

DESINFECCIÓN de Agua CON LUZ ULTRAVIOLETA

por Francisco Díaz Díaz M. y Liliana Serrano O.

La contaminación del agua es uno de los principales factores que afectan la salud de los seres humanos y los animales. Es por esto que la normatividad sanitaria impuesta por las autoridades pertinentes suele ser muy estricta. En consecuencia, la mayoría de los países latinoamericanos contemplan la desinfección como una parte esencial de la potabilización, deseando que esta misma tenga efectos residuales hasta el punto de uso, con el objetivo primordial de dar a su población agua segura.

Por consiguiente, el método de desinfección por medio de luz ultravioleta (UV) se considera de gran ayuda, convirtiéndose así, en la parte fundamental de los novedosos métodos de tratamiento de agua. Su función integral se basa en prevenir, proteger y desinfectar—garantizando la calidad de este vital líquido, controlando la propagación de microorganismos patógenos (virus y bacterias) y por efecto evitando la dispersión de enfermedades.

Ahora bien, está comprobado que el exceso de cloro es tóxico en su forma basal y en asociación con algunos compuestos orgánicos contenidos en el agua se generan formas oncogénicas como los trihalometanos o las cloraminas, etc., esto aunado al elevado costo que representan los tratamientos en cloración, amplían el escenario a la tecnología ultravioleta y a la oportunidad de competir favorablemente. De cualquier manera, en la regulación de la mayoría de los países, se contempla al cloro residual en el agua de abastecimiento como una práctica efectiva de prevención de recontaminación biológica que eventualmente podrían causar un episodio desfavorable en la salud pública.

El uso de la luz ultravioleta de tipo germicida se ha incrementado en los últimos 10 años en virtud de los beneficios que ofrece sobre los procesos químicos de desinfección, ya que no altera ninguna de las propiedades físicas del agua, sin tanta necesidad de agregar compuestos tóxicos. Además es efectiva en fracciones de segundo, y reduce el riesgo por el manejo y almacenamiento de sustancias nocivas para la salud.

¿Qué es la luz ultravioleta?

La luz ultravioleta es parte del espectro electromagnético de radiación la cual también es emitida por el sol (ver *Figura 1*). Está situada entre las bandas de rayos X y la luz visible, con longitudes de onda que van desde 180 hasta 400 nanómetros (nm). Nota: un millón de nanómetros es equivalente a un milímetro o micra (μm).

La luz ultravioleta, conocida generalmente como UV, es emitida en tres diferentes bandas UV-A, UV-B y UV-C. Así pues, la radiación con mayor efecto germicida se encuentra entre las bandas UV-C Y UV-B, correspondiendo a 260 nm.

