

03-035

DEVELOPMENT OF A MODULE THAT CAN BE ATTACHED TO AN AIR CONDITIONING DISTRIBUTION SYSTEM FOR ITS DISINFECTION USING UV RADIATION.

Armero Martínez, Antonio ⁽¹⁾; Esteban Vicente, Ignacio ⁽¹⁾; Capuz Rizo, Salvador ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Universitat Politècnica de València

UV rays have been used since the mid-20th century to disinfect water. However, its use in air disinfection is much more recent and is not commonly used in air conditioning installations. The objective of the work is to design a device that can be connected to an air conditioning system that allows disinfecting the air that circulates through the air handling unit (AHU) or Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC) units. Disinfection is carried out through the use of a lamp that emits ultraviolet radiation with the necessary power and for the appropriate irradiation time. In this way, the air that is distributed is clean and healthy.

Keywords: UV; UV lamp; air conditioning; air conditioning; prevention of respiratory diseases; CoVid19.

DESARROLLO DE UN MÓDULO ACOPLABLE A UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE ACONDICIONADO PARA DESINFECCIÓN DEL MISMO MEDIANTE RADIACIÓN UV.

Los rayos UV se vienen utilizando desde mediados del siglo XX en la desinfección del agua. Sin embargo, el uso en la desinfección del aire es mucho más reciente y no se utiliza de forma habitual en las instalaciones de aire acondicionado. El objetivo del trabajo consiste en diseñar un dispositivo acoplable a un sistema de climatización que permita desinfectar el aire que circula a través de la unidad de tratamiento de aire (UTA) o HVAC ("Heating, Ventilating and Air Conditioning"). La desinfección se lleva a cabo mediante el uso de una lámpara que emite radiación ultravioleta con la potencia necesaria y durante el tiempo adecuado de irradiación. De esta forma el aire que se distribuye es limpio y sano.

Palabras claves: UV; lámpara UV; climatización; aire acondicionado; prevención de enfermedades respiratorias; CoVid19.

Correspondencia: Antonio Armero Martínez antonio@tecnival.com
anarmar2@upvnet.upv.es



1. Introducción

Conforme ha avanzado la tecnología, el tratamiento del aire ha sido un tema de interés complementario en los sistemas de distribución de aire. Los sistemas de aire acondicionado en los edificios recirculan el aire interior que toman de las estancias o del falso techo. Para ello la máquina dispone de un ventilador que impulsa el aire a través de una batería de frío o calor según el caso y lo distribuye mediante conductos de nuevo a las habitaciones climatizadas. La limpieza del aire distribuido se confía a un filtro que se coloca a la entrada del ventilador. Este filtro en función de sus características retiene las partículas de mayor tamaño que se encuentran en suspensión en el aire. Sin embargo este filtrado resulta en general insuficiente para la eliminación de contaminantes nocivos de tamaño microscópico como son los virus y las bacterias.

La eficiente transmisión del coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19) ha generado una pandemia con graves consecuencias sanitarias a nivel mundial y ha puesto el foco en los aerosoles como principal fuente de infección. Estos aerosoles se mantienen con relativa facilidad en los locales cerrados y escasamente ventilados. Por ello el riesgo de contagio en estas condiciones es mayor. Los sistemas de recirculación distribuyen esos aerosoles que emitimos las personas con la respiración y generan todavía un riesgo mayor.

Actualmente, debido a esta situación sanitaria, el aumento del interés en el sector de desinfección es mucho mayor y la mejora de la calidad del aire se ha vuelto indispensable en la vida diaria de las personas, las cuales están tomando mayor conciencia de los problemas de salud que puede causar una mala ventilación o un aire no tratado correctamente.

Para solucionar esto, se han desarrollado diferentes tecnologías de desinfección del aire como los filtros HEPA (High Efficiency Particulate Arresting), electrostáticos y generadores de ozono. Otra de las técnicas más actuales está basada en la radiación ultravioleta y es en la que se centra este artículo. Así se reconoce en las recomendaciones del Ministerio de Sanidad (2020). Como veremos a continuación el artículo recoge el estudio y desarrollo de un módulo acoplable a un sistema de distribución de aire con dos objetivos: la esterilización y desinfección mediante el uso de rayos UV y la reducción en el deterioro de los conductos de aire, producido por los microorganismos presentes en ellos que causan una pérdida energética del sistema y acortan su vida útil. Este estudio se ha cristalizado en un trabajo de fin de grado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia que ha presentado el alumno Ignacio Esteban bajo la dirección de los profesores Antonio Armero y Mónica Arroyo.

