

Registro		
Revisión	Fecha	Descripción
Rev. 01	7 diciembre, 2020	Desempeño solución purificación Airzone

Elaborado por	Aprobado por
José Miguel Peña Suárez Director de Calidad de Producto y Energía	Antonio Mediato Director Ejecutivo

Índice

Introducción	2
Calidad de aire interior y partículas PM _{2.5}	2
Tecnología de ionización.....	3
Test de laboratorio.....	5
Eliminación de partículas PM _{2.5}	5
Efecto desodorizante sobre VOCs.....	6
Efecto antibacteriano.....	7
Efecto antivírico.....	8
Dimensionado (UL 2998)	9
Conclusiones	10
Bibliografía.....	11

Introducción

En Airzone existe un compromiso férreo por garantizar el bienestar de las personas y proteger el medioambiente. Por ello, todas las soluciones de control diseñadas por la compañía tienen como objetivo alcanzar un alto confort y una elevada eficiencia energética.

Es indiscutible la tendencia creciente de las personas a permanecer durante muchas horas en espacios interiores. En las áreas urbanas el 90 % del tiempo transcurre en lugares cerrados [1]. Esta tendencia en los hábitos de vida implica cambios significativos tanto en el consumo que se produce en los edificios, como en las exigencias de confort y calidad del aire interior requeridos en los mismos.

Por este motivo, Airzone ha desarrollado una solución que aúna el control higrotérmico y la purificación del aire suministrado a los espacios ocupados.

Las premisas iniciales en el desarrollo de esta solución han sido las siguientes:

- El tratamiento de purificación se puede llevar a cabo en presencia de personas.
- El sistema de control y purificación se integra en la red de distribución de aire aprovechando las características de los ventiladores existentes en las mismas.

Gracias a la tecnología empleada por Airzone es posible controlar de forma remota los principales parámetros de funcionamiento (encendido y apagado, modo de operación, velocidad del ventilador y temperatura de consigna) de las unidades de climatización y además reducir el tiempo en suspensión de partículas finas en el aire.

La solución de purificación para mejorar la calidad de aire desarrollada por el área de ingeniería de Airzone presenta un diseño compacto. De este modo puede ser colocada en el interior de la red de distribución de aire, bien sea en la difusión (AirQ), en las motorizaciones (AirQ motorizada) o en la impulsión de las unidades de climatización (Easyzone).

Diferentes estudios realizados en los laboratorios de Airzone han demostrado empíricamente que el uso de este dispositivo supone una reducción del 47 % en la concentración máxima de una fuente puntual de material particulado de 2,5 μm o $\text{PM}_{2.5}$ (del inglés Particulate Matter) y reduce hasta el 55 % el tiempo en suspensión de dichas partículas en el aire.

El dispositivo desarrollado por Airzone también ha sido sometido a ensayos en laboratorios externos y se ha verificado el efecto positivo para combatir las alergias producidas por los ácaros del polvo, el pelo de mascotas, el humo del tabaco y el polen. Del mismo modo, se ha constatado la efectividad sobre la eliminación de compuestos orgánicos volátiles o VOC (del inglés Volatile Organic Compound), bacterias y virus.

Estas evidencias permiten afirmar que la solución diseñada por Airzone aumenta la calidad del aire interior y aumenta el ahorro energético al reducir la tasa de aire exterior necesaria para diluir los contaminantes.

Este informe recoge la información de desempeño de la solución de purificación desarrollada por Airzone.

Calidad de aire interior y partículas $\text{PM}_{2.5}$

La calidad del aire interior, entre otros aspectos, está estrechamente ligada a la ausencia de partículas en suspensión.

Se denomina material particulado a una mezcla heterogénea y compleja de partículas líquidas y/o sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire.

El material particulado forma parte de la contaminación del aire y representa un riesgo para la salud de las personas. Tal es así, que las partículas son consideradas como un contaminante del aire, junto al SO₂ (dióxido de azufre), el NO_x (óxidos de nitrógeno), el CO (monóxido de carbono), el Pb (plomo), el C₆H₆ (benceno) y el O₃ (ozono), por la Directiva 2008/50/CE [2].

La composición del material particulado es muy variada, pudiéndose encontrar entre sus principales componentes, sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales, cenizas metálicas, polen, ácaros del polvo, humo de tabaco, etc.

El material particulado se cataloga en función de su tamaño:

- Partículas gruesas: 10 µm > diámetro aerodinámico equivalente > 2,5 µm.
- Partículas finas: diámetro aerodinámico equivalente < 2,5 µm.

La exposición crónica prolongada a material particulado aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares [3], respiratorias (asma [4], trastornos del pulmón [5] o alergias [6]) y el cáncer de pulmón [7].

