



Equipos para tratamientos de alimentos con radiación UVC

O. T. Antonio-Gutiérrez*, E. Palou y A. López-Malo

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.
Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés Cholula, Puebla. C.P.72810. México.*

Resumen

Actualmente, hay un gran interés por nuevas tecnologías más eficaces, baratas y menos destructivas de la calidad de los alimentos que los procesamientos térmicos tradicionales. La tecnología de radiación ultravioleta de onda corta (UVC) es muy prometedora como una alternativa a los métodos tradicionales. Esta revisión da a conocer algunos equipos UVC disponibles en el mercado y describe sus características más importantes, presenta equipos para tratar algunos alimentos sólidos y líquidos, y describe algunos avances tecnológicos de la fuente de radiación. Las lámparas de mercurio de baja y mediana presión son las más comunes; sin embargo, han surgido algunas alternativas como las lámparas UV de microondas, las cuales son más eficientes. Los equipos UVC disponibles en el mercado tienen pocas aplicaciones en alimentos; sin embargo, han tenido éxito a nivel de investigación, lo que genera entusiasmo y alienta a más investigación de esta tecnología para ampliar sus aplicaciones en la industria alimentaria.

Palabras clave: radiación ultravioleta, equipos UVC, fuente de radiación, alimentos.

Abstract

Nowadays, new technologies that are more efficient, cheaper and less disruptive to quality of foods than traditional thermal processing are of interest. Ultraviolet light technology (UVC) holds considerable promise as an alternative to traditional methods. This review discloses some commercially available UVC equipment and describes its most important features. Equipment to treat some solid and liquid foods are presented. Furthermore, the description and some technological advances of the UV radiation source are discussed. The low and medium pressure mercury lamps are the most common, but alternatives have emerged like microwave UV lamps which are more efficient. The UVC equipment available in the market has few applications in foods, however, it has been successful, which causes enthusiasm, and encourage to do more research for this technology in order to expand their applications in the food industry.

Keywords: Ultraviolet light, UVC equipment, radiation source, foods.

*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: oscar.antonio@udlap.mx

Introducción

La tendencia actual de los consumidores es hacia productos alimenticios mínimamente procesados, los cuales mantengan al máximo sus características sensoriales y nutrimentales, con una vida de anaquel conveniente y aceptable, y microbiológicamente seguros. Debido a esto, los procesos no térmicos, y que utilizan como fundamento métodos físicos de destrucción microbiana y/o enzimática, aplicados a la conservación de alimentos sin los efectos colaterales de los tratamientos con calor, se encuentran en intensa investigación (López-Malo y Palou, 2004). Un procedimiento de este tipo es la irradiación de alimentos con radiación ultravioleta de onda corta (UVC), la cual ha sido aplicada en la industria de alimentos con fines de desinfección de empaques y superficies de trabajo, así como para la desinfección de agua y aire. Recientemente, la UVC ha sido utilizada para la desinfección de superficies de alimentos para obtener productos de mayor calidad (Bintsis *et al.*, 2000). Además, se ha incrementado el interés por el uso de la UVC para el tratamiento de jugos de frutas y otros productos líquidos (Farid *et al.*, 2001).

Se sabe que los microorganismos tienen su máxima absorción de radiación ultravioleta a 260 nm. Basado en esto, se construyó en Suiza a principios de 1910, el primer prototipo de lámpara de radiación ultravioleta, que resultó eficaz para la destrucción de microorganismos tales como bacterias, levaduras y mohos en la desinfección de agua. A partir de 1940, se perfeccionó la fabricación de lámparas y en 1955 se obtuvieron las primeras construidas en cuarzo, con longitudes de onda de 254 nm, las cuales resultaron ser más efectivas (González, 2001).

La UVC no produce residuos químicos, requiere de poco mantenimiento y es de bajo costo (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). Debido a esto, dicha tecnología ha

comenzado a comercializarse exitosamente para la desinfección de algunos alimentos líquidos y sólidos, por lo que resulta importante conocer las características y aplicaciones de algunos de los equipos UVC. Es por ello que el objetivo principal de este artículo es dar a conocer algunos equipos disponibles en el mercado y describir sus características principales. Además, un punto importante a tratar en este artículo es la descripción y algunos avances tecnológicos de una de las partes fundamentales de los equipos UVC, la fuente de radiación.

Revisión bibliográfica

1. Radiación ultravioleta

La energía radiante puede considerarse como campos magnéticos y eléctricos que oscilan perpendicularmente a la dirección de desplazamiento. La luz visible es un ejemplo de este tipo de energía. Las energías radiantes se desplazan a la velocidad de la luz, pero difieren en frecuencia y longitud de onda. El espectro electromagnético abarca un amplio intervalo de energías (frecuencias) y, por lo tanto, de longitudes de onda. Entre las diferentes regiones del espectro electromagnético, la radiación ultravioleta y las microondas son algunos ejemplos de interés en la industria de los alimentos (Mendonca, 2002).

