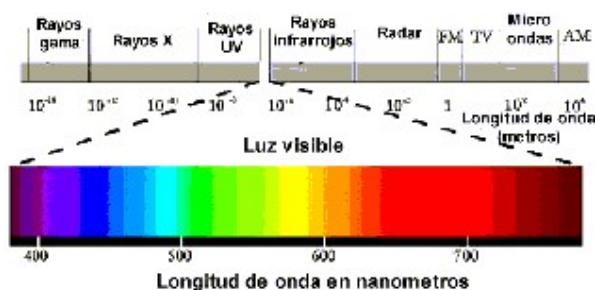


INFORMACIÓN SOBRE RADIACIÓN UV GERMICIDA

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El siguiente dibujo muestra el espectro electromagnético donde está resaltada la zona visible que comprende el rango de longitudes de onda entre 400 y 800 nm (nanometro = 10^{-9} m =10A). Al lado de ella, a continuación de la banda violeta, se encuentran otras radiaciones de menor longitud de onda denominadas ultravioletas, que limitan en su otro extremo con los rayos X. Están comprendidas dentro del rango de los 10 manómetros hasta los 400 manómetros.



Como los niveles de energía aumentan al incrementar la longitud de onda, los rayos-X tienen más energía que los rayos ultravioleta y la luz UV tiene más energía que la luz visible.

TIPOS DE RADIACIÓN UV

Para aplicaciones prácticas el espectro UV ha sido dividido en tres grupos:

UV-A (onda larga)	400 nm a 315 nm
UV-B (onda media)	315 a 280 nm
UV-C (onda corta)	280 a 200 nm
UV-V (vacío)	200 a 10

1 nm (nanometro) = 10^{-9} m (=10A).

XRay
debajo de
10nm

I B L E

En la jerga cotidiana se le suele denominar "luz negra" a la comprendida en el rango de longitudes de onda entre 360 y 450 nm.

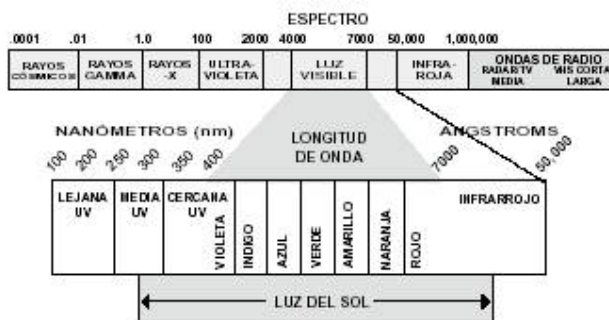
Cada uno de los rangos de longitud de onda tiene en la práctica aplicaciones específicas tanto desde el punto de vista tecnológico como biológico.

EMPLEO DE LA LUZ UV

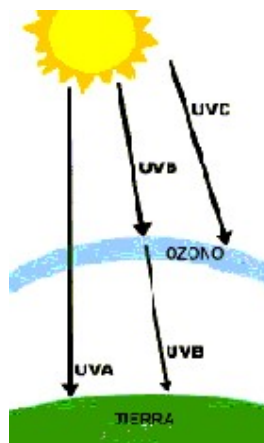
UVA	LUZ NEGRA. Curado de adhesivos y plásticos. Inspección de sustancias fluorescentes. Atracción de insectos
UVB	Bronceado de la piel. En conjunción con la UVA para envejecimiento artificial de materiales
UVC	Esterilización de aire, agua y superficies. Secado rápido de tintas UV.
VUV	Es de menor importancia porque se produce al vacío (*)

(*)El aire es transparente hasta los 170 nm ya que las radiaciones menores son absorbidas por tan solo 1 mm de aire a presión normal. Esta es la razón por la que en estas longitudes de onda bajas se trabaja al vacío.

Es interesante saber que el sol emite luz visible, infrarroja y ultravioleta.



La porción UV incluye los tres tipos principales (A, B y C). Sin embargo la capa de ozono absorbe las radiaciones tipo C de manera que estas felizmente no llegan a la tierra, donde por su intensidad podrían ocasionar graves daños en los seres vivos. Para disponer entonces de la luz UVC, es necesario entonces generarla artificialmente. Las radiaciones UV-B son también parcialmente filtradas. De aquí la importancia que se le está dando mundialmente a la capa de ozono.



El vidrio ordinario de 2 mm de espesor absorbe toda radiación cuya longitud de onda sea inferior a 310 nm, en cambio el cuarzo es transparente hasta los 185 nm. Los rayos UVB y UVC son absorbidos por el vidrio corriente, pero la UVA lo traspasa, por eso aunque en menor grado, un individuo puede broncearse a través del vidrio, aunque casi no se da la transformación cutánea que genera Vitamina D. El aire es transparente hasta los 170 nm ya que las radiaciones menores son absorbidas por tan solo 1 mm de aire a presión normal. Esta es la razón por la que en estas longitudes de onda bajas se trabaja al vacío.

LUZ ULTRAVIOLETA COMO GERMICIDA

Hace más de cien años que se conoce la acción germicida de la luz UV de cierta longitud de onda y en el siglo pasado se descubrió que los microorganismos tienen la máxima absorción de luz UV a 260 nm. Basado en este conocimiento, se construyó en Suiza, a principios de siglo (1910), el primer prototipo de lámpara de

radiación ultravioleta que resultó eficaz para la destrucción de microorganismos. A partir de los años 40 se perfeccionó la fabricación de las lámparas y en 1955 se obtuvieron las primeras construidas en cuarzo y con longitudes de onda de 254 nm, las cuales resultaron realmente efectivas. Al principio de los años 80, UV comenzó a popularizarse su aplicación en la purificación de agua para bebidas y alimentos como una alternativa para mejorar el sabor y olor a bajo costo y con seguridad. A mediados de los años 90, equipos UV de presión media empezaron a ser instalados en sistemas de agua potable y comenzó a difundirse su empleo en desinfección del aire.