Las partículas PM_{2.5} debido a su tamaño suponen un mayor riesgo para la salud que las partículas PM₁₀, por tres motivos.

- 1) Pueden desplazarse profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso llegando a alcanzar el torrente sanguíneo. Por lo que podrían dañar cualquier órgano del cuerpo humano.
- 2) Están compuestas por elementos más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos) que los que componen, en general, las partículas más grandes.
- 3) Son más ligeras y permanecen por más tiempo en suspensión en el aire. Ello no sólo prolonga sus efectos negativos, sino que facilita su transporte en el aire.

Por estas razones, la OMS establece para las partículas PM_{2.5} el umbral de exposición de 10 µg/m³ (media anual) y 25 µg/m³ (media 24 horas). Mientras que para las partículas PM₁₀ el umbral de exposición es de 20 µg/m³ (media anual) y 50 µg/m³ (media 24 horas) [8].

Tecnología de ionización

Airzone ha implementado la tecnología de ionización negativa como técnica para eliminar partículas del aire.

La ionización del aire es un proceso que ocurre cuando los electrones se eliminan o se añaden a los átomos, provocando un desequilibrio de la carga. Las configuraciones eléctricas de los iones del aire así formados incluyen H⁺, H₃O⁺, O⁺, N⁺, OH⁻, H₂O⁻ y O₂⁻.

Tales moléculas ionizadas actúan como núcleos de condensación para partículas pequeñas que, al aglutinarse, crecen y aumentan su masa. De este modo, precipitan con mayor facilidad y se captan con filtros más gruesos.

La ionización del aire permite reducir el tiempo en suspensión de las partículas reduciendo las partículas inhaladas hasta un 46 % [9], [10] y [11]. Con esta técnica se pueden alcanzar tasas de eliminación de partículas un 20 % superiores a la logradas mediante filtración de alta eficiencia [12] y [13].

Existen además evidencias científicas sobre los beneficios de la ionización para prevenir el efecto de alergias debidas a ácaros del polvo, pelo de mascotas, humo de tabaco o polen [14], [15], [16] y [17].

Las moléculas ionizadas del aire también son capaces de actuar sobre los compuestos orgánicos volátiles [18] y [19], eliminar bacterias (*Serratia marcescens* [20] y [21], *E. coli* [22] y [23], *Candida albicans* [24] y [23], *Staphylococcus aureus* [25] o *P. fluorescens* [26]) e inhibir virus (NDV [27] e Influenza [28]). Las moléculas ionizadas deterioran la membrana exterior de los virus y exponen su ARN a la oxidación.

La diseminación de iones se consigue por repulsión electrostática. La migración de iones dependerá de la alineación del campo magnético generado entre el punto de emisión y los objetos que lo rodean. La concentración de los iones que rodean a los generadores no es homogénea y disminuye significativamente con la distancia. Por ello, su instalación con ventiladores aumentará la zona de dispersión iónica.

El proceso de ionización del aire se puede realizar artificialmente a través diferentes mecanismos. En los últimos años las técnicas de ionización del aire han experimentado un progreso exponencial, evolucionando desde las lámparas de ionización hasta la tecnología de punta de aguja utilizada por Airzone. Ello ha permitido reducir drásticamente el tamaño de los equipos y minimizar los costes de mantenimiento y reposición.

La actual situación mundial ha popularizado la implementación de diferentes tecnologías de purificación de aire. Sin embargo, no todas ellas son adecuadas para acoplarlas con las unidades de climatización convencionalmente usadas en el sector residencial y terciario acopladas. Para comprender mejor las razones por la que Airzone ha optado por la tecnología de ionización, a continuación, se muestra en la Tabla 1 una comparativa de las características de las principales tecnologías existentes en el mercado.

	Ionización negativa	Ozono	Ultravioleta	Oxidación fotocatalítica	Filtración alta eficiencia
Tratamiento con ocupación	SI	SI Concentración < 100 µg/m ³ [8]	SI Dosis < 2,8 mJ/cm ² [31]	SI	SI
Biocida	NO No reconocido oficialmente	NO No reconocido oficialmente [29] Concentración > 2 mg/m ³ Oxidante que reacciona con proteínas y lípidos, pero incompatible con ocupación	SI λ = 253.7 nm Dosis = 50 mJ/cm ² (ε= 99 %) Altera ADN e impide la reproducción	SI Oxidante de compuestos orgánicos volátiles y altera ADN	NO
Restricción de montaje y seguridad	Niveles muy bajos de generación de ozono	H > 2,20 m, control limitador y señal luminosa [30]	Evitar exposición directa	Evitar exposición directa	Retirada de filtros protección
Compatible con unidades de climatización	SI	NO Altamente reactivo y corrosivo con metales.	SI Evitando exposición directa sobre polímeros por la degradación foto-oxidativa [32]	SI Evitando exposición directa sobre polímeros por la degradación foto-oxidativa [32]	NO Pérdida de carga elevada
Coste	Bajo	Medio	Medio	Alto	Bajo
Mantenimiento	Reemplazo ionizador (8 años)	Reemplazo ozonizador (4 años)	Reemplazo lámpara (2 años)	Reemplazo lámpara (2 años)	Limpieza filtros (4 meses)

Tabla 1. Comparación de tecnología de purificación de aire en el mercado.