2. El marco normativo

La ventilación de las viviendas y locales es un requisito obligatorio en la normativa española. El Real Decreto 1027/2007 por el que se establece el Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE), indica las exigencias técnicas a cumplir en esta materia (BOE, 2007). Una de las instrucciones técnicas complementarias que acompañan a este reglamento establece las exigencias mínimas de bienestar e higiene (IT 1.1), en las que se exige, entre otras, mantener una calidad térmica del ambiente, una calidad del aire interior adecuada a cada actividad y asegurar una calidad del ambiente acústico, limitando el nivel de ruido y vibraciones en las instalaciones térmicas. Pero además, dentro de estas instrucciones técnicas se encuentra la Instrucción Técnica 1.1.4 Exigencia de calidad del aire interior. En ésta se especifica que se deberá disponer de un sistema de ventilación para el aporte de aire del suficiente caudal de aire exterior, que evite en los distintos locales en los que se realice alguna actividad humana, la formación de elevadas concentraciones de contaminantes. En las generalidades de este punto se describe el ámbito de aplicación, donde para los edificios

de viviendas se consideran válidos los requisitos establecidos en la sección HS 3 del CTE mientras que para el resto de edificios se deberá seguir lo marcado en el RITE.

Como vemos en la normativa, la exigencia principal se centra en la renovación como fuente de limpieza y no incide en la limpieza del aire viciado que se recircula. Este aire viciado se desecha. Sin embargo, el introducir aire exterior repercute en el gasto energético que debe ser mayor y aunque se obliga a la instalación de recuperadores, una gran parte de la energía se pierde. A pesar de ello es una obligación legal por lo que el proyectista se encuentra en este aspecto limitado. Tampoco los anexos técnicos del Reglamento hacen referencia a normativa UNE que establezca medidas de desinfección del aire.

El año pasado, cuando ya se tenía la certeza de la eficiente transmisión por vía aérea, el Ministerio de Sanidad publicó una Nota con información sobre la seguridad, la eficacia y la comercialización de equipos dotados de fuentes de luz UV-C para desinfectar el aire y superficies en locales o edificios frente al SARS-CoV-2. Hay que tener en cuenta que la luz UV tiene riesgo, puede producir cáncer de piel y quemaduras, por lo que se debe evitar la irradiación directa sobre las personas.

El pasado junio de 2020 de la mano de AENOR se publicó la Especificación UNE 0068:2020 “Requisitos de seguridad para aparatos UV-C utilizados para la desinfección de aire de locales y superficies”. Esta especificación cubre los requisitos de producto, de instalación y de mantenimiento destinados a un uso seguro y eficiente de los aparatos de uso profesional de desinfección de aire de locales y superficies que utilicen radiación UV-C.

A escala internacional, la industria suele guiarse por los estándares ASHRAE. La norma 185.1 de ASHRAE proporciona un método para probar luces UV-C para su uso en el interior de unidades de aire acondicionado o conductos de distribución para inactivar microorganismos transportados por el aire. La norma ASHRAE 185.2-2020 proporciona un método de prueba de lámparas ultravioleta para su uso en unidades HVAC o conductos de aire para inactivar microorganismos en superficies irradiadas. El Capítulo 17 del Manual de ASHRAE de 2012 — Sistemas y equipos de HVAC (2012b) proporciona información adicional sobre los sistemas de lámparas ultravioleta.

En cuanto a los requisitos dimensionales del módulo a diseñar, la norma de AENOR UNE-EN 1505:1999: “Ventilación de edificios. Conductos de aire de chapa metálica y accesorios, de sección rectangular. Dimensiones”, ofrece una serie de dimensiones normalizadas dentro de un rango bastante amplio para conductos rectangulares. En la norma UNE-EN 1506:2007 se puede encontrar una tabla de dimensiones normalizadas parecida a la de conductos rectangulares, pero referida a conductos circulares.

Por otra parte, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) expone una serie de condiciones de mantenimiento de conductos de sistemas de aire donde se incluye el requisito de resistencia térmica en el interior de los conductos por el uso de productos de desinfección y limpieza o cualquier material que pueda emplearse para la limpieza periódica. Por este motivo, el material del módulo acoplable diseñado debe tener en cuenta dicha condición. Adicionalmente, siguiendo las condiciones expuestas por el RITE, el diseño debe aguantar las posibles cargas o esfuerzos mecánicos que se podrían producir al llevar a cabo la limpieza periódica de los conductos según la norma UNE 100012:2005: “Higienización de sistemas de climatización”.