Figura 1. Espectro Electromagnético

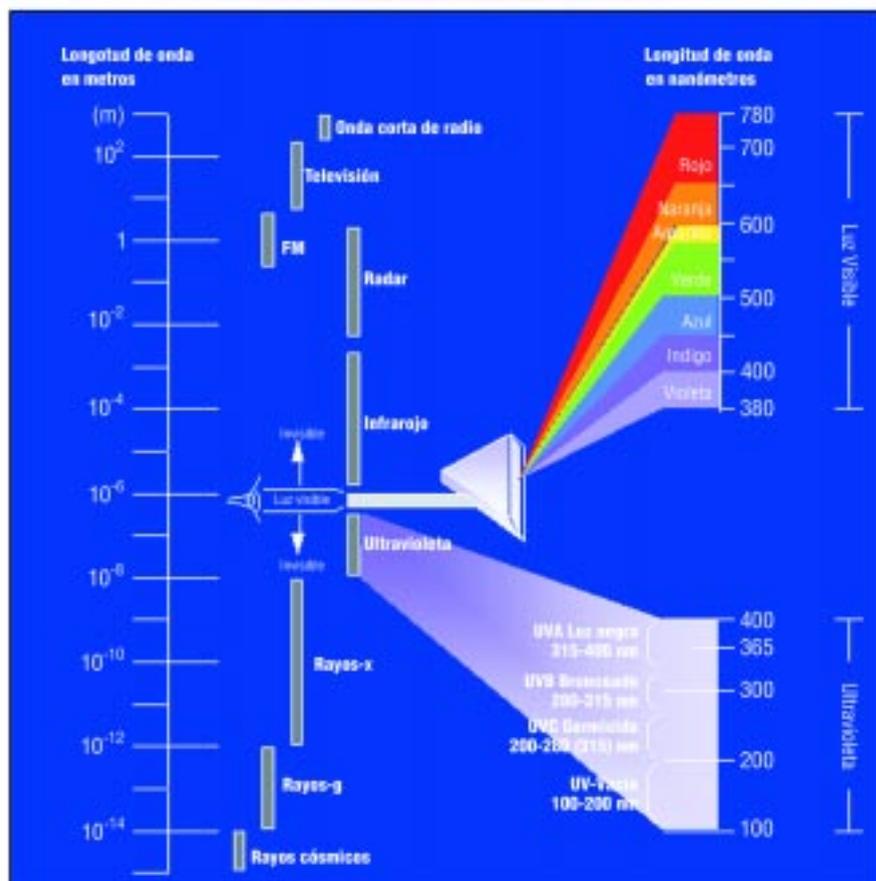


Figura 2. Secuencias de ADN Normal y Modificado

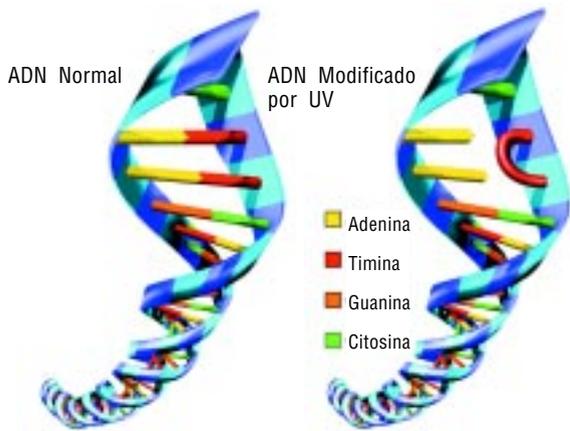


Figura 3. Efecto de UV de Presión Media en un Microorganismo

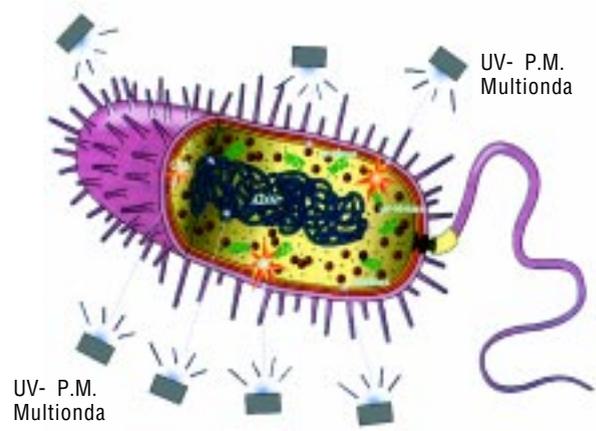
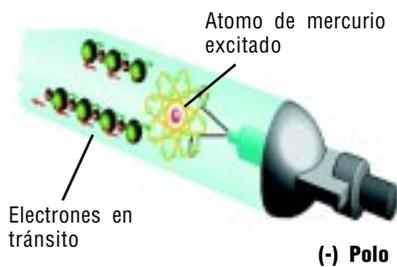


Figura 4. Generación de Luz UV

(+) Polo



De modo que la longitud de onda a 254 nm generada por emisores monocromáticos (presión baja) proporcionan la máxima efectividad germicida, inactivando los cinco principales grupos de microorganismos— virus, bacterias, hongos, algas, y protozoos— es decir, cuando estos organismos se exponen a la radiación UV, ésta penetra la pared celular llegando hasta el núcleo donde se encuentra la información genética, destruyendo la cadena de ADN y por lo tanto impide su reproducción (ver Figura 2). A pesar de que la secuencia genética es alterada mayormente a 254 nm,

encontramos ventajas adicionales en los emisores multi-onda (presión media), los cuales proporcionan el intervalo completo del espectro UV, que alteran las enzimas del citoplasma, y proteínas de la pared celular (ver Figura 3).