Test de laboratorio

La tecnología desarrollada por Airzone ha sido sometida a diferentes pruebas de desempeño. A continuación, se describen los test realizados y se muestran los resultados obtenidos en dichos ensayos.

Eliminación de partículas PM_{2.5}

Airzone cuenta con un laboratorio que dispone de una sala que emula las condiciones reales de una vivienda u oficina.

La sala de pruebas tiene volumen de 70 m³, con un suelo de gres y un techo y paredes de escayola. Las dimensiones de esta sala son: largo de 7,15 m, ancho de 3,80 m y alto de 2,55 m.

En esta sala de pruebas se ha ensayado la unidad de 3,5 kW térmicos.

La red de distribución de aire está formada por los siguientes elementos:

- Plénium de impulsión Easyzone.
- 10 metros de conducto flexible circular aislado con 3 codos.
- Plénium de rejilla.
- Rejilla difusión 300 x 150 mm.

La concentración de partículas PM_{2.5} se genera de forma artificial a través de la combustión de 4 varillas de incienso.

En la primera prueba el sistema de purificación está desactivado. En la segunda prueba se activa el sistema de purificación. En ambos casos se monitoriza la evolución temporal de la concentración de partículas PM_{2.5} mediante una red de sensores (Honeywell HMP y Panasonic SN-GCJA5) colocados tanto en sala como en la impulsión y el retorno de la red de distribución de aire.

La unidad de climatización se ha ensayado siempre seleccionando la etapa de velocidad baja. De este modo, el caudal impulsado a la sala es de 360 m³/h (lo que supone 5 renovaciones/hora) con una velocidad de impulsión en rejilla aproximada de 2,5 m/s.

La Figura 1 muestra la evolución temporal de la concentración medida en el plénium de retorno. Las cuatro varillas se consumen aproximadamente en un intervalo de una hora. En ese periodo de tiempo se aprecia como la concentración de partículas asciende. El pico máximo con el sistema de purificación desactivado (línea naranja) es de 512 µg/m³, mientras que con el sistema de purificación activado (línea verde) tan solo alcanza el valor de 273 µg/m³. Lo que supone una reducción del 47 % en la concentración puntual máxima durante el ensayo.

Una vez consumidas las varillas la concentración de partículas empieza a disminuir. Sin embargo, cuando el sistema de purificación está desactivado (línea naranja) se requiere un tiempo total de 11 horas y 45 minutos para eliminar todas las partículas. Mientras que con el sistema de purificación activo (línea verde) tan solo se necesitan 5 horas y 20 minutos. Lo que significa que el tiempo en suspensión de las partículas PM_{2.5} en el aire se ha reducido un 55 % al emplear el dispositivo Airzone.

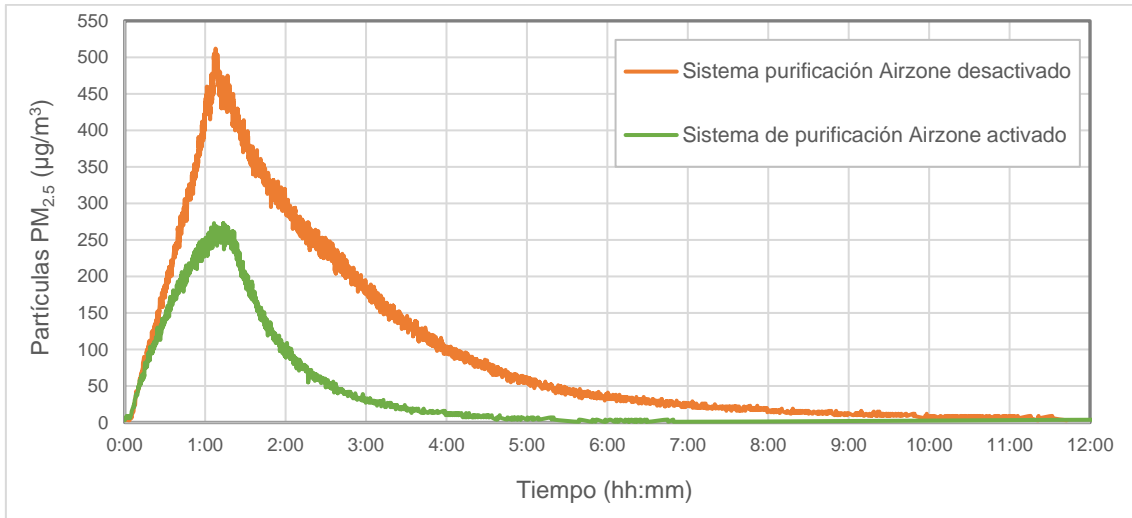


Figura 1. Evolución temporal de la concentración de partículas PM_{2.5}.