3. La radiación UV-C

Tanto el Ministerio de sanidad como AENOR hacen referencia a la radiación UV-C o radiación UV germicida, que es la utilizada para este fin. En concreto, la longitud de onda 265 nm, es la más adecuada para que cumpla la función desinfectante (ASHRAE, 2015, p 10). Los fotones emitidos con dicha longitud de onda consiguen modificar o dañar el material genético que

contienen los microorganismos, tanto el ADN como el ARN. El material genético está compuesto por varios ácidos nucleicos o bases nitrogenadas (timina, citosina, adenina y guanina), de manera que siempre siguen una secuencia que les permite contener toda la información necesaria para reproducirse. La luz UV, a la longitud de onda mencionada, es absorbida por los ácidos nucleicos de tal forma que crean dímeros o moléculas dobles, las cuales obstruyen la secuencia del ADN o ARN, impidiendo su reproducción y su supervivencia. Los dímeros formados más comunes están compuestos por átomos de timina, aunque pueden formarse por cualquiera de los otros ácidos. La radiación a longitudes de onda más altas como las que forman el rango de rayos UV-A o UV-B (onda larga y onda intermedia) no tienen esa capacidad germicida, aunque sí que pueden resultar dañinas para los seres vivos si sufren una radiación directa y prolongada durante largos tiempos de exposición (MundoHVAC&R, 2020).

Mediante la irradiación UV-C se puede conseguir la inactivación de una gran variedad de microorganismos, más del 99.99% si se aplica correctamente. Hay multitud de lámparas en el mercado de distintas potencias y distintos tamaños que permiten adecuar la dosis necesaria según el tiempo de exposición del aire a la radiación. Además, es eficaz contra microbios con los que no pueden hacer frente otros métodos de desinfección, como el cloro

Por otra parte esta tecnología no requiere un coste alto de mantenimiento, pues éste se basa en el reemplazo de la lámpara cada 8.000 horas aproximadamente. Con el uso, la lámpara reduce su potencia y debe reemplazarse cuando ésta ya no puede cumplir con los requisitos exigibles, es decir, cuando disminuye su potencia un 20%.

La mayor ventaja que tiene este método de desinfección tiene que ver con el coste. Tanto el coste de capital inicial como el coste energético necesario no son elevados, suelen rondar los 100 euros por año. Pero hay que tener en cuenta también los efectos adversos de la radiación UV-C. El principal problema es el efecto que tiene sobre las personas. La radiación directa es extremadamente dañina para la piel y para los ojos. Puede provocar quemaduras, cataratas y varios tipos de cáncer de piel. Veremos posteriormente que el dispositivo diseñado irradia únicamente en el interior del conducto y en ningún momento puede actuar sobre el ser humano. También hay que mencionar que la instalación requiere de un profesional, pues se necesita un sistema eléctrico y cableado que permita la conexión eléctrica de la lámpara. Por último, la suciedad sigue estando presente en el aire y éste sigue conteniendo partículas (bioaerosoles) que pueden impedir la correcta radiación, por lo que se hace necesario algún instrumental para reducir la suciedad, al igual que una limpieza regular del cuarzo que recubre la lámpara.

Algunos tipos de lámpara pueden producir pequeñas cantidades de ozono como subproducto. La formación de ozono no es deseable y se puede evitar mediante el uso de lámparas de cuarzo que lo absorben. Esta pequeña generación debe estar por debajo de los límites máximos admisibles que se establecen en Europa en 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Unión Europea, 2008). Lo habitual es que así sea ya que el gas es muy inestable y se descompone rápidamente en oxígeno en el interior de los conductos. Los dispositivos UV-C se consideran seguros si cumplen con los requisitos de seguridad eléctricos, térmicos, mecánicos, de exposición humana a campos electromagnéticos (EMF) y fotobiológicos proporcionados en las normas IEC y UL (Global Lighting Association, 2020).

4. Los sistemas de aire acondicionado

Los sistemas convencionales de aire acondicionado constan de dos unidades, una exterior denominada compresor y otra interior denominada evaporador. Entre ambas unidades se hace circular un fluido refrigerante. Si el fluido refrigerante es agua, la unidad interior se denomina fan-coil. En la unidad interior se hace pasar el aire a través de un radiador comúnmente denominado batería. El aire es impulsado por un ventilador que actúa contra la

batería. Ésta recibe el fluido refrigerante que llega del compresor e intercambia energía térmica con el aire que pasa a su través aumentando o disminuyendo según el caso, la temperatura del aire que se va a distribuir por los conductos. En este elemento se acumula la humedad con mayor facilidad y se favorece la proliferación de virus, bacterias, hongos y demás patógenos al proporcionarles un ambiente adecuado para su reproducción. Sin embargo, es una zona difícil para acoplar un módulo como el que se va a diseñar. A la entrada de aire en la máquina se coloca un filtro de aire que retiene las partículas más grandes. Con el uso también se convierte en un foco sucio y requiere de limpieza periódica. Hay filtros de diferentes calidades, pero los más eficientes son mucho más caros y requieren de un mayor mantenimiento por lo que su uso es muy restringido.

