



Guía Técnica de Uso e Instalación de Radiación UV



Esta guía técnica ha sido redactada por:

- *Marc Ballbé, de la empresa ASSELUM*
- *Jordi Verdaguer, de JVV GRUP*
- *Toni Bonàs y Carlos Salafranca, de LUXIONA*
- *Meritxell Humbert, de LED & COMPONENTS EXPERTS*
- *Carles Fradera, de EURECAT*
- *Miquel Rovira, de EURECAT*
- *Virgínia Garcia, de EURECAT*
- *Sílvia Molas, de EURECAT*
- *Xavier Martínez, de EURECAT*
- *David Martín, de EURECAT*
- *Pedro Nadal, de EURECAT*
- *Jordi Arasanz, de LAMP*

La guía técnica ha sido supervisada por:

- *Francesc Jordana, de SIMON*
- *Jordi Rocasalbas, de LEDS-C4*
- *Jorge Hernández, de TECNOCERT*
- *Jessica Juliette Kamps, del Clúster de Iluminación CICAT*

Esta guía técnica ha sido aprobada por la Junta Directiva del Clúster de Iluminación CICAT.

ÍNDICE

1. Introducción

2. Espectro electromagnético

3. Afectación a materiales en superficies irradiadas

4. Fuentes, diseño, instalación y mantenimiento

5. Prevención

6. Conclusiones

7. Glosario

8. Bibliografía

1 Introducción

El Cluster de Iluminación CICAT es una entidad sin ánimo de lucro de ámbito nacional fundada en 2010 que agrupa actores de toda la cadena de valor del Sector de la Iluminación. Promovemos la Cultura de la Luz a nivel nacional e internacional. 'La cultura de la luz' es el conjunto de conocimientos y acciones destinados al uso eficiente de la iluminación, ya sea para el bienestar de las personas, resaltar la belleza de las cosas, crear una atmósfera concreta, concebir obras de arte o culturales... y cualquier aplicación que se pueda dar a la luz. El principal objetivo del Cluster CICAT es ayudar a mejorar la competitividad, visibilidad y oportunidades de negocio de sus miembros asociados a través de actividades de valor añadido.

Más información en www.clusteriluminacion.org

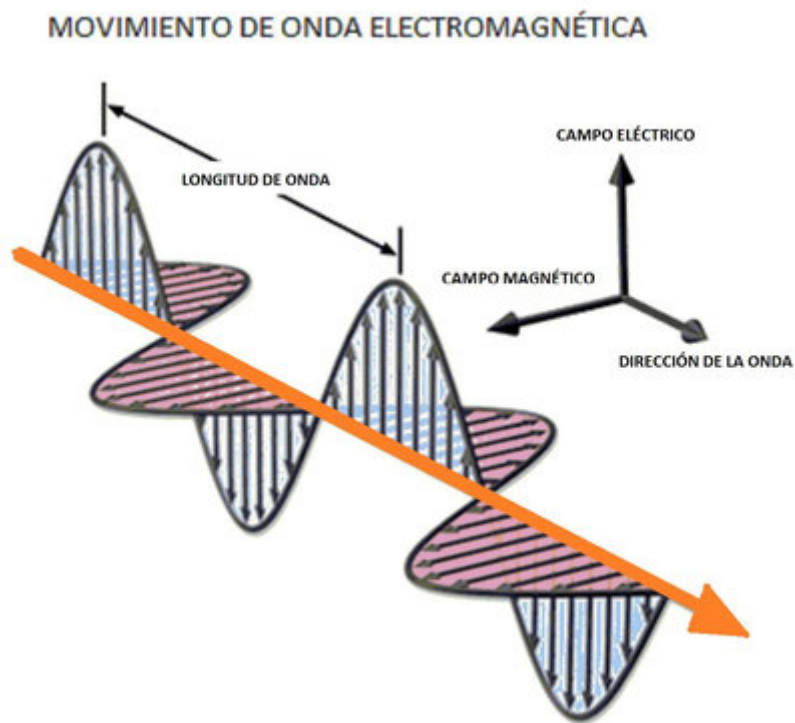
La presente Guía es parte del trabajo realizado por el Grupo de Trabajo de radiación ultravioleta.

En el contexto de la epidemia mundial de COVID-19, el CICAT recibe muchas consultas y se preocupa por la proliferación de dispositivos desinfectantes de radiación UVC, especialmente los vendidos mediante diferentes plataformas famosas en Internet, con características de seguridad dudosas e instrucciones de seguridad inadecuadas. Está claro que es urgente informar sobre normas técnicas de seguridad integrales para dispositivos UVC.

Diversas reconocidas entidades están trabajando en la parte de desarrollo de estándares como pueden ser por ejemplo el laboratorio UL (Underwriters Laboratories) y la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional). Mientras tanto el CICAT publica este documento como una guía para llamar la atención sobre los problemas de seguridad asociados con los productos UVC, entender su funcionamiento y proporcionar orientación sobre su uso seguro.

2 Espectro electromagnético

Entre el 1860 y 1870 James Clerk Maxwell unificó los campos de la electricidad, el magnetismo y la óptica con sus trabajos sobre el electromagnetismo. Maxwell definió la luz como una perturbación electromagnética (un campo eléctrico y un campo magnéticos perpendiculares entre sí) en forma de ondas que se propagan a una velocidad finita, la velocidad de la luz.

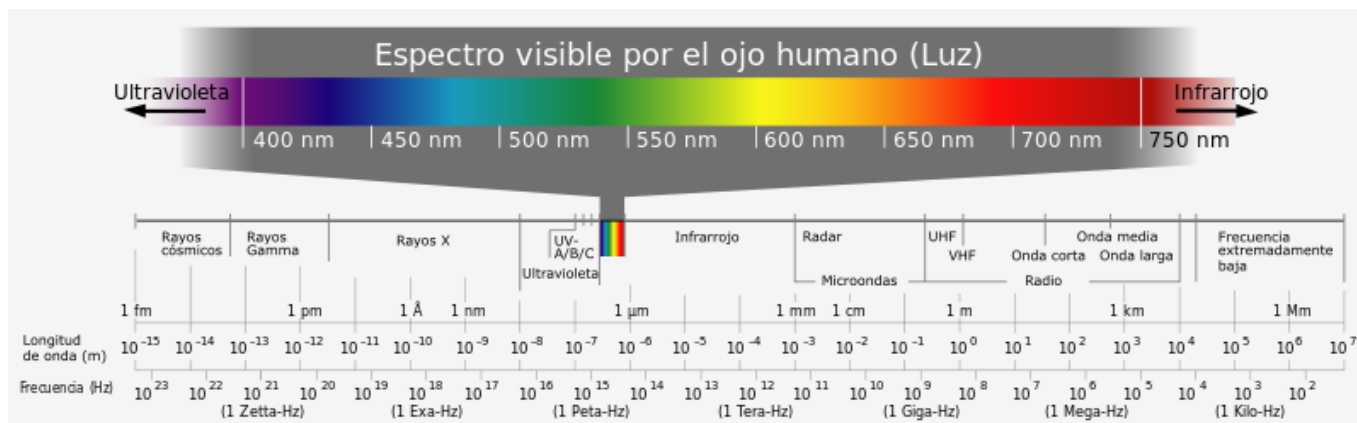


Movimiento de una onda electromagnética.

Para entender mejor las características de la radiación ultravioleta y sus efectos en humanos y patógenos es necesario comprender los parámetros fundamentales.

El movimiento de una onda desde cualquier punto hasta su homólogo se llama ciclo. El número de ciclos que produce una onda en 1 segundo es su frecuencia y su unidad es el hercio (Hz). A la distancia entre 2 crestas consecutivas se le denomina longitud de onda. Cuanto más alta es la frecuencia más corta es la longitud de onda y cuanto más baja es la frecuencia más larga es la longitud de onda. Son solo estas diferencias las que hacen que una onda electromagnética sea diferente de la otra.

Si ordenamos las ondas electromagnéticas en función de su frecuencia o longitud de onda, podemos ver un espectro continuo al cual llamamos espectro electromagnético.



Espectro electromagnético.

Podemos clasificar la radiación electromagnética por su longitud de onda. La radiación óptica ocupa la zona comprendida entre los rayos X y las microondas y se divide en radiación ultravioleta (UV), visible e infrarroja (IR).

En algunos casos, las bandas se pueden solapar no teniendo unos límites estrictamente fijos.

Además de UV e IR, la radiación se subdivide también en tres clasificaciones denominadas A, B y C. La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) y la directiva 2006/25/CE [1] de radiación óptica artificial nos marca las clasificaciones por su longitud de onda:

- Radiación ultravioleta (UV): la radiación óptica de longitud de onda comprendida entre 100 y 400nm y esta está subdividida en UVA (315-400nm), UVB (280-315nm) y UVC (100-280nm).
- Radiación visible: comprendida entre las longitudes de onda 380nm y 780nm.
- Radiación infrarroja (IR): radiación de onda comprendida entre 780nm y 1mm. La región infrarroja se divide en IRA (780-1400nm), IRB ((1400-3000nm) e IRC ((3000nm-1mm)

Las longitudes de onda por debajo de 180nm (UV de vacío) tienen poca importancia biológica práctica ya que se absorben fácilmente en el aire [2].

2.1. RADIACIÓN UV Y SUS EFECTOS

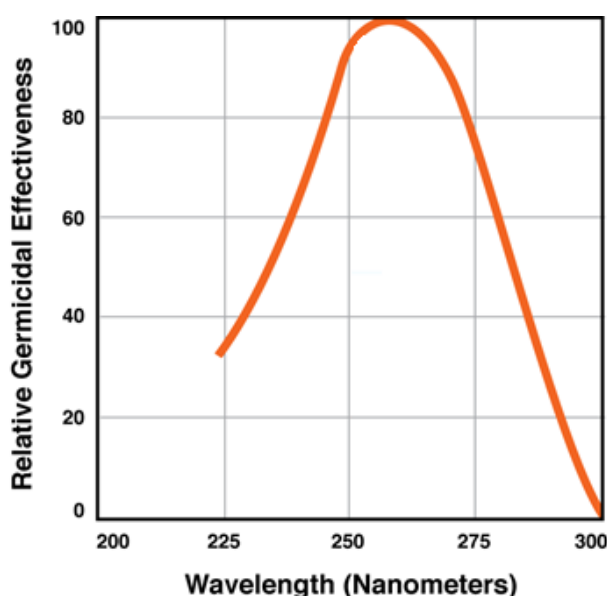
Dependiendo de la longitud de onda y el tiempo de exposición, la radiación UV posee diferentes propiedades útiles en múltiples campos de aplicación, pero al mismo tiempo puede ser causante de daños en ojos y piel.