Por tanto, se constata el efecto beneficioso de la solución Airzone en cuanto a la calidad del aire interior por ausencia de partículas en suspensión.

Efecto desodorizante sobre VOCs

El laboratorio japonés Boken Quality Evaluation Institute ha demostrado el potente efecto desodorizante de la solución de purificación Airzone para fuentes de compuestos orgánicos volátiles, concretamente para el CH₂O (formaldehído) y el H₂S (sulfuro de hidrógeno).

La Figura 2 muestra la evolución temporal de la concentración de CH₂O. En ella, se aprecia una reducción del 60 % en el compuesto orgánico volátil de formaldehído con un tiempo de exposición de 2 horas.

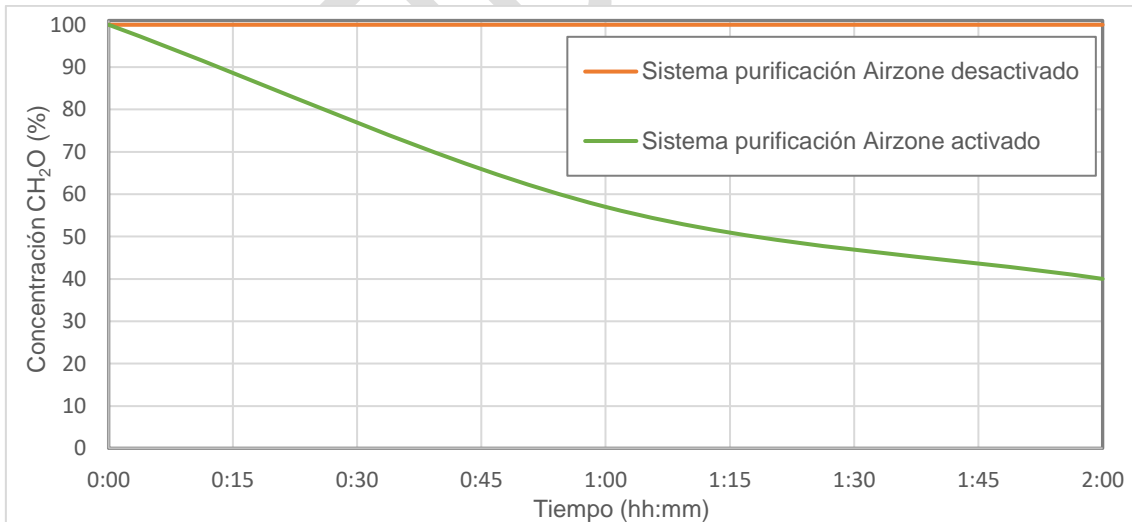


Figura 2. Evolución temporal de la concentración de CH₂O (formaldehído).
Fuente: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

La Figura 3 muestra la evolución temporal de la concentración de H₂S. En ella, se evidencia una reducción del 100 % en el compuesto orgánico volátil de sulfuro de hidrógeno con un tiempo de exposición de 2 horas.