El aire ya atemperado se distribuye por conductos a las estancias que se desea climatizar. Los conductos suelen fabricarse en fibra de vidrio recubierta o en chapa de acero galvanizado. La fibra es más económica y se suele conformar in situ. Una vez el aire se ha emitido por las salidas a las diferentes estancias, se recoge para devolverlo a la máquina y así completar un ciclo de circulación. Se aspira mediante rejillas que los llevan a un conducto de retorno. Éste conduce todo el aire de nuevo hasta la máquina, donde de nuevo la recorre y es impulsado por todas las zonas de distribución del aire. Es decir, todo el aire usado en los sistemas pasa por el conducto de retorno. En muchos locales no existe tal conducto de retorno y el aire vuelve a la máquina aprovechando el hueco que queda entre el forjado y el falso techo. Este tipo de retorno que es el más utilizado, se denomina por plenum. En cualquiera de los dos casos se va a utilizar la zona de retorno para la instalación del módulo. Esta zona ya tiene normalmente un acceso previsto para la limpieza periódica del filtro. Este acceso se podrá utilizar también para las tareas de mantenimiento y reemplazamiento de la lámpara que incorpora nuestro diseño.

5. Módulo acoplable

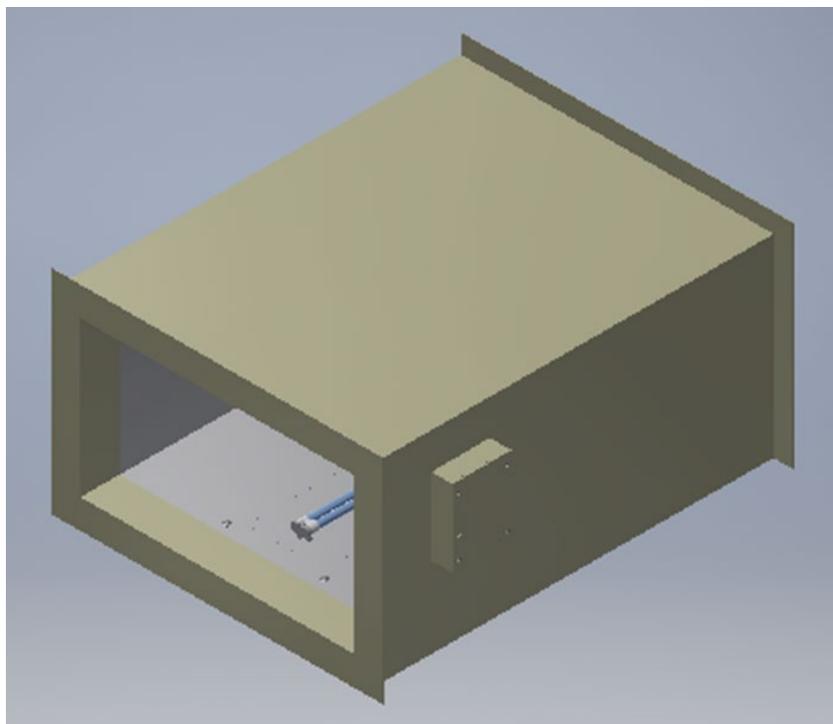
Se plantea un diseño para un tramo de conducto en el que el aire de retorno que se capta sea irradiado durante un tiempo mínimo que permita la desinfección. En nuestro diseño se ha optado por una sección rectangular ya que es la elección más común en cualquier instalación por acoplarse mejor y ocupar menos espacio dentro de los falsos techos. Además esta geometría ofrece una mayor facilidad de colocación de la lámpara UV que se encarga de cumplir el objetivo deseado. Al tratarse de superficies planas, no hay ninguna dificultad en colocar la lámpara con su portalámparas, mientras que en una superficie cilíndrica habría que ingeniar una nueva pieza para conformar el acople del portalámparas.

Entre todas las combinaciones que nos ofrece la norma UNE, se escoge un tamaño 800x500 mm (800 mm de ancho y 500 mm de alto). Eso supone disponer de una sección transversal de 0,4 metros cuadrados (m^2) y un diámetro equivalente de 675 milímetros según las indicaciones de la norma. Se trata de una dimensión intermedia que tiene cabida en locales comerciales y administrativos. Por la altura necesaria no está pensado para su uso en viviendas aunque siguiendo el mismo principio sería sencillo diseñar módulos más pequeños para uso doméstico o más grandes para usos industriales. El módulo cuenta con accesorios que permiten conectarlo a conductos de fibra o de chapa (Figura 1).