La radiación ultravioleta se utiliza en una amplia variedad de procesos médicos e industriales y para fines cosméticos. Estos incluyen fotocurado de tintas y plásticos (Se utiliza sobre todo UVA y UVB), procesos fotorresistentes (todos los UV), simulación solar (todos los UV), curtido cosmético (UVA y UVB), pruebas de decoloración (UVA y UVB), dermatología (todos los UV) y Odontología (UVA) [3]. También podemos encontrar la utilización de radiación UV en autenticación de billetes o pasaportes, detección de fluidos corporales en análisis

forenses; efectos especiales en escenarios o discotecas (UVA). También podemos encontrar la utilización de fuentes de luz UV para tratamiento y desinfección de agua (de acuarios, piscinas, invernaderos, residuales), desinfección de instrumentos y esterilización de aire (UVC) [4].

El orden de eficacia germicida de las regiones UV es $UVC > UVB > UVA$.

La radiación UV, y en mayor medida el UVC, destruye la capacidad reproductiva de los microorganismos debido a cambios fotoquímicos en los ácidos nucleicos y en menor grado a proteínas. Es un método ampliamente conocido de desinfección y apto para varios tipos de virus, incluyendo SARS-CoV. La eficacia de la desinfección depende de varios factores, tales como la potencia de la radiación, la distancia al objeto irradiado, las zonas inalcanzadas por radiación directa, la presencia de proteínas u otros elementos que absorben UV, entre otros factores más específicos. Pese a sus limitaciones puede ser un método complementario para combatir el COVID-19.

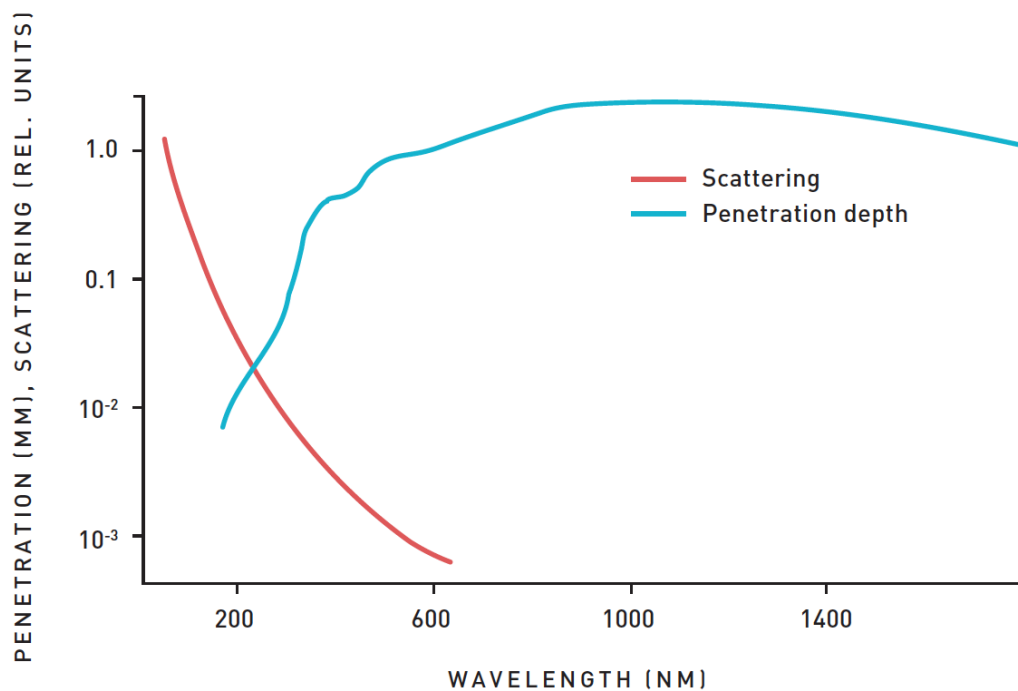


Efecto germicida respecto a la longitud de onda. La máxima acción germicida se produce entorno a los 260-265nm.

2.2. EFECTOS DE LA RADIACIÓN UV EN LOS SERES HUMANOS

Las radiaciones ópticas no poseen suficiente energía para provocar la ionización de la materia biológica sobre la que inciden, por lo que están clasificadas dentro del espectro electromagnético en el grupo de las radiaciones no ionizantes. Sin embargo, una exposición inadecuada a radiaciones ultravioleta puede causar daños en los ojos y en la piel.

La radiación electromagnética UV tiene un poder de penetración limitado. El cuerpo humano responde de forma diferente en cada una de las regiones del espectro óptico, ya que la energía de la radiación está relacionada con su rango espectral. El tipo de lesión dependerá de la absorción de esa energía por los distintos tejidos biológicos [2].



Espectro de penetración de la luz y la radiación UV en el tejido humano.

Como se puede observar en el gráfico, la dispersión aumenta con la disminución de la longitud de onda.

Los efectos de la radiación UV sobre piel y ojos, son dependientes del tiempo de exposición y la cantidad de radiación recibida. Por ejemplo: la luz azul puede causar lesiones en la retina por una exposición de corta duración con una fuente luminosa muy intensa o por una exposición más prolongada a una fuente de luz menos intensa.

Los ojos detectan y focalizan la luz hasta la retina. Para protegerse frente a fuentes visibles excesivamente brillantes, disponen de mecanismos de aversión (constricción de la pupila, parpadeo, lagrimeo, etc.). En función de la longitud de onda, la radiación óptica se absorbe en los diferentes tejidos del ojo. La córnea y la conjuntiva absorben la mayoría de las longitudes de onda por debajo de 300nm, el cristalino absorbe el IRC, UVA e IRB y la retina el visible y el IRA [2].

Uno de los principales efectos que nos puede producir una inadecuada exposición de la radiación UV son las cataratas de origen fotoquímico. Se trata de un aumento de la opacidad del cristalino originado por la desnaturalización de sus proteínas. Otros efectos que pueden aparecer son la fotoqueratitis y la fotoconjuntivitis (inflamaciones de la córnea y la conjuntiva, respectivamente). Se caracterizan por dolor intenso, irritación, fotofobia, lagrimeo y sensación de arena en los ojos. [3]

En la piel, la penetración de la radiación óptica depende de la longitud de onda y de las propiedades ópticas del tejido. La mayor parte de la radiación ultravioleta es absorbida en las capas más externas. La radiación UVB se absorbe en la epidermis mientras que la radiación UVA

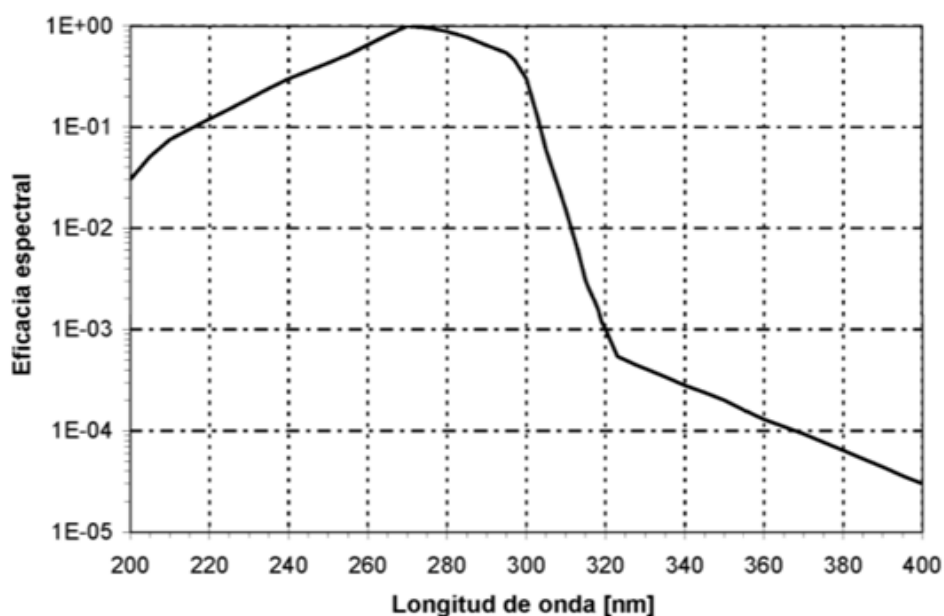
tiene un nivel de penetración mayor. Los efectos adversos por sobre exposición a radiación UV son: eritema y elastosis. Eritema es el enrojecimiento de la piel producido por la vasodilatación de los capilares, en ocasiones acompañado de hinchazón y dolor.

Se produce tras pocas horas de exposición y persiste unos días, después aparece un aumento de la pigmentación. Por otro lado, la elastosis consiste en una degradación de las fibras de colágeno y elastina de la dermis lo que provoca un envejecimiento cutáneo precoz en el que la piel pierde su suavidad y firmeza [4].

Podemos encontrar los límites de exposición a la radiación óptica en el Real Decreto 486/2010[3] según la Directiva Europea 2006/25/CE, y la clasificación de las fuentes de luz por su grupo de riesgo [5] en EN 62471.

2.3. ESPECTROS DE ACCIÓN

Entendemos por espectro de acción la relación existente entre los efectos fotobiológicos provocados y la longitud de onda que afecta a un determinado elemento, material o partícula. De esta forma podemos conocer la absorción, transmisión y reflexión de la radiación por longitud de onda en un tejido, material o molécula entre otros. Para una comprensión más fácil normalmente se plasma en una tabla o gráfica.