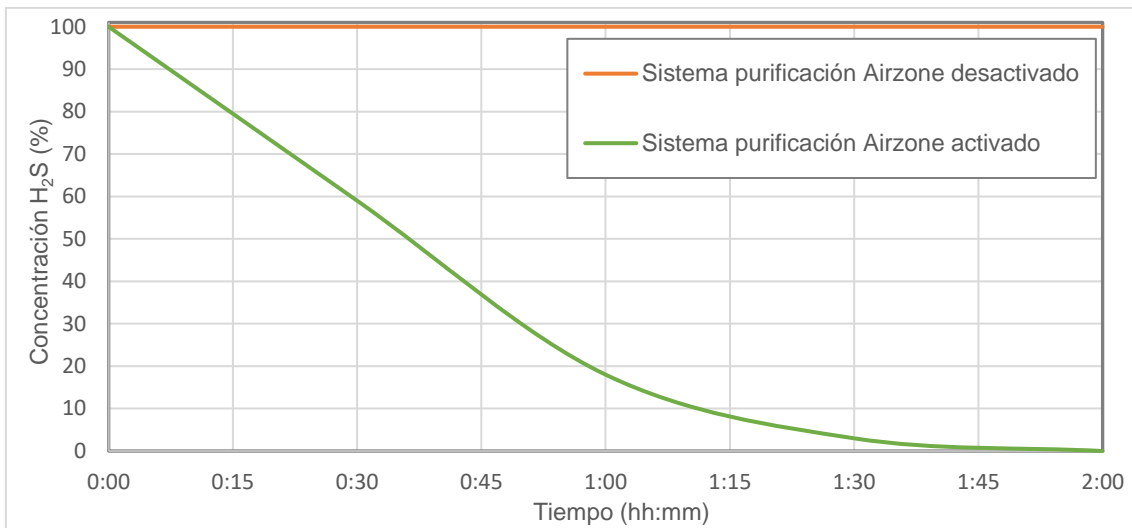


Figura 3. Evolución temporal de la concentración de H₂S (sulfuro de hidrógeno).
Fuente: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

Estos ensayos evidencian que la tecnología de purificación de Airzone reduce los compuestos orgánicos volátiles y mitiga los olores desagradables del ambiente.

Efecto antibacteriano

El laboratorio japonés Boken Quality Evaluation Institute ha demostrado el alto potencial antibacteriano de la solución de purificación Airzone, en concreto contra la *Bacillus coli* y la *Staphylococcus aureus*.

La Figura 4 muestra la evolución temporal de unidades formadoras de colonia de *Bacillus coli*. En ella, se observa como en un día la colonia prospera hasta las 130 ufc con el sistema de purificación Airzone desactivado (línea naranja). Mientras que la colonia se elimina por completo en un día al activar el sistema de purificación de Airzone (línea verde).

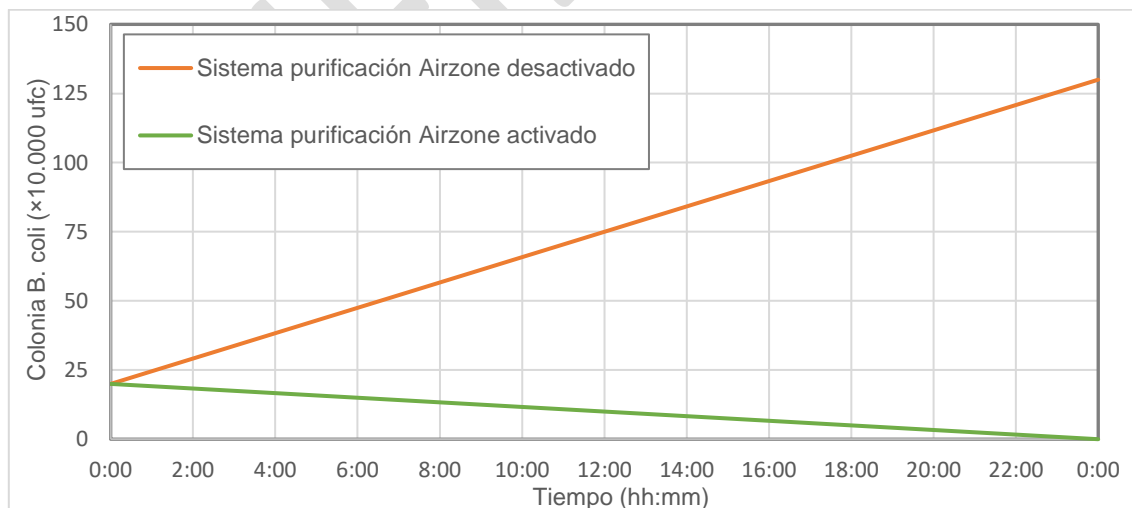


Figura 4. Evolución temporal del recuento en unidades formadoras de colonia de *Bacillus coli*.
Fuente: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

La Figura 5 muestra la evolución temporal en unidades formadoras de colonia de *Staphylococcus aureus*. En ella, se distingue como en un día la colonia prospera hasta las 160 ufc con el sistema de purificación Airzone desactivado (línea naranja). Mientras que la

colonia se elimina por completo en un día al activar el sistema de purificación de Airzone (línea verde).

