

CAPÍTULO 7

DESINFECCIÓN CON UV

7.1 Radiación ultravioleta

El espectro electromagnético comprende muchos tipos de radiación, cada uno de las cuales comprende un intervalo definido por una magnitud característica, que puede ser la longitud de onda (λ) o la frecuencia (f). La siguiente figura muestra las diferentes ondas del espectro electromagnético:

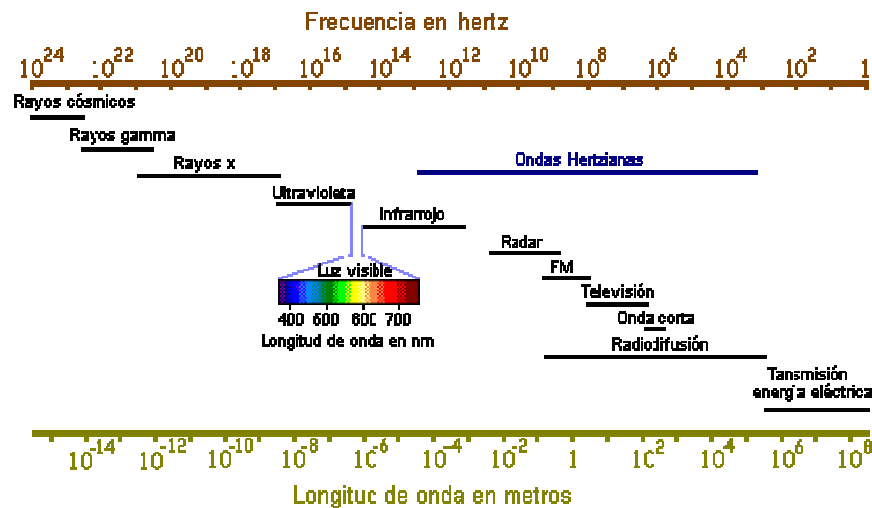


Figura 7.1 Espectro electromagnético (Edison, 2005)

Los rayos UV son ondas electromagnéticas de corta longitud de onda, más corta (y por lo tanto de mayor frecuencia y energía) que la luz visible. Se extienden desde los 100 nm hasta los 400 nm. A pesar de estar fuera del espectro de luz visible por nuestros ojos (380 a 780 nm), es posible reconocer un fluorescente de UV debido a un colorante que llevan incorporado.

7.2 Clasificación de la radiación ultravioleta

La radiación UV consiste en rayos UV-A, UV-B y UV-C, según su longitud de onda:

- La radiación UV-A tiene longitud de onda larga (entre 320 y 400 nm). Constituye el 98% de la radiación UV contenida en la radiación solar. Puede atravesar la capa de ozono, el vidrio y la dermis profunda de la piel.
- La radiación UV-B tiene longitud de onda media (de 290 a 320 nm). Causa el mayor daño inmediato a la piel en la forma de bronceado. Es la principal causa de cáncer de piel. Se puede reducir notablemente a su paso en las nubes y en los lentes y ropa.
- El tipo C tiene longitudes de onda corta (de 200 a 290 nm). Son los más cortos y los potencialmente más dañinos de los rayos UV. Estos son absorbidos por la estratosfera gracias a la capa de ozono. Sin embargo, existen lugares del planeta donde, debido a la contaminación, esta protección ya no es segura. Se usa para el tratamiento del agua, ya que la radiación UV de 253.7 nm es la que tiene mayor capacidad germicida.

7.3 Desinfección con UV

Cuando están expuestos a la luz del sol, se eliminan los gérmenes y las bacterias y los hongos se previenen de separarse. Este es un proceso natural de desinfección. Sin embargo, puede usarse más eficientemente aplicando la radiación UV de forma controlada. La desinfección con rayos UV es un proceso físico, a diferencia de la cloración y ozonificación que son procesos químicos. Se usa principalmente en piscinas y plantas de tratamiento de

agua. No deja efecto residual, por lo que no se puede determinar en el agua la cantidad aplicada en forma fácil. No es aconsejable para acueductos.

