






Purificador de aire para interiores, basado en radiación UV-C, como herramienta para prevenir el SARS-CoV-2

Indoor air purifier based on UV-C radiation as a tool to prevent SARS-CoV-2

Brandon Narváez¹, Rodolfo Merino-Vivanco ², Jorge Carrión-González ³, Andy Vega-León ⁴, Jonathan González-Espinosa ² y Alba Vargas-Naula ⁴

¹ Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

² Centro de Investigación, Innovación, Desarrollo de Prototipos Tecnológicos y Pruebas Electroenergéticas – I2TEC, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

³ Carrera de Electricidad, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

⁴ Carrera de Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: alba.vargas@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 05/04/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 08/05/2023

Fecha de publicación: 30/06/2023

Resumen—En el presente proyecto se diseñó e implementó un prototipo de purificador para ambientes cerrados, basado en la aplicación de radiación ultravioleta (254 nm), como solución a la elevada tasa de infección del coronavirus especialmente por vía aeróbica como producto de la actividad humana en espacios de baja ventilación y gran afluencia de personas. Para su desarrollo se definieron tres etapas: Fundamentación teórica, diseño y construcción. El prototipo se diseñó en torno a una estructura principal de acero inoxidable y estructuras de PLA obtenidas mediante impresión 3D; incluyendo componentes externos de desinfección como el filtro de aire. El diseño conceptual fue llevado a cabo sobre la base de las investigaciones y experimentaciones asociadas a la patogénesis del SARS-CoV-2. Respecto a la construcción, el prototipo se orientó a ofrecer una facilidad de montaje y despliegue de los componentes, además de brindar flexibilidad a la interconexión de los mismos. Finalmente, las pruebas se efectuaron con relación a la dosis alcanzada por el dispositivo, obteniendo valores superiores al umbral de inactivación del virus. Con esto, se obtuvo el prototipo funcional de purificador de aire de control digital orientado a la inactivación del SARS-CoV-2.

Palabras clave—Tecnología, Desinfección, UVGI, Coronavirus.

Abstract—In this project, a prototype of a puricator for closed environments was designed and implemented, based on the application of ultraviolet radiation (254 nm), as a solution to the high rate of coronavirus infection, especially by aerobic action as a result of human activity in spaces with low ventilation and crowded areas. Three stages were defined for its development: theoretical foundation, design and construction. The prototype was designed around a main structure of stainless steel and PLA structures obtained through 3D printing; including external disinfection components such as the air filter. The conceptual design was carried out based on research and experimentation associated with the pathogenesis of SARS-CoV-2. Regarding the construction, the prototype was oriented to offer ease of assembly and deployment of the components, in addition to providing flexibility to the interconnection of the components. Finally, the tests were carried out in relation to the dose reached by the device, obtaining values above the virus inactivation threshold. With this, the functional prototype of a digitally controlled air puricator oriented to the inactivation of SARS-CoV-2 was obtained.

Keywords—Technology, Disinfection, UVGI, Coronavirus.

INTRODUCCIÓN

Desde finales de 2019, la humanidad ha atravesado una dura etapa debido a las circunstancias sanitarias relacionadas con la pandemia generada por la propagación del virus SARS-CoV-2, lo mismo que ha obligado a gran parte de la población a establecer ciertos protocolos de bioseguridad, como el confinamiento preventivo y la acogida de una modalidad virtual para el desempeño de sus tareas cotidianas.

Como recalcan Qian et al. (2021), las características de

propagación del virus evidencian un aumento en el riesgo de transmisión en entornos de alta congestión de personas, especialmente en espacios cerrados y con sistemas de ventilación deficientes. Esto incluye, por supuesto, los entornos conexos con el desempeño de actividades académicas en cualquier nivel.