En el diseño del módulo tenemos que equilibrar la potencia de la lámpara y el tiempo de exposición. Una mayor potencia requiere un menor tiempo de exposición, pero también obliga a un mayor consumo. En nuestro caso el tiempo va a ser un parámetro de diseño que viene determinado por la velocidad de circulación del aire. Para poder utilizar la radiación emitida se necesita un espacio mínimo donde hacer efectiva la dosis necesaria sobre los microorganismos. En este diseño se considera un tramo de irradiación de un metro. Esta longitud resulta coherente con el uso de una única lámpara y además permite el manejo sencillo del módulo. Para evitar la absorción de radiación por la carcasa de plástico se

colocará como recubrimiento interior una lámina reflectante. Esta lámina va a potenciar el efecto de la lámpara en toda la longitud del módulo.

Figura 1. Módulo con los dos acoples para conductos de chapa



6. Selección de la lámpara

El principal problema a resolver es determinar la lámpara ultravioleta cuya potencia sea capaz de cumplir con el objetivo de desinfectar el aire de los sistemas de distribución inactivando microorganismos. En primer lugar, hay que tener en cuenta que existen microorganismos en los sistemas de aire que son más sensibles a la radiación UV que otros y que, dependiendo de la dosis recibida, pueden inactivarse al completo o parcialmente. Para ello, se utiliza la información experimental que proporciona la Tabla 1 para bacterias, la Tabla 2 para virus y la Tabla 3 para esporas, donde se muestran ejemplos de microorganismos representativos en los cuales la radiación UV tiene efecto en su material genético (ADN o ARN) y que se pueden encontrar tanto en el agua como en el aire. Como se puede ver, el porcentaje de desinfección aumenta de manera logarítmica. Es decir, cada vez que se dobla, aproximadamente, la exposición UV recibida en un microorganismo, se multiplica el porcentaje en el que se elimina ese mismo microorganismo en concreto. En la primera columna se encuentra la exposición necesaria emitida en miliwatios por segundo partido por centímetros cuadrados ($\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$) la cual elimina a su correspondiente patógeno hasta el 90%, mientras que, en la segunda columna, con aproximadamente el doble de intensidad que la primera columna, se consigue una desinfección del 99%.

Dicha tabla está compuesta con valores referidos a la desinfección a través del agua y no del aire, pues uno de los usos de la radiación UV que más presencia tienen hoy en día es la desinfección del agua y los experimentos se han realizado sobre ese escenario.

La exposición UV se obtiene multiplicando la intensidad de la lámpara (en mW/cm^2) por el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación UV.

$$\text{Exposición (mW}\cdot\text{s/cm}^2\text{)} = \text{Intensidad (mW/cm}^2\text{)} \times \text{Tiempo (s)} \quad (1)$$

Para hallar la intensidad de la lámpara, solo hace falta conocer la potencia de radiación UV-C a la que puede ser capaz de llegar y el área que ocupa la superficie de la lámpara, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Intensidad (}\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}\text{)} = \frac{\text{Potencia (mW)}}{\text{Superficie (cm}^2\text{)}} \quad (2)$$

De la Tabla 3 se obtiene el valor de intensidad máximo que se necesitaría para ser efectiva en un 99% contra todos los tipos de microorganismos es 35,2 mW·s/cm² en el agua, establecido para la espora *Mucor racemosus* A. Es necesario indicar que los métodos de desinfección para el agua y para el aire no son del todo idénticos, pues en el aire no se encuentran tantas partículas que impiden el paso directo de la radiación UV como se pueden encontrar en el agua. Se calcula que, aproximadamente, la intensidad necesaria para el aire es del orden de diez veces menor que la necesaria para el agua (Kowalski, 2009). Para este trabajo interesan los valores de dosis referidos al aire, por lo que el máximo pasa a ser 3,52 mW s/cm² aproximadamente. Esto significa que la lámpara escogida para el módulo ha de emitir una intensidad superior a 3,52 mW·s/cm².

Tabla 1. Exposición UV (en mW·s/cm²) necesaria para reducir una población microbiana en un 90% y en un 99% en el agua (Cairns & Wright, 2016).