El potencial de las reacciones con UV para producir subproductos orgánicos es insignificante ya que las intensidades requeridas para la desinfección con UV son menores que las que se requieren para causar efectos fotoquímicos. Sin embargo, dosis elevadas de UV pueden oxidar materia orgánica y formar, potencialmente, esos subproductos.

La radiación UV penetra la pared celular de los microorganismos y es absorbida por los materiales celulares, produciendo mutaciones en su ADN que resultan letales en los organismos unicelulares y que sin serlo de forma instantánea en otro tipo de organismos sí puede provocar su debilitamiento o detener su reproducción. Las bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas mueren al contacto con la luz. El ADN de las células de los microorganismos absorbe la máxima cantidad de UV cuando la longitud de onda de los rayos UV es de 254 nm. Esto hace que las células sean más susceptibles a sufrir alteraciones. Se puede observar en la siguiente figura:

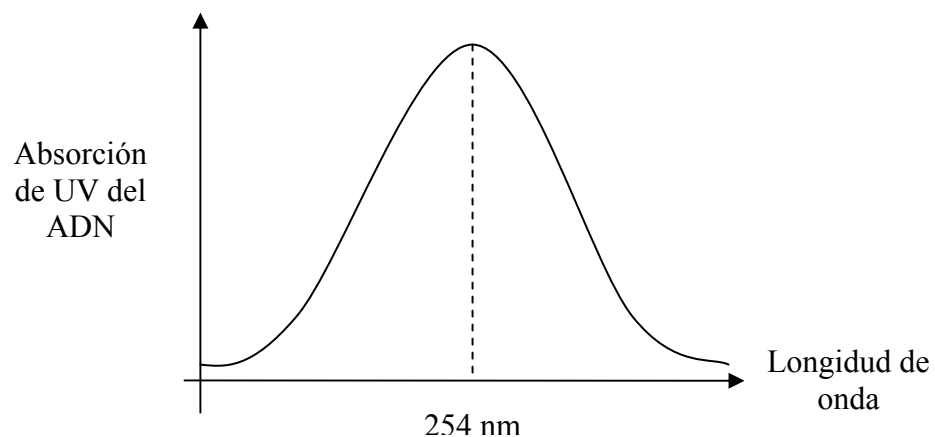


Figura 7.2 Absorción máxima de UV del ADN

7.4 Factores que afectan la desinfección con UV

- *Temperatura.* La eficiencia de la lámpara aumenta con la temperatura, teniendo a los 40°C los mejores resultados. Aún así, el efecto de la temperatura en el desempeño de los rayos UV es menor que en los desinfectantes químicos como ozono y cloro.
- *pH.* Como el mecanismo de inactivación con UV es un proceso físico, el pH no afecta directamente la eficiencia de la desinfección. Sin embargo el pH puede afectar indirectamente la eficiencia de la inactivación al afectar las características de los materiales de adsorción de la luz UV.
- *Turbiedad.* La penetración de los rayos, y por lo tanto la eficiencia de la desinfección, depende de la turbiedad del líquido, ya que ésta podría proteger a los microorganismos de la radiación.
- *Distancia a la fuente de radiación.* La intensidad luminosa de la lámpara y por lo tanto la efectividad de la desinfección es inversamente proporcional a la distancia entre el punto de emisión de los rayos y el punto de contacto con el agua.

7.5 Uso de las lámparas de UV

La radiación UV se puede producir usando lámparas de vapor de mercurio (o más recientemente de antimonio) de baja presión e intensidad baja/alta o de media presión y alta intensidad. Es importante que las lámparas germicidas tengan las correspondientes protecciones, ya que el impacto de la radiación UV en los ojos tiene un efecto nocivo para la

salud.

Las lámparas de presión baja generan un 85% de radiación de 254nm de longitud de onda, lo cual las hace muy eficientes. Las lámparas de presión media en cambio, generan entre un 7 y un 15% de radiación cerca de los 254nm.