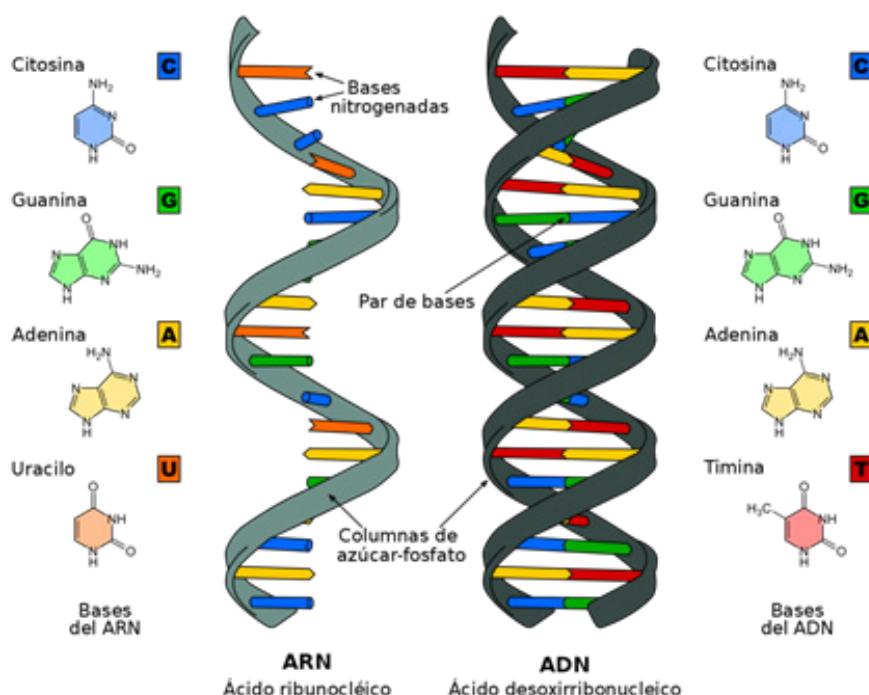


Función espectral de ponderación del riesgo actínico UV para piel y ojos. [5]

2.4. ESPECTROS DE ACCIÓN GERMICIDA

La información genética, responsable de la replicación microbial de los virus bacterias y hongos se almacena en las cadenas de ADN y ARN. Hongos y bacterias tienen esta información almacenada en cadenas de ADN, mientras que, en el caso de los virus, esta puede estar o en cadenas de ADN o en cadenas de ARN. [6]

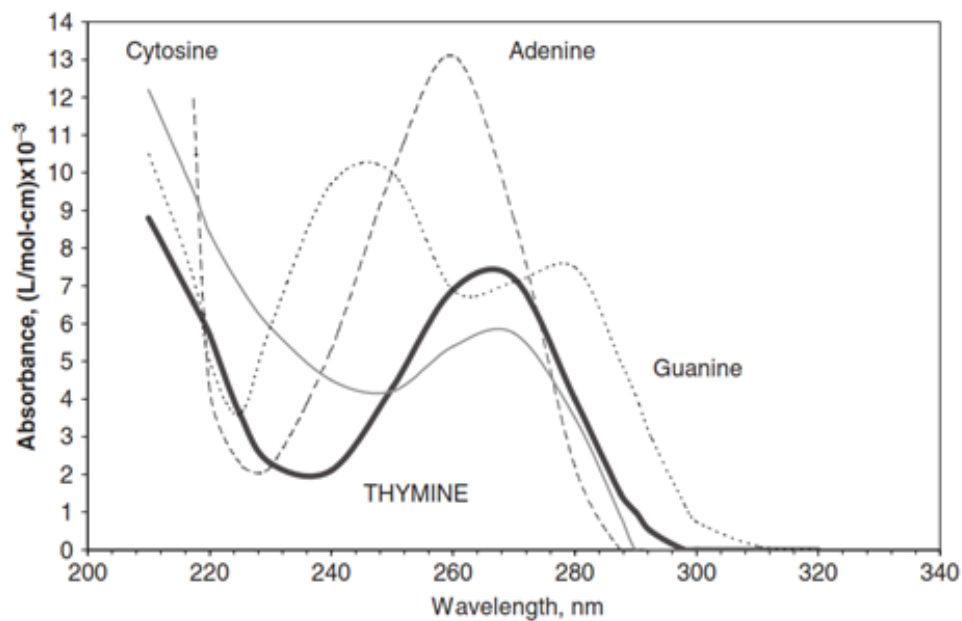
La radiación UV es una radiación electromagnética capaz de inhibir la capacidad de replicarse de los microorganismos al causar cambios fotoquímicos en los ácidos nucleicos que componen las cadenas que guardan la información genética de los mismos. Estas cadenas se conocen como ADN o ARN.



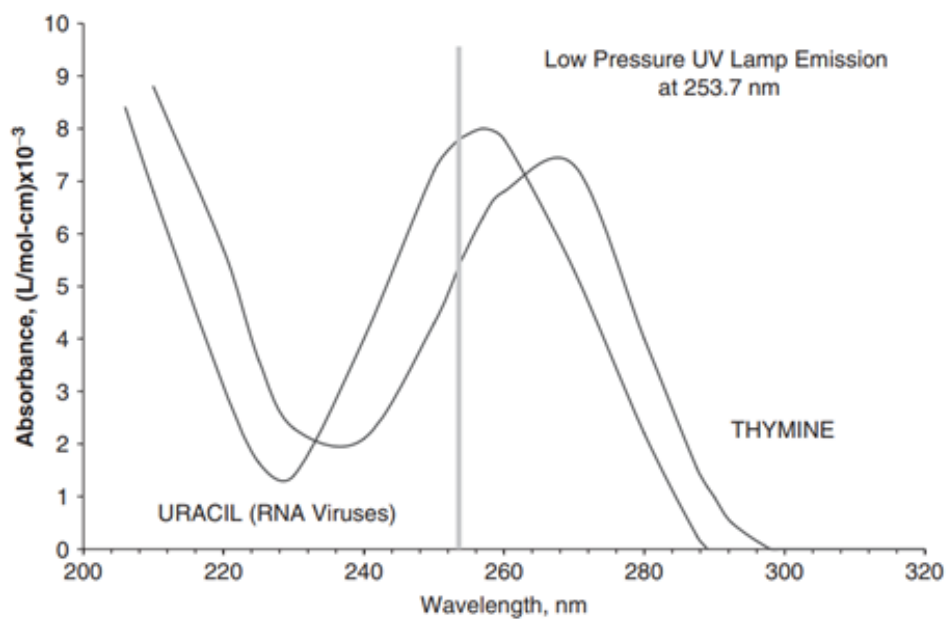
Estructuras químicas de nucleobases. (Fuente: Roland 1952)

Tal como se muestra en la imagen anterior, el ADN y el ARN se encuentran formados por una secuencia de nucleótidos que incluyen bases de purina (Adenina y Guanina) y bases de pirimidina (Citosina y Timina en el caso del ADN o Uracilo en el caso del ARN) [6].

Observando los espectros de absorción de las bases nitrogenadas [6] (Gráfico 1), y el espectro de absorción del Uracilo comparado con el de la timina [6] (Gráfico 2), podemos ver los puntos de máxima absorción en función de la longitud de onda. Estos puntos son los puntos de máxima eficacia germicida y corresponden a unos 260-265 nm.



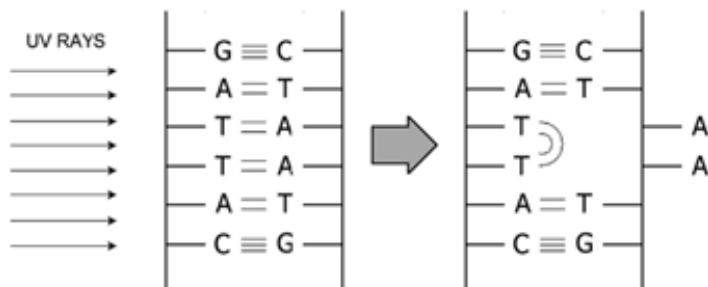
Espectros de absorción de las bases nitrogenadas [6]



Espectro de absorción del Uracilo comparado con el de la timina [6]

El ADN es una hélice bicatenaria unida por una secuencia de cuatro bases constituyentes (adenina, citosina, guanina y timina), que se combinan (adenina con timina y citosina con guanina) y se mantienen unidas mediante enlaces de hidrógeno. El efecto de la absorción de la radiación ultravioleta de las cuatro bases provoca en la timina una reacción fotoquímica que genera la formación de dímeros de timidina-timidina, reticulación de proteínas de ADN y proteínas, así como reacciones de fragmentación y polimerización de aminoácidos y azúcares de Maillard [7].

Los dímeros de timina se forman cuando una de las dos bases de timina, ubicadas una junto a la otra, absorbe un fotón UV. Esto conduce a la formación de un enlace químico entre las dos timinas (llamado dímero de timina). Este enlace químico altera la estructura del ADN, de modo que, si se forman suficientes dímeros de timina, el ADN no puede replicarse en la mitosis celular (división). Este es el mecanismo fundamental de la desinfección UV.



Dímeros de timina causados por la absorción de UV en nucleótidos adyacentes. [6]

En el caso del ARN se observa [7] una reacción similar donde una suficiente absorción de radiación UV provoca la aparición de hidratos y dímeros de Uracilo, al igual que ocurre con la Timina en el ADN.

La aparición de estos dímeros tanto en cadenas de ADN como de ARN provoca en los virus, bacterias y demás patógenos la inactivación o la incapacidad de reproducción y de infectar. [6] De todas maneras, aunque los métodos y detalles de desinfección con luz ultravioleta se entienden bastante bien, hasta el punto de que se pueden diseñar e instalar sistemas de desinfección efectivos con efectos predecibles, la naturaleza exacta del efecto de la luz ultravioleta sobre los patógenos sigue siendo una cuestión de investigación intensiva.

3

Afectación a materiales en superficies irradiadas

La corrosión o degradación de los materiales durante su vida útil es un problema muy común en todos los sectores con efectos muy costosos como pueden ser, parada de producción, efecto en el medio ambiente, accidentes, etc. Aproximadamente entre el 3.4% y el 4.5% del PIB de un país está destinado a la sustitución o reparación de equipos o infraestructuras degradadas o corroídas. Este porcentaje se puede reducir considerablemente si se aplican las medidas oportunas de selección de materiales, recubrimientos y conocimientos de los mecanismos de corrosión que actúan sobre los materiales.

El espectro de la luz solar consiste o podría dividirse en la radiación solar, la radiación infrarroja (IR), la cual calienta los materiales, i la radiación Ultravioleta (UV). Es esta última la que produce más daño en los materiales. Cuando las moléculas absorben energía radiante, se excitan (un electrón pasa del estado fundamental a un estado de energía superior). Cuanto más pequeña es la longitud de onda, mayor es la energía de la radiación y cuando es lo suficientemente energética, la radiación puede romper enlaces químicos.

Así, el efecto de la radiación UV sobre los materiales poliméricos está ampliamente documentada y deben modificarse con aditivos los componentes poliméricos para reducir dicha afectación. Por este motivo muchos de los materiales son susceptibles de ser corroídos cuando están expuestos al medio ambiente bajo los efectos de la temperatura, humedad y radiación solar, principalmente la radiación ultravioleta (UV).

Los límites del rango espectral de la radiación UV pueden variar en función de la bibliografía, no obstante, siguiendo la clasificación de las normas ISO 105-A08:2001, el rango espectral para esta radiación es de entre 100nm y 400nm, y se divide en tres: UV-A de 315-400nm; el UV-B de 280 nm a 315 nm i finalmente la UVC de 100nm a 280nm.