Las radiaciones ultravioleta (UV) se encuentran entre las bandas de rayos X y luz visible, con longitudes de onda que van desde 180 hasta 400 nm (Díaz y Serrano, 2005). Adicionalmente, las radiaciones ultravioleta se subdividen en tres regiones: UV de onda larga, UV de onda media y UV de onda corta (UVC). Esta última abarca longitudes de onda de 200 hasta 280 nm, intervalo considerado como germicida contra microorganismos tales como bacterias y levaduras (Bolton, 2001). Sin

embargo, la longitud de onda de 254 nm es la más utilizada para esterilizar agua, aire y algunos alimentos, ya que se absorbe en un nivel que es suficiente para ocasionar cambios físicos en los electrones y rompimiento de enlaces en el ácido desoxirribonucleico (ADN), inactivando así los procesos de crecimiento y reproducción microbianos (Bolton, 2001). La alta absorción de UVC (254 nm) por el ADN se asocia con la capacidad de las bases pirimidina y purina para absorber radiación en esta longitud de onda (Shama, 1999). La UVC causa daños en el ADN de las células expuestas al promover la formación de enlaces entre timinas en cadenas adyacentes del ADN; estos dímeros de timina inhiben la replicación correcta del ADN durante la reproducción de la célula (Adams y Moss, 1995).

Existen ventajas y desventajas en cuanto al uso de la UVC para la desinfección de alimentos. Algunas ventajas son que esta tecnología no produce residuos químicos y que requiere poco mantenimiento. Sus desventajas se relacionan con la baja penetración en diferentes alimentos; por ejemplo, la UVC sólo penetra a una profundidad muy pequeña en la superficie de líquidos que no sean agua (Shama, 1999).

2. Fuentes de radiación UV

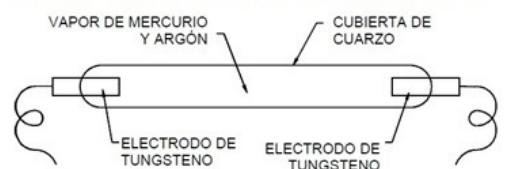
Las fuentes de radiación UV más comunes son las lámparas de arco de mercurio de baja y mediana presión, las cuales son capaces de generar radiación UV con una longitud de onda de 254 nm. Estas lámparas han sido utilizadas exitosamente para la desinfección de agua; sin embargo, la respuesta microbiana en alimentos a este tipo de lámparas continúa en investigación. Se han desarrollado además, otro tipo de fuentes de radiación UV como las lámparas UV de microondas y lámparas de pulsos UV. Estas nuevas alternativas presentan diversas ventajas, por ejemplo, son independientes del efecto de la temperatura y

pueden ser aplicadas para el tratamiento de alimentos. A pesar de que ya son empleadas para la desinfección de agua, su uso en alimentos no ha sido del todo evaluado (Koutchma, 2009).

2.1. Lámparas de mercurio

Una lámpara común de arco de mercurio se muestra en la Fig. 1. La lámpara consiste de un tubo herméticamente cerrado de sílica vitreosa o cuarzo (ambos transmisores de radiación UV) con electrodos en ambos extremos (Phillips, 1983). El tubo es llenado con mercurio y un gas inerte, usualmente argón. Un electrodo se localiza en cada orilla del tubo conectado al exterior a través de un sello. Los electrodos están compuestos usualmente de tungsteno con una mezcla de metales alcalinotérreos, para facilitar la formación del arco dentro de la lámpara. La radiación UV es emitida desde la lámpara cuando el vapor de mercurio excitado por una descarga, retorna a un nivel de menor energía. El argón presente ayuda para el arranque de la lámpara, además extiende la vida de los electrodos y reduce las pérdidas térmicas. Este tipo de lámparas pueden ser operadas a baja y mediana presión (Masschelein, 2002).

COMPONENTES DE LA LÁMPARA



DISEÑO DE LA BALASTRA

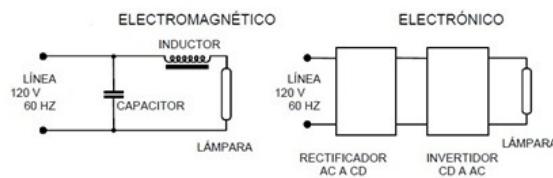


Fig. 1. Lámpara de arco de mercurio y diseños del balastro. Adaptada de Wright y Cairns (1998).

