
XIX ENCUENTRO DE JÓVENES INVESTIGADORES DE LA UNL
14 y 15 de octubre de 2015, Santa Fe

**DISEÑO BÁSICO DE UN DISPOSITIVO NOVEDOSO PARA
LA DESINFECCIÓN DE AIRE EN AMBIENTES INTERIORES**

Guido Bertola¹

¹*Cientibecario 2015 – INTEC (UNL – CONICET).*
Estudiante de Ingeniería Ambiental (FICH – UNL) – Santa Fe, Argentina.
guidobertola@hotmail.com

Área temática: Ingeniería
Sub-área: Ambiental
Grupo: X

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire en interiores es uno de los cinco principales riesgos ambientales (CCA, 2002), puesto que la población transcurre buena parte del día en espacios cerrados, con ventilación y/o recirculación de aire inadecuadas.

Muchos de los problemas de contaminación en ambientes interiores involucran un contaminante de origen microbiológico (OSHA, 1999). Los microorganismos aerotransportados pueden producir efectos negativos que van desde irritaciones suaves a enfermedades muy graves. En particular, los pacientes de hospitales y los trabajadores de la salud, se encuentran en riesgo de contraer enfermedades a través de la vía aérea, incluidas infecciones virales, bacterianas y fúngicas (Cole, 1998).

Por lo expuesto, resulta de gran interés el estudio de sistema de control microbiológico y purificación del aire en ambientes interiores, con el fin de reducir la carga microbiana presente que pudiera afectar la salud de las personas. Tradicionalmente para eliminar o inactivar bioaerosoles patogénicos se utilizan dos tipos de sistemas de purificación de aire: filtración y radiación UV germicida (UVGI). La filtración solo captura los microorganismos, lo que requiere un cuidadoso recambio, manipulación y post-tratamiento de los filtros. El sistema UVGI tiene una enorme ventaja sobre la filtración ya que inactiva los microorganismos suspendidos y lo hace con una alta eficiencia. Sin embargo, para algunos microorganismos esporulados o muy resistentes, puede no alcanzarse la eficiencia requerida para ciertos ambientes donde estén expuestas personas enfermas o sensibles a enfermedades.

Un proceso alternativo, en este campo, es la combinación de un sistema UVGI con un colector húmedo de biopartículas (captura tipo spray). En este sentido, son pocos los trabajos que capturan y tratan los bioaerosoles dentro de un dispositivo. Más escasos aún son los trabajos que se encargan de diseñar y modelar este tipo de dispositivos.

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es el estudio y modelado teórico de un dispositivo novedoso para la inactivación de microorganismos presentes en ambientes interiores. En particular, se analiza un sistema que combina la colección húmeda de biopartículas con la desinfección por radiación UV germicida, buscando las mejores combinaciones de parámetros de operación para optimizar la eficiencia del equipo para una futura aplicación práctica.

METODOLOGÍA

Descripción del dispositivo

En la Figura 1 se presenta un esquema del dispositivo propuesto. Consiste en un reactor anular, por dentro del cual circula en forma ascendente la corriente de aire contaminado con una dispersión de muy pequeñas gotas con microorganismos (biopartículas). A su vez, en la parte superior del reactor se coloca una serie de boquillas aspersoras que liberan agua pulverizada (spray). Su función es la captura de las biopartículas presentes en el aire, principalmente por impacto inercial. De esta manera, las biopartículas son capturadas y retenidas por el líquido, siendo removidas de la corriente de aire que se desea purificar.

En el eje central del reactor se ubica una lámpara UV germicida que produce la inactivación de los microorganismos presentes tanto en la corriente del aire como en el líquido (microorganismos capturados). De esta forma se combina un sistema de captura de biopartículas con un proceso de inactivación mediante desinfección por irradiación de luz UV. Como microorganismo modelo se utilizó el *Bacillus subtilis*, que es una bacteria esporulada.

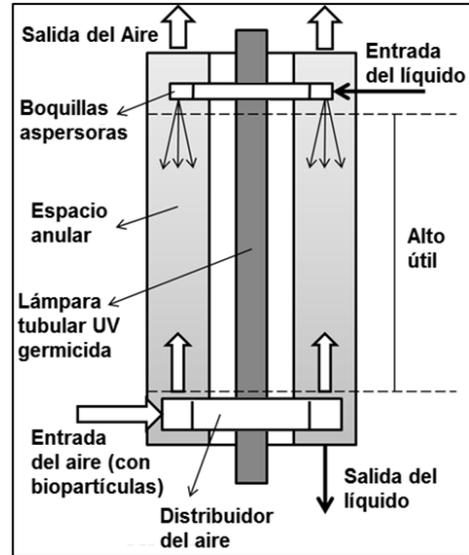


Figura 1: Esquema del dispositivo de desinfección analizado.

