que las superficies recubiertas con dióxido de titanio (TiO_2) se convierten químicamente reactivas a los compuestos orgánicos cuando se exponen a la luz ultravioleta.

Al irradiar una capa de TiO_2 , se liberan electrones durante un breve período de tiempo durante el que pueden participar en reacciones químicas localizadas que pueden producir radicales de hidroxilo y otros iones. Los radicales hidroxilos son altamente reactivos, y que oxidarán los compuestos orgánicos volátiles, además de a muchos contaminantes químicos.

Existen evidencias de que este tratamiento puede inactivar tanto virus como bacterias, en [10] se presentan los resultados sobre el virus de la gripe aviar H1N1.

Las restricciones de uso son muy similares a las presentadas en el apartado anterior sobre la utilización de la luz ultravioleta.

Ionización

La ionización es un proceso que ocurre cuando los electrones se eliminan o se añaden a los átomos, provocando un desequilibrio de la carga. Este proceso se puede llevar a cabo a través de diferentes mecanismos:

- Ionización química puede desarrollarse de diversas maneras. Una de ellas es el traspaso de electrones, como en el caso del cloruro de sodio (el cloro experimenta una reacción con el sodio).
- Ionización física, en cambio, consiste en aislar los electrones que forman parte de la molécula neutra a través del suministro de energía. El aporte de energía puede realizarse a partir de la irradiación ionizante (con rayos X o luz ultravioleta), el calentamiento a altas temperaturas o la aplicación de una descarga eléctrica.

Por un lado, la ionización negativa del aire tiene el potencial de reducir la concentración de microorganismos. El efecto es resultado de la ionización de bioaerosoles y partículas de polvo que pueden transportar microorganismos, haciendo que se asienten más rápidamente. El asentamiento tiende a ocurrir en superficies horizontales, especialmente en superficies metálicas, y generalmente en el área cerca de la unidad de ionización. La ionización puede mejorar la aglomeración, creando partículas más grandes a partir de partículas más pequeñas, aumentando así la tasa de asentamiento. Hay que prestar especial atención a la forma de retirar las partículas depositadas para evitar volver a ponerlas en suspensión. La ionización también puede causar atracción entre las partículas ionizadas y superficies conectadas a tierra. Algunos estudios [11] y [12] indican que los iones pueden eliminar las bacterias, así como precipitarlas desde el aire.

Por otro lado, el exceso de iones positivos, son perjudiciales para plantas, animales y humanos, causando dolor de cabeza, cansancio o incluso asma. La carga positiva del ambiente se denomina "carga estática", y se ve reflejada cuando ocurre una descarga eléctrica al tocar algún metal.

Filtración electrostática

El principio de operación en el que se basan estos filtros es en la aplicación de una alta diferencia de potencial entre los electrodos de descarga y colectores, para crear un campo eléctrico fuerte que alcanza la intensidad máxima cerca de los electrodos de descarga.

El aire alrededor de la superficie de los electrodos de descarga, que contiene las partículas de contaminación, es así ionizado.

El efecto resultante se llama descarga de corona, ya que los iones tienden a moverse desde la corona o anillo alrededor de los electrodos de descarga hacia los electrodos colectores.

Durante este movimiento, los iones generados chocan con las partículas de contaminación suspendidas en el aire, las cuales se cargan positivamente (cada partícula puede ser cargada por muchos iones diferentes, alcanzando cargas eléctricas muy elevadas). Las partículas cargadas positivamente son entonces empujadas hacia los electrodos colectores, donde son capturadas.

Los filtros electrostáticos nunca deben instalarse cerca de sistemas de humidificación y deshumidificación y el aire entrante nunca debe estar saturado.

Este tipo de filtros son capaces de captar contaminantes de entre 0.01 y 50 micrones en volumen. Sin embargo, las clases definidas en [13] no pueden usarse para determinar la eficiencia de filtración de filtros electrostáticos. La razón principal es que el principio de filtración es diferente. La caída de presión adicional cuando los filtros se cargan es mucho menor y no aumenta la eficiencia, como por otro lado ocurre con los filtros mecánicos.

Cuanto más pequeña sea la partícula y más influenciada por la carga eléctrica aplicada por un filtro electrostático, más fácil será de capturar. Por esta razón, siempre se recomiendan pre-filtros (G1 - G4 para polvo grueso) para el aire que entra en el filtro electrostático.