Debido a las características de resistencia eléctrica negativa de las descargas de gases, la operación estable de una lámpara de arco de mercurio requiere de una balastra adecuada. Las balastras son un componente que sirve para limitar el flujo de corriente y estabilizar el funcionamiento de las lámparas. Son diseñadas para operar las lámparas y proveer el voltaje requerido apropiado para el arranque y operación. Si la lámpara es operada usando un suministro de corriente alterna, la balastra consiste usualmente de componentes inductivos y capacitivos. Las balastras se clasifican en electromagnéticas y electrónicas. La balastra electromagnética consiste básicamente de un núcleo de láminas de acero, rodeado por dos bobinas de cobre o aluminio. Este arreglo transforma la potencia eléctrica en una forma apropiada para arrancar y regular la corriente de la lámpara. El capacitor es otro componente importante, el cual optimiza el factor potencia, de tal forma que puede utilizar la energía de manera más eficiente. La balastra electrónica está basada en una tecnología completamente diferente a la de la balastra electromagnética. Enciende y regula las lámparas en altas frecuencias, generalmente mayores a 20 kHz, usando componentes electrónicos en vez del tradicional transformador (Martínez, 2005).

2.1.1. Lámparas de mercurio de baja presión

Este tipo de lámparas, para la generación de radiación UV, son operadas a 10^2 - 10^3 Pascales. Esta presión corresponde a la del vapor del mercurio líquido a una temperatura de pared óptima de 40°C, y genera en la lámpara un arco eléctrico de energía de cerca de 0.2 a 0.3 W/cm (Phillips, 1983). El espectro de emisión de la lámpara de mercurio de baja presión se limita a un número bien definido de líneas espectrales, y la fuente es denominada monocromática. Aproximadamente, el 85% de la radiación emitida es UV resonante con una longitud de onda de 253.7 nm, la cual es la más eficiente para la destrucción de

microorganismos. La Agencia de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos de América (FDA, por sus siglas en inglés) ha aprobado el uso de lámparas de mercurio de baja presión para el procesamiento de jugos y éstas han sido exitosamente comercializadas (FDA, 2000).

2.1.2. Lámparas de mercurio de mediana presión

Estas lámparas son operadas aproximadamente a 10^4 - 10^6 Pascales (Masschelein, 2002). Las temperaturas que alcanzan son elevadas, de entre 600 y 800°C. Es por ello que es absolutamente necesario usar envolturas de cuarzo ventiladas. Además, es importante evitar el contacto directo de la superficie de la lámpara con el fluido a tratar. Debido a la alta temperatura del plasma dentro de este tipo de lámparas, el mercurio vaporizado existe en varios estados de excitación. La emisión resultante es policromática y el espectro abarca longitudes de onda que van de los 250 a los 600 nm. Estas lámparas no son muy útiles para tratamientos germicidas; sin embargo, su fuerte radiación UV resulta en una penetración profunda. Con algunas modificaciones, las lámparas de mediana presión pueden ser empleadas para el procesamiento de algunos alimentos, especialmente en procesos de oxidación y fotodegradación (Koutchma, 2009).

2.2. Otras lámparas

Se han desarrollado diversas alternativas para la generación de radiación UV, esto debido principalmente a que la eficiencia de las lámparas de mercurio de baja o mediana presión se ve afectada por la temperatura. Algunas de estas tecnologías son las lámparas UV de microondas y las lámparas de pulsos de UV; sin embargo, el uso de estas lámparas en alimentos continua en investigación (Koutchma, 2009).

2.2.1. Lámparas UV de microondas

Esta clase de lámpara elimina la necesidad de usar electrodos, lo cual tiene ciertas ventajas. En vez de emplear electrodos, estas lámparas utilizan la energía de las microondas generadas por un magnetrón. La radiación es generada dentro de una funda de cuarzo que es llenada con un gas inerte, generalmente argón, y con mercurio. La radiación se produce cuando los átomos de mercurio que son excitados regresan de un nivel excitado a uno de menor energía. Estas lámparas pueden ser prendidas y apagadas sin producirse deterioro en ellas y además su vida útil es tres veces mayor que la de las lámparas que utilizan electrodos (Little, 2007). Actualmente, el uso de esta tecnología para la desinfección de alimentos se encuentra en investigación. Ortoneda *et al.* (2008) estudiaron el efecto de la radiación UV generada por las microondas sobre diferentes microorganismos. Para ello, emplearon un magnetrón que operaba a 2.45 GHz generando una máxima intensidad de radiación UV a 254 nm de 10 W/m^2 . Los microorganismos expuestos a la radiación UV fueron *E. coli*, *S. aureus* y *B. cereus*, los cuales se hicieron crecer hasta obtener una población de 10^5 - 10^7 UFC/mL y se colocaron a 10 cm de distancia de la lámpara, obteniéndose en todos los tratamientos cinco reducciones logarítmicas. De acuerdo con sus resultados, esta tecnología promete ser una alternativa comercial sobre todo para el tratamiento de alimentos sólidos.