Modelado del dispositivo

Para modelar debidamente el comportamiento del reactor y evaluar su eficiencia, se realizaron balances de materia de las biopartículas presentes en la fase gaseosa, cuya solución está representada por la ecuación [1]. Además, se resolvieron los balances de microorganismos presentes en la fase gaseosa (ecuación [2]) y líquida (ecuación [3]). En estas ecuaciones se tienen en cuenta diferentes procesos involucrados en el sistema: el movimiento en contra-corriente del gas con biopartículas y del líquido, la transferencia de las biopartículas (y las bacterias contenidas en ellas) de la fase gaseosa a la fase líquida, y la inactivación por la irradiación UV, tanto en la fase gaseosa como en la fase líquida. Se asume que el reactor funciona de manera similar a un flujo pistón, con características homogéneas en la distribución de partículas y gotas para una altura (z) dada. A continuación se presentan las ecuaciones finales.

$$C_{p,g}(z) = C_{p,g}(0) \cdot \exp \left[- \left(\eta_D \frac{A_{t,D}}{V_D} \frac{Q_l}{Q_g} \frac{v_{t,D}}{v_{D,fijo}} \right) \cdot z \right] = C_{p,g}(0) \cdot \exp(-\beta z) \quad [1]$$

Donde $C_{p,g}$ es la concentración de biopartículas en el gas ($\text{biop./cm}^3_{\text{gas}}$), η_D representa la eficiencia de colección de una gota, según la teoría del impacto inercial (Wark y colab., 1998), $A_{t,D}/V_D$ es la relación entre el área y el volumen de una gota, Q_l/Q_g es la relación entre el caudal del líquido y el del aire, $v_{t,D}$ es la velocidad terminal de las gotas y $v_{D,fijo}$ es la velocidad real de caída de las gotas en el equipo.

$$C_{b,g}(z) = C_{b,g}(0) \cdot \exp \left[- \left(\beta + \varepsilon_g \frac{k_{b,g}}{Q_g} A_t \right) z \right] = C_{b,g}(0) \cdot \exp(-\gamma z) \quad [2]$$

Donde $C_{b,g}$ es la concentración de bacterias en el gas (UFC/cm³_{gas}), ϵ_g es la fracción de volumen ocupada por el gas, A_t es el área transversal del reactor y $k_{b,g}$ es la constante de pseudo-primer orden de la inactivación de la bacteria suspendida en el aire.

$$C_{b,l}(z) = \frac{\delta}{\alpha + \gamma} \left[\exp(\gamma(L-z)) - \exp(-\alpha(L-z)) \right] \quad [3]$$

$$\alpha = \frac{k_{b,l}}{v_{D, fijo}} \quad [4]$$

$$\delta = \frac{Q_g}{Q_l} \beta C_{b,g(0)} \exp(-\gamma L) \quad [5]$$

En la ecuación [3], $C_{b,l}$ es la concentración de bacterias en el líquido (UFC/cm³_{agua}), y $k_{b,l}$ es la constante de pseudo-primer orden de inactivación de la bacteria en el agua. En la Tabla 1 se definen dimensiones del dispositivo y parámetros para el diseño. A su vez se presentan valores típicos criterio para el modelado del sistema.

Tabla 1. Dimensiones y parámetros de operación del reactor

Dimensiones equipo	Valores	Unidades
Radio interno - externo del ánulo	2.5 - 5	cm
Alto útil del reactor	30	cm
Condiciones		
Caudal de aire que ingresa al reactor	30	L/min
Caudal de bioaerosol (entrada)	1.70×10 ⁹	Biopartíc./min
Caudal de bacterias (entrada)	1.48×10 ⁶	UFC/min
Concentración de bacterias (entrada)	4.93×10 ⁵	UFC/cm ³ _{gas}
Diámetro medio bioaerosol	5.5	µm
Campo radiación dentro del reactor	49.6	W/cm ²
Criterios para colección húmeda		
Relación de velocidades $v_{t,D}/v_g$	2	--
Relación de caudales Q_l/Q_g	4×10 ⁻⁴ a 5×10 ⁻³	--
Rango de diámetros de gotas	50 a 150	µm
Cinética para <i>Bacillus subtilis</i>		
Constante en aire $k_{b,g}$	0.7395	1/s
Constante en agua $k_{b,l}$	0.7693	1/s

Las constantes fueron evaluadas a partir del apéndice del libro de Kowalski (2009).

RESULTADOS

En el gráfico 1 se observa la evolución de las concentraciones de bacterias a lo largo del reactor: el aire se va empobreciendo gracias a la transferencia al medio líquido y a la inactivación por irradiación UV.

El líquido (que circula en sentido contrario), se enriquece en bacterias al capturar las biopartículas del gas. Estas bacterias a su vez son paulatinamente inactivadas, pero aun así la concentración aumenta hasta la concentración de salida, en $z = 0$.