¿Cómo se genera la luz UV?

La luz UV es radiada por tubos de cuarzo que contienen vapor de mercurio (emisor). Cuando se induce una corriente eléctrica en los polos, se genera un arco voltaico que ioniza a los átomos de este metal (Hg), en donde los electrones incrementan su energía hasta que son convertidos en fotones de luz UV (ver Figura 4).

El concepto dosis

Al cálculo que relaciona la intensidad de energía aplicada durante cierto tiempo de exposición se le ha denominado dosis. La sensibilidad de los microorganismos a la radiación UV varía, ya que algunos tienen mayor resistencia y no se destruyen en la misma proporción. No obstante, teniendo en claro el microorganismo que se desea inactivar, es posible establecer la dosis adecuada (ver

Ecuación 1). La dosis UV es directamente proporcional a la intensidad del emisor, multiplicado por el tiempo que un microorganismo está en contacto con la radiación dentro de la cámara de contacto.

Ecuación 1.

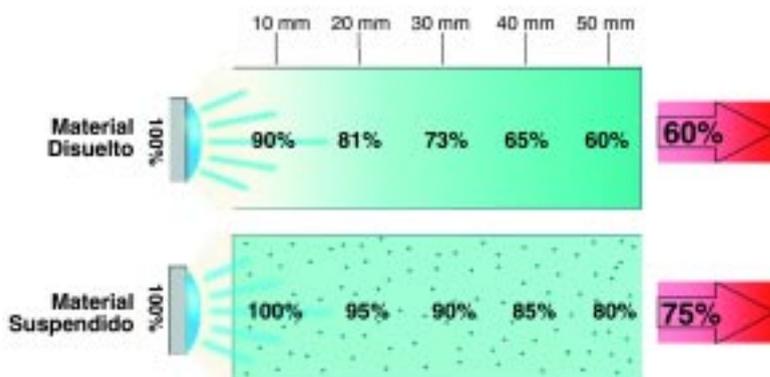
$$D_{10} = \frac{I(t_{exp})}{A_{rad}} = \frac{(mW)(seg)}{(cm^2)}$$

Donde:

- D_{10} = Dosis, expresada en segundos miliWatt por centímetro cuadrado (mWseg/cm²)
- I = Intensidad UV, expresada en miliWatts (mW).
- t_{exp} = Tiempo de exposición, expresado en segundos (seg).
- A_{rad} = Área de irradiación, expresada en centímetros cuadrados (cm²)

Comúnmente los valores de dosis varían dependiendo su aplicación, por ejemplo, las autoridades sanitarias en Estados Unidos, fijaron el valor de dosis mínimo para consumo humano doméstico en 16 mWseg/cm², en nuestros días se emplea una dosis estándar para la industria embotelladora alrededor de 30 mWseg/cm², aunque está previsto normalizar la dosis mínima en 50 mWseg/cm².