La radiación UV, si bien se la ha bautizado como germicida, que es un sinónimo de bactericida, afecta prácticamente a todos los tipos de organismos microscópicos:

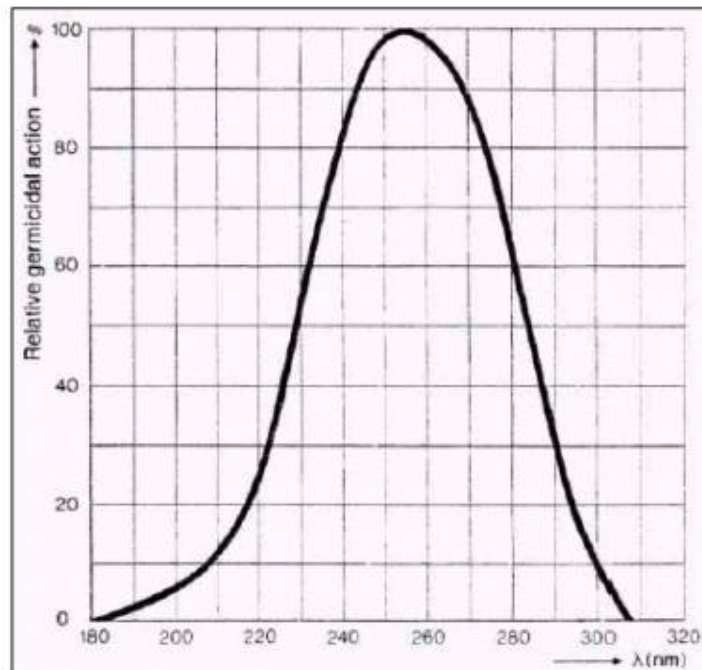
- * **Virus:** Tamaños desde 0,01 a 0,25 μm
- * **Bacterias:** Tamaños desde 0,5 a 5 μm
- * **Algas, Hongos:** Tamaños desde 5 a 100 μm
- * **Levaduras y Protozoos:** Tamaños desde 1 a 10 μm .

Como dato de referencia de tamaño **un cabello humano mide 60 μm de diámetro.**

El poder desinfectante de las radiaciones UV se debe a su acción sobre el ADN de las células, disminuyendo su actividad respiratoria, bloqueando los procesos de síntesis e inhibiendo o retardando la mitosis. El efecto de estas radiaciones sobre dos de las moléculas contiguas de timina o citosina (pirimidinas) de una misma cadena de ADN o RNA es formar moléculas dobles o dímeros, que impiden la duplicación del DNA y RNA de los microorganismos y por tanto su reproducción. Pueden eventualmente ocurrir procesos de reactivación y reparación mediante fotoreactivación a través de alguna enzima fotoreactivadora que invierte la dimerización, partiendo otra vez el dímero que se obtuvo con la absorción de del UV por los ácidos nucleicos, pero esta suele ocurrir en condiciones extremas de laboratorio, tales como altas temperaturas y radiaciones prolongadas superiores a 300 nm, que no se dan en el caso de la desinfección del aire o del agua.

Este proceso de destrucción del ADN lleva pocos segundos, aunque obviamente depende de la intensidad de la luz UV.

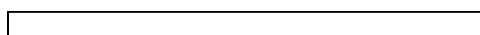
La acción germicida es máxima a 255 nm como muestra la figura:



Los tubos germicidas tienen su emisión máxima a 254 nm o sea que prácticamente es coincidente con la longitud de onda más efectiva.

La acción microbicida depende de la intensidad de la radiación y de la dosis aplicada. La **intensidad o irradiancia** es la cantidad de energía UV por unidad de área medida en microwatts por centímetro cuadrado. La **dosis** de UV corresponde al producto de la intensidad por el tiempo en que es aplicada y se expresa en joules/m^2 o su equivalente en microwatts segundo por centímetro cuadrado.

$$\text{DOSIS} = \text{Intensidad} \times \text{tiempo de contacto} = \text{MW} \cdot \text{seg}/\text{cm}^2.$$



$1\text{J/m}^2 = 100 \text{ microWatt} \cdot \text{seg/cm}^2$
$1\text{J/m}^2 = 0,1 \text{ miliWatt} \cdot \text{seg/cm}^2$
$1\text{mJ/cm}^2 = 1000 \text{ microWatt} \cdot \text{seg/cm}^2$
$1\text{mJ/cm}^2 = \text{miliWatt} \cdot \text{seg/cm}^2$