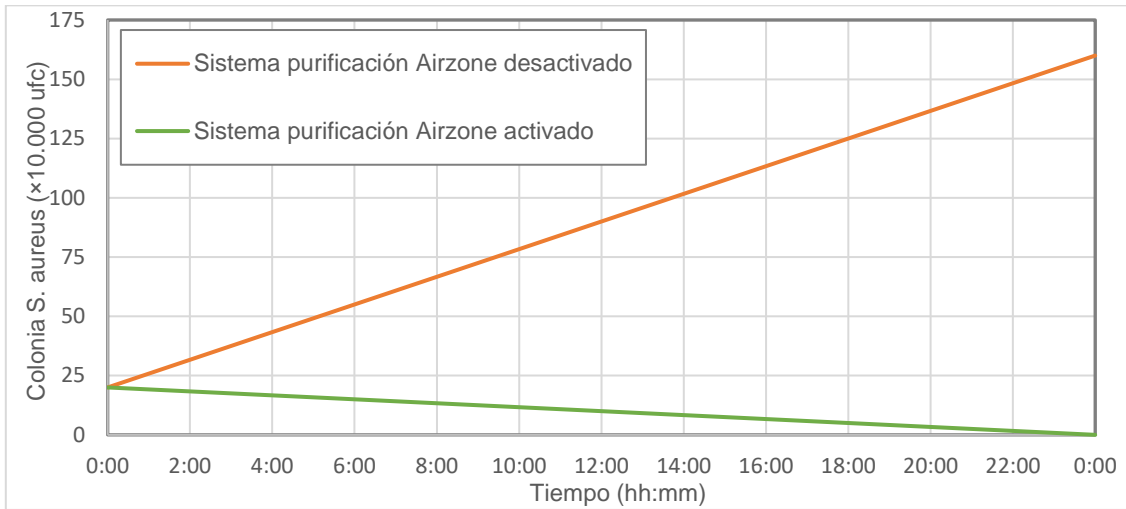


Figura 5. Evolución temporal del recuento en unidades formadoras de colonia de *Staphylococcus aureus*.
Fuente: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

Estos ensayos evidencian que la tecnología de purificación de Airzone elimina diferentes tipos de bacterias.

Efecto antivírico

La asociación BSA (Biomedical Sciences Association) de la universidad de Medicina Veterinaria y Ciencias Biomédicas de Texas ha demostrado el efecto inhibitor de la solución de purificación Airzone sobre el virus Influenza H3N2, reduciendo su tasa de infectividad.

La tasa de infectividad se define como el número de partículas virales capaces de invadir una célula huésped.

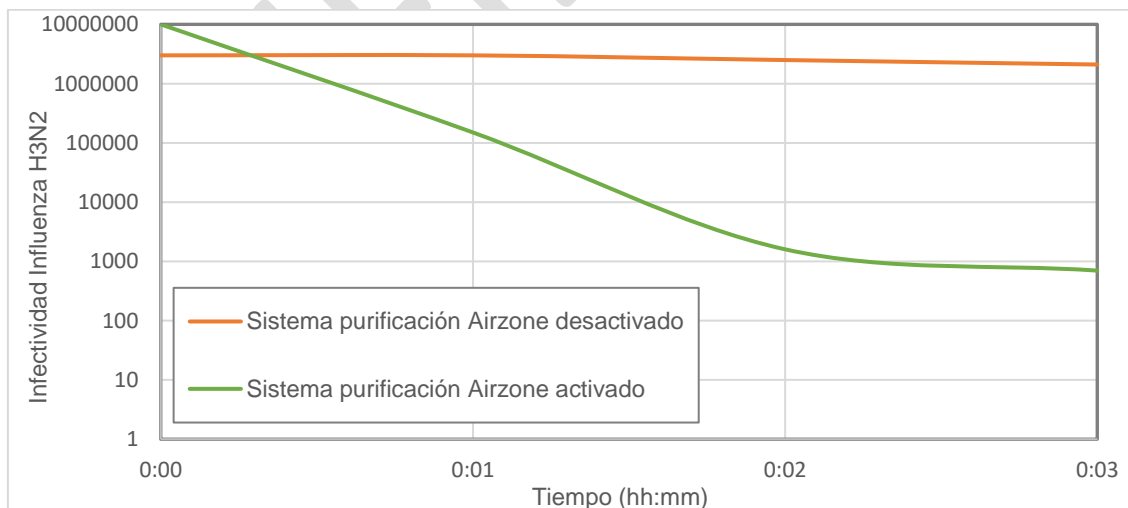


Figura 6. Evolución temporal de la tasa de infectividad del virus Influenza H3N2.
Fuente: Murata Manufacturing Co., Ltd - Biomedical Sciences Association (Texas A&M University).

La Figura 6 muestra la evolución temporal de la tasa de infectividad del virus Influenza H3N2. En ella, se observa como la tasa de infectividad apenas decae cuando se mantiene desactivado el sistema de purificación Airzone (línea naranja). Sin embargo, en los dos

primeros minutos hay una caída logarítmica cuando se activa el sistema de purificación de Airzone (línea verde). A los tres minutos de exposición se ha reducido la infectividad desde 10^7 hasta 700.

Por lo que se demuestra que la exposición directa de la tecnología de purificación Airzone tiene un efecto inhibitor en los virus.

Dimensionado (UL 2998)

Airzone ha prestado especial atención al dimensionado del sistema de purificación para ser conformes al estándar UL 2998 – Air cleaner validation for zero ozone emissions.