2.2.2. Lámparas de pulsos UV

Este tipo de lámparas generan radiación electromagnética con longitudes de onda de entre 100 y 1100 nm (Green *et al.*, 2003). Esta radiación es producida almacenando energía eléctrica en un capacitor y liberándola en forma de pulsos de intensa emisión de radiación por pocos microsegundos. La FDA ha determinado algunas condiciones del uso de esta tecnología para la desinfección de superficies de algunos alimentos. Esta

organización indica que los alimentos deben recibir esta radiación por no más de 2 milisegundos y las lámparas deben generar una radiación con longitudes de onda de entre 200 y 1000 nm (FDA, 2012).

3. Equipos UV

Para alimentos líquidos se utilizan por lo general equipos UV de sistema cerrado. En este tipo de sistemas dos cilindros coaxiales delimitan la zona por donde circula el líquido a tratar. Es posible comparar este tipo de sistemas con un intercambiador de calor de doble tubo, el líquido fluye por la parte anular y la lámpara se localiza en el centro recubierta por una funda de cuarzo. El líquido que fluye por el sistema se puede recircular o tratar continuamente en la parte anular y se puede conectar más de un sistema para lograr el efecto germicida deseado. El uso de bombas con control de velocidad de flujo es importante para aplicar la dosis requerida (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). Contar con un sistema de refrigeración, sobre todo en sistemas con lámparas de mercurio de baja presión, es vital, debido a que la temperatura del líquido puede tener un impacto sobre la energía UV de salida de la lámpara. Esto dependerá del diseño de la funda de cuarzo, entre otros factores (Wrihgt y Cairns, 1998).

La aplicación principal de este tipo de equipos en alimentos es en jugos de frutas y hortalizas. Sin embargo, en estos alimentos la radiación UVC penetra a muy poca profundidad por debajo de la superficie del líquido. Además, la mayoría de estos alimentos tienen densidades y viscosidades más altas que la del agua, lo cual afecta en el diseño y las dimensiones de los equipos (Koutchma *et al.*, 2007). Para lograr una penetración efectiva de la radiación UV en alimentos líquidos se deben tener en cuenta diversos factores como el perfil de flujo, la composición del producto, entre otros (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

La radiación UV también es utilizada en la industria de alimentos para desinfectar superficies. Generalmente se utiliza para desinfectar las superficies de equipos que tienen contacto directo con el alimento. Adicionalmente, la radiación UVC se emplea para la desinfección de empaques como cajas, latas y botes (Guillard *et al.*, 2010). Para la desinfección de la superficie de alimentos como frutas, verduras y carnes, esta tecnología tiene pocas aplicaciones, debido fundamentalmente a que la radiación UVC no puede penetrar considerablemente la superficie del alimento y además, la mayoría de los estudios de la radiación UVC son en medio acuoso o en aire. Sin embargo, la FDA ha determinado algunas condiciones del uso de la radiación UVC para la desinfección de la superficies de algunos alimentos (FDA, 2012).

3.1. *Equipos UVC para alimentos sólidos*

Un ejemplo de un equipo comercial de radiación UVC para la desinfección de superficies de alimentos es diseñado y producido por Reyco Systems Inc. (Meridian, Idaho). El equipo es empleado por la compañía Washington Potato Co. para la elaboración de productos de papa seca y congelada, los cuales son remanufacturados para la obtención final de sopas, botanas, entre otros. La materia prima llega a la planta generalmente mostrando crecimiento inicial de bacterias coliformes en la superficie, lo cual es indeseable para la compañía. El diseño del equipo permite procesar cerca de 14,000 libras de producto por hora, cumpliendo con las necesidades de los clientes. Dentro del tambor, que es la parte principal del equipo, se encuentran instaladas 32 lámparas UVC de mercurio de baja presión que operan a 60-70 W, las cuales son fabricadas por Steril Aire Inc. (Burbank, Calif.) y emiten la radiación UVC germicida necesaria, eliminando, de acuerdo con el fabricante, 99.9% de la contaminación microbiana presente en la superficie de algunos alimentos. Para asegurar

la completa desinfección, la radiación UVC rodea completamente a las papas gracias a que el tambor es giratorio (Reyco, 2012).