TERMINOLOGÍA RADIOMÉTRICA				
Unidades SI	Símbolo	Definición	Comentario y sinónimos	
Longitud de onda	nm, μm	λ		Nanómetro = 10^{-9} metros (también denomi-nado "milimicrón", m μ ; μm , micrómetro, micrón = 10^{-6} metros
Energía radiante	J	Q_e	$\frac{dQ_e}{dt}$	1 joule = 1 watt . segundo
Flujo radiante	W	ϕ_e, P_e		Cantidad de energía radiante liberada ("poder radiante"). $\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$ $\mu\text{W} = 10^{-6}\text{W}$
Intensidad radiante	W/sr	I_e	$\frac{dP_e}{d\omega}$	Describe el flujo radiante emitido por una fuente
Irradiancia	W/m^2	E_e	$\frac{dP_e}{dA}$	Expresada en J/cm^2 or mJ/cm^2 .
Exposición a la radiación	J/m^2	H_e	$E_e \times t$	El subíndice "e" sirve para distinguir cantidades radiométricas de fotométricas que tiene el subíndice "v". El subíndice "e" en general se emplea cuando sólo se refiere a términos radiométricos. t = tiempo de exposición en segundos

CONVERSION DE UNIDADES DE IRRADIANCIA				
	W/m^2	mW/m^2	mW/cm^2	$\mu\text{W/cm}^2$
1 W/m^2	1	10^{-3}	0,1	100
1 mW/m^2	10^{-3}	1	10^{-4}	0,1
1 mW/cm^2	10	10^{-4}	1	10^3
1 $\mu\text{W/cm}^2$	0,01	0,1	10^{-3}	1
1 $\text{erg/cm}^2 \cdot \text{s}$	10^{-3}	1	10^{-4}	0,1
1 $\text{erg/m}^2 \cdot \text{s}$	10^{-7}	10^{-4}	10^{-8}	10^{-5}
Para convertir unidades de exposición radiante reemplazar los Watts (W) por Joules (J) en la tabla				

La población de una especie de microorganismos expuesto a la un biocida (como la luz UV) es directamente proporcional a la intensidad I de la radiación y al tiempo t de exposición:

$$S(t) = e^{-kit}$$

k = constantes de reducción , $\text{cm}^2/\text{mW}\cdot\text{s}$

I = Intensidad de la irradiación UVGI, mW/cm^2

t = tiempo de exposición, segundos

Es muy común encontrar en la literatura el término Irradiación Ultravioleta Germicida, expresado por sus siglas en inglés como **UVGI** (en inglés: Ultraviolet Germicidal Irradiation).

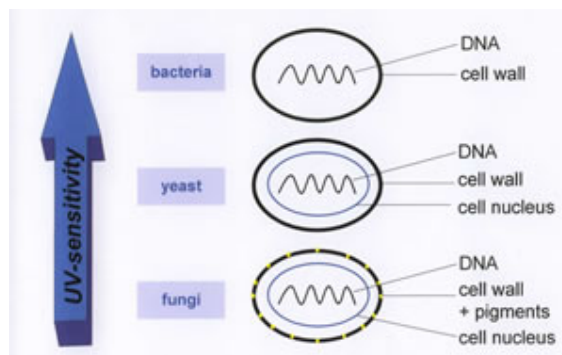
La constante k define la sensibilidad del microorganismo a la UVGI y es única para cada especie de microorganismo. Para E. coli, el valor de esta constante es de 0.000767 cm²/microW-s.

Para la desinfección del agua se requiere de cinco a diez veces la dosis necesaria de luz UV para matar el mismo porcentaje del mismo organismo suspendido en el aire. Esta mayor dosis se exige debido a que hay muchas variables involucradas, tanto de los microorganismos en sí: pigmentación celular, concentración celular, organismos unicelulares o pluricelulares, etc, como las características del medio donde ellos se encuentran: sedimentos, partículas orgánicas e inorgánicas. Los ácidos húmicos, taninos y sustancias químicas, que se encuentran comúnmente en el agua, son ejemplos de los componentes que disminuyen la absorción de la luz UV.

De igual manera la humedad relativa ambiente afecta la eficacia de la acción germicida de la luz. Si es mayor del 60 % es necesario duplicar la dosis de UV (la humedad tiende a aumentar la resistencia de las bacterias a la luz UV). El efecto de la temperatura, por el contrario, es casi despreciable. En todos los casos la temperatura del aire no debe exceder la de diseño de la lámpara.

La inactivación de los microorganismos por los UV, está en función de la dosis de energía radiante: la efectividad de la aplicación de una determinada intensidad de radiación es propia del intervalo de tiempo, sin embargo, la dosis requerida para los diferentes microorganismos varía ampliamente. Las bacterias vegetativas son de tres a diez veces más susceptibles a la inactivación que las bacterias esporuladas; las levaduras son menos susceptibles y finalmente, los hongos y sus esporas son cien a mil veces más resistentes que las bacterias vegetativas. Los protozoarios requieren un nivel más alto de energía para ser destruidos. La mayoría de bacterias, virus, y levaduras requieren un nivel de energía ultravioleta para ser destruidos, que está en el orden de 10.000 microvatios-segundos por centímetro cuadrado a 254 nm.

La sensibilidad de los organismos a la luz UV varía con el tamaño celular, con la estructura de la pared y membrana celular, con la pigmentación y con la capacidad de autoreparación de cada uno.



La destrucción de los microorganismos por la radiación UVC es un proceso exponencial. Cuanto mayor la dosis, tanto mayor es su efecto. La dosis necesaria para destruir el 99 % de los microorganismos presentes (o sea 2 unidades logarítmicas: 10² a 10⁰) es el doble de la necesaria para destruir el 90 % de los mismos (o sea 1 unidad logarítmica: 10² a 10¹) y la dosis para destruir el 99,9 % (o sea 3 unidades logarítmicas: 10² a 10⁻¹) es tres veces la necesaria para destruir el 90 %, así como la dosis necesaria para destruir el 99,99 % (o sea 4 unidades logarítmicas: 10² a 10⁻²) es cuatro veces la que se precisa para destruir el 90 %.