A menor longitud de onda mayor energía, así que las podríamos clasificar como UVC > UVB > UVA según su energía. De entre ellas la más peligrosa es la UVC, que generalmente es absorbida por la atmosfera terrestre, cuando las otras están absorbidas solo en parte por la atmosfera. Por este motivo son las que deberemos tener más en cuenta en investigación de materiales que estén expuestos a la intemperie, durante grandes periodos de tiempo. Por ejemplo, la radiación UVB causa pigmentación de la piel y eritema (o enrojecimiento de la piel), así como la creación de radicales libres. Por otra parte, la UVA afecta procesos de fotoquímicos y de pigmentación.

Cerámicas

Las cerámicas son generalmente menos susceptibles al daño por rayos UV, aunque los cambios de color no son infrecuentes en los pigmentos y tintes utilizados en sus superficies. Se puede observar agrietamiento tanto en cerámicas como en polímeros, aunque generalmente es de mucha mayor importancia en cerámicas debido a su menor tenacidad.

Metales

Los metales casi no se ven afectados por los rayos UV debido a la disponibilidad de electrones libres para absorber la energía de los fotones. Existe alguna evidencia publicada de aumentos en las tasas de corrosión de los metales sumergidos en agua expuesta a los rayos UV, pero los resultados son de importancia cuestionable. En algunos materiales como el Cu o Ni, se observó crecimiento de la capa de óxido superficial debido a la interacción con la radiación UV pero estas investigaciones son puntales y sus resultados no se han demostrado científicamente.

Los estudios realizados sobre materiales metálicos son limitados y casi no hay ninguna investigación científica reportada en la literatura sobre la influencia de la radiación UV sobre la corrosión. Frecuentemente, a los materiales metálicos expuestos a la radiación UV se les aplican recubrimientos poliméricos. Estos recubrimientos o lacas pueden verse gravemente afectados por la exposición a los rayos UV.

Plásticos

La resistencia de los plásticos a la radiación ultravioleta, por otra parte, es un tema ampliamente estudiado a lo largo de los años y el mercado propone diferentes soluciones dadas las múltiples aplicaciones expuestas al efecto de los rayos UV.

Aunque el requerimiento no es el mismo en una aplicación exterior expuesta directamente a los rayos del sol y al efecto de las variaciones térmicas, que, en una aplicación interior, en todos los plásticos la exposición al UV tiene un efecto directo en su envejecimiento y en la percepción que el usuario tiene de ellos. Este efecto se manifiesta en mayor o menor medida dependiendo del tipo de plástico y de los aditivos presentes en su formulación.

Los plásticos son sustancias orgánicas y absorben la energía de la radiación UV promoviendo una degradación lenta de las moléculas de polímero que se manifiesta superficialmente con un amarillamiento progresivo y finalmente dando lugar a microgrietas, o también afectando directamente a aditivos añadidos en su formulación.

Muchas veces los pigmentos que se utilizan para colorear los plásticos experimentan un viraje del color dado que la mayoría son sustancias orgánicas también lábiles a la radiación ultravioleta debido a la presencia de dobles enlaces y anillos aromáticos en su química. Hay que tener en cuenta que este amarillamiento al principio afecta sólo a las últimas micras de la piel de la pieza plástica mientras que el material en el interior está en perfectas condiciones y aunque tenga un efecto estético, la pieza sigue siendo perfectamente funcional. A lo largo del tiempo esta degradación va avanzando y se suma a las otras causas de envejecimiento tales como creep, ciclos térmicos, sollicitaciones mecánicas, degradación química, etc., que finalmente determinan el final de la vida útil de la pieza plástica.

Aunque la duración de la vida útil de un plástico varíe mucho dependiendo del tipo de plástico y de las condiciones de uso, para la mayoría de los plásticos comunes los fabricantes señalan un periodo de 5 años como orientación general, aunque en algunos casos alarguen la recomendación hasta 15 o incluso más años. Por cierto, que es importante mencionar que puesto que el diseño y las condiciones de uso influyen tanto en la duración de una pieza de

plástico es responsabilidad de la empresa que fabrica la aplicación final hacer los ensayos necesarios para conocer cómo se comporta bajo radiación UV y mucho más homologar cualquier desarrollo para una aplicación exterior concreta.

En este sentido los mercados de la construcción y del sector de automoción han sido motrices poniendo a punto test de envejecimiento que tienen en cuenta la degradación UV que se han ido extendiendo a otros mercados y que se pueden contratar en centros tecnológicos y otros proveedores de tecnología. En concreto el Xenotest es el más utilizado y consiste en someter a probetas del material bajo estudio a la radiación de lámparas de Xenón como ensayo acelerado del comportamiento al UV. Incluso se puede combinar con ciclos térmicos y humedad para simular mejor las condiciones a la intemperie.

Con un simple vistazo rápido a calles y espacios públicos podemos ver múltiples aplicaciones basadas en plástico que van desde mobiliario urbano (papeleras, columpios, contenedores de basura, componentes en farolas y semáforos) elementos de construcción (fijaciones, componentes de toldos, sillas y mesas en terrazas, ...) componentes de automóviles y motos (faros, retrovisores, manetas de puerta, ...) y muchas otras variadas tales como vallas de jardín, pinzas de la ropa, armarios eléctricos, lavabos portátiles, paradas de autobús, equipos de aire acondicionado y un largo etcétera.

En todas hay exposición por trabajar a la intemperie, pero la radiación ultravioleta también afecta a aplicaciones interiores expuestas a iluminación intensa tales como expositores de productos de cosmética o puntos de publicidad. Ya hemos mencionado que algunos plásticos como el PMMA (polimetilmetacrilato), el ASA (acrilonitrilo estireno acrilato), el PVC (cloruro de polivinilo), el PBT (polibutilentereftalato), el PU (poliuretano) termoestable o las siliconas entre los elastómeros, resisten mejor los rayos UV por su propia naturaleza.

Agentes químicos para proteger el plástico

Los fabricantes de materiales disponen en su catálogo de grados estabilizados al ultravioleta por medio de agentes químicos estabilizantes que absorben la radiación y protegen el polímero. Estos aditivos tienen una duración limitada puesto que se van degradando a medida que absorben la radiación, pero se utilizan ampliamente.

En otros casos como algunas aplicaciones transparentes de packaging el aditivo anti-UV tiene por finalidad proteger el producto que lleva en el interior, normalmente un detergente o tensoactivo. En aplicaciones de mayor valor añadido y donde es necesario asegurar la calidad y aspecto estético durante años se opta por proteger la pieza plástica mediante pinturas, barnices o incluso cromados o metalizados que apantallan la radiación.

Ejemplos de piezas plásticas pintadas pueden ser retrovisores y manecillas de puerta en automóvil mientras que las ópticas de policarbonato son el mejor ejemplo de barnices endurecedores en base de silicona que evitan el amarillamiento del faro a la vez que lo protege del rayado.

Por último, es importante recordar que fenómenos de degradación lenta como puede ser la radiación ultravioleta a la que están sometidas piezas plásticas trabajando a la intemperie, en combinación con otros factores, pueden originar microrroturas que finalmente den lugar a

contaminación por microplásticos. Es necesario hacer una buena selección de los materiales y acabados de acuerdo con el uso que van a tener y dónde van a trabajar, así como asegurar un mantenimiento adecuado para reducir su impacto en el medio.

Textiles

En el caso de los textiles el daño fotoquímico ocasionado por la luz visible y UV, o térmico por IR, es irreversible y acumulativo, tal y como pasa en los plásticos. En el caso del textil, se manifiesta en forma de decoloración, desvanecimiento, resecamiento, quiebre interno de las fibras textiles y finalmente su desintegración. Estos procesos pueden acelerarse en un ambiente húmedo, y con alta temperatura. Además, estos procesos, se intensifican por la penetración de ciertos colorantes o los tratamientos en el acabado de los textiles.

Esta degradación puede minimizarse utilizando estabilizadores UV en materiales textiles. La degradación se produce en presencia de aire a causa de la oxidación, y esta reacción de oxidación ocurre bajo la exposición de UV. Se podría minimizar mediante el uso de absorbentes UV y antioxidantes.

Absorbentes UV

En este caso la protección textil se puede conseguir integrándolo en la estructura del polímero, o mediante recubrimiento de la fibra, o del textil mismo. Estos compuestos absorben en el rango de los 290-400 nm y disipan la energía en forma de calor para evitar degradación y pérdida de color.

Antioxidantes

Estos son compuestos orgánicos que se añaden a los textiles, para retardar la oxidación y prolongar la vida de estos. Los antioxidantes se incorporan al textil como aditivos poliméricos, más que como acabados superficiales. La combinación de absorbentes UV y antioxidantes proporciona al tejido una mayor protección.

Aplicación de la radiación UV como tratamiento desinfectante sobre textiles

En este caso el efecto de la degradación de los materiales varía, ya que está condicionado por variables como: tipo de fibra expuesta a la radiación, las condiciones ambientales de humedad y temperatura, el tiempo de exposición, la intensidad de radiación y la longitud de onda, que generalmente suele ser UVC, más potente y agresiva. Controlando estos parámetros se puede minimizar la degradación de los materiales textiles provocada por el tratamiento.

Sería posible determinar para un mismo tratamiento de radiación UV efectivo, el efecto que este tiene en la degradación de diferentes muestras de tejido que varíen sus propiedades según:

- Composición (fibras naturales/sintéticas).
- Estructura textil (punto, calada).
- Acabados (funcionales).
- Tintura o estampación.

Los parámetros principales para evaluar la degradación de los tejidos serían:

- Resistencia a la tracción.
- Resistencia a la abrasión.
- Elasticidad.
- Solidez del color.

Finalmente, también se podrían añadir datos sobre la rugosidad de la superficie de las fibras o sus modificaciones, mediante microscopia electrónica por ejemplo utilizando Scanning Electron microscopy (SEM).