Conclusiones

Existen distintas tecnologías que permiten la higienización/purificación del aire, pero cada una de ellas presenta ciertas ventajas e inconvenientes.

A continuación, presentaremos una tabla comparativa con las principales características.

	Ozono	Ultravioleta	Oxidación fotocatalítica	Ionización	Filtración electrostática
Tratamiento con ocupación	No < 100 µg/m ³ (0,05 ppm) con exposición promedio de 8 horas	Si < 2,8 mJ/cm ²	Si Evitando exposición directa	Si Ionización negativa	Si
Biocida	Si Concentración > 2 mg/m ³ (1 ppm) Oxidante que reacciona con proteínas y lípidos	Si λ = 253.7 nm Altera ADN e impide la reproducción Dosis = 50 mJ/cm ² (ε= 99 %)	Si Oxidante de compuestos orgánicos volátiles y altera ADN	No Aumenta la tasa de asentamiento	No Aumenta la captación
Restricciones de montaje	H > 2,20 m	Evitar exposición directa	Evitar exposición directa	Puede generar ozono	Evitar proximidades a sistemas de humidificación
Caudal de aire tratado en aplicación de HVAC	Si	Si	Si	Si	Si Pero con pérdidas muy superiores al ESP de los equipos
Seguridad	Control limitador Señal luminosa	No	No	-	No
Consumo	65 W (5000 mg/h)	110 W (Rendimiento UV 42W)	-	-	-
Funcionamiento continuo	No Solo cuando funcione el ventilador	Si, alarga la vida de la lámpara.	Si	No Solo cuando funcione el ventilador	Si
Mantenimiento	Limpieza (6 meses)	Limpieza / Cambio lámparas (1 año)	Limpieza / Cambio lámparas (1 año)	-	Limpieza

Existen otras tecnologías como la luz pulsada y los ultrasonidos que también serían interesantes de analizar.

Bibliografía

- [1] Adgate, J.L. Eberly, L.E. Stroebel, C. Pellizzari, E.D. and Sexton, K. (2004).: “Personal, Indoor, and Outdoor VOC Exposures in a Probability Sample of Children” Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. Vol 14, S4–S13.
- [2] WHO, “Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide”, Global Update (2005).
- [3] CSHR, Environmental Science and Technology Briefs for Citizens, “Understanding Units of Measurement”, October 2006.
- [4] Janie D. McClurkin, Dirk E. Maier, y Klein E. Illeleji, *Half-life of ozone as a function of air movement and conditions in a sealed container*. Journal of Stored Products Research, Vol 55, pp.41-47, October 2013. DOI: 10.5073/jka.2010.425.167.326.
- [5] UNE 400201:1994 – *Generadores de ozono. Tratamiento de aire. Seguridad química*.

- [6] Directiva 2006/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales).
- [7] Welch, D. Brenner, D.J et al. *Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases*. Scientific Reports volume 8, Article number: 2752 (2018).
- [8] R. L. Riley and J. E. Kaufman. Effect of Relative Humidity on the Inactivation of Airborne *Serratia marcescens* by Ultraviolet Radiation. *Applied Microbiology* 1972 Jun; 23(6): 1113–1120.
- [9] Leslie Dietz, Patrick F. Horve, David A. Coil, Mark Fretz, Jonathan A. Eisen, Kevin Van Den Wymelenberga, Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission. American Society for Microbiology. *Applied and Environmental Science* – May 2020.
- [10] K Takehara, K Yamazaki, M Miyazaki, Y Yamada, S Ruenphet, A Jahangir, D Shoham, M Okamura, M Nakamura. Inactivation of avian influenza virus H1N1 by photocatalyst under visible light *irradiation*. *Virus Res.*, 151, 102-103 (2010).
- [11] Philip M. Tierno. Explanation of Coronavirus and application of bipolar ionization to disinfect air and surfaces.
- [12] Seo, K. H., Mitchell, B. W., Holt, P. S., and Gast, R. K. (2001). “Bactericidal effects of negative air ions on airborne and surface *Salmonella enteritidis* from an artificially generated aerosol.” *J Food Prot* 64(1):113–116.
- [13] EN ISO 16890-1:2016. Filtros de aire utilizados en ventilación general. Parte 1: Especificaciones técnicas, requisitos y clasificación según eficiencia basado en la materia particulada (PM)