Existen varias configuraciones físicas para las lámparas en la desinfección de agua. Las lámparas básicamente pueden estar sumergidas en el líquido o suspendidas fuera de él.

- Lámparas sumergidas en el líquido. La lámpara de UV se aísla colocándola en el centro de un tubo de cuarzo (ya que el cuarzo es uno de los pocos materiales casi totalmente transparentes a la radiación UV). Esto es con el fin de evitar riesgos si el agua llegara a entrar en contacto con las conexiones eléctricas. Dentro de las lámparas hay reflectores que garantizan la radiación uniforme en la superficie. El agua circula alrededor de la lámpara, entrando por un extremo del tubo y saliendo por el extremo opuesto libre de gérmenes vivos. La siguiente figura ilustra esto:



Figura 7.3 Lámpara de luz UV

- Lámparas suspendidas fuera del líquido. Esta configuración consiste en hacer pasar el agua a través de un tubo de teflón (que es relativamente transparente a la radiación UV), el cual se encuentra rodeado por lámparas de UV.

Para propósitos de diseño, es necesario garantizar que exista turbulencia (para que toda el agua pase lo suficientemente cerca de la superficie de la lámpara) y también que se minimice el grado de mezcla transversal (corto-circuitos). De este modo se garantiza la máxima eficiencia.

Para efectos operacionales, es esencial contar con un programa de limpieza efectivo para remover periódicamente los materiales biológicos y químicos que ensucian la envoltura de la lámpara o la superficie de los tubos de teflón.

Para alargar la vida de la lámpara el agua debe estar lo más limpia posible, lo cual además evita que partículas en suspensión dificulten la acción de la lámpara germicida. Esto se logra con los filtros instalados previamente a la lámpara de luz UV en nuestro proceso de tratamiento.

La potencia de las lámparas está directamente relacionada con el volumen de agua a tratar como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 7.1 Potencia de las lámparas germicidas y volumen de agua que tratan (Alaqualrum, 2005)

Potencia de la lámpara (Watts)	Máximo volumen de agua (Litros)
6	80
8	200
15	500
30	1500

Para tratar volúmenes mayores se pueden instalar varias lámparas en serie.

Las lámparas germicidas tienen una vida limitada, es decir, su capacidad germicida va disminuyendo con el paso del tiempo. Pasadas unas 2000 horas de funcionamiento, la lámpara pierde el 20% de su potencia. Es recomendable que a las 5000 horas de funcionamiento se cambie el tubo de UV.

7.6 Parámetros de diseño

El microorganismo de diseño en la desinfección con UV son los coliformes totales, que son mucho más resistentes a la radiación UV que los protozoarios. Es posible que existan algunos virus, bacterias o protozoarios que resistan más que los coliformes totales a la radiación UV, pero aquéllos generalmente son más fáciles de matar o inactivar con cloro. La dosis de UV necesaria para inactivar el 99% de coliformes es de $50\text{mJ}/\text{cm}^2$.

Los tiempos de contacto (t) para los sistemas de desinfección con UV son bastante pequeños, generalmente del orden de 10 a 20 segundos solamente. Por lo tanto, el espacio requerido para la desinfección con UV es relativamente pequeño. Sin embargo, como no hay residuales, normalmente se combina con algún otro proceso de desinfección.

La intensidad luminosa que emite la lámpara en el rango germicida (I) es una medida de su potencia por unidad de área de fluido bajo la radiación. Se puede calcular así:

$$I(mW / cm^2) = \frac{Potencia(mW)}{Área(cm^2)} \quad (7.1)$$

El área de contacto de la lámpara de UV se calcula así:

$$A = \pi DL \quad (7.2)$$

donde D es el diámetro de la lámpara y L su longitud (ambos en cm).

La dosis de UV se calcula así:

$$Dosis = I(mW / cm^2) \cdot t(seg) = I \cdot t(mJ / cm^2) \quad (7.3)$$

Despejando para t :

$$t = \frac{DosisUV}{I} \quad (7.4)$$

da el tiempo mínimo de contacto (en segundos), requerido para lograr la inactivación.