Con los procesos de vacunación efectuados a nivel mundial, se ha logrado el retorno progresivo a las actividades generales en los distintos entornos de la sociedad; sin embar-

go, el proceso de inmunización total es una tarea compleja y prolongada, por tanto, es indispensable el desarrollo y la aplicación de diversas iniciativas que oferten un resguardo sanitario en beneficio del restablecimiento de diversas labores que involucren un flujo de personas en espacios cerrados.

Es evidente que las circunstancias han propiciado un crecimiento exponencial en la creación y distribución de artículos destinados a la higiene personal, véase las mascarillas, alcohol isopropílico, etc., e incluso ha aumentado el interés hacia el desarrollo de herramientas de desinfección generalizadas como las cabinas de desinfección para el acceso de personal. Al contrario que los mecanismos e instrumentos antes mencionados, existe un método de desinfección físico en el que se aprovecha la fundamentación científica en temas relacionados con la estructura biológica de agentes de infección como los virus y las diversas propiedades del espectro electromagnético, para la destrucción de este tipo de microorganismos con un nivel de eficacia y eficiencia superior.

La introducción de la radiación ultravioleta en el área de desarrollo y mejoramiento de los procesos de sanitización en distintos entornos de aplicación ha permitido alcanzar nuevos y mejores resultados para proveer garantías en la integridad del personal involucrado tanto en actividades menores hasta procesos industriales.

En función de esto, se planteó la idea general del presente trabajo, buscando la implementación de un prototipo de purificación de aire mediante la aplicación de un valor umbral de radiación UV-C, que permita la inactivación del virus causante de la COVID-19 en entornos cerrados. Para su cumplimiento, se concibieron las etapas de fundamentación teórica, diseño estructural y de funcionamiento, y la construcción del dispositivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente sección se detallan los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de la investigación. Se explica tanto la metodología de trabajo, así como el proceso a nivel general que se llevó a cabo durante el periodo dispuesto para la terminación del proyecto.

Contexto

El proyecto de investigación se desempeñó dentro de un contexto académico y social, durante el periodo de octubre 2021 a marzo 2022, en la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja, con la colaboración de personal docente enfocados en entornos afines al proyecto en cuestión.

Procedimiento

En el desarrollo se aplicó un enfoque cuantitativo, dado que la investigación requirió un proceso sistemático para ejecutar los procedimientos pertinentes; partiendo desde el planteamiento de los temas tratados, hasta la documentación y la documentación de resultados obtenidos.

Para alcanzar el objetivo, se siguió un procedimiento específico, el cual se resume a continuación:

- a. Se llevó a cabo una recopilación en repositorios científicos con el fin de conceptualizar los pilares fundamentales del proyecto, y así, definir los requerimientos básicos del sistema, en relación con las propiedades del virus y los aerosoles, considerando las propiedades de las tecnologías de generación UV.

b. Se establecieron las características y capacidades de los componentes a usarse en el prototipo, en especial de la unidad de control y las fuentes de radiación, considerando las limitaciones del sistema y las ventajas de despliegue.

- c. Se desempeñó un proceso de diseño estructural y de funcionamiento para el prototipo, considerando las dimensiones específicas de los componentes, la dosis de exposición y el tiempo de ejecución como los principales.
- d. Se diseñaron aspectos relacionados a la interconexión de subsistemas y acoplamiento de las estructuras secundarias, a través de herramientas digitales de simulación y modelado 3D.
- e. Se desarrolló una interfaz gráfica para la interacción del usuario; cubriendo aspectos de configuración de parámetros de operación e información del prototipo.
- f. Se procedió a la evaluación total del sistema mediante medición de los parámetros de trabajo, definiendo distintas configuraciones de aplicación para comprobación de funcionamiento y cumplimiento de la dosis UV deseada.

Planteamiento del prototipo

El prototipo se fundamentó mediante la recopilación de la bibliografía en el contexto de la pandemia de la COVID-19 y desinfección mediante tecnología UV-C, para definir los parámetros fundamentales para el diseño y estructuración del dispositivo. Entre ellos, se destaca el estudio de Biasin *et al.* (2021), que define la dosis necesaria para una inactivación del 99,999 % del SARS-CoV-2 en un valor de 19,6 mJ/cm².