Este estándar sobre seguridad y calidad de los productos en Estados Unidos y Canadá establece que ningún equipo de uso doméstico debe producir una concentración superior a 0,05 ppm en el volumen que se describe en la sección 37.2 de dicho estándar

Dicha sala de pruebas tiene unas dimensiones de entre 950 y 1100 pies cúbicos (entre 27 y 31 m³). Además, debe respetar unas proporciones específicas. El ancho de la misma debe ser de al menos 8 pies (2,4 m) y la altura máxima de 10 pies (3 m).

Durante el test, la sala de pruebas debe mantenerse en unas condiciones estables. La temperatura será de 77 ± 4 °F (25 ± 2 °C) y la humedad relativa de 50 ± 5 por ciento.

El producto ensayado debe ubicarse en el centro de la sala de pruebas a una distancia del suelo de 30 pulgadas (762 mm).

La emisión de ozono se controlará durante 24 horas para determinar la concentración.

En las condiciones del ensayo la densidad del ozono es 2.14 kg/m³ y su masa molar es 48 g/mol. La densidad del aire es 1.184 kg/m³.

Con esta información y teniendo presente la cantidad de ozono generada como subproducto de la ionización (15 mg/h por ionizador) que ha certificado Murata en su informe JEHVAA-0141B, se debe respetar el volumen de descarga mínimo recogido en la Tabla 2.

	Potencia térmica de la unidad		
	< 5 kW	7,1 kW	10 -14 kW
Volumen de descarga mínimo	27 m ³ (3 x 3 x 3 m)	54 m ³ (4,25 x 4,25 x 3 m)	81 m ³ (5,2 x 5,2 x 3 m)

Tabla 2. Volumen (y relación de tamaño) del espacio mínimo de descarga de aire.

Estos volúmenes están del lado de la seguridad, puesto que el sistema de purificación no estará activo 24/7.

Conclusiones

La información de desempeño sobre la solución de purificación desarrollada por Airzone permite afirmar que se trata de un dispositivo seguro y compacto, capaz de mejorar la calidad del aire interior en los siguientes aspectos:

- Reducción de partículas finas en suspensión en el aire, con rendimientos superiores a la filtración de alta eficiencia.
- Beneficios frente a los problemas respiratorios y alergias ocasionadas por los ácaros del polvo, el pelo de mascotas, el humo del tabaco y el polen.
- Eliminación de olores gracias a la reducción de VOCs en el aire.
- Inhibición de bacterias y virus.

Todo ello, sin menoscabar las prestaciones funcionales de los ventiladores de las unidades interiores.

La solución de purificación Airzone no solo mejora la calidad del aire interior, sino que reduce el consumo eléctrico al reducir la tasa de aire exterior aportada a los espacios acondicionados y permite el control remoto de las unidades de climatización.

Todas estas características hacen del dispositivo de purificación de Airzone una solución muy atractiva para las certificaciones de construcción sostenible como BREEAM o LEED, donde se podría alcanzar una puntuación superior al incluir la solución de Airzone.

CONFIDENCIAL

Bibliografía

- [1] Klepeis, N. et al. Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. Vol. 11 (2001), pp 231–252.
- [2] Directive 2008/50/EC of the *European Parliament and of the Council* of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
- [3] Liang, F. et al. Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Cardiovascular Disease in China. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 75-7 (2020), pp 707–717.
- [4] Hakan, L. et al. Particulate Matter (PM2.5, PM10-2.5 and PM10) and Children's Hospital admission for Asthma and Respiratory Diseases: A Bidirectional Case-Crossover Study. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Vol. 71–8 (2008).
- [5] Hou, D. et al. Associations of long-term exposure to ambient fine particulate matter and nitrogen dioxide with lung function: A cross-sectional study in China. *Environmental International*. Vol. 144 (2020).
- [6] Wang, M. et al. The association between PM2.5 exposure and daily outpatient visits for allergic rhinitis: evidence from a seriously air-polluted environment. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 64 (2020), pp 139–144.
- [7] Raaschou-Nielsen, O. et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environmental International*. Vol. 87 (2016), pp 66–73.
- [8] World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005 Summary of risk assessment.
- [9] Tanaka A. and Zhang, Y. Dust settling efficiency and electrostatic effect of a negative ionization system. *Journal of Agricultural Safety and Health*. Vol. 2-1 (1996), pp 39–47.
- [10] Mayya, Y. S., Sapra, B. K., Khan, A. and Sunny, F. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments. *Journal of Aerosol Science*. Vol.35-8 (2004), pp 923–941.
- [11] Sawant, V.S. Removal of particulate matter by using negative electric discharge. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. Vol. 2 (2013), pp 48–51.
- [12] Pushpawela, B., Jayaratne, R., Nguy, A and Morawska, L. Efficiency of ionizers in removing airborne particles in indoor environments. *Journal of Electronics*. Vol. 90 (2017), pp 79–84.
- [13] Lee, B. U., Yermakov, M. and Grinshpun, S. A. Removal of fine and ultrafine particles indoor air environment by the unipolar ion emission. *Atmospheric Environment*. Vol 38 (2004), pp 4815–4823.
- [14] Cutis, N. J., Woodfolk, J. A., Vaughan, J. W. and Platts-Mills, T. A. E. Quantitative measurement of airborne allergens from dust mites, dogs, and cats using an ion-charging device. *Clinical & Experimental Allergy*. Vol. 33 (2003), pp 986–991.
- [15] Goodman, N. and Hughes, J. F. The effect of corona discharge on dust mite and cat allergens. *Journal of Electrostatics*. Vol. 60 (2004), pp 69–91.
- [16] Sawant, V. S., Meena, G. S. and Jadhav, D. B. Effect of negative air ions on fog and smoke. *Aerosol and Air Quality Research*. Vol 12 (2012), pp 1007–1015.