Dosis de luz UV de 254 nm de longitud de onda requerida para varios porcentajes de destrucción de Escherichia coli en aire seco

% Organismos Destruídos	Dosis en mWseg/cm ²
10	130
18	260
33	520

50	910
63	1310
80	2090
86	2610
90	3000
95	3600
98	5100
99	6000
99.5	6900
99.8	8100
99.9	9000
99.99	12000

Dosis de radiación Ultravioleta requerida para la destrucción (inactivación del 99,0 %) de varios microorganismos			
	mW.seg/cm2		mW.seg/cm2
BACTERIAS		HONGOS Y ESPORAS	
Bacillus anthracis	8700	Aspergillus flavus	99000
Clostridium tetani	22000	Mucor racemosus	35200
Corynebacterium dephtheriae	6500	Oospora lactis	11000
Eberthelia typosa	4100	Penicillum expensum	22000
Escherichia coli	6600	Penicillum roqueforti	26400
Leptospira	6000		
Micrococcus sapheroides	15400	PROTOZORIOS	
Mycrobacterium tuberculosis	10000	Chlorelia vulgaris (alge)	22000
Neisseria catarrhalis	8500	Nematode eggs	92000
Phytomonas tumefaciens	8500	Paramedium	200000
Proteus vulgaris	6600		
Pseudomonas aeruginosa	10500	VIRUS	
Salmonella typhosa	4100	Bacteriophage (E. coli)	6600
Sarcina Lutea	26400	Influenza	6600
Serratia marcescens	6160	Poliovirus	6000
Shigella dysenteriae	4200	Virus de la Hepatitis infecciosa	8000
Spirillum rubrum	6160		
Staphylococcus albus	5720	LEVADURAS	
Streptococcus hemolyticus	5500	Bakers Yeast	8800
Streptococcus latis	8800	Brewer's Yeast	6600
Vibrio cholerae	6500	Common Yeast cake	13200

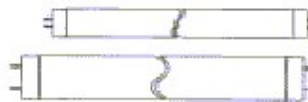
LAMPARAS

La fuente más eficiente de radiación UVC son las lámparas de descarga de vapor de mercurio de baja presión.

Hay tres tipos básicos de lámparas de descarga de vapor de mercurio de baja presión, construidas en general de forma tubular. :

Cátodo caliente. Las características eléctricas de estas luces se parecen a las de las luces de tubo fluorescente estándar porque usan un filamento en espiral (en este caso, de tungsteno) como electrodo para producir la descarga eléctrica en el tubo de vapor de mercurio. Estas lámparas germicidas son tubos fluorescentes cuyo cubierta es cuarzo puro, que transmite muy bien la radiación UV. Las lámparas

fluorescentes comunes, en lugar de cuarzo, tiene un vidrio con una película interior de fósforo que convierte la luz UV en visible. El cuarzo transmite el 95 % de la luz UV, en cambio el vidrio, tan solo el 65 %.



Como en el caso de las luces fluorescentes, hay una demora momentánea después de encender la luz mientras se calienta el filamento de tungsteno. En las lámparas de cátodo caliente, la vida de luz eficaz, que corresponde al tiempo durante el cual un tubo emite radiación que puede eliminar cierto porcentaje de bacterias transportadas por el aire, depende del número de encendidos y de la vida del electrodo, y dura típicamente entre 7.500 y 10.000 horas. Los factores que limitan la transmisión de radiaciones del tubo, como por ejemplo temperaturas frías, también pueden reducir la vida eficaz de los electrodos.

En estas lámparas, prácticamente el 40 % de la energía consumida es convertida en radiación de 254 nm de longitud de onda.

Slimline. Las lámparas Slimline también usan electrodos de filamento en espiral de tungsteno para generar electrones, pero, a diferencia de las lámparas de cátodo caliente, la temperatura de los filamentos permanece cerca de la temperatura de descarga cuando la alimentación de red está apagada, y pueden lograr intensidad plena de emisión ultravioleta tan pronto como se restablece la alimentación.



Los filamentos descargan a temperaturas más elevadas que los electrodos de cátodo caliente y, por lo tanto, pueden producir radiaciones más intensas que los otros tipos de luces ultravioleta. La vida de la lámpara Slimline también depende del número de encendidos y de la vida del electrodo, pero puede durar entre 7.000 y más de 10.000 horas.

Cátodo frío. En estas lámparas, los electrodos que se usan, en lugar de filamentos de tungsteno, son tubos catódicos, que se encienden instantáneamente y cuyas intensidades de transmisión no se ven influidas por cambios extremos de temperatura. Los tubos catódicos descargan tan pronto como se activan, sin calentarse; por consiguiente, la vida de luz eficaz no se ve afectada por el número de veces que la lámpara se enciende y se apaga. Por lo tanto, estas lámparas pueden usarse por mucho más tiempo que las de filamento en espiral (que duran como máximo unas 20.000 horas). Las lámparas de cátodo frío pueden funcionar en una amplia variedad de intensidades de radiación.