Otro ejemplo de equipo UVC disponible en el mercado es el desarrollado por C&S Equipment Co. (Chapman, 2003). Puede ser de tambor rotatorio o con una banda trasportadora que mueve al alimento a través del equipo para asegurar la exposición correcta a la radiación UVC. El equipo puede tratar diversos productos frescos como frutas, carne y productos congelados. Esta compañía emplea lámparas UVC desarrolladas por Steril Aire Inc. (Burbank, Calif.), generalmente del modelo UVC Emitters™ que operan a 70-85 W, las cuales pueden ser instaladas en diferentes configuraciones, lo que facilita su manejo.

3.2. *Equipos UVC para alimentos líquidos*

La FDA considera el uso de radiación ultravioleta para el procesamiento de jugos, un método seguro para la reducción de patógenos y otros microorganismos, siempre y cuando se use un flujo turbulento a través de los tubos de los equipos con un valor mínimo de Reynolds de 2,200 (FDA, 2012). Un flujo turbulento es necesario en el procesamiento de jugos con radiación UVC, para lograr que todo el producto reciba la misma dosis (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

Los flujos laminares en los equipos UVC son de igual manera importantes. Gran parte de las investigaciones se han iniciado con un flujo laminar y además en algunos equipos una película muy delgada del líquido a tratar es necesaria para lograr una desinfección adecuada. Por ejemplo, el tratamiento de leche con radiación UVC se enfrenta con diversos problemas, principalmente los sólidos suspendidos y la grasa que afectan en la profundidad de penetración de la radiación UVC (Gang *et al.*, 2011). Para resolver este problema se han utilizado conductos

especiales para producir películas muy delgadas o capilares, las cuales han demostrado ser efectivas para la inactivación de microorganismos en leche (Mata *et al.*, 2005).

Debido a la gran diversidad de microorganismos, los niveles de dosis requeridos para la desinfección pueden variar de acuerdo al efecto final deseado para cada tipo de alimento. El efecto de penetración de la radiación UVC depende de diferentes factores como el tipo de líquido, la materia suspendida, entre otros (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2005).

3.2.1. Equipos UVC de flujo laminar

Estos equipos están diseñados para generar una película muy delgada del líquido que circula a través del equipo UVC, lo cual contribuye a eliminar los problemas debidos a la falta de penetración de la radiación. Estas películas se caracterizan por ser un flujo laminar con un perfil de velocidad parabólico (Koutchma y Parisi, 2004).

Un novedoso sistema UVC ha sido diseñado con un tubo de cuarzo de diámetro muy pequeño con geometría helicoidal, el cual rodea a una lámpara UVC localizada en el centro del sistema. El diámetro pequeño del tubo de cuarzo ayuda a formar un vórtice secundario conocido como “vórtice de Dean”, el cual aumenta la mezcla radial del líquido laminar (Hille *et al.*, 1985). En la Fig. 2 se observa la parte principal del equipo, la cual es el tubo de cuarzo de forma helicoidal. Éste rodea a una lámpara de mercurio de baja presión capaz de emitir radiación de 254 nm. El líquido a tratar es bombeado con una bomba peristáltica y pasa a través del equipo con un flujo laminar. Gang *et al.* (2011) utilizaron este equipo para tratar leche y demostraron que el vórtice de Dean que se forma durante el tratamiento tiene un efecto positivo en la inactivación de algunos microorganismos, logrando una inactivación de seis reducciones logarítmicas, utilizando una dosis UVC de 21.3 mJ/cm² con un flujo de 28.8 L/h.

Un equipo UVC para tratar jugo de manzana actualmente disponible en el

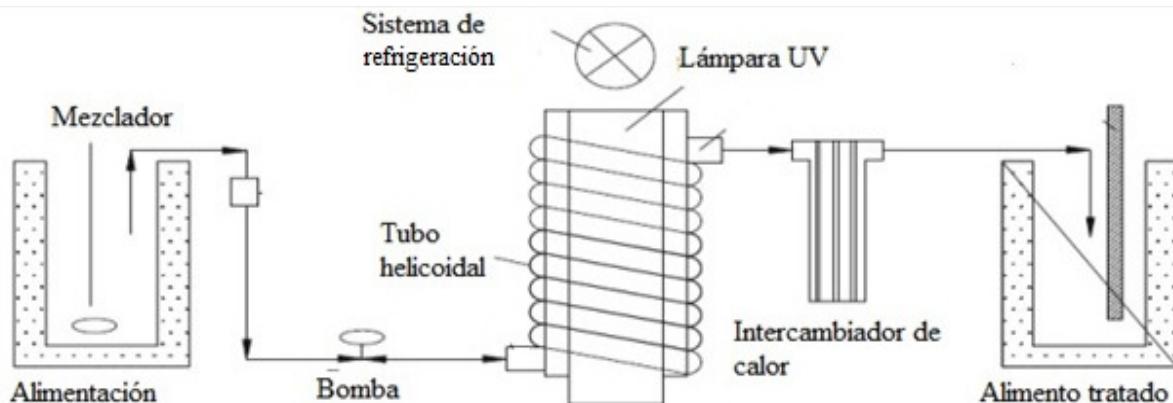


Fig. 2. Diagrama de flujo del equipo UV con funda de cuarzo helicoidal. Adaptada de Gang *et al.* (2011).