El prototipo se estructuró de forma segmentada entre las distintas etapas de operación del sistema, englobando mecanismos de control, administración y ejecución de las tareas concernientes a la purificación del aire. Aquí se definieron los elementos principales de cada subsistema, con base en los parámetros generales y específicos para cada subetapa del dispositivo. En adición, se consideró la gestión de usuario mediante medios de control digital.

En el desarrollo del prototipo, es de vital importancia la disposición de equipo especializado para la medición de los valores de campo, en especial, para dimensionar la intensidad de radiación ultravioleta entregada por las lámparas y más factores relacionados.

En complemento al diseño anterior, se contempla la necesidad de una etapa de conexión entre la unidad de control y los componentes de aplicación, garantizando la compatibilidad entre los valores de desempeño de los componentes involucrados. Otro paso importante para las etapas del diseño y construcción es la obtención de estructuras secundarias del prototipo, lo que implica el uso de herramientas de modelado 3D.

Recursos Científicos

Método Analítico

Es un procedimiento basado en la descomposición del todo en partes fundamentales y de carácter consecuente (Lopera Echavarría et al., 2010). Para la presente investigación, se empleó este método para reconocer y desarrollar, de forma segmentada y ordenada, los elementos para la ejecución del proyecto.

Estudio del estado del arte

Este método se centra en la revisión de propuestas investigativas o experimentales acerca de un fenómeno u objeto específico (Guevara Patiño, 2016). En la ejecución del proyecto se aplicó esta técnica para la búsqueda y contrastación de información en diversas fuentes bibliográficas relacionadas con las etapas, la metodología y los procesos externos vinculados a la gestión y el diseño eficiente de dispositivos relacionados a la purificación del aire mediante tecnología ultravioleta.

Recursos técnicos

Herramientas colaborativas

Se hizo uso de herramientas colaborativas disponibles en internet como: Google Drive, para el manejo de información generada a partir de documentación y modelos relacionados; Zoom, como principal herramienta de comunicación entre los involucrados.

Entornos de desarrollo de software

Se empleó el entorno de administración de paquetes “Anaconda Navigator” como plataforma de despliegue de “Jupiter Notebook”, herramienta empleada como medio de desarrollo de la interfaz gráfica y editor del código fuente para la administración del dispositivo.

Software de diseño eléctrico/electrónico

Se utilizaron herramientas digitales de diseño y simulación de los dispositivos electrónicos, como “CircuitLab” y “Fritzing”, para el cumplimiento del segundo objetivo.

Software de modelado 3D

El diseño de las estructuras secundarias se dio a partir de herramientas digitales de modelado como “Tinkercad”. Esto permitió la obtención de estructuras específicas para el prototipo.

Impresión 3D

En la etapa de construcción fue importante la obtención de piezas personalizadas de acuerdo a los requerimientos del prototipo; para ello se realizó la impresión de estructuras a base de filamento de plástico (PLA).

Presupuesto

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron los materiales y cantidades detallados en la Tabla 1.

Tabla 1: Presupuesto para la construcción del prototipo.

Ítem	Material - Dispositivo	Cantidad	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
1	Lámpara UV-C	2	Unidad	178,00	356,00
2	Raspberry Pi	1	Unidad	325,00	325,00
3	Pantalla TFT Raspberry Pi- 2.8" táctil PiTFT	1	Unidad	85,00	85,00
4	Ventilador con control PCW	2	Unidad	35,00	70,00
5	Tarjeta electrónica de control	1	Unidad	25,00	25,00
6	Fuente de alimentación	2	Unidad	16,00	32,00
7	Estructura de acero inoxidable	1	Unidad	145,00	145,00
8	Impresión 3D	1	Global	85,00	85,00
9	Filtro mecánico 3M	1	Unidad	35,00	35,00
TOTAL				1158,00	