Formación de ozono: La molécula de oxígeno O_2 es bastante estable, pero la banda de longitud de onda inferior a 200 nm es capaz de absorber la luz ultravioleta. El pico de absorción es 185 nm. Esta absorción produce la ruptura de la unión de la molécula formando el radical libre O_1 (oxígeno atómico) que inmediatamente busca estabilizarse uniéndose a otra molécula de oxígeno formando ozono, O_3 . Este ozono, si bien es también un potente germicida, en concentraciones relativamente altas es tóxico e irritante (su concentración en el aire no debe superar las 0,05 ppm) así como altamente corrosivo para los metales (tanto hierro, como cobre y aluminio)

El cuarzo revestido de óxido de titanio bloquea el paso de las radiaciones de longitud de onda inferiores a 220 nm permitiendo una buena transmisión a 253,7 nm que corresponde a la mayor acción germicida y al 90 % de su emisión. **Los tubos, que proveemos están fabricados con este material de manera que no permiten más que una generación prácticamente despreciable de ozono (alejada del máximo permitido).**

Detalles técnicos de los tubos germicidas PHILIPS empleados en los equipos IPSA: Estos son de origen holandés y están contruidos con cristal de cuarzo especial que filtra la línea de 185 nm productora de ozono

CARACTERÍSTICAS						
DESIGNACIÓN	DIÁMETRO	ZÓCALO	POTENCIA NOMINAL	IRRADIANCE ¹ μW/cm ²	RADIACIÓN UVC ² W	

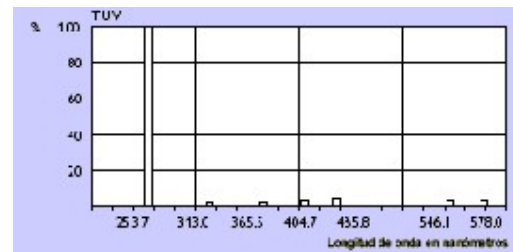
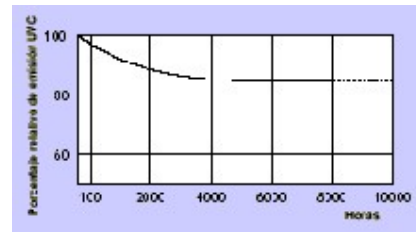
			W			VIDA ÚTIL ³ horas	DECAIMIENTO a las 2500 hs ⁴ %
TUV 15	T8 (26 mm)	G13	15	0,34	4,6	8000	12
TUV 30	T8 (26 mm)	G13	30	0,37	11,2	8000	12
TUV 36	T8 (26 mm)	G13	36	0,44	14,6	8000	12

¹ Irradiancia medida para la línea de 254 nm a 1 m de distancia al cabo de 100 horas de funcionamiento continuo.

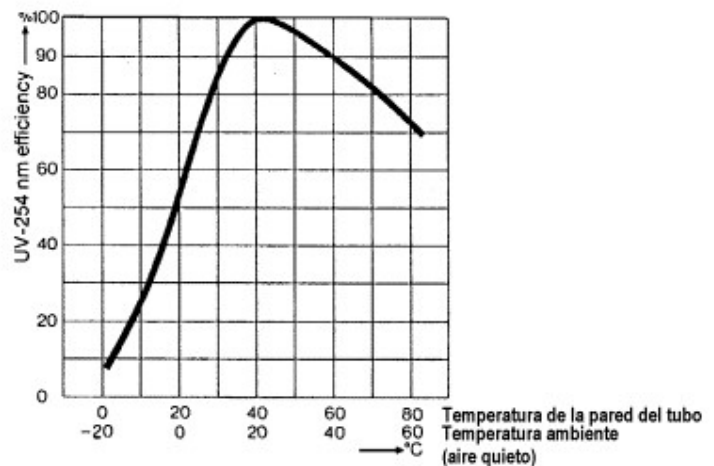
² Emisión medida después de 100 horas de operación: nominal = 100 %

³ El promedio de vida útil medido en las condiciones de ensayo (Suma de períodos discontinuos de tres horas de funcionamiento después de cada encendido, temperatura ambiente de 20°C sin movimiento de aire). Se considera el fin de la vida útil cuando la emisión se ha reducido al 75% ± 5% de su valor nominal.

⁴ Medido con respecto al valor de emisión a las 100 horas de funcionamiento



Al igual que en los fluorescentes comunes, hay una relación entre temperatura ambiente y flujo luminoso y los tubos están diseñados para que la presión del gas dentro del tubo sea la óptima (mayor emisión en la línea de los 254 nm) a una temperatura ambiente de 20°C (corresponde a una temperatura de la pared del tubo encendido, de 40°C). Es así que por ejemplo a 10°C un tubo produce una radiación equivalente al 88 % de la máxima para la que fue diseñado y a 0°C menos del 60 %.



Deterioro: Las lámparas UV normalmente no se queman, sin embargo después de 8.000 horas de uso su cristal se polariza y no transmite adecuadamente la longitud de onda de 254 nm.