Figura 5. Efecto en la Transmisión UV

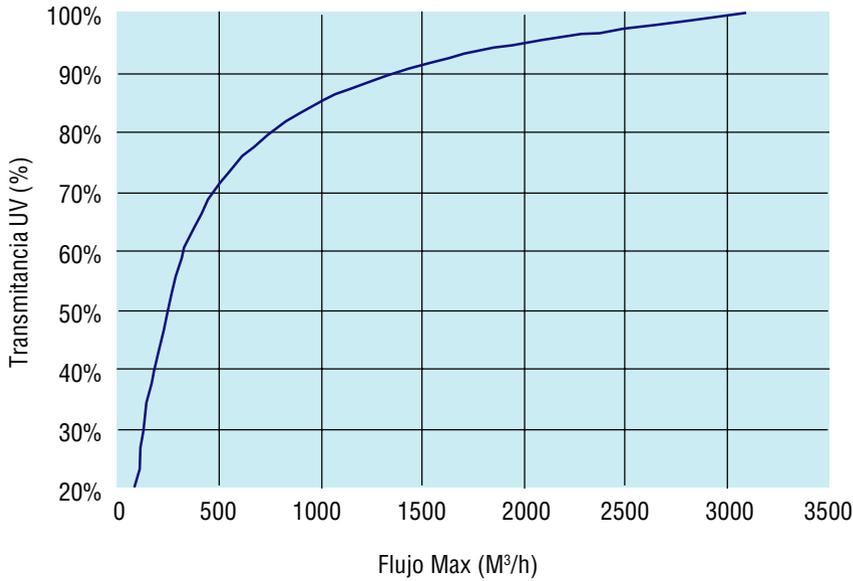


Parámetros de desinfección

La eficiencia en desinfección de los sistemas ultravioleta se ven afectados por ciertos parámetros como el flujo a tratar, la calidad del agua, la concentración de microorganismos y su transmitancia. Esta última se refiere a la cantidad de sólidos disueltos y suspendidos en el agua que determinan el color y turbiedad. Cada uno de estos elementos influye de manera independiente como a continuación se menciona.

- **Flujo**—Se debe conocer si el caudal a tratar está conducido en una tubería o en canal abierto, y si esta conducción se lleva a cabo a presión o por gravedad.
- **Calidad del agua**—Este parámetro es

**Figura 6. Tratamiento vs. Transmitancia
Curva de Capacidad 16 kW**



importante para estimar las interferencias posibles que impiden una penetración efectiva de la luz, si existen sustancias incrustantes en el agua que se pueden adherir al emisor.

• *Concentración de microorganismos*— Como se mencionó anteriormente, para fijar la dosis es necesario pensar la concentración y

tipo de microorganismo en el influente.

• *Transmitancia*—Sin duda, es el parámetro dominante del proceso ya que el éxito de la desinfección radica en la eficiencia de penetración.

Evidentemente, entre mayor es la transmitancia del agua, la penetración de luz

UV es más alta. No solo eso, sino también la cantidad de agua que se puede desinfectar por unidad de tiempo es mayor, es decir, cuando la transmitancia del agua es muy baja, el diámetro de la cámara de contacto debe ser menor con la finalidad de promover una irradiación homogénea en toda el agua (ver *Figura 5*).

Las transmitancias que se contemplan comúnmente para diferentes calidades de agua son las siguientes (ver *Figura 6*).

- 100% de transmitancia para agua ultra pura (efluentes de osmosis inversa, destilación o des-ionización).
- 85-92% de transmitancia para agua potable (efluentes de procesos de purificación como: coagulación-floculación, filtración granular, carbón activado, etc.)
- 55-65% de transmitancia para agua residual tratada, (efluentes de procesos biológicos primarios y secundarios como sedimentación.)

Variantes en los sistemas UV

Para poner en contacto al agua con la luz UV se requiere de un accesorio especial conocido como cámara de desinfección, la cual cumple el objetivo de conducir el líquido cerca de los emisores y conservar los parámetros de diseño—flujo y tiempo de exposición.

Dentro de los sistemas de desinfección UV podemos encontrar equipos que tienen la opción de instalarse a la tubería o en canal abierto. Este último es el menos deseable pues tiene desventajas en cuanto a su operación y mantenimiento, ya que comúnmente se trata de una adaptación improvisada emulando una cámara de contacto.

En lo que respecta a los equipos para tubería, existen dos arquitecturas básicas: el diseño de flujo paralelo y el de flujo transversal (ver *Figura 7*). Ambas observan un buen desempeño, pero se requiere poner especial atención en su aplicación.

Generalmente el diseño transversal se recomienda para grandes caudales de agua residual o potable, a diferencia de la cámara de flujo paralelo, que se emplea en aplicaciones de bajos caudales de agua—preferentemente potable—donde las pérdidas de presión no afectan el tratamiento.

Los sistemas de desinfección de agua con luz ultravioleta tienen cinéticas de irradiación

específicas para cada diseño. Es por ello que no es posible definir las capacidades de todas las cámaras de desinfección como un solo modelo matemático. Para clarificar esto, se

presenta a continuación una curva de capacidad de un equipo transversal en línea, con una potencia nominal de 16 kW a una dosis de 30 mWseg/cm² (ver *Figura 8*).