4

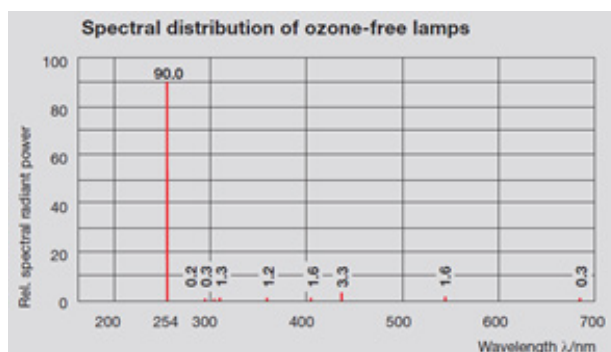
Fuentes, diseño, instalación y mantenimiento

4.1. FUENTES

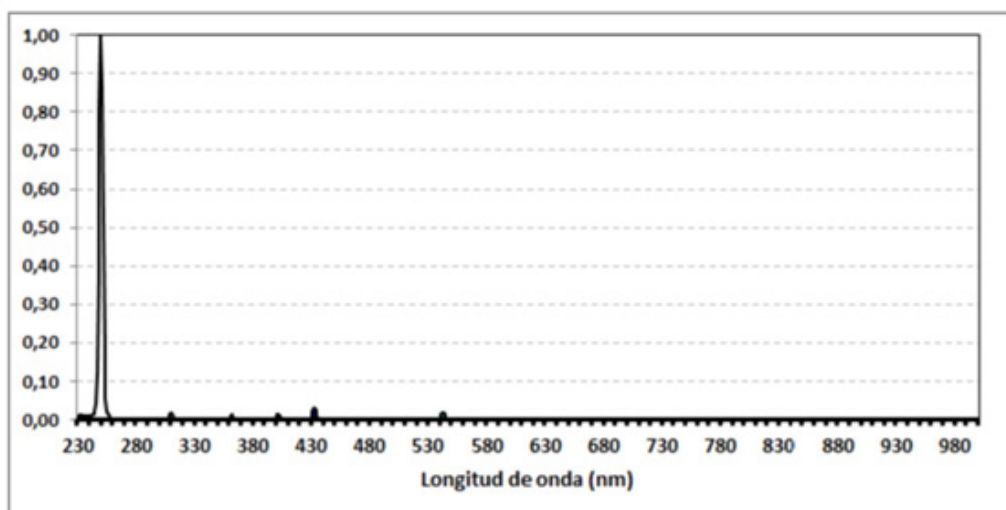
Lámparas de descarga de mercurio a baja presión

Una de las fuentes de luz que se puede utilizar para realizar productos germicidas con radiación UVC, son las lámparas de descarga de mercurio a baja presión.

Están diseñadas para emitir a una longitud de onda de 254nm, muy cerca del valor óptimo para el mejor efecto germicida, que es de 260nm. Además, se puede apreciar en su espectro radiométrico que tienen emisiones en la zona del visible, por lo que cuando están encendidas presentan un color azul o violeta, al contrario que los leds, que, al tener una sola longitud de onda en la franja no visible, no se ven encendidos cuando están funcionando.



OSRAM PURITEC® HNS® germicidal lamps technical information (Fuente: Osram)



Distribución espectral de potencia de una lámpara de mercurio de baja presión. (Fuente: Asselum)

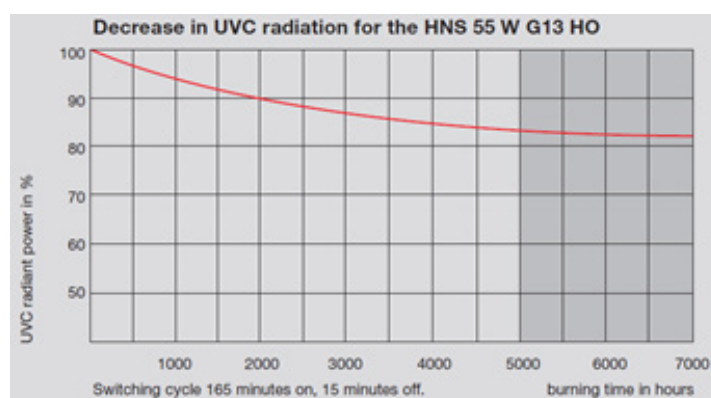
Para el recubrimiento del tubo se utilizan elementos que filtran longitudes de onda inferiores a 240nm, de modo que se evita la generación de ozono. No se deben utilizar lámparas donde el fabricante no especifique claramente que no genera ozono, pues es un gas muy perjudicial para la salud.

Lámparas UVC

También existen lámparas UVC cuya longitud de onda fundamental es de 185nm. Están diseñadas específicamente para ser generadores de ozono y se utilizan como desinfección a partir de este gas.

Estas lámparas funcionan igual que las lámparas de fluorescencia tradicionales y para su funcionamiento necesitan de un balasto electrónico. Asimismo, se presentan con los mismos formatos y casquillos que las lámparas fluorescentes tradicionales, T8 y TC-L, principalmente, en potencias que van desde 5 a 55W según el fabricante.

Es importante destacar que el rendimiento de estas lámparas es alrededor del 30%, esto quiere decir que no toda la potencia eléctrica se transforma en radiación. Los fabricantes especifican la radiación UV en W para cada tipo de lámpara.



OSRAM PURITEC® HNS® germicidal lamps technical information (Fuente: Osram)

Estas lámparas tienen una vida de alrededor de 9000 horas. Como se puede apreciar en la gráfica anterior, la radiación UVC se reduce en más de un 15% a la mitad de su vida útil. Es conveniente tener este dato en cuenta para asegurar el efecto germicida en toda la vida útil de la lámpara.

El fabricante también define el número de encendidos, que se sitúa alrededor de 50000 ciclos de on-off (Osram)

Las lámparas contienen mercurio en su composición por lo que las lámparas agotadas o rotas se deben reciclar en los puntos de reciclaje apropiados. En caso de rotura de una lámpara, es aconsejable ventilar la habitación durante 30 minutos, recoger los restos con guantes y llevar al centro de reciclaje.

LED

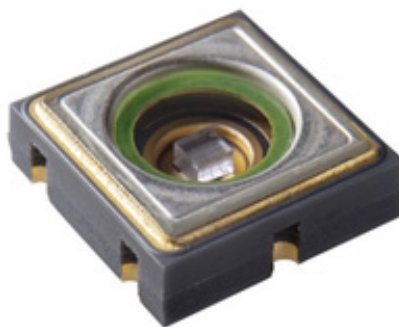
El LED es una fuente de luz ampliamente extendida y que ha supuesto un profundo cambio en el mundo de la iluminación. Esta tecnología también tiene aplicación en el ámbito de la radiación UV.

Muchos de los fabricantes que manufacturan LED de luz visible llevan años trabajando en dispositivos de radiación UV (desde el UVA al UVC). De toda manera, hay que decir que esta tecnología aún es muy joven y tiene un largo recorrido de mejora

Los LED que emiten en UVA y UVB tienen múltiples aplicaciones industriales, que van desde el curado de pinturas y adhesivos, hasta el blanqueado de los dientes. El uso está ampliamente extendido, siendo un mercado en crecimiento.

La tecnología para fabricar LED UVC actualmente es el AlGaIn (nitruro de aluminio y galio). Dada la radiación tan energética, este tipo de LED tiene unas características constructivas muy específicas.

Generalmente los encapsulados son cerámicos, las ópticas primarias acostumbran a ser de cuarzo (tienen una muy buena transmitancia en la emisión UVC) aunque también hay piezas que incorporan silicona y se usa acabados en oro como reflectores internos. Es por ello, que los LED UVC tienen un precio mucho más elevado que un LED convencional.

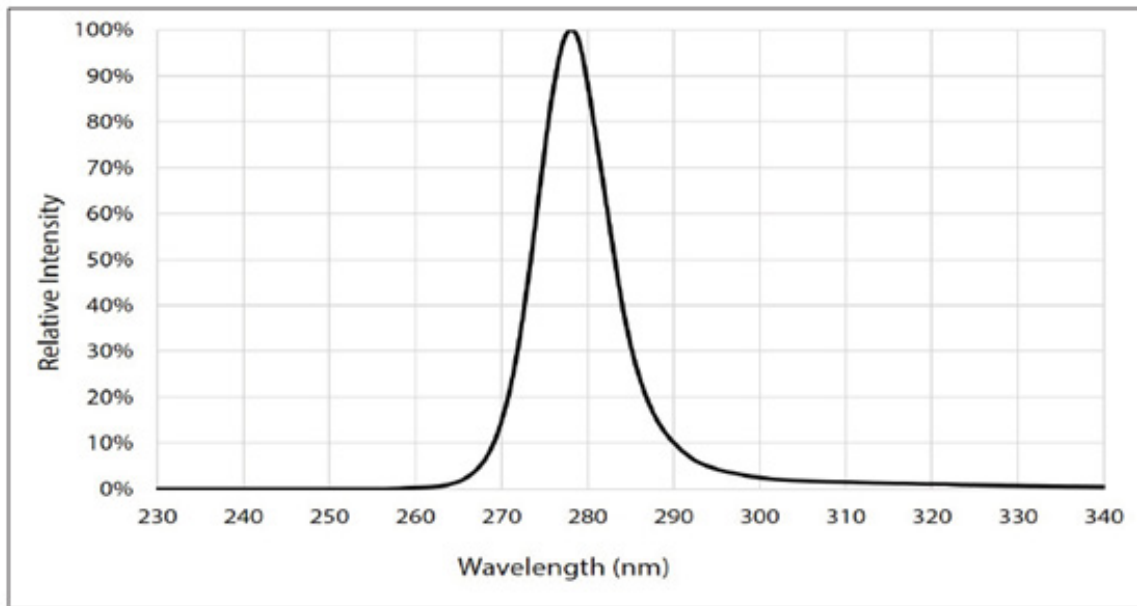


LED NCSU334A (NICHIA)

Este tipo de construcción está orientado a poder extraer la máxima radiación del dispositivo, y simultáneamente atenuar la rápida degradación de los materiales que provoca la radiación UVC.

Las principales características de los LED UVC son:

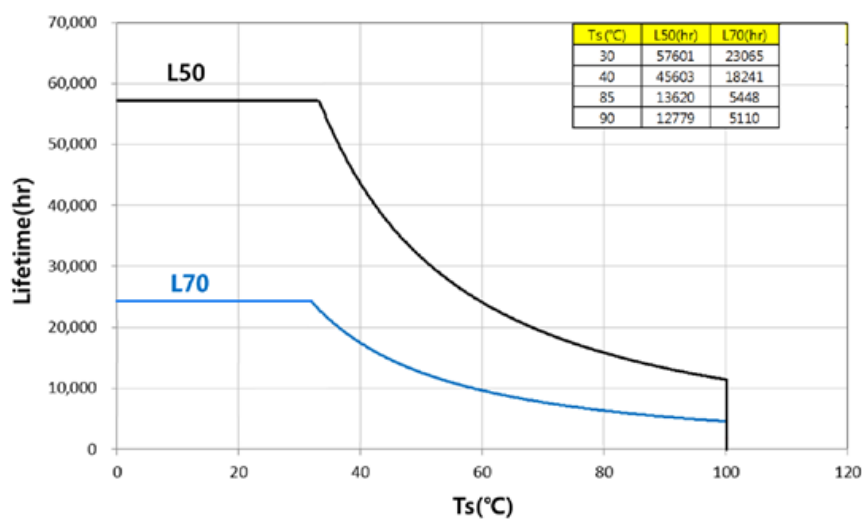
- Bandas de emisión que oscilan entre los 265-280nm



Luminus_XBT-3535-UV_Datasheet (Fuente: Luminus)

- Un Voltage Forward que oscila entre los 5V a los 8V (el Vf típico es alrededor de los 6V)
- Alimentación de 20mA a 700mA, dependiendo del dispositivo y la radiación deseada.
- Libre de Mercurio.
- Eficacia entre el 1,5% y 3%. Por cada W de consumo, podemos obtener entre 15-30mW de radiación UVC.
- Encapsulado 3535 muy extendido.
- Dispositivo muy sensible a la disipación térmica.
- Precio elevado.
- Vida muy corta respecto al LED convencional (máximo 25.000h / L70 en unas condiciones óptimas de alimentación y disipación térmica)

※ Estimated lifetime by Ts(Ts)



202012_Reliability of UVC wicop_R00 (Seoul Semiconductors)

En resumen, este tipo de dispositivo es muy sensible a sus condiciones de trabajo, resultando imprescindible tener en consideración las condiciones de alimentación y de disipación térmica. Hay muchos fabricantes de LED que están ofreciendo diferentes soluciones, pero no todas son idénticas, sobre todo en longevidad.