La curva de la figura muestra el índice típico de la deterioro de una lámpara UV germicida

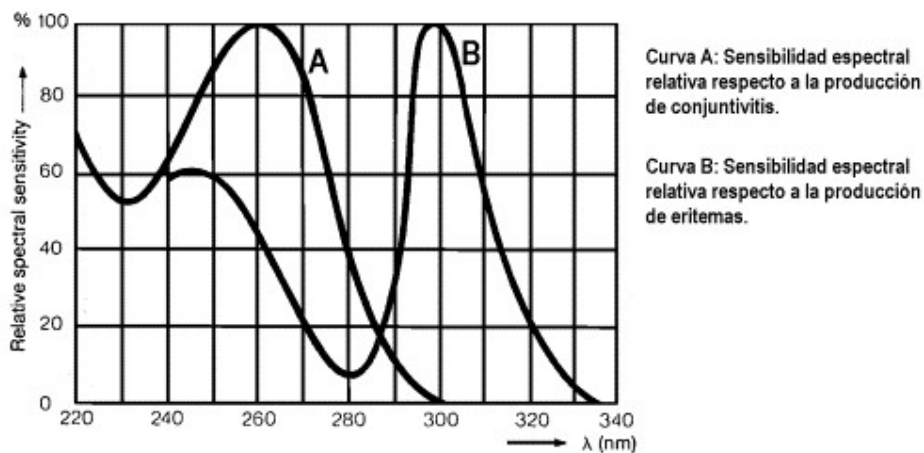
nueva. Después de siete meses de uso, la lámpara pudo haber perdido más el de 30% de su emisión ultravioleta total. Esta es la razón por la cual es tan importante sustituir las lámparas germicidas por lo menos una vez al año.



SEGURIDAD

Efecto sobre el hombre de las radiaciones UV:

La luz UVC tiene un efecto intenso sobre la piel (enrojecimiento o eritema) y produce inflamación temporal de la conjuntiva (membrana externa del ojo), muy dolorosa; así como también efectos histológicos en la cornea, iris y cristalino del ojo. conjuntivitis (si la exposición es muy intensa puede producir cataratas y hasta ceguera). La UVB se emplea en general con fines terapéuticos aunque tiene un efecto, pigmentativo sobre la piel, eritematoso y favorece la formación de provitamina D. La UVA si bien es capaz de desencadenar muchos procesos fotoquímicos no afecta prácticamente al hombre.



La figura muestra que la mayor sensibilidad para la producción de eritemas es 296 nm, aunque también hay un pico menor a 245 nm, y para la producción de conjuntivitis es 260, siendo despreciable por encima de 310 nm.

Los estándares de seguridad exigen que la intensidad sobre la piel de la radiación que incide directamente sobre ella no sobrepase el valor de 0,1 mw.s/cm². Esto nos dice que es necesario tomar precauciones cuando se instalan lámparas ultravioletas germicidas inclusive frente a su posible reflexión. Los vidrios de los lentes comunes dan una adecuada protección para los ojos.

Síntomas oculares de sobreexposición: Los ojos son la parte más sensible del cuerpo humano a la acción de las radiaciones UV, resultando en una inflamación conocida como fotoqueratitis. En las 6 a 8 horas subsiguientes a la sobreexposición el individuo no percibe ningún síntoma, pero al cabo de ese tiempo comienza a sentir abruptamente una sensación de cuerpo extraño o de arena en los ojos, sensibilidad a la luz, enrojecimiento de la piel de la cara y dolor fuerte. Los síntomas agudos persisten durante 6 a 24 horas y luego desaparecen totalmente.

	Ultravioleta			Visible	Infrarrojo		
Tipo de onda	UV-C	UV-B	UV-A				
Longitud de Onda	200	290	320	400	760	1400	10 ⁶
Lesión Ocular	Queratitis					Catarata	
			Catarata				Quemadura Corneal
				Lesiones de Retina			

La radiación ultravioleta actínica (UVB y UVC) es fuertemente absorbida por la córnea y la conjuntiva. La sobreexposición de estos tejidos provoca queratoconjuntivitis, conocida comúnmente como "golpe de arco" o "ceguera producida por la nieve". Pitts ha comunicado el espectro de acción y la evolución temporal de la fotoqueratitis en la córnea del hombre, el conejo y el mono (Pitts 1974). El periodo de latencia varía en razón inversa de la intensidad de la exposición, desde 1,5 a 24 horas, pero normalmente es de 6 a 12 hours; el malestar suele desaparecer en 48 horas como máximo. A continuación aparece una conjuntivitis que puede ir acompañada de eritema de la piel alrededor de los párpados.

Desde luego, la exposición a la RUV rara vez produce lesiones oculares permanentes. Pitts y Tredici (1971) notificaron datos de los umbrales de fotoqueratitis en humanos para bandas de longitudes de onda de 10 nm de ancho, desde 220 a 310 nm. Se observó que la máxima sensibilidad de la córnea se produce a 270 nm, valor que difiere sensiblemente del máximo para la piel. Presumiblemente, la radiación de 270 nm es biológicamente más activa debido a la falta de un estrato corneal que atenúe la dosis aplicada al tejido epitelial de la córnea a longitudes de onda de RUV más cortas. La respuesta a la longitud de onda, o espectro de acción, no varió tanto como los espectros de acción del eritema, cuyos umbrales varían entre 4 y 14 mJ/cm² a 270 nm. El umbral notificado a 308 nm fue de 100 mJ/cm² aproximadamente.

Aunque se ha demostrado claramente que la radiación UVB es mutágena y carcinógena para la piel, llama la atención la extrema infrecuencia de carcinogénesis en la córnea y la conjuntiva. No parece haber evidencia científica que relacione la exposición a la RUV con ningún tipo de cáncer de la córnea o la conjuntiva en humanos, aunque no sucede lo mismo con los animales. Esto sugiere que en el ojo humano actúa un sistema inmunológico muy eficaz, puesto que hay trabajadores que realizan su labor al aire libre y reciben una exposición a la RUV comparable a la que recibe el ganado. Esta conclusión está apoyada además por el hecho de que individuos con una respuesta inmunológica deficiente, como los que padecen xeroderma pigmentario, desarrollan con frecuencia neoplasias de la córnea y la conjuntiva (Stenson 1982).