RESULTADOS

Consideraciones de la literatura

La luz UV produce daños en el ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN) de los patógenos, de modo que se inhibe su capacidad de reproducirse. Este fenómeno se llama inactivación; es decir, los organismos no pueden ampliar su población y desarrollar enfermedades (Bintsis et al., 2000). El mecanismo de inactivación es el mismo para todos los microorganismos, la diferencia es la dosis necesaria para inactivarlos. La cantidad de inactivación es directamente proporcional a la dosis de radiación UV-C que se recibe.

Las lámparas de mercurio de baja presión se destacan como las fuentes artificiales más comunes de ultravioleta, diseñadas para una variedad de potencias y una radiación máxima ubicada en 253,7 nm de longitud de onda (UV-C), lo cual es cercano al pico de efectividad germicida de los microorganismos (Luo & Zhong, 2021).

Sobre la base del material científico, se han establecido los criterios fundamentales de los dispositivos de desinfección de aire ante el SARS-CoV-2 (ASHRAE, 2021); se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los sistemas de desinfección UVGI ofrecen mayor efectividad en ambientes con un despliegue de aplicación directa y a corta distancia.
- Para sistemas en espacios ocupados, se establecen barreras de contención de radiación, principalmente con materiales con propiedades reflectivas para mejorar su desempeño.
- La dosis de radiación está directamente relacionada con el tiempo de exposición de las partículas en el aire y a la potencia UV entregada por las lámparas LPM.
- La energía radiada por las fuentes UV obedece a la ley del cuadrado inverso, por lo que ofrece una mayor potencia en distancias cortas (Darnell et al., 2004).
- Las características del dispositivo de ventilación deben tener la capacidad de acoplarse a las propiedades físi-

cas del mismo, a fin de definir un óptimo despliegue del mecanismo de inactivación.

- Volumen de aplicación cerrado, para evitar riesgos de exposición para los individuos en el espacio de desinfección.

En la Tabla 2, se describen los ejes principales de diseño para el dispositivo definidos a partir de la bibliografía revisada; estos valores se orientan a la capacidad de desinfección del sistema UVGI y los requerimientos de inactivación del SARS-CoV-2.

Tabla 2: Datos relevantes sobre el SARS-CoV-2 y su inactivación.

Características	Descripción
Tamaño del virus	60 - 140 nm
Tiempo de vida	1,09 h
Tamaño promedio de aerosoles	0,1 - 50 μm
Tiempo de asentamiento de aerosoles	20 s - 79 días
Dosis de inactivación	16,9 mJ/cm^2
Longitud de onda de radiación UV	254 nm

Si bien la radiación ultravioleta representa un método muy eficiente para la eliminación de patógenos, el uso de sistemas UV-C conlleva el riesgo de exposición, la misma que puede producir daños oculares, principalmente en la córnea, daños cutáneos como resequeadad o quemaduras en la piel y otros síntomas derivados (ASHRAE, 2021).

En adición, se contempla el tipo de tecnología de generación UV-C, teniendo en consideración las propiedades de ciertos rangos de longitudes de onda que pueden producir ozono (Claus, 2021); teniendo como factor clave su inhibición, ya que la concentración de este gas puede ser perjudicial para las personas en el entorno de aplicación, limitando el planteamiento inicial.

Diseño del dispositivo

El punto de partida del diseño, fue la cuantificación de la intensidad de radiación entregada por las lámparas mediante la medición de valores respecto a varias distancias. Gracias a los valores obtenidos, se pudo trazar la curva de desempeño en la aplicación de radiación ultravioleta UV-C de las lámparas LMP elegidas para el prototipo (Figura 1).