Comparativa de fuentes

	LED	BAJA PRESIÓN
NM EMISIÓN CENTRAL	265-280nm	254nm
RENDIMIENTO	1,5 - 3%	30 - 40%
LM70	12.000h	No APLICA
LM50	25.000h	No APLICA
HORAS DE VIDA	Ilimitado	9000h
Nº DE ENCENDIDOS	Ilimitado	50.000
TIEMPO DE ENCENDIDO	Inmediato	1,2 SEG
ALIMENTACIÓN	Baja tensión (5 - 8V)	25 - 100V
REGULACIÓN	0 - 100%	No
CONECTIVIDAD	Cualquier driver LED	DALI
Lm/\$	Muy elevado	BAJO
ÓPTICAS	Múltiples alternativas	No APLICA
FOCALIZACIÓN	Óptica o reflector	REFLECTOR
DIMENSIONES	Reducidas	ELEVADAS
ADAPTABILIDAD	Elevada	BAJA
ROBUSTEZ MECÁNICA	Elevada	MEDIA
DISIPADOR	Imprescindible	No NECESITA
MERCURIO	No	Sí (4mg)
HUELLA OZONO	Muy baja	BAJA
POTENCIAL DE MEJORA	Elevado	BAJO

4.2. DISEÑO

Debido a que las fuentes de radiación UVC pueden llegar a ser peligrosas para el ser humano, requieren de precauciones para garantizar un uso seguro, por lo tanto, hay que diseñar el producto pensando en este tipo de fuentes.

Hoy en día tenemos dos posibilidades de tecnología para aplicar en una luminaria basada en radiaciones UVC: las lámparas de descarga de mercurio a baja presión y el LED. Aunque alguna de las características técnicas de nuestra luminaria pueden coincidir, esto realmente nos va a marcar cómo será el diseño final.

Características para luminarias con lámparas de descarga de mercurio a baja presión:

Las lámparas de descarga de mercurio a baja presión UVC presentan parte de su radiación en el espectro visible, y da lugar a un color azulado o cian cuando están encendidas. Por ello, al contrario que los LEDs, no es necesario incluir ningún elemento de aviso ya que visualmente se aprecia cuando están encendidas.

Al tratarse de emisión a partir de tubos, la propia luminaria se verá muy afectada por la radiación porque gran parte de la misma será emitida hacia la luminaria, por lo que es muy importante una correcta selección de materiales y la protección de los mismos.

Lumínicamente, los materiales no reflejan del mismo modo la luz visible que la radiación UVC. Eso implica que las curvas fotométricas serán distintas en cada caso y será necesario un estudio fotométrico distinto para el diseño de los reflectores.

UV reflectance of various materials	
Material	Reflectance %
AL: untreated surface	40-60
AL: polished surface	60-89
AL: deposited on glass	75-85
Anodized aluminum	65-75
Stainless steel	25-30
Tinplate	25-30
Chrome plate	35-40
White oil-based paint	3-10
White emulsion paint	10-35
Aluminum paint	40-75
Zinc oxide paint	4-5
Black glaze	5
White glaze	5-10
White plaster, lime	40-60
Magnesium oxide	75-88
Calcium carbonate	70-80
Canvas	15-20
Wallpaper, ivory, glossy	30
Wallpaper, white	20-30

Información técnica UV-C PURITEC® HNS® germicidal lamps (Fuente: OSRAM)

Los tubos de descarga de mercurio de baja presión tienen una vida útil de unas 9000 horas. Al final de ese periodo habrán perdido entre un 15% y un 20% de emisión. Es necesario tener en cuenta este factor para asegurar el nivel germicida en todo el tiempo de vida de la lámpara.

Características para luminarias con LED:

Tal como se ha descrito en el punto anterior las características de los LEDs hacen aconsejable seguir diferentes consideraciones.

1 - Radiación no visible

Una de las peculiaridades del LED es que tiene un ancho de emisión relativamente estrecho (observar la figura 12: Luminus_XBT-3535-UV_Datasheet). Esto conlleva que la radiación no sea visible para el ojo humano.

El resultado es que no podemos detectar a simple vista si una Luminaria LED UVC está emitiendo. Es por ello que creemos adecuado integrar LED visibles (p.ej LED azul) junto con los LED UVC para observar de manera inmediata que el dispositivo está activado.

De igual manera, los equipos deberán incorporar una etiqueta identificadora que haga mención del riesgo que conlleva su uso e instalación.

2 - Degradación térmica y lumínica

El LED UVC es excepcionalmente sensible a la temperatura de trabajo, por ello sería aconsejable aplicar una elevada disipación térmica. Así mismo, padece una rápida degradación de emisión respecto a los LEDs convencionales

Estas 2 peculiaridades hacen aconsejable el uso de drivers de alimentación con suficiente inteligencia para poder gestionar estas 2 características.

Un ejemplo de aplicación sería hacer uso de un Driver de corriente Dali que sonde la temperatura de la PCB con LED UVC. Mediante este dato y la potencia consumida, se puede extrapolar la radiación de la luminaria (Observar figura 13: 202012_Reliability of UVC wicop_R00 Seoul Semiconductors)

El objetivo sería poder aumentar el tiempo de exposición a medida que se degrada la fuente de radiación.

Por último, sería aconsejable poder contabilizar las horas de trabajo del equipo, para poder realizar un mantenimiento o reposición de la PCB LED UVC.

3- Selección de óptica

Los fabricantes ofrecen ópticas de silicona para ciertas longitudes de onda, para el UVC esta tecnología está todavía muy poca desarrollada. A continuación, desarrollaremos las ópticas para LED ya que no es posible utilizarlas para lámparas de mercurio de baja presión; para estas es necesario utilizar reflectores.

Seleccionar una óptica adecuada para una aplicación ultravioleta es muy importante para el éxito de su configuración. Debido a las longitudes de onda más cortas, defectos o impurezas de recubrimiento en la superficie óptica pueden formar una concentración de potencia óptica creando un punto caliente. Dependiendo de su aplicación y de lo lejos que se encuentre en las longitudes de onda ultravioleta, la calidad y la limpieza son consideraciones clave.

Se requieren técnicas de fabricación adecuadas para hacer la mejor óptica UV posible. Si se utilizan técnicas de pulido o pulido inadecuadas, existe la posibilidad de que el sustrato tenga una micro resistencia más alta y posibles microfracturas. La inspección visual de las superficies del sustrato puede verse bien, pero cuando se aplican recubrimientos UV, un resultado típico son microfracturas en el recubrimiento. Normalmente, se culpa a la calidad del recubrimiento, pero en realidad, la preparación del sustrato es crítica para una buena adherencia del recubrimiento.

El principal desafío asociado con la fabricación de la óptica ultravioleta (UV) es que las tolerancias superficiales deben ser mucho más estrictas que las de la óptica visible. La tolerancia de irregularidad P-V estándar para lentes de precisión es $\lambda / 10$, por lo tanto, la precisión física requerida en la fabricación depende de la longitud de onda a la que se utilizará la óptica. Debido a que las tolerancias se citan a una longitud de onda fija de 632.8nm, $\lambda / 10$ implica 63.28nm independientemente de la longitud de onda de diseño.

El rendimiento relativo será peor con longitudes de onda UV cortas. Por ejemplo, una lente utilizada a 308 nm requerirá una tolerancia a la irregularidad dos veces más ajustada que una lente utilizada a 632.8 nm para mantener el mismo nivel relativo de distorsión del frente de onda (wavefront). Este mismo principio también se aplica a los recubrimientos ópticos. Para recubrimientos UV, pequeñas fluctuaciones en la producción dan como resultado errores mucho mayores en los rayos UV que en los espectros visibles.

Las longitudes de onda cortas de la luz UV generalmente absorben y dispersan mucho más que la luz visible. Las imperfecciones y los rasguños se amplifican bajo la luz ultravioleta e incluso los defectos superficiales más pequeños pueden ser puntos de absorción o dispersión, lo que reduce el rendimiento de la óptica. Si bien la calidad de superficie estándar para lentes de precisión utilizados con luz visible es 40-20, una calidad de superficie de 10-5 puede ser requerida para aplicaciones UV. La dispersión puede conducir a la pérdida de energía, una reducción en la eficiencia de su sistema óptico e incluso señales falsas en aplicaciones que usan sensores de imágenes u otros detectores.

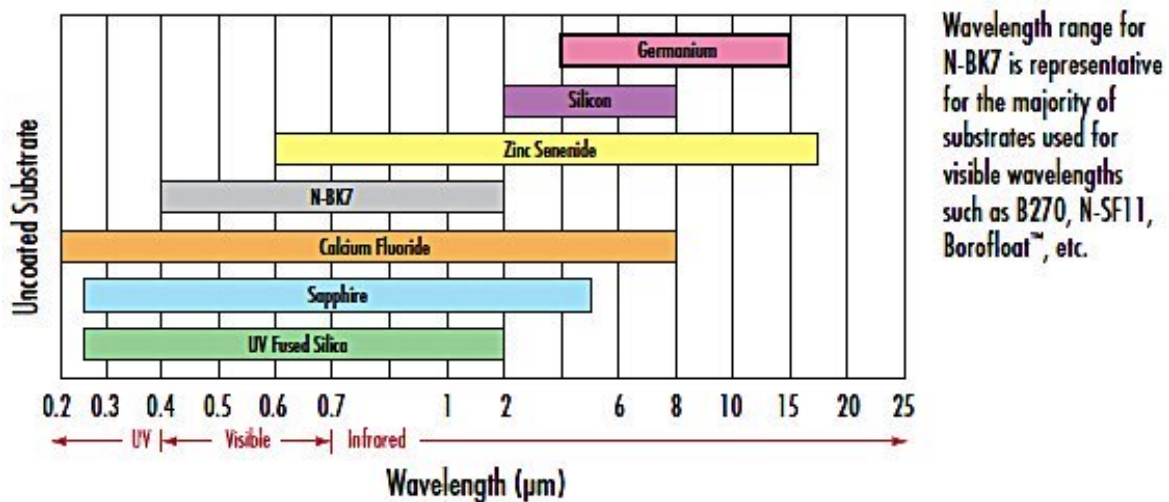
Sustratos ópticos y recubrimientos

La absorción y la dispersión no solo conduce a una pérdida en el rendimiento, sino que también pueden provocar daños y fallas en los componentes. Demasiada absorción UV puede blanquear un sustrato y alterar sus propiedades químicas, lo que lleva a la falla del componente. Para evitar esto, los sustratos UV deben transmitir completamente todo el rango de longitud de onda deseada.