- [17] Kawamoto, S., Oshita, M., Fukuoka, N., Shigeta, S., Aki, T., Hayashi, T., Nishikawa, K. and Ono, K. Decrease in the Allergenicity of Japanese Cedar Pollen Allergen by Treatment with Positive and Negative Cluster Ions. *International archives of allergy and immunology*. Vol.141-4 (2006), pp 313–321.
- [18] Wu, C. C. and Lee, G. W. M. Oxidation of Volatile Organic Compounds by Negative Air Ions. *Atmospheric Environment*. Vol.38 (2004), pp 6287–6295.
- [19] Kim, K., Szulejko, J. E., Kumar, P., Kwon, E.E. and Adelodun, A. A. Air ionization as a control technology for off-gas emissions of volatile. *Environmental Pollution*. Vol. 225 (2017), pp 729–243.
- [20] Phillips, G., Harris, G. J. and Jones, M. W. Effects of air ions on bacterial aerosols. *International Journal of Biometeorology*. Vol.8 (1964), pp 27–37.
- [21] Zhoua, P., Yangc, Y., Huang, G. and Laib, C. K. Numerical and experimental study on airborne disinfection by negative ions in air duct flow. *Building and Environmental*. Vol. 127 (2018), pp 204–210.
- [22] Tyagi, A. K., Nirala, B. K., Malik, A. and Singh, K. The effect of negative air ion exposure on Escherichia coli and Pseudomonas fluorescens. *Journal of Environmental Science and Health. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. Vol. 43 (2008), pp 694–699.
- [23] Noyce, J. O. and Hughes, J. F. Bactericidal effects of negative and positive ions generated in nitrogen on Escherichia coli. *Journal of Electrostatics*. Vol. 54 (2002), pp 179–187.
- [24] Shargawi, J. M., Theaker, E. D., Drucker, D. B., MacFarlane, T. and Duxbury A. J. Sensitivity of *Candida albicans* to negative air ion streams. *Journal Applied Microbiology*. Vol. 87 (1999), pp 889–897.
- [25] Dobrynin, D., Friedman, G., Fridman, A. and Starikovskiy, A. Inactivation of bacteria using DC corona discharge: Role of ions and humidity. *New Journal of Physics*. Vol. 13 (2011).
- [26] Timoshkin, I. V., Maclean, M., Wilson, M. P., Given, M. J., MacGregor, S. J., Wang, T. and Anderson, J. G. Bactericidal effect of corona discharges in atmospheric air. *IEEE Transactions on Plasma Science*. Vol. 40-10 (2012), pp 2322–2333
- [27] Bailey, W. Mitchell, P. and Daniel, J. K. Effect of Negative Air Ionization on Airborne Transmission of Newcastle Disease Virus. *Avian Diseases*. Vol. 38 (1994), pp 725–732.
- [28] Hagbom, M., Nordgren, J., Nybom, R., Hedlund, K., Wigzell, H. and Svensson, L. Ionizing air effects influenza virus infectivity and prevents airborne-transmission. *Scientific Reports*. Vol.5 (2015).
- [29] Productos virucidas autorizados en España. Secretaría de Estado de Sanidad. Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral (2020).
- [30] UNE 400201:1994. Generadores de ozono. Tratamiento de aire. Seguridad química.
- [31] Directive 2006/25/EC. Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation).
- [32] Ghatge, N. and Vernekar, S. Evaluation of ultraviolet light absorbers in poly vinyl chloride (PVC). *Macromolecular Materials and Engineering*. Vol. 20-1 (1971), pp 175–180.