UV—VENTAJAS Y BENEFICIOS

- No se requieren químicos consumibles ni tóxicos.
- No existe riesgo de sobredosis.
- Es ambientalmente amigable.
- Bajo consumo de energía.
- Mínima depreciación.
- Bajo costo de inversión y funcionamiento.
- Inactivación de patógenos en fracciones de segundo.
- No daña las instalaciones hidráulicas.
- De fácil aplicación.
- Fácilmente adaptable al caudal y condiciones variables del agua.
- Se perfila como la tecnología con mayor aplicación en el futuro.

Figura 7. Sistemas Paralelo y Transversal

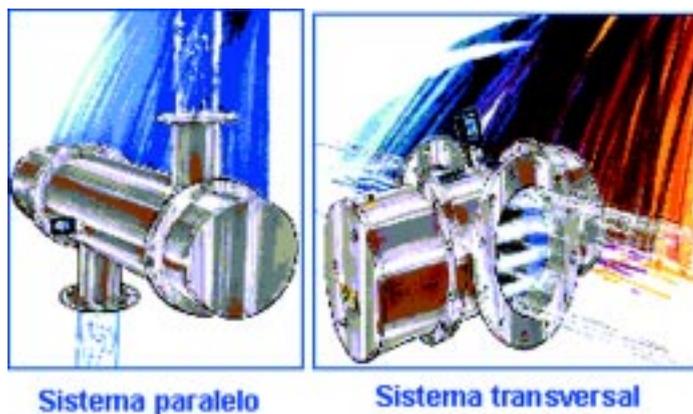
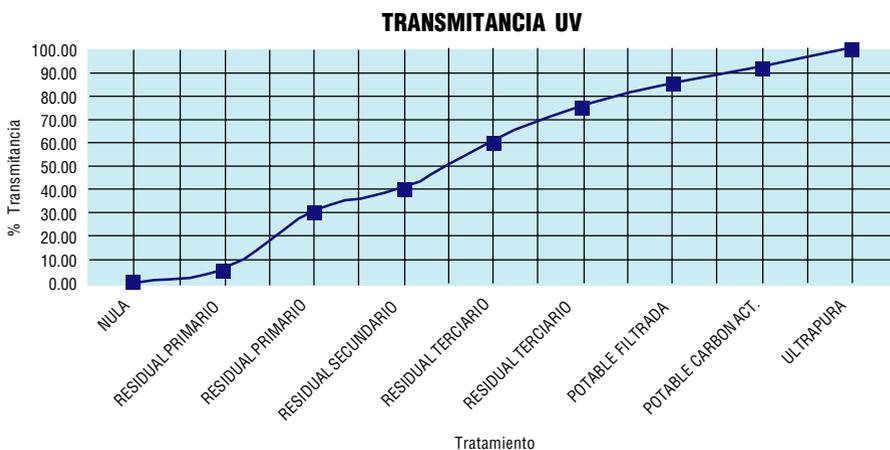


Figura 8. Curva de Capacidad Equipo Transversal en Línea de 16 kW



Conclusión

Desafortunadamente, la situación caótica que atraviesa nuestro planeta nos da un panorama poco alentador. La carencia de agua potable, y las condiciones ambientales peligrosas e insalubres se encuentran a la orden del día. Por este motivo, la prevención de enfermedades está orientada a todos los grupos sociales mediante la mejora de la calidad de este preciado recurso. Por esta razón el mundo ha puesto la mirada en la luz ultravioleta, debido a los extensos beneficios y ventajas que ofrece. En efecto, podemos concluir que evidentemente esta tecnología cumple con las condiciones y requerimientos actuales, siendo el método de desinfección idóneo para el futuro.

Acerca de los Autores

Ambos autores colaboran en Germ-ex, S.A. de C.V., una empresa mexicana basada en la Ciudad de México, dedicada exclusivamente al manejo de tecnología UV.

Francisco Díaz Díaz Mirón, ingeniero ambiental, es jefe del departamento de ingeniería y proyectos de Germ-ex. Contacto: +52(55) 5341-5307, ingenieria@germ-ex.com.mx, www.germ-ex.com.mx

Liliana Serrano Ortega, sociólogo urbano, es asistente directivo general de Ger-mex. Contacto: +52(55) 5341-5307 liliana_s@germ-ex.com.mx