

Work in progress - Módulo de desinfección UV-C para equipos de protección personal para combatir el SARS-COV-2

Henry Gerardo Rodríguez Sánchez, Bachiller en Ingeniería Mecatrónica¹, Alvaro Joel Leyva Altamirano, Bachiller en Ingeniería Mecatrónica², Nilzer Michael Torre Chávez, Bachiller en Ingeniería Mecatrónica³, Anthony Raid Torres Miranda, Bachiller en Ingeniería Mecatrónica⁴, y Julia Otilia Sagástegui Cruz, Doctora en Administración⁵

¹Universidad Nacional de Trujillo, Perú, hrodriguez@unitru.edu.pe, aleyva@unitru.edu.pe, ntorre@unitru.edu.pe, atorres@unitru.edu.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, julia.sagestegui@upn.edu.pe

Resumen— *La pandemia del SARS-COV-2 ha generado una gran demanda de equipos de protección personal y los desechos de las mascarillas se han convertido en un problema ambiental. Este artículo proporciona una solución para minimizar estos problemas mediante el diseño y construcción de un módulo de desinfección personal de mascarillas N95 y KN-95, con el fin de reutilizarlas y alargar su tiempo de vida.*

Palabras clave— *desinfección UV-C, SARS-CoV-2, mascarilla N95, dosis UV-C.*

INTRODUCCIÓN

La actual crisis mundial de salud, obligó a las mentes científicas a aplicar sus esfuerzos y conocimientos al desarrollo y producción de tecnologías de desinfección. De estos avances, se destaca la desinfección mediante radiación ultravioleta (UV), la cual ayuda a lograr la esterilización de superficies y ambientes contaminados, que son las vías principales de transmisión de esta enfermedad [1].

El ciudadano común fue el más afectado ante esta escasez, por ejemplo, en EE.UU. se utilizaron 1.500 millones de mascarillas faciales respiratorias N95 al año y es por eso que se han propuesto diversas estrategias para desinfectar las mascarillas, los métodos más comunes son: el peróxido de hidrógeno en forma de vapor, el calor húmedo, ozono. Debido a estos métodos, el tratamiento con UV-C ofrece una solución libre de químicos y se puede realizar en cualquier lugar donde haya energía eléctrica [6].

Según estudios realizados por el Centro de Comercio Exterior (CCEX) de la Cámara de Comercio de Lima (CCL), a causa de la Pandemia provocada por el virus SRAS-CoV-2 el consumo de mascarillas y diferentes sistemas desinfectantes ha aumentado increíblemente. Producto de esto es que los desechos sólidos generados a partir de estos productos de protección han incrementado. De acuerdo a la información obtenida del Camtrade Plus, el total de mascarillas de protección que importó el Perú en el 2020 ascendió a 1.180 millones de unidades, con un incremento de 1.129 millones de mascarillas respecto al 2019, que registró 51 millones de unidades [4]

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).

DO NOT REMOVE

El método de desinfección mediante radiación UV-C, se logra al hacer uso de luz con una longitud de onda de 254 nm, la cual tienen la propiedad de inactivar el virus del SARS-CoV-2, debido a que la exposición del virus a esta radiación genera un daño fotoquímico del ácido nucleico, lo que conlleva a la interrupción de la replicación viral. Este método resulta ser una herramienta asequible y eficaz para la desinfección de las mascarillas [8].

Por lo tanto como una alternativa de reducir tanto el consumo de nuevas mascarillas como la generación de desechos, el presente artículo propone un módulo de desinfección por medio de radiación ultravioleta (UVC) con el fin de alargar la vida útil de las mascarillas, dado que son los productos más utilizados como medio de protección ante el contagio del virus.

