

# DESINFECCION DEL AGUA CON LUZ ULTRAVIOLETA Y ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

## INTRODUCCIÓN

En la selección del tratamiento más adecuado para la desinfección del agua para el consumo humano, deben tenerse en cuenta aspectos como el nivel de riesgo a la salud de la población, el consumo energético, los costos, la eficacia, etcétera.

En las regiones rurales, de escasos recursos económicos y en las que las fuentes de obtención del agua no resultan confiables, se hace imprescindible elegir una alternativa de tratamiento que garantice la obtención de buenos resultados con mínima inversión posible.

Existen variados métodos<sup>1</sup> para lograr la desinfección del agua, algunos tradicionales y con amplia experiencia acumulada en su uso y otros de relativa nueva aplicación.

El método más antiguo y universal para la desinfección del agua a escala domiciliar es el de la ebullición, que logra la eliminación de los patógenos que se transmiten a través del agua. Hervir el agua consume grandes cantidades de combustible, lo que provoca una agresión contra la vegetación de la región por el uso de la leña y un incremento de la contaminación atmosférica por el uso de la leña o el keroseno, además de requerir gran esfuerzo personal en su aplicación.

Dentro de los métodos químicos, el tratamiento con cloro es el más usado.<sup>2</sup> Es muy efectivo para eliminar bacterias patógenas y mantiene una concentración residual de cloro en el agua que garantiza el nivel de desinfección alcanzado durante un período de tiempo. Sin embargo, es ineficaz contra virus y quistes de protozoos. Por otra parte, requiere de una dosificación específica, para lo cual no siempre se cuenta con el técnico calificado. De aplicarse una dosis excesiva, el sabor y olor del agua se afectan y se introducen riesgos para la salud. Dosis deficientes pueden ser ineficaces. La introducción del almacenamiento del cloro en la vivienda introduce un riesgo adicional. El

## Resumen / Abstract

*Se presentan los resultados iniciales de la investigación que tiene por objetivo el estudio básico de los requerimientos para la desinfección del agua, empleando como elemento desinfectante a la radiación ultravioleta de una lámpara y utilizando como fuente de energía, a la energía solar, a través de un panel fotovoltaico, así como los elementos generales del sistema experimental y los resultados iniciales de la desinfección, exponiendo las características energéticas de la radiación solar, el panel fotovoltaico y la lámpara ultravioleta, así como los niveles de contaminaciones iniciales y los tiempos de exterminación de las bacterias del tipo coliforme, utilizadas como indicadoras del proceso. Se señalan las amplias posibilidades del uso de este procedimiento en tanques domésticos de recepción de agua para el consumo humano, en regiones apartadas, con un sistema automantenido energéticamente y bajo nivel de mantenimiento y operación. El método es aplicable en países tropicales y en particular, en las escuelas primarias rurales cubanas, las que cuentan con energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos.*

*Palabras clave: luz ultravioleta, tratamiento del agua, energía solar*

*In this paper, initial results of basic research are shown, with the main goal for finding general conditions for ultraviolet treatment, using UV lamp and solar energy, through photovoltaic panel, as energy source. The experimental results are shown, with the disinfecting time and initial contamination index. Coliform bacteria was used as indication of the process behaviour. The methods has important possibilities in rural regions, specially in Cuba, due to the photovoltaic power supply in all the primary rural schools.*

*Key words: ultraviolet light, water treatment, solar energy*

*Luis Guerra Díaz, Ingeniero Químico, Centro de Investigación de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (ISPJAE)*

*Daysi Gómez Infante, Centro de Estudio de Técnicas Energía Renovable (CETER), ISPJAE*

*Antonio Sarmiento Sera, Doctor en Ciencias, CETER, ISPJAE, Ciudad de La Habana e-mail: sarmiento@ceter.ispjae.edu.cu*

tratamiento con cloro resulta eficaz y económico en ciudades con redes de distribución de agua, por su procesamiento centralizado. La opción de la generación del cloro in situ, es muy efectiva, pero el costo de las celdas es muy elevado.

La filtración del agua se utiliza desde el siglo XIX, eliminando la turbiedad, los quistes y los protozoos, pero no las bacterias o los virus.

El tratamiento con ozono resulta ser un método eficaz aunque requiere de equipos específicos y un alto costo relativo.

El uso de la luz ultravioleta<sup>3</sup> es seguro y no presenta riesgos de manipulación, el agua tratada no se altera ni en olor ni sabor, la desinfección es rápida, aunque requiere de energía eléctrica para las lámparas. La radiación ultravioleta es efectiva contra un gran espectro de microorganismos y no genera subproductos en su utilización ni al agua ni al medio.

La tecnología actual permite obtener bajos niveles de energía eléctrica en regiones apartadas, con el uso de paneles fotovoltaicos.