mercado es diseñado y construido por CiderSure (Rochester, NY). Extensas investigaciones llevadas a cabo por Worobo (2000), llevaron a la creación del diseño que se muestra en la Fig. 3. Las lámparas que se emplean son de mercurio de baja presión que operan a 125 W y se encuentran montadas en el centro del equipo con ayuda de fundas de cuarzo. Actualmente existen tres modelos, 2500, 3500 y 6500; los cuales contienen 8, 10 y 16 lámparas, respectivamente. El jugo es bombeado a través del equipo y circula entre la superficie interna del equipo y las fundas de cuarzo. El flujo másico es controlado por una computadora que permite operar el equipo de manera automática y además tiene la capacidad de detectar cualquier falla operacional como fallas de lámparas o bombas. El equipo es construido en acero inoxidable y puede procesar de 25 a 600 galones por hora, dependiendo del modelo. Una ventaja de estos equipos es su fácil instalación y montaje, lo que permite conectar unidades en serie. De acuerdo con el fabricante, los equipos construidos por la compañía cumplen con los requerimientos de la FDA y son efectivos contra diferentes microorganismos, incluido *E. coli* (CiderSure, 2012).

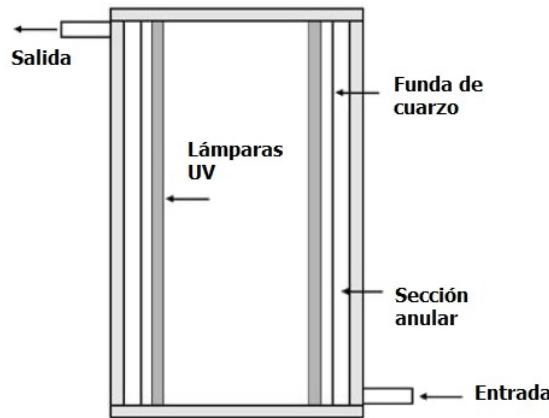


Fig. 3. Equipo UVC desarrollado por Cidersure. Adaptada de Cidersure (2012).

Forney *et al.* (2004) realizaron estudios en un equipo UVC llamado Taylor-Couette. En la Fig. 4 se observa la configuración de este equipo, donde el líquido a tratar es bombeado a través de una sección anular entre dos tubos concéntricos. En el centro del equipo se encuentra un cilindro, que rota a velocidades bajas para propiciar una mezcla uniforme del líquido dentro del equipo. Debido a los pocos milímetros de espesor de la sección anular, se genera un flujo laminar. La superficie exterior es una funda de cuarzo y dos lámparas UVC se encuentran colocadas en esta superficie para proporcionar suficiente exposición de radiación UVC al líquido que circula dentro de la sección anular. Las investigaciones con este equipo han demostrado que logra de tres a cinco reducciones logarítmicas al tratar jugos de manzana y uva inoculados con *E. coli* utilizando una dosis UVC de 9 mJ/cm².

3.2.2. Equipos UVC de flujo turbulento

Los equipos UVC de flujo turbulento generalmente tienen la misma configuración que los de flujo laminar, es decir, son cilindros concéntricos con la lámpara UVC en el centro. En la mayoría de los casos, los equipos se

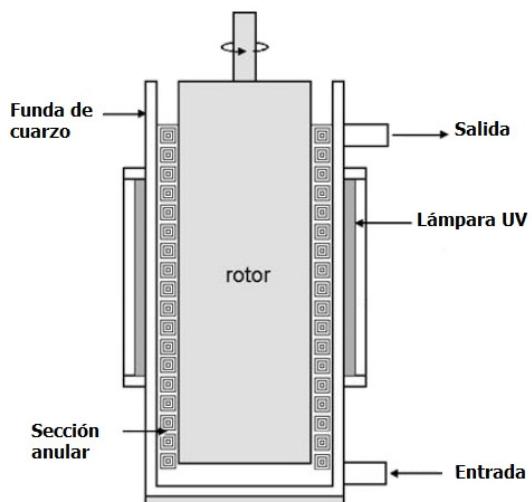


Fig. 4. Equipo UVC Taylor-Couette. Adaptada de Forney *et al.* (2004).