Algunos de los sustratos más comunes son:

- La sílice fundida (cuarzo): tiene un bajo coeficiente de expansión térmica y una excelente transmisión de UV. La sílice fundida con UV es el sustrato UV más comúnmente utilizado debido a su fácil fabricación en comparación con muchos otros materiales de transmisión UV. La sílice fundida UV también transmite longitudes de onda de hasta 193 nm y ofrece un bajo coeficiente de expansión térmica.
- El zafiro: es extremadamente duro y duradero con buena transmisión de UV. Tiene alta conductividad térmica, alta constante dieléctrica y fuerte resistencia a una variedad de ácidos o álcalis químicos. Con una resistencia extrema al oscurecimiento UV, el zafiro de alta calidad se usa a menudo en aplicaciones UV de alta potencia y algunos tipos de zafiro óptico transmiten hasta 150 nm.
- El fluoruro de calcio (CaF₂): tiene un índice de refracción bajo, baja birrefringencia axial y radial, y transmite longitudes de onda de hasta 180 nm.

Cuadro comparativo de sustrato



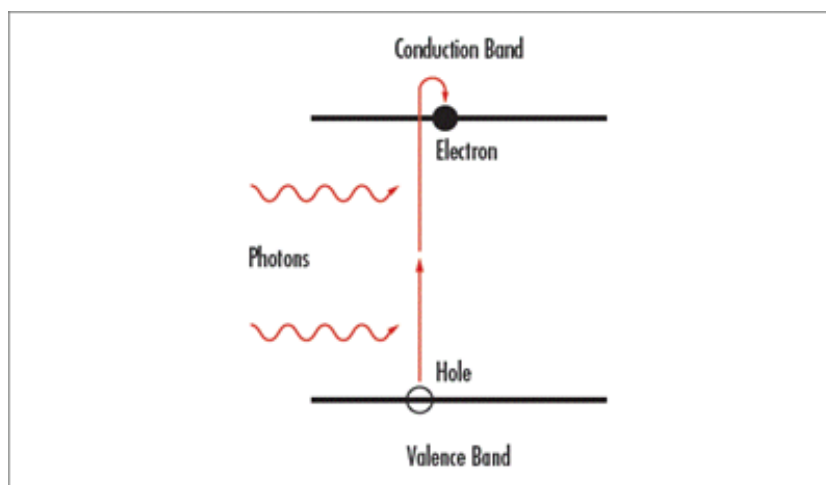
(Fuente: Edmund Optics GmbH)

Absorción multifotón

La luz solo se transmite a través de la óptica transmisora sin ser absorbida cuando tiene una energía más pequeña que la energía del intervalo de banda del sustrato y no puede excitar los electrones de la banda de valencia del material a la banda de conducción.

La absorción multifotón ocurre cuando dos o más fotones son absorbidos espontáneamente para excitar un electrón en la banda de conducción, causando que la luz que normalmente se transmite a través de la óptica sea absorbida. La luz UV tiene más energía que la radiación visible porque la energía de la luz es inversamente proporcional a la longitud de onda. La absorción de múltiples fotones puede volverse sustancial en la radiación UV y a altas intensidades ópticas, aumentando la absorción y comenzando un proceso descontrolado que finalmente dañará la

óptica. La absorción de un solo fotón depende linealmente de la intensidad de la luz incidente, pero la absorción de múltiples fotones depende del cuadrado de la intensidad de la luz y dominará sobre la absorción lineal a altas intensidades.



Absorción multifotón que excita un electrón en la banda de conducción, provocando que la luz que normalmente se transmitiría sea absorbida. (Fuente: Edmund Optics GmbH)

3 - Funcionamiento en espacios ocupados por personas o animales

Para evitar estar expuestos a esta radiación, y si la fuente de radiación no está vinculada a un entorno de control inteligente, resulta imprescindible el integrar un sensor de presencia. El objetivo sería inhibir la emisión en el instante que se detecte una presencia.

Si el equipo está conectado en un entorno de control, será este el que deberá garantizar la conexión / desconexión en el espacio donde esté trabajando.

Características comunes:

- Sensor de presencia: importante que la luminaria disponga de un sensor para que al detectar movimiento deje de emitir radiación.
- Materiales: hoy en día existe un gran desconocimiento de como este tipo de radiación actúa sobre ciertos materiales. Por ello es de suma importancia tenerlos en cuenta a la hora de escoger los componentes de las luminarias. Por ejemplo, algunos de ellos ya conocidos como el ABS o el PC se degradan rápidamente.

El material utilizado en los cables o mangueras que forman el cableado de la luminaria no están preparados para recibir radiaciones UVC, por lo que hay que protegerlos. Especialmente en el caso de las luminarias portátiles debe prestarse atención a la selección de la manguera de conexión.

Aluminio y materiales tratados

Plásticos: La mayoría de tipos de plásticos se degradan con la radiación UVC, por lo que es recomendable no utilizarlos si por la construcción de la luminaria están expuestos a radiación.

Difusores y protectores: Algunos materiales, como por ejemplo los cristales, son opacos a la radiación UV, por lo que su uso como elemento de protección no es correcto. Del mismo modo, difusores de plástico pueden verse degradados por la propia radiación del producto.

Marcado: Es necesario indicar claramente en una zona visible que los productos UVC son potencialmente peligrosos para evitar que se confundan con productos de iluminación general. Se debe de añadir en la etiqueta de características que se trata de productos de radiación ultravioleta:



Símbolo gráfico según la norma ISO IEC 60417-6040.

4.3. INSTALACIÓN

Dadas las características de la radiación UV, y en partículas de la UV-C, la instalación de los dispositivos debe realizarse de modo que se asegure el correcto uso de los mismos, previniendo la posible radiación accidental sobre personas y/o animales.

Instalación

Dependiendo del sistema de desinfección que se vaya a instalar, deberemos tener en cuenta los siguientes puntos:

Radiación Indirecta

Los dispositivos irradian hacia la parte alta del local, procurando la desinfección del aire que se encuentra en la parte superior.

- Los equipos se deben colocar por encima de 2,3 m de altura medidos desde el suelo y de modo que la radiación no rebase el plano horizontal en el que están instalados, se debe asegurar que no haya radiación directa a las zonas inferiores donde podrían afectar a los ocupantes de la sala.
- La fijación de los equipos se debe realizar de tal forma que no pueda haber un cambio accidental de la orientación, por efecto del peso de los equipos o por cualquier acción externa.

- Hay que tener especial cuidado en que no se produzca una radiación indeseada de las zonas que pueden estar ocupadas, debido a los efectos de la reflexión en determinadas superficies. Evitando la existencia de superficies con alta capacidad de reflexión en las zonas altas para la longitud de onda utilizada.
- Se debe asegurar, una vez realizada la instalación, que no existe radiación ultravioleta en las zonas del local accesibles mayor a los niveles indicados en la norma UNE-EN 62471, "Seguridad fotobiológica de lámparas y de los aparatos que utilizan lámparas" y más específicamente, para UVC, la norma UNE-EN-ISO 15858: "Dispositivos UVC Información sobre seguridad. Límites admisibles para la exposición humana".

Radiación Directa

En este caso, los dispositivos estarán orientados hacia las superficies a desinfectar, no pudiendo haber seres vivos en la zona de irradiación ya que se pueden superar los valores anteriormente referidos.

- Antes de acometer la instalación, se debe realizar un análisis de riesgos que determinen las posibles actuaciones indebidas o la presencia accidental de personas y animales.
- Según este análisis, se instalarán los enclavamientos necesarios que eviten el acceso a las zonas en el momento que los dispositivos estén irradiando, detectores de presencia que impidan el funcionamiento en presencia de seres vivos y cualquier tipo de dispositivo que alerte del uso de la radiación cuando estos sistemas estén en marcha.
- Una vez realizada la instalación se debe comprobar que la radiación que incide sobre las superficies a desinfectar cumple con la prevista en el estudio previo de la instalación, de forma que se asegure una desinfección eficaz al proporcionar una dosis adecuada según los tiempos de exposición recomendados.
- Hay que tener en cuenta el posicionamiento de los dispositivos de forma que se eliminen las sombras en los elementos a desinfectar, ya que esas zonas no quedarán irradiadas y por lo tanto no se producirá desinfección alguna.

Desinfección del aire en el interior de conductos o cámaras de aire

Aunque existe una normativa específica para el uso de sistemas UV en los conductos de acondicionamiento de aire, puede haber dispositivos que procuren únicamente una recirculación del aire por emisión de radiación UV en el interior de una cámara sellada, sin más intercambio energético o acondicionamiento.

En cualquier caso, se debe evitar la emisión directa, por montaje incorrecto de la unidad o por la apertura de la misma con la lámpara en marcha.

4.4. MANTENIMIENTO

Las labores de mantenimiento deberán de asegurar el cumplimiento de las exigencias iniciales de instalación a lo largo de todo el tiempo de funcionamiento de los equipos.

Hay que prestar especial atención a aquellos aspectos que afecten a la seguridad, como la correcta fijación de los dispositivos, para evitar la radiación en zonas no deseadas y el correcto funcionamiento de los enclavamientos y detectores, implicados directamente en la seguridad de personas y animales.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que las fuentes de luz, sobre todo si se usan lámparas de baja presión de mercurio, tienen una depreciación en el flujo de emisión a lo largo de su vida útil, acentuándose al final de la misma pudiendo llegar hasta 20%.

Por ello, las mediciones de la radiación ultravioleta en las superficies deben realizarse periódicamente para asegurarse de que se está realizando un tratamiento eficaz, evitando un mal funcionamiento que pueda dar lugar a una falsa impresión de seguridad en las zonas a desinfectar. Se debe de realizar el cambio de estas lámparas antes de llegar al final de la vida útil, cuando se aprecie una reducción significativa de su rendimiento.