Irradiancia:

La mayoría de las bacterias requieren en general en el orden de 10000 $\mu\text{W}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$ a 254 nm para su inactivación completa (99,99 %).

Los rayos UV son predominantemente emitidos perpendicularmente a la superficie de la lámpara. Para determinar la intensidad de la radiación sobre una superficie a diferentes distancias hay que multiplicar la intensidad de la lámpara a 1 metro (microvatios/cm²) por el factor de intensidad indicado por la tabla. Teniendo en cuenta que los tubos de 15 W poseen una irradiancia de 37 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ a 254 nm a 1 m de distancia, los de 30 W 83 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, y los de 40 W, 94 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ las energías irradiadas a diferentes distancias son las siguientes:

Distancia a la lámpara en cm	Factor de intensidad	Irradiancia	Tiempo para inactivar bacterias	Irradiancia	Tiempo para inactivar bacterias	Irradiancia	Tiempo para inactivar bacterias
		Tubo de 15 W $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Seg	Tubo de 30 W $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Seg	Tubo de 36 W $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Seg
0	354	13098	0,76	29382	0,34	33276	0,30
2,5	127	4699	2,13	10541	0,95	11938	0,84
5	69	2553	3,92	5727	1,75	6486	1,54
10	32	1184	8,45	2656	3,77	3008	3,32
15	20	740	13,51	1660	6,02	1880	5,32
20	14	518	19,31	1162	8,61	1316	7,60
25	14	518	19,31	1162	8,61	1316	7,60
38	6	222	45,05	498	20,08	564	17,73
50	4	148	67,57	332	30,12	376	26,60
64	3	111	90,09	249	40,16	282	35,46
76	2	74	135,14	166	60,24	188	53,19
88	1,4	51,8	193,05	116,2	86,06	131,6	75,99

100 cm (1m)	1	37	270,27	83	120,48	94	106,38
----------------	---	----	--------	----	--------	----	--------

Niveles de exposición admitidos:

Según la American Conference of Governmental Industrial Hygienists el **Limite Aceptable de Exposición Humana a la Luz UVC es de 0,2 micro watts por centímetro cuadrado durante una exposición de 8 horas. De acuerdo con el NIOSH, la intensidad no debe sobrepasar este valor cuando se mide por debajo de los 6 pies (1,85 m) de altura.** Este valor corresponde a un dosis de $0,2 \text{ mW/cm}^2 \times 8 \text{ hs} \times 3600 \text{ seg/hs} = 5760 \text{ mW}\cdot\text{seg/cm}^2$. En esta dosis el daño a la piel o la irritación ocular es mínima. Considerando que una lámpara de 30 W, tiene una irradiancia de 83 micro watts por centímetro cuadrado a un metro de distancia, la dosis tolerada se supera cuando el tiempo de exposición es de apenas algo más de un minuto ($5760/83 = 69''$).

Virtualmente en un aire seco y sin partículas en suspensión, un individuo debería estar poco más de 20 m de distancia de la lámpara o sea $d = (83/02)^{1/2} = 20,27 \text{ m}$, para recibir la irradiación tolerable durante 8 horas.

El efecto de la radiación UV es acumulativo. La visión de la luz UV directa es riesgosa, no así la reflejada.

TIEMPO MÁXIMO PERMITIDO PARA PIEL Y OJOS	
Tiempo de exposición	Irradiancia en mw/cm^2
8 horas	0,2
4 horas	0,4
2 horas	0,8
1 hora	1,7
30 minutos	3,3
15 minutos	5,0
10 minuto	10
5 minutos	50
1 minuto	250
30 segundos	500
10 segundos	1500
1 segundo	15000

La norma más importante: La distancia. (La radiación disminuye con el cuadrado de la distancia)

Doblando la distancia se reduce un cuarto la radiación. Esto significa que si a 1 m de distancia hay una radiación de 80 mw/cm^2 a 2 m habrá 20 mw/cm^2 , y a 4 m sólo 5 mw/cm^2 . Además debemos sumar las pérdidas que pueda ocasionar el aire.

Medidas de seguridad:

El cristal utilizado en las gafas comunes proporciona una adecuada protección a los ojos. Sin embargo, deberá tenerse cuidado de que la energía ultravioleta no entre a los ojos por los lados, ni tampoco se refleje en los ojos a través de las caras internas de los cristales. Existen protectores de plástico transparente para la cara. A veces incluso se han utilizado máscaras de soldador. Dicha protección debería incluir las orejas, especialmente cuando la persona que la usa está expuesta a numerosas lámparas. Conviene recordar que cuando una persona se haya expuesta a energía ultravioleta de onda corta, los efectos pueden no sentirse hasta varias horas después. Así mismo, la sensibilidad de cada individuo varía mucho. Los niños son mucho más sensibles a los rayos ultravioletas que los adultos.

La protección de las manos y brazos puede ser necesaria, donde la concentración de energía germicida es muy fuerte. Batas y guantes generalmente proporcionan una protección adecuada.