conectan en serie para incrementar la turbulencia, lo que proporciona una mayor homogeneidad del flujo; sin embargo, conforme la turbulencia se incrementa, las velocidades de flujo también aumentan, lo que reduce el tiempo de residencia del líquido en el equipo. Para lograr una desinfección adecuada de alimentos líquidos en los equipos de flujo turbulento, se recomienda usar lámparas largas, conectar equipos en serie y/o modificar el equipo (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

Una modificación del equipo Taylor-Couette de flujo laminar permite obtener flujo turbulento para el tratamiento de alimentos líquidos. La modificación principal se da en el cilindro central o rotor, el cual se puede diseñar con movimiento sinusoidal. El equipo modificado ha sido estudiado por Ye (2007) para la inactivación de *E. coli* en distintos jugos, obteniendo buenos resultados.

Por otro lado, Salcor, Inc. (Fallbrook, CA) ha diseñado un equipo de flujo turbulento que contiene una tubería de teflón transparente en espiral rodeada de lámparas UVC para el tratamiento de jugos. En la Fig. 5 se muestra el equipo, el cual está construido con acero inoxidable. Dentro del equipo se encuentran instaladas doce lámparas montadas paralelamente a la tubería de teflón. Cada par de lámparas tiene un reflector parabólico para incrementar la intensidad de la radiación. De acuerdo con el fabricante, este equipo puede monitorear la cantidad de luz UVC y presión de flujo durante el procesamiento para asegurar que el tratamiento del jugo sea satisfactorio (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

Conclusiones y comentarios finales

Los avances recientes en la desinfección de alimentos con radiación ultravioleta han tenido

como consecuencia el desarrollo y comercialización de equipos UVC para el procesamiento de algunos alimentos líquidos y sólidos. Diversas empresas han diseñado equipos UVC para el tratamiento de alimentos, y al conocer sus características principales es posible diseñar nuevos equipos, mejorando los originales. Como una alternativa a los tratamientos térmicos tradicionales, la radiación UVC tiene un gran potencial para producir alimentos para las demandas actuales de los consumidores. Nuevas tecnologías de fuentes de radiación han aparecido, las cuales deben ser tomadas en cuenta para el diseño de nuevos equipos y su estudio en la desinfección de alimentos. Los equipos UVC disponibles en el mercado tienen pocas aplicaciones en alimentos; sin embargo, para ampliar las aplicaciones en la industria alimentaria se requiere de mayor investigación que proporcione la información necesaria para el diseño de nuevos equipos.

Agradecimientos

A la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México) por el financiamiento para la realización de este trabajo.

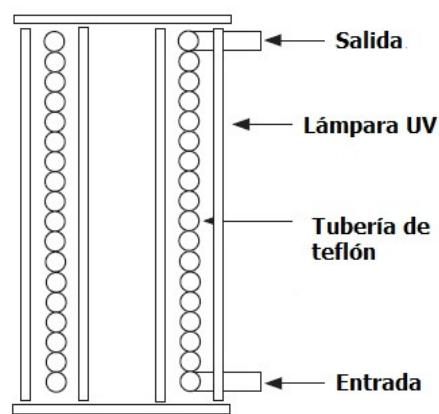


Fig. 5. Equipo UVC con tubería de teflón. Adaptada de Koutchma (2009).