Bacteria	Expos.(90%)	Expos. (99%)
Bacillus anthracis	4,5	8,7
B. Megatherium sp. (esporas)	2,6	5,2
B. peratyphosus	3,0	6,1
Bacillus subtilis	7,1	11,0
Bacillus subtilis, esporas	12,0	22,0
Campylobacter jejuni	1,1	...
Clostridium tetani	12,0	22,0
Corynebacterium diphtheriae	3,4	6,5
Escherichia coli	3,0	6,6
Klebsiella terrigena	2,6	...
Legionella pneumophila	0,9	2,8
Sarcina lutea	20,0	26,4
Mycobacterium tuberculosis	6,0	10,0
Pseudomonas aeruginosa	5,5	10,5
Coliformes fecales	3,4	6,8
Salmonella enteritidis	4,0	7,6
Salmonella paratyphi	3,2	...
Salmonella typhi	2,1	...
Salmonella typhimurium	3,0	...
Shigella dysenteriae	2,2	4,2

Bacteria	Expos.(90%)	Expos. (99%)
Shigella sonnei	3,0	5,0
Shigella flexneri	1,7	3,4
Staphylococcus aureus	5,0	6,6
Streptococcus faecalis	4,4	...
Streptococcus pyogenes	2,2	...
Vibrio cholerae (V. comma)	...	6,5
Yersinia enterocolitica	1,1	...

Tabla 2. Exposición UV (en mW·s/cm²) necesaria para reducir una población vírica en un 90% y en un 99% en el agua (Cairns & Wright, 2016).

Virus	Expos.(90%)	Expos.(99%)
Bacteriophage (E. coli)	3,0	6,6
Virus de la gripe	3,3	6,6
Poliavirus (Poliomyelitis)	5...8	14,0
Virus de la hepatitis	7,3	...
Rotavirus	6...15	15...24

Tabla 3. Exposición UV (en mW·s/cm²) necesaria para reducir una población vírica en un 90% y en un 99% en el agua (Cairns & Wright, 2016).

Esporas	Expos.(90%)	Expos.(99%)
Penicillium roqueforti	13,2	26,4
Penicillium expansum	11,0	22,0
Mucor racemosus A	17,6	35,2
Mucor racemosus B	2,6	5,2
Oospora lactis	0,6	1,1

Antes de empezar los cálculos, es necesario escoger una lámpara UV-C específica para poder desarrollarlos en función de la misma. A día de hoy, es fácil encontrar tanto en internet como en tiendas físicas catálogos de lámparas UV-C con una gran variedad de tamaños, formas y potencias para que se pueda elegir la mejor para cada caso. En el presente trabajo se ha decidido utilizar la lámpara TUV PL-L 95W/4P HO 1CT/25 del fabricante Philips con una potencia emitida en el espectro UV-C de 25,5 vatios (W), una longitud de 50,5 centímetros (cm) y un diámetro de 3,8 cm. Según el fabricante, la lámpara emite en una longitud de onda de 253,7 nm muy próxima a la óptima para la desinfección. Este valor de longitud de onda también se refiere en la *Nota sobre el uso de productos que utilizan radiaciones Ultravioleta-C* del Ministerio de Sanidad (2020). La lámpara (Figura 2) se ha de insertar en portalámparas en el interior de la base del módulo diseñado para que pueda radiar el aire circulante y cumplir su función. En el diseño final se incluye una flecha para indicar el sentido y el lugar exacto de la misma para evitar que se coloque de forma incorrecta.

Una vez elegida la lámpara, se comprueba que cumple con el requisito de dosis mínima. Para ello, se hace uso de la ecuación (2) en la que se aproxima la lámpara a un cilindro,

$$\text{Intensidad} \left(\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{P \text{ (mW)}}{\pi \cdot D \cdot L \text{ (cm}^2)} = \frac{25.500 \text{ (mW)}}{\pi \cdot 3,8 \cdot 50,5} = 42,30 \text{ mW/cm}^2 \quad (3)$$

Finalmente es necesario conocer el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación. Éste se calcula en función de la velocidad del aire que circula a través del sistema (atravesando también el módulo) y la longitud en la cual la radiación va a mantenerse efectiva (por efecto de la lámina reflectante podemos considerar toda la longitud del módulo). La velocidad a la que circula aire varía en cada sistema de distribución debido a las distintas necesidades de caudal que requiere cada uno. En los sistemas HVAC de locales y viviendas se considera en diseño una velocidad máxima de 6 metros por segundo (m/s), ya que a partir de ese valor comienza a ser notable el ruido producido por el aire en los conductos.

La intensidad así determinada es válida en la superficie de la lámpara. A partir de ahí disminuirá rápidamente, pues la intensidad de radiación es inversamente proporcional a la distancia al cuadrado del foco emisor. Para reducir pérdidas por absorción del material se coloca una lámina reflectante en el contorno interior que permite reutilizar parte de la radiación emitida y mejorar así el rendimiento de la lámpara.