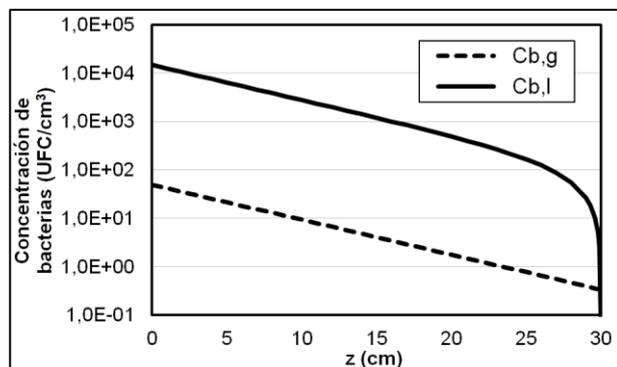


Gráfico 1: Perfil de concentraciones en el reactor.

En el gráfico 2 se analizan las eficiencias de eliminación de bacterias (remoción e inactivación) en la corriente gaseosa del equipo, a diferentes relaciones de caudales (Q_l/Q_g), en un rango de 4×10^{-4} a 5×10^{-3} . Se observa un incremento notable en la eficiencia de eliminación de los microorganismos del aire al aumentar la relación de caudales, llegando a disminuir la concentración de entrada en 6 órdenes.

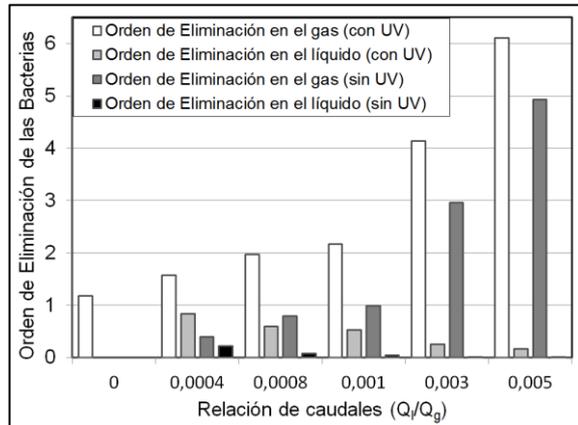


Gráfico 2: Órdenes de eliminación de bacterias bajo distintas condiciones operativas.

Sin embargo, si se analiza la eficiencia de eliminación en el líquido (calculada a partir del cociente entre el caudal de bacterias en la corriente líquida de salida y el caudal de bacterias que ingresan al equipo), se verifica que disminuye notablemente al aumentar Q_l/Q_g , por lo que el flujo de salida de líquido acarrea una carga microbiana residual importante.

Comparativamente, se estima el rendimiento de un equipo de características similares pero sin radiación UV (sólo se transfieren microorganismos a la fase líquida), y de un equipo con radiación UV pero sin spray (desinfección UVGI simple, $Q_l = 0$). En el primer caso, la eficiencia de remoción es alta (alrededor de 5 órdenes de disminución respecto de la concentración de entrada), pero los microorganismos no son inactivados sino que sólo son capturados por el líquido. En el caso del reactor UV simple, los organismos son inactivados pero la eficiencia es comparativamente baja (la concentración de entrada disminuye aproximadamente en un orden de magnitud).

De esta manera, el sistema combinado aprovecha las ventajas de ambos procesos y logra eficiencias de remoción e inactivación elevadas, aunque con una concentración considerable de microorganismos en la corriente de salida del líquido.

CONCLUSIONES

Las simulaciones del dispositivo demuestran que se pueden lograr muy altas eficiencias (6 nueves) mediante la determinación de algunos parámetros de operación. En detrimento de la alta eficiencia lograda en la eliminación de microorganismos en el aire, el agua utilizada queda con una carga residual de bacterias. El agua que sale del equipo podría tratarse fácilmente usando un agente desinfectante químico.

Los resultados de este modelado y simulación permitirán la construcción de un dispositivo para laboratorio y un subsiguiente cambio de escala de aplicación práctica.

BIBLIOGRAFÍA

- CCA, C. p.** 2002. Hacia un medio ambiente más sano: Panorama general de los retos ambientales para la salud de la niñez de América del Norte.
- Cole, E. C.** 1998. Characterization of infectious aerosols in health care facilities: An aid to effective engineering controls and preventive strategies. *American Journal of Infection Control*. 26 (4), 453-464.
- OSHA, O. S.** 1999. OSHA Technical Manual - Section III: Chapter 2: Indoor Air Quality.
- Wark, K.; Warner, C. F.; Davis, W. T.** 1998. Air Pollution: Its Origin and Control. 3rd Edition. Wesley & Edison.
- Kowalski, K.** 2009. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. Appendix A. Springer.