MATERIALES Y MÉTODOS

A. Justificación del uso de radiación UV-C

La desinfección mediante luz UV, ha sido extensamente validada durante décadas para la esterilización de superficies y ambientes expuesta a patógenos. Existe un espectro particular de radiación UV, comprendida entre 220 y 280 nm, la luz con longitud de onda dentro de este intervalo es llamada UV-C, este espectro tiene un efecto devastador sobre las células microbianas (debido a que los componentes intercelulares de los microbios absorben fotones UV-C) causando daño crítico al sistema genómico de los microorganismos, lo que les impide replicarse y propagarse, extendiendo así la enfermedad [1].

El uso de tecnología UV-C, debe de ser visto como una estrategia de mitigación de riesgos en lugar de un método de desinfección en las mascarillas N95, esto debido a que la eficacia de la inactivación viral depende de la dosis a la que estará expuesta la mascarilla, siendo así esta una función de dos variables, el tiempo de exposición y la irradiancia [3].

B. Dosis UV-C

Durante la pandemia se llevó a cabo múltiples experimentos para desinfectar mascarillas usando fluorescentes UV-C obteniéndose dosis de 1125 J·m⁻² con una desinfección de 3log [2]. En otro modelo de desinfección también se obtuvo una dosis no menor a 1 J·cm⁻² con un

tiempo de desinfección mínimo de 516 segundos, también se sugiere que la dosis suministrada no debe de superar los 100 J-cm⁻² para evitar daños a las capas de la mascarilla [5]. Otro diseño que se enfoca en la desinfección múltiple y paralela de varias mascarillas N95 trabajó con una dosis de 1 J-cm⁻² obteniendo en su diseño un tiempo de 333 segundos [7]. Teniendo en cuenta todo lo realizado por la comunidad científica nuestro diseño cumplirá con los requerimientos mínimos para lograr la desinfección de 3log.

C. Construcción del esterilizador portable

Para la construcción del esterilizador portable es posible elegir fluorescentes UV-C comercialmente disponibles como lo es el TUV4T5 4W fabricado por Philips, o el HANS 4W G5 de OSRAM. Los parámetros técnicos son los mismos para ambos, poseen una potencia de 4 watts, longitud de onda de 254 nm, y un flujo radiante de 0.9 watts.

La estructura del esterilizador portable está hecha de melamina, la cual se eligió por ser un material ligero, fácil de trabajar y ampliamente disponible en el mercado nacional. Los fluorescentes están colocados frente uno del otro, para obtener una distribución uniforme de densidad de radiación en ambas caras de la mascarilla. El fluorescente superior se ubica a 10cm de la parte baja de la mascarilla y el fluorescente inferior se ubica a 11cm de la parte superior de la mascarilla. Para determinar el tiempo de esterilización se hizo una revisión bibliográfica que nos proporcionó la potencia mínima con la cual es posible obtener un 99.9% de desinfección. Mientras que para corroborar que se está utilizando el mínimo de potencia requerido se hizo uso del sensor GUV-C-T21GH y para el muestreo de los datos medidos por el sensor se usó la placa de desarrollo Arduino Uno.

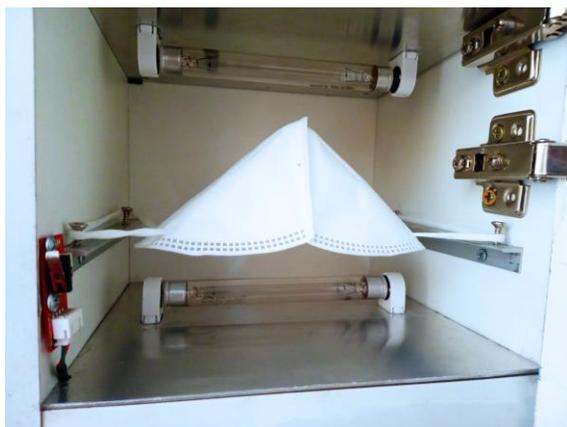


Fig. 1 Zona de desinfección.