Figura 2. Modelo de lámpara TUV PL-L 95W/4P HO 1CT/25 del fabricante Philips



Una vez establecida la velocidad máxima del aire (6 m/s) y la longitud del módulo (1 m), se puede calcular el tiempo de exposición como:

$$\text{Tiempo (s)} = \frac{\text{Longitud (m)}}{\text{Velocidad del aire} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)} = \frac{1 \text{ (m)}}{6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)} = 0,16667 \text{ s} \quad (4)$$

Por último, la ecuación (1) nos muestra la exposición que es capaz de ofrecer la lámpara escogida.

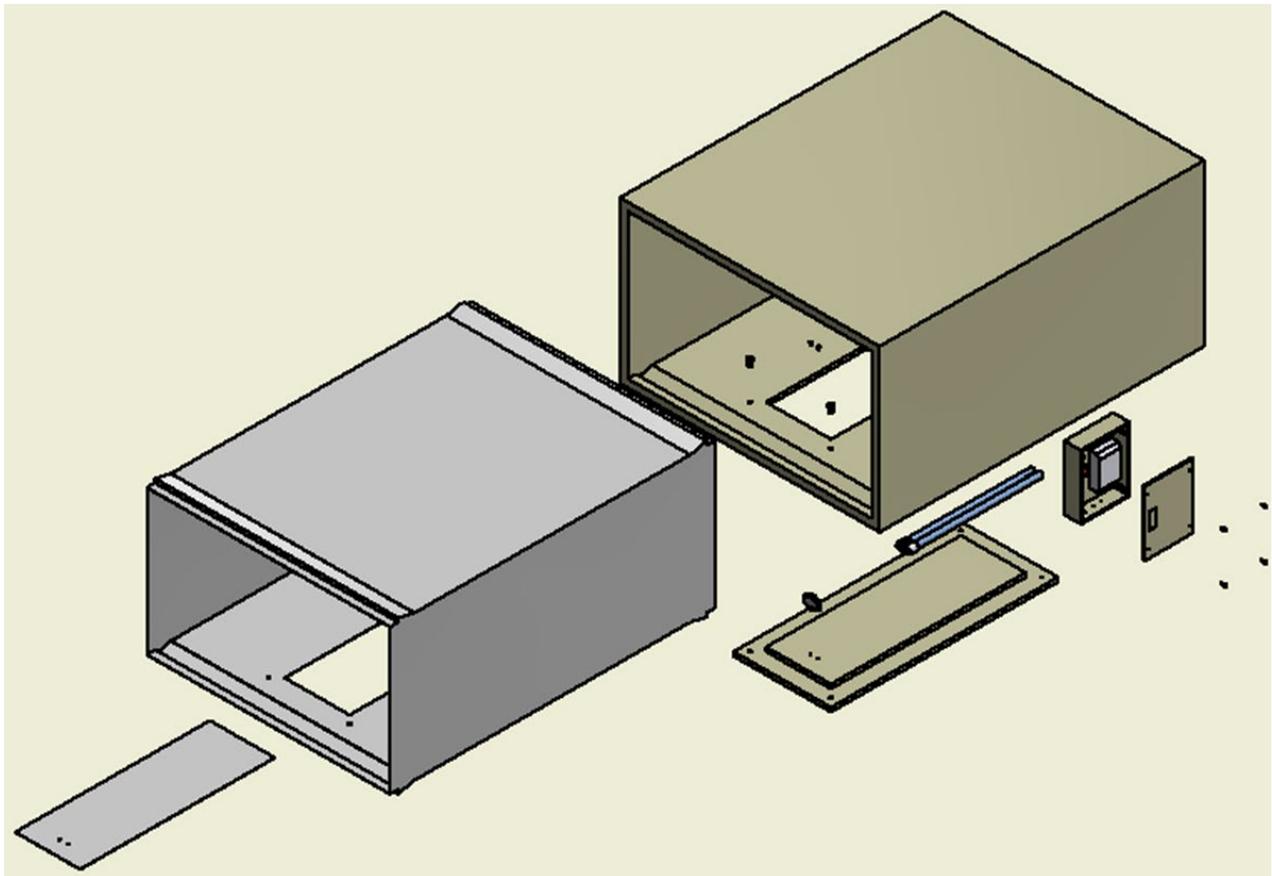
$$\text{Exposición} \left(\frac{\text{mW} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} \right) = 42,30 \left(\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \right) \times 0,16667 \text{ (s)} = 7,050 \text{ mW} \cdot \frac{\text{s}}{\text{cm}^2} \quad (5)$$

Finalmente obtenemos un valor de $7,050 \text{ mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$. Este valor es superior a la intensidad mínima requerida ($3,52 \text{ mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$) para inactivar el 99% de los distintos tipos de microorganismos en el contorno de la lámpara y hasta unos 8 cm de distancia. En puntos más alejados la intensidad será menor y bajará la efectividad de la desinfección, no alcanzándose ese 99% sino valores más próximos al 90%.