Por las razones antes expuestas, se seleccionó el método de tratamiento con luz ultravioleta para su estudio como método de desinfección del agua almacenada en tanques de uso doméstico. El trabajo de investigación se desarrolla a través de la colaboración entre la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia, Alemania y el Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", de Cuba.

En el caso particular de Cuba, la introducción de paneles fotovoltaicos en las escuelas primarias rurales facilita la aplicación del método.

### ■ CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA

La radiación solar en Cuba posee un valor promedio de 5 kWh/m<sup>2</sup>.d para un panel fotovoltaico orientado al Sur, con una inclinación de 30°, con respecto a la horizontal. La lámpara considerada en el presente trabajo consume 10 W y asumiendo inicialmente que debe estar encendida 2 h/d, consume aproximadamente 20 Wh/d. Debe señalarse que este último valor depende de las características del agua y del tanque, lo cual se detallará más adelante.

Para ilustrar el valor del consumo energético analizado,

puede considerarse que en una escuela primaria con un panel de 165 W, el consumo de la lámpara representaría un 2,4 % del total de energía generada.

La lámpara opera con corriente directa de 12 V, por lo que puede ser conectada directamente al panel, de modo que su encendido y apagado sigan las fluctuaciones naturales de la radiación solar, de este modo se puede esperar una operación promedio de 5 h/d. Si se desea controlar el tiempo y el momento de operación de la lámpara, puede conectarse a la batería, mediante un controlador de encendido por tiempo.

La luz ultravioleta es clasificada (figura 1) en tres rangos de longitudes de onda: Zona C desde 100 nm hasta 280 nm, Zona B desde 280 nm hasta 315 nm y Zona A desde 315 hasta 400 nm.

Las lámparas ultravioleta para uso germicida están diseñadas para generar radiación en la zona del espectro cercana a la longitud de onda de 254 nm, dentro de la zona C, precisamente por ser esa región la que produce daños en los ácidos nucleicos de los microorganismos mediante la formación de enlaces covalentes entre bases adyacentes del DNA, lo cual inhibe a los organismos en su reproducción, adicionalmente, la radiación ocasiona cambios en las funciones vitales que pueden provocar la muerte de los microorganismos.

### ■ DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Para las corridas experimentales se utilizó un tanque de asbesto-cemento de 117 cm de diámetro y capacidad total de 1 100 L. Se utilizó en cada corrida 500 L de agua del sistema de distribución pública de Ciudad de La Habana, la que había recibido inicialmente tratamiento con cloro, pero en el inicio de los experimentos, ya no poseía residuos de cloro. El agua se contaminó utilizando agua de un efluente de un humedal que de forma natural logra cierta depuración de residuales domésticos.

Se ajustó el nivel de coliformes inicial en el agua al orden de 10<sup>3</sup> y se trabajó con una temperatura de 29° C. La lámpara se situó en el centro del tanque.

La energía eléctrica fue suministrada por un panel de 53 W (por ser el disponible, aunque sobredimensionado) y se utilizó una pequeña bomba de recirculación de agua para uniformar la dosis de radiación.

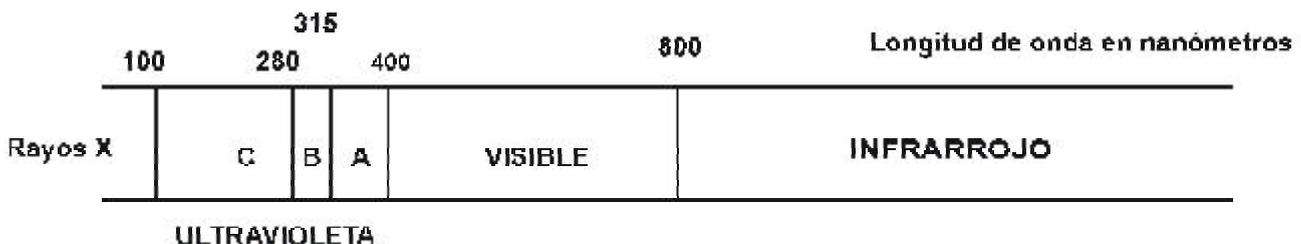


FIG. 1 Espectro electromagnético, señalando la ubicación del ultravioleta.

El nivel de contaminación fue medido por el método<sup>4</sup> de determinación de coliformes del "Standard Methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Wastes", reportándose el Número Más Probable (NMP) en 100 mL.

#### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la figura 2 se expone el efecto de la radiación en el tiempo, sobre el nivel de contaminación del agua.