Independientemente del tipo de dispositivo utilizado, tanto para la instalación como para el mantenimiento, se deben seguir escrupulosamente las recomendaciones dadas por el fabricante, que deberán incluirse en la documentación entregada con el aparato o en el propio dispositivo si ello fuera posible.

Es muy importante que los elementos que sean sustituibles sean los que especifique el fabricante en sus instrucciones.

Se debe tener especial cuidado en el caso de los sistemas ópticos y cerramientos, que pueden alterar y dificultar la transmisión de la radiación ultravioleta. También se podría ver afectada la durabilidad de los mismos.

Independientemente de que se realicen labores de instalación o mantenimiento, el titular de la instalación debe asegurarse que los trabajadores que se puedan ver expuestos a los riesgos derivados del uso de la tecnología UV, cuentan con la información y la formación necesaria para realizar estas labores, tal y como especifica el artículo 6 de la Directiva 2006/25/CE.

Deberán también utilizar los adecuados equipos de protección individual (EPI), tal y como se indica en el correspondiente punto de prevención de esa guía técnica.

5 Prevención

Las fuentes de radiación UV requieren las debidas precauciones para garantizar un uso seguro. Con este fin la Guía de uso y aplicación aporta las prácticas generales y precauciones recomendadas para el uso de fuentes de radiación UV.

La radiación UV es fácilmente absorbida por la ropa, el plástico o el vidrio. Una vez absorbida, la radiación UV ya no está activa. Cuando se trabaja con radiación UV, durante el mantenimiento u otras situaciones, se recomienda usar un equipo de protección individual que cubra todas las áreas expuestas.

Cuando se trabaja con dispositivos UVC, uno debe:

- Utilizar pantallas faciales o gafas de seguridad específicamente diseñadas para proteger frente a estos riesgos (Norma europea EN166 y EN170). Existen en diferentes colores (claro, amarillo, gris) de acuerdo con la protección ofrecida por longitud de onda.
- Cubrirse cualquier piel expuesta con batas de laboratorio, guantes de nitrilo u otra vestimenta de laboratorio.



Equipos de protección individual (Fotos: Fisher Scientific y Wurth)

El personal que trabaja con UVC o cerca de las instalaciones UVC debe recibir formación sobre salud y seguridad, manipulación y mantenimiento de fuentes UVC, y respuesta de primeros auxilios después de la exposición a la luz UVC.

Se recomienda encarecidamente que se coloquen señales de advertencia cuando los dispositivos UVC estén conectados eléctricamente para advertir a los observadores de la posible exposición a la radiación UV, especialmente si se trata de LED, puesto que no tienen emisión en el espectro visible. Estas etiquetas deben estar localizadas en todos los idiomas relevantes e indicar que el peligro para los ojos y la piel es probable y que solo los operadores autorizados están permitidos en el área.

Las etiquetas de advertencia deben colocarse fuera de los paneles de acceso y las puertas a la fuente de UVC, así como los paneles o puertas a las áreas adyacentes donde la radiación UVC puede penetrar o reflejarse.



Ejemplo de etiqueta de advertencia

Los riesgos de exposición a los rayos UVC deben minimizarse tomando todas las precauciones posibles.

Los sistemas más adecuados son los interruptores de seguridad, independientes de la iluminación general, conectados en serie y situados en lugares solo accesibles para personas autorizadas. Las ubicaciones de los interruptores deben estar bloqueadas o protegidas con contraseña para garantizar que la fuente UVC no se encienda accidentalmente. Cada sistema UVC debe tener la opción de una ventana de visualización para que los trabajadores puedan ver el conjunto de la lámpara sin la posibilidad de sobreexposición a UVC.

Las instrucciones de funcionamiento y las recomendaciones para el uso adecuado de cualquier sistema UV deben ser claramente visibles para los operadores o el personal de mantenimiento para garantizar un funcionamiento seguro. El mantenimiento debe realizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La energía eléctrica siempre debe desconectarse para evitar la exposición accidental.

En caso de exposición a los rayos UV, se recomiendan las siguientes acciones:

- Consulte a un oftalmólogo si se sospecha daño ocular.
- Trate las lesiones cutáneas de inmediato.
- Siga el procedimiento de notificación de incidentes de su organización. Estos a menudo requieren documentación de la fecha y hora del incidente, las personas involucradas, el equipo involucrado y el tipo de lesión.

En la mayoría de los espacios de trabajo, la exposición a la radiación UV se puede prevenir fácilmente si se toman las precauciones adecuadas. Métodos como aumentar la distancia a la fuente de rayos UV, usar EPI's (Equipo de Protección Individual) adecuados y / o limitar el tiempo de exposición pueden reducir los riesgos de rayos UV.

6 Conclusiones

La radiación UV es una tecnología robusta para la desinfección de patógenos. El efecto desinfectante es proporcional a la exposición directa de la radiación. La exposición inadecuada a la radiación UV puede tener efectos nocivos para la salud. Afecta, especialmente, a la piel y la vista, pudiendo llegar a causar, por ejemplo, cáncer cutáneo y afectaciones en la córnea. Por este motivo, es fundamental asegurar la correcta selección de fuentes de radiación UV siendo, además, factores determinantes a considerar la instalación, el mantenimiento y uso correcto.

En la siguiente tabla confirmamos y desmentimos los comentarios que más se repiten en foros sobre radiación ultravioleta:

La radiación Ultravioleta tipo C es eficaz para la desinfección de virus, hongos y bacterias.		La radiación ultravioleta, especialmente la de tipo C, entre 100 y 280 nm de longitud de onda, crea unas reacciones químicas en los ácidos nucleicos de los microorganismos que provocan su inactivación, alcanzando el máximo poder germicida en torno a los 260 nm.
La radiación ultravioleta puede usarse en cualquier aplicación, ya que no tiene ningún efecto adverso. Puede incluso usarse para desinfectar las manos.		La radiación ultravioleta tiene efectos nocivos en la piel y en los ojos, pudiendo ocasionar eritemas cutáneos y conjuntivitis 7/o fotoqueratitis (inflamación de la córnea). Por ello, la radiación UV no se debe utilizar en presencia de seres humanos y, mucho menos, para desinfectar las manos o cualquier otra área de la piel (OMS, 2020)
La instalación de un sistema de desinfección UVC debe ser usado por profesionales para prevenir un mal uso de la instalación y posibles daños a personas o animales.		Para minimizar los efectos adversos de la radiación cuando inciden en seres vivos, la instalación debe ser realizada por personal formado y capacitado para ello, que conozca perfectamente las características del producto que se va a instalar y las precauciones que se deben tomar al hacerlo.
El problema de todos los métodos desinfección, incluida la radiación UV, es que hay que esperar un tiempo antes de utilizar las zonas después de la desinfección.		En el caso del tratamiento de superficies con radiación UV, no es necesario esperar como en el caso de la desinfección con agentes químicos.
Existen distintas fuentes de radiación UV, como las lámparas de alta presión, lámparas de mercurio de baja presión y LED.		La fuente de radiación más utilizada es la de lámpara de mercurio de baja presión, pero existen también otros tipos de fuente. Se puede emitir también radiación UV con LED, pero en la actualidad presentan una eficiencia mucho mayor, aunque se investiga en mejorar estos valores.
Para poder tener una mejor desinfección, cuanto más tiempo mantengamos la radiación UV, mejor.		La radiación UV produce una degradación sobre los materiales, por lo que deberemos usarla de un modo razonable. Existen tablas con las dosis necesarias para la inactivación de diferentes microorganismos. Debemos utilizar dosis dimensionadas con los correspondientes márgenes de seguridad, pero limitadas para no provocar una afectación innecesaria sobre los materiales.
Las zonas en las que no incide directamente la radiación ultravioleta no quedarán correctamente tratadas.		La desinfección por ultravioleta se produce por efecto directo de la radiación sobre la superficie. Por lo que se debe evitar que queden superficies en sombra variando la orientación de los dispositivos de emisión.

7

Glosario

Longitudes de onda

La longitud de onda es cómo se diferencian los distintos tipos de onda dentro del espectro electromagnético. La radiación ultravioleta tiene longitudes de onda más cortas que la luz visible y longitudes de onda más largas que los rayos X. Para los propósitos de este artículo al analizar UV, la longitud de onda se mide en nanómetros (nm).

Irradiancia

La irradiancia se refiere a la cantidad de energía en una superficie por unidad de tiempo. Esto normalmente se expresa en términos de potencia por unidad de área (como miliwatios por centímetro cuadrado mW/cm^2). La irradiancia disminuye a medida que aumenta la distancia al cuadrado entre la fuente y el objetivo.

Dosis

Energía (en julios) o la cantidad de fotones (en moles) absorbidos por unidad de área o unidad de volumen por un objeto irradiado durante un tiempo de exposición determinado. Generalmente se expresa en julios por metro cuadrado (J / m^2) o milijulios por centímetro cuadrado (mJ / cm^2).

Log reduction

Para medir adecuadamente los efectos de UV, use reducciones logarítmicas para cuantificar los resultados. En los términos más directos, la log reduction funciona según el siguiente gráfico:

LOG REDUCTION	PERCENT REDUCTION
1-log	90%
2-log	99%
3-log	99.9%
4-log	99.99%

Dado que existen márgenes de error de cualquier magnitud con todas las técnicas de medición, una reducción del 100% no es posible desde una perspectiva científica, por lo que la convención actual es hablar en términos de reducción logarítmica para representar de manera más objetiva lo que se puede demostrar empíricamente.

La terminología varía en uso y definición según la agencia reguladora que preside un segmento industrial determinado. En general, es una buena práctica hablar en los términos más específicos y precisos posibles al definir los parámetros de las aplicaciones UV. Por ejemplo, en lugar de decir que el objetivo es matar microorganismos con UV, un objetivo más apropiado y alcanzable sería lograr una reducción de 3 log o mayor de microorganismos mediante la entrega de una fluencia apropiada de energía UV germicida.

Antes de hacer cualquier declaración con respecto a la esterilización, limpieza o desinfección, es importante comprender la definición específica de estos términos en el contexto del organismo regulador adecuado para la aplicación.

8

Bibliografía

[1] Directiva 2006/25/ce, 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)

[2] Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation)

[3] Guía técnica del real decreto 486/2010 para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las radiaciones ópticas artificiales.

[4] Radiaciones ópticas artificiales. factores relacionados con la fuente y las medidas de control.

[5] UNE-EN 62471. seguridad fotobiológica de lámparas y de los aparatos que utilizan lámparas.

[6] Ultraviolet germicidal irradiation handbook. Wladyslaw Kowalski.

[7] CIE 155:2003 ultraviolet air disinfection.