7. Composición del módulo acoplable

Como ya hemos adelantado, se ha definido un módulo ortoédrico de un metro de longitud realizado en polipropileno con una abertura rectangular. Sobre la tapa de dicha abertura se fija el portalámparas. La parte interna está recubierta de una chapa de aluminio de alta capacidad reflectante que mejora la irradiación (Figura 3). La caja eléctrica se coloca en un lateral. Todo el bloque se debe instalar en el retorno a la máquina justo antes del filtro de partículas.

Figura 3. Despiece del módulo.



8. Conclusiones

La preocupación por la desinfección del aire en los locales cerrados ha crecido en este último año debido a los efectos nocivos del coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19). El RITE hace hincapié en la renovación del aire pero hasta el momento no se ha establecido obligación alguna en cuanto a la desinfección del aire recirculado.

La desinfección mediante ozono es más difícil de aplicar y no es inmediata pues requiere la evacuación del local hasta que éste se degrada completamente, al ser el ozono perjudicial

para la salud. Por otra parte los filtros HEPA y los electrostáticos resultan excesivamente caros para un uso generalizado.

La desinfección mediante rayos UV-C actúa de forma continua sobre el aire recirculado y ha demostrado que resulta sencilla y económica. Puede además utilizarse durante todo el tiempo de uso del local porque no incide sobre el tejido humano.

Para ello basta acoplar un módulo por donde hagamos circular el aire de retorno a la máquina. El módulo dispone de una lámpara UV-C que una vez conectada es capaz de desinfectar en una alta proporción el aire que distribuye los aerosoles humanos potencialmente contagiosos. El módulo definido resulta económico y fácil de aplicar.

Al colocarse el módulo junto al filtro de retorno, la radiación residual ayuda a que las impurezas recogidas se mantengan libres de patógenos.

9. Referencias

- AENOR. UNE 0068:2020. "Requisitos de seguridad para aparatos UV-C utilizados para la desinfección de aire de locales y superficies."
- AENOR. UNE-EN 1505:1999. "Ventilación de edificios. Conductos de aire de chapa metálica y accesorios, de sección rectangular."
- AENOR. UNE-EN 1506:2007. "Ventilación de edificios. Conductos de aire de chapa metálica y accesorios de sección circular. Dimensiones."
- AENOR. UNE-EN 100012:2005: "Higienización de sistemas de climatización."
- ASHRAE, 2012. ASHRAE Handbook. Heating, Ventilating, and Air-Conditioning systems and equipment.
- ASHRAE, 2015. ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning.
- ASHRAE 185.1-2020. Method of Testing UV-C Lights for Use in Air-Handling Units or Air Ducts to Inactivate Airborne Microorganisms (ANSI Approved).
- ASHRAE 185.2-2020 Method of Testing Ultraviolet Lamps for Use in HVAC&R Units or Air Ducts to Inactivate Microorganisms on Irradiated Surfaces (ANSI Approved).
- BOE. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Cairns W. L. & Wright H. B. (2016). Desinfección del agua por medio de luz ultravioleta. Trojan Technologies Inc. Obtenido de http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/LUZ_ULTRAVIOLETA.pdf.
- Código Técnico de la Edificación, Documento Básico Salubridad 2020, HS3 Calidad del aire interior Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/Salubridad.html>
- Global Lighting Association, (2020). Position Statement on Germicidal UV-C Irradiation. UV-C Safety Guidelines.
- Kowalski, W. (2009). Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface.
- Ministerio de Sanidad de España (2020). Nota sobre el uso de productos que utilizan radiaciones Ultravioleta-C para la desinfección del SARS-COV-2. Obtenido de <https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos.htm>
- Ministerio de Sanidad de España (2020). Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales para la prevención de la propagación del SARS-COV-2. Obtenido de

<https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos.htm>

MundoHVAC&R (2020). Uso de Luz Ultravioleta en el Aire Acondicionado. Obtenido de <https://www.mundohvacr.com.mx/2009/02/uso-de-luz-ultravioleta-en-el-aire-acondicionado/>

Unión Europea. Directiva 2008/50/EC, de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. *Diario Oficial de la Unión Europea*. 11 de junio de 2008, Anexo 7, pp 24-25.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