D. Diagrama de bloques del sistema eléctrico

El sistema electrónico funciona de la siguiente manera, con un ingreso de alimentación de 220v AC, luego mediante un interruptor permitirá el paso hacia una fuente conmutada AC/DC 3W - 5v/0.6A lo cual este voltaje es necesario para

polarizar los elementos del circuito como al microcontrolador PIC16F628A, pantalla LCD y los led indicadores.

En el circuito está integrado una pantalla LCD para visualizar las diferentes interfaces. La primera interfaz visualiza una presentación animada, la segunda muestra una interfaz para ingresar el tiempo para la desinfección y la tercera interfaz nos permite visualizar en tiempo real la desinfección, la cuarta interfaz se visualiza cuando el proceso de desinfección haya terminado y por último tenemos una interfaz de alerta cuando la puerta se haya abierto en cualquier etapa del proceso.

Se tiene como control de entradas 3 botones pulsadores de los cuales 2 de ellos de color azul nos permiten aumentar y disminuir el tiempo de desinfección y el último es para iniciar la desinfección con el tiempo establecido previamente. Además, cuenta con un final de carrera para interrumpir el proceso que se está ejecutando y mediante esto emitir una alerta.

Y como control de salida cuenta con 4 focos led indicadores de diferentes colores, el primero es el color amarillo nos indican que el sistema este encendido, el segundo es de color azul nos indica que está en proceso de desinfección, el tercero nos indica la desinfección ha terminado y por último el cuarto que nos avisa que la puerta está abierta. Finalmente, las lámparas UV-C se activan cuando el sistema entra en proceso de desinfección, en la Fig. 1 se muestra el esquema eléctrico.

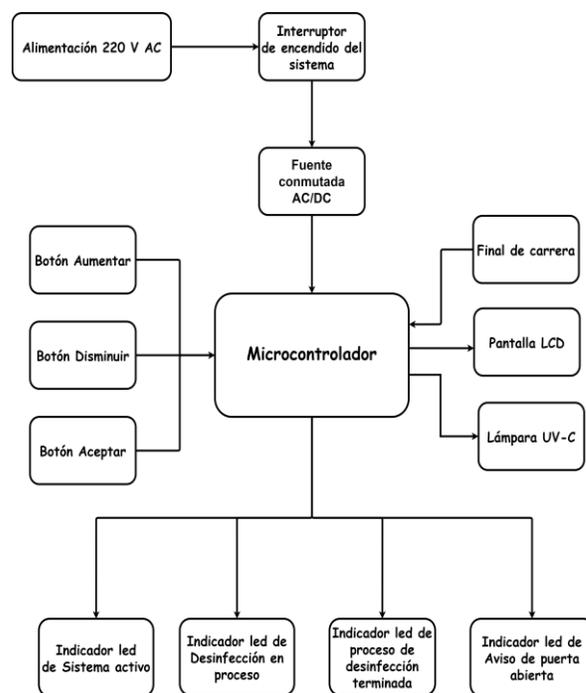


Fig. 2 Esquema eléctrico del módulo de desinfección.

E. Cálculos

La potencia promedio medida en el punto más lejano por el sensor GUVVC-T21GH es de 1.1 mW.cm⁻², la dosis mínima de desinfección es de 1 J.cm⁻², en (1) se calcula el tiempo que se necesita para alcanzar la dosis requerida.

$$\text{Dosis UV} \left(\frac{J}{\text{cm}^2} \right) = \text{Irradiancia} \left(\frac{W}{\text{cm}^2} \right) \times \text{Tiempo} (s) \quad (1)$$