Tomando la *Escherichia coli* como típico representante del grupo coliforme, se ha reportado<sup>5</sup> que con una radiación de 9,0 mWsec/cm<sup>2</sup> puede eliminarse en un 99,9 % y en los experimentos realizados (figura 2) su eliminación se logró en 45 min, por lo que otros microorganismos patógenos, como el *Salmonella typhosa*, del cual se ha reportado<sup>5</sup> una dosis letal de 6,3 mWsec/cm<sup>2</sup>, debe requerir de (6,3/9,0)(0,75) 0,5 h.

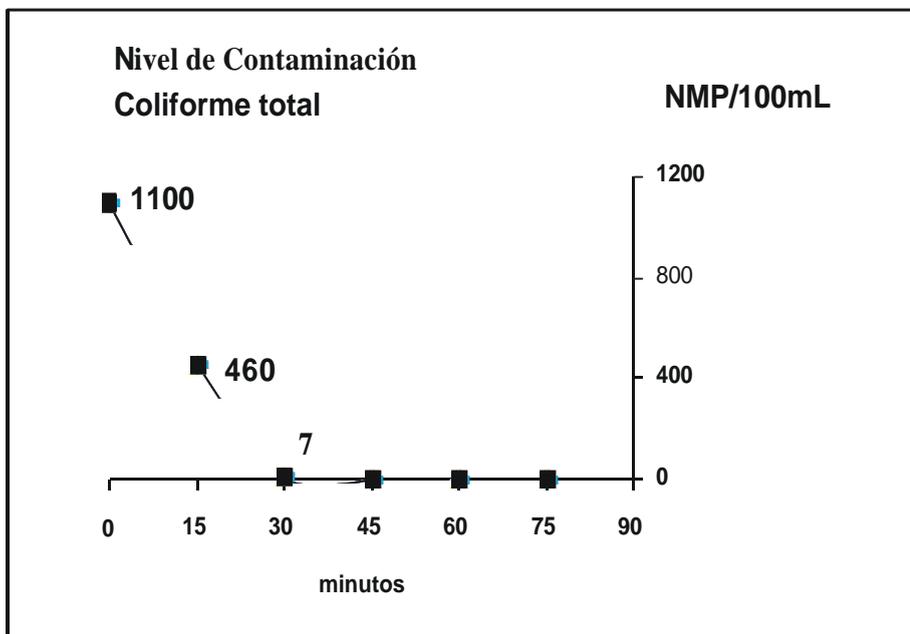


FIG. 2 Resultado representativo de los experimentos con luz ultravioleta.

El *Infectus hepatitis*<sup>5</sup> requiere una dosis de 17,4 mWsec/cm<sup>2</sup>, por lo que su eliminación se logrará en (17,4/9,0)(0,75) ≈ 1,5 hora.

Otros experimentos se realizaron con contaminaciones iniciales de 4,5 x 10<sup>3</sup> obteniéndose tiempos de eliminación de coliformes, de 75 min.

Similares experimentos se realizaron sin utilizar la bomba de circulación, dando por resultado un tiempo de eliminación de coliformes, de 2 h.

Los experimentos en tanques de menores dimensiones produjeron tiempos de eliminación menores, dada la menor distancia a la lámpara y mayores dosis de radiación, llegando a la conclusión de que en tanques de reducidas dimensiones, no resulta necesaria la bomba de recirculación.

Debe señalarse que en muestras analizadas 15 días después de haber sido tratadas, se observó que mantenían el mismo nivel de desinfección, sin la presencia de coliformes.

La turbidez del agua resulta un aspecto importante a considerar, por el incremento que produce en la atenuación de la radiación y en el efecto de barrera de protección que logra sobre los microorganismos, aunque es posible incorporar un filtro simple al tanque, cuando se requiera.

#### CONCLUSIONES

Los resultados favorables obtenidos, indican la factibilidad de su aplicación en zonas rurales apartadas, es posible obtener adecuados niveles de desinfección en tiempos relativamente breves y con bajo nivel de consumo eléctrico.

El sistema de desinfección con lámpara ultravioleta, usando la energía solar fotovoltaica, resulta con baja complejidad de operación, prácticamente automático.

El trabajo de investigación continuará en la precisión de la influencia en la desinfección, del tamaño y forma del tanque, así como del nivel de turbidez del agua.

#### REFERENCIAS

1. "Guidelines for Drinking Water Quality", Vol. 1, World Health Organization, Génova, 1993.
2. HAMILTON J. R.: "Manual para desinfección del agua a nivel de vivienda en el área rural" Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, IEOS, 1993.
3. CRAMS W. AND J. MCKEE: "New Advances in Ultraviolet Light Desinfection Technology" Trojan Technology Inc., 1995.
4. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th Edition, American Public Health Association, 2000.
5. UVI tec Limited, <http://www.uvitec.demon.co.uk>, 2001.