Referencias

- Adams, M.R. y Moss, M.O. 1995. *Food Microbiology*. Tercera edición. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK. 447 p.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E. y Robinson, R. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80:637-645.
- Bolton, J.R. 2001. *Ultraviolet Applications Handbook*. Segunda edición. Bolton Photosciences, Inc. Canadá.
- Chapman, S. 2003. *New machines use tumbling process to decontaminate food*. Food Chemical News. En <http://www.agra-net.com/portal2/fcn/> accesada 11/09/2012.
- CiderSure technology. 2012. *Food Processing Equipment*. Rochester, NY. En <http://www.cidersure.com/index.html> accesada 11/09/2012.
- Díaz, D.M. y Serrano, O.L. 2005. *Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta*. Germex S.A. de C.V. En <http://www.germ-ex.com.mx/luz1.html>, accesada 06/09/2012.
- Farid, M., Chen, X., y Dost, Z. 2001. Ultraviolet sterilization of orange juice. *Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food*. J. Welti-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas, J.M. Aguilera, Eds. Technomic, Lancaster, Pennsylvania. pp. 1567-1572.
- FDA Food and Drug Administration. 2012. CFR Title 21. Chapter 1. Part 179. Vol. 3. Irradiation in the production, processing and handling of food. En <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/> accesada 10/09/2012.
- FDA Food and Drug Administration. 2000. 21 CFR Part 179. Irradiation in the production, processing and handling of food. Registro federal, 65, 71056-71058.
- Forney, L. J., Pierson, J.A y Ye, Z. 2004. Juice irradiation with Taylor-Couette flow: UV inactivation of *Escherichia coli*. *Journal of Food Protection*. 67: 2410-2415.
- Gang, L., Chaolin, L. y Peng L. 2011. UV inactivation of milk-related microorganisms with a novel electrodeless lamp apparatus. *Journal European Food Research and Technology*. 233:79-87
- González, C. 2001. *Luz ultravioleta en la conservación de alimentos*. Ambiental Socoter. En <http://www.ambientalsocoter.cl/LuzUltravioletaDesinfAguayAire.pdf>, accesada 09/09/2012.
- Green, S., Baskaran, N. y Swanson B.G. 2003. High-intensity light. En: P. Zeuthan y L.B. Sorenson (Eds). *Food preservation techniques*. Primera edición. CRC Press. Boca Raton, FL. pp. 284-301.
- Guerrero-Beltrán, J.A. y Barbosa-Cánovas, G.V. 2004. Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Science Technology International*. 10(3): 137-147.
- Guerrero-Beltrán, J.A. y Barbosa-Cánovas, V. 2005. Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light. *Journal of Food Process Engineering*. 28: 437-452.
- Guillard, V., Mauricio-Iglesias, M. y Gontard, N. 2010. Effect of novel food processing. *Food Science and Nutrition*. 50:969-988
- Hille, P., Vehrenkamp, R. y Schulz-Dubois, E. 1985. The development and structure of primary and secondary flow in a curved square duct. *Journal of Fluid Mechanics*. 151: 219-241.
- Koutchma, T. 2009. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology: An International Journal*. 2:138-155.
- Koutchma, T., y Parisi, B. 2004. Biodosimetry of *E. coli* UV inactivation in model juices with regard to dose and RTD distribution in annular UV reactor. *Journal of Food Science*. 69: 14-22.
- Koutchma, T., Parisi, B. y Patazca, E. 2007. Validation of UV coiled tube reactor for fresh juices. *Journal of Environmental Engineering and Science*. 6(3): 319-328
- Little, R. 2007. An analysis of microwave generated UV devices, their track record and their potential. Poster No. 123. *UV and Ozone World Congress*. Los Angeles, Calif. 27-29 Agosto.
- López-Malo, A. y Palou, E. 2004. Ultraviolet light and food preservation. En: M.P. Cano y M.S. Tapia (Eds). *Emerging Technologies for the Food Industry*. Marcel Dekker, Inc., New York. pp 405-421.
- Martínez, D.A. 2005. Balastro electrónico mono-etapa. Tesis de licenciatura, *Universidad de las Américas Puebla*. México. 100 p.

- Masschelein, W. J. 2002. *UltravioletLight in Water and Wastewater Sanitation*. Segunda edición. Lewis Publishers. Boca Raton, FL. 192 p.
- Matak, K.E., Churey, J.J., Worobo, R.W., Sumner, S.S. y Pierson, M.D. 2005. Efficacy of UV light for the reduction of *Listeria monocytogenes* in goat's milk. *Journal of Food Protection*. 68: 2212–2216.
- Mendonca, A.F. 2002. Inactivation by irradiation. En: V.K. Juneja y J.N. Sofos (Eds). *Control of Foodborne Microorganisms*. Marcel Dekker Inc., New York. pp. 75-103.
- Ortoneda, M., Sinead, K., Cullen, D.J. y Phipps, A.D. 2008. Experimental investigations of microwave plasma UV lamp for food applications. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 42(4): 13-23.
- Phillips, R. 1983. *Sources and Applications of Ultraviolet Radiation*. Primera edición. Academic Press Inc. New York. 434 p.
- Reyco Systems Inc. 2012. *UVC light applied within the Tumbling Drum*. Food Processing Equipment. En <http://www.reycosystems.com/solutions/uv-drum/> accesada 11/12/2012.
- Shama, G. 1999. Ultraviolet light. En: R.K. Robinson, C. Batt y P. Patel (Eds). *Encyclopedia of Food Microbiology-3*. Academic Press, London. pp. 2208-2214.
- Worobo, R. W. 2000. Efficacy of the CiderSure 3500 ultraviolet light unit in apple cider. Ithaca, NY. Cornell University, Department of Food Science and Technology.
- Wright, H.B. y Cairns, W.L. 1998. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. Simposio OPS: Calidad del Agua: Desinfección Efectiva. Lima, Perú. 26-29 Octubre.
- Ye, Z. 2007. UV disinfection between concentric cylinders. Tesis de doctorado, Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta. 152 p.