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los experimentos fueron llevados a cabo en un ambiente controlado y se logró obtener un tiempo de exposición de 16 minutos, a una potencia de 1.1 mW.cm⁻² en los puntos más alejados y en los puntos más cercanos una potencia de 2.5 mW.cm⁻². Se trabajó con la potencia más pequeña y se obtuvo una dosis total de 1056 mJ.cm⁻², se tuvo en cuenta la permisibilidad de las distintas capas de la mascarilla respecto a la radiación, ya que la importancia de esto radica en que las capas internas contaminadas son más difíciles de irradiar, por lo que si se quiere una mascarilla desinfectada se tuvo que tomar en cuenta la radiación que llegaría a las capas internas, por lo que las capas externas estarían sobre expuestas a una mayor radiación de la necesaria con el fin de obtener una correcta esterilización de las muestras, y una mirada detenida bajo un microscopio, determino que la población viral en las mascarillas detuvo su crecimiento, así como también se pudo determinar el nulo impacto de la radiación en la estructura física de las mascarillas, por lo que una desinfección de estas usando luz UV-C se hace factible.

PLANES A FUTURO

Si bien es cierto que el módulo de desinfección logro su objetivo principal, el cual fue el de alcanzar la dosis mínima para la desinfección de las mascarillas, aún quedan ciertos aspectos a realizar, como el de contaminar las mascarillas con virus inocuos del SARS-CoV-2 y sus diferentes variantes con el fin de validar el esterilizador realizado.

Mejorar la refrigeración del esterilizador portable a fin de evitar un acortamiento de la vida útil de los componentes electrónicos y la estructura de la caja, debido al calor producido por los fluorescentes, lo cual debe de lograrse sin comprometer el carácter hermético de la caja.

Por otro lado, se debe de seguir experimentando con la ubicación de los fluorescentes a fin de hallarlos lugares óptimos en el que deben de ser colocados para obtener la mayor radiación con el menor consumo energético, consideramos que si logramos solucionar estos problemas, el módulo estaría listo para su comercialización masiva.

Finalmente, se tiene pensado hacer un análisis para las diferentes mascarillas disponibles en el mercado, para obtener un tiempo de exposición recomendado para cada uno, esto solo será posible de manera experimental, así como también

para determinar con exactitud el promedio de veces que una mascarilla pueda ser desinfectada para su reutilización.

REFERENCIAS

- [1] M. Raeiszadeh y B. Adeli, "A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations", ACS Photonics, vol. 7, n° 11, pp. 2941–2951, octubre de 2020.
- [2] E. M. Fisher y R. E. Shaffer, "A Method to Determine the Available UV-C Dose for the Decontamination of Filtering Facepiece Respirators", Journal of Applied Microbiology, p. no, octubre de 2010.
- [3] M. Purschke et al., "Construction and validation of UV-C decontamination cabinets for filtering facepiece respirators", Applied Optics, vol. 59, n° 25, p. 7585, agosto de 2020.
- [4] Demanda de mascarillas sigue en aumento, Revista digital de la Cámara de Comercio de Lima. <https://lacamara.pe/demanda-por-mascarillas-sigue-en-aumento/>
- [5] W. Kierat, W. Augustyn, P. Koper, M. Pawlyta, A. Chrusciel y B. Wyrwol, "The Use of UVC Irradiation to Sterilize Filtering Facepiece Masks Limiting Airborne Cross-Infection", International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 17, n° 20, p. 7396, octubre de 2020.
- [6] Z. Zhao et al., "Germicidal Ultraviolet Light Does Not Damage or Impede Performance of N95 Masks Upon Multiple Uses", Environmental Science & Technology Letters, vol. 7, n° 8, pp. 600–605, junio de 2020.
- [7] Bentancor, M., Fernández, S., Viera, F., Etcheverry, S., Poradosú, C., D'Angelo, P., Montemuiño, H., Mirazo, S., Irigoyen, Á., Sanabria, A. and Failache, H., 2021. LUCIA: An open source device for disinfection of N95 masks using UV-C radiation. HardwareX, 9, p.e00181, abril de 2021.
- [8] J. P. Wilde, T. M. Baer y L. Hesselink, "Modeling UV-C irradiation chambers for mask decontamination using Zemax OpticStudio", Applied Optics, vol. 59, n° 25, p. 7596, agosto de 2020.