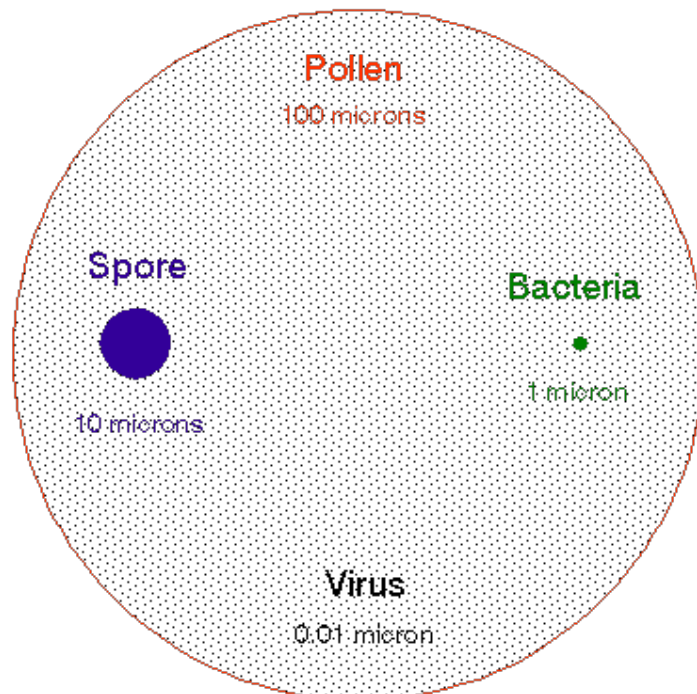
DESINFECCIÓN DEL AIRE MEDIANTE RADIACIÓN UV GERMICIDA

En el aire flotan miles de partículas de diferente naturaleza que pueden llegar a ser en algunos casos nocivas para el hombre. De todas estas los más riesgosos son los que están comprendidos dentro de la definición de bioaerosoles

Acerca del aire en el interior de edificios

- De acuerdo con la Environmental Protection Agency, el aire en el interior de una habitación está por lo menos 100 veces más contaminado que el del exterior
- El aire dentro de una habitación contiene cientos de miles de bacterias infecciosas, virus, esporas de hongos y contaminantes microscópicos.
- El National Academy of Sciences Institute ha determinado que la exposición a los contaminantes en el interior de un edificio el principal contribuyente a los problemas del asma.
- Los contaminantes del aire pueden ser causa de enfermedades tales como la gripe, la hepatitis, la tuberculosis y la neumonía. Los rayos UV previene claramente de estas enfermedades.
- Es conocido el denominado "síndrome del edificio enfermo" que es característico de habitaciones en las que los sistemas de ventilación no permiten la remoción de los contaminantes del aire que se acumulan produciendo reacciones en quienes lo habitan. Muchas veces los contaminantes son generados en el mismo sistema de ventilación.

Bioaerosoles: Los bioaerosoles son definidos como la partículas presentes en el aire constituidos por grandes moléculas o compuestos volátiles con vida o que contienen organismos vivos. El tamaño de una partícula de bioaerosol puede variar 0,01 a 100 micrones. La conducta de estos bioaerosoles está afectada por fenómenos físicos como la gravitación, el electromagnetismo y la turbulencia y la difusión.



El dibujo representa el tamaño relativo (en escala 8000:1) de diversos aerosoles de importancia como polen, esporas, bacterias y virus.

Los filtros absolutos, normalmente utilizados en ambientes hospitalarios y en las áreas estériles de la industria farmacéutica y cosmética, no representan en verdad un método totalmente seguro de desinfección. Los filtros típicamente atrapan y remueven las partículas transportadas por el aire, como polvo y otros alérgenos de origen microbiano, pero, desafortunadamente, los filtros no pueden capturar y eliminar los microorganismos como bacterias y virus. Tanto algunas especies bacterianas (como algunas Pseudomonas y micoplasmas) así como algunos virus pueden atravesarlos fácilmente.

La tecnología actual ha resuelto este problema en forma definitiva mediante sistemas de desinfección del aire mediante luz UV no expuesta. En estas condiciones es posible realizar la desinfección continua del aire por la luz UV en presencia del personal ya que la radiación permanece dentro de la unidad.

Estos sistemas pueden estar las 24 horas del día en funcionamiento, reduciendo en forma significativa la contaminación del aire, mejorando significativamente las condiciones sanitarias del lugar.

Desinfección de aire ambiente mediante lámparas germicidas de radiación orientada o radiadores pasivos:

En los sistemas de renovación de aire por ductos, los sistemas de desinfección UV se instalan dentro de los mismos. No obstante es posible una muy eficaz desinfección instalando radiadores en las mismas habitaciones que desinfectan el aire que siempre se va moviendo por convección natural. El flujo de aire debido a las corrientes de convección natural en una habitación se considera que es del orden de 1,5 a 8 m³/min

Estos equipos han sido diseñados para desinfectar ambientes donde normalmente circulan personas. Poseen un ingenioso sistema de guía de radiación que impide que los individuos puedan ser afectados por las mismas. Están equipadas con modernos tubos especiales que filtran la banda productora de ozono, de manera que no ocasionan la irritación característica que este gas produce. Estas "lámparas" son ideales para laboratorios, salas de espera, salas de curaciones, quirófanos (pueden permanecer encendidas mientras se efectúan cirugías), depósitos de alimentos perecederos, zonas de producción de alimentos de fácil contaminación microbiológica, salas de reunión, y lugares de gran concentración de personas donde es común el contagio de enfermedades respiratorias. La gran versatilidad del diseño, permite que puedan emplearse también como equipos de radiación directa sobre superficies y como barreras contra microbios en aberturas.