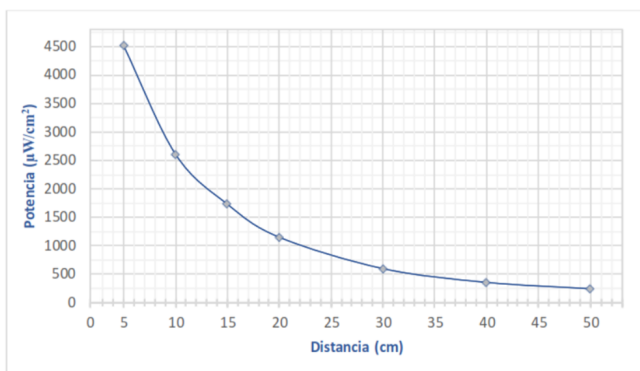


Fig. 1: Curva de intensidad de radiación de las lámparas UV.

Para el proceso de medición se empleó un radiómetro UV profesional, especialmente diseñado para lámparas germicidas con emisiones de 254 nm, el mismo que se dispuso a de-

terminados valores de distancia respecto al foco de radiación (Figura 2).



Fig. 2: Medición de radiación UV.

El diseño del prototipo estructural (Figura 3) se desarrolló en torno a las dimensiones necesarias para alcanzar la dosis de radiación deseada, incluyendo la definición de estructuras secundarias para la ubicación de estructuras pertenecientes a los subsistemas de control electrónico, de alimentación, entre otros. Estas estructuras se han destinado a la impresión 3D, a base de filamento PLA.

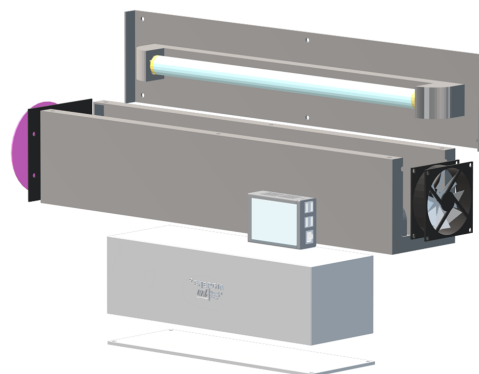


Fig. 3: Diseño estructural del prototipo.

Control

El control de operaciones del prototipo se orienta a la capacidad de definición de los parámetros correspondientes al procedimiento del mismo, por ello, se utilizó una Raspberry Pi 3 B+ como unidad de control, la cual brinda las características necesarias para la gestión de los componentes y la administración de los procesos del dispositivo.

Se buscó establecer un sistema intuitivo y de fácil manejo para el usuario, añadiendo una pantalla táctil para el ajuste de parámetros, además de posibilitar el monitoreo y la intervención en el proceso de desinfección. Esto se logró por medio de varios botones desplegados en una interfaz gráfica (Figura 4).

Construcción

El diseño efectuado en la etapa anterior permitió la obtención de un circuito electrónico de activación que servirá como nexo entre el controlador y los componentes controlados (lámparas y ventilador), así como la creación de las estructuras de contención de los subsistemas de activación, alimentación y la unidad de control; todo a través de impresión 3D.



Fig. 4: Ventana principal de la interfaz gráfica.

Con la definición de los distintos subsistemas, se dio paso al ensamblaje de todos los componentes del prototipo:

- El volumen principal contiene las fuentes UV en su interior, mismas que se orientan conforme a los requerimientos de conexión eléctrica, sumado al ventilador y la estructura de disposición del filtro en sus extremos.
- En la parte inferior, ejerciendo como base del prototipo, se dispone una estructura de contención para los componentes de alimentación y el circuito externo de activación.
- La unidad de control se despliega a partir de una cubierta de PLA que facilita la interconexión con la pantalla y la circuitería interna.

En la Figura 5, se observa el prototipo resultado obtenido luego del proceso de ensamblaje y conexión eléctrica, además, con el despliegue de la interfaz gráfica de usuario.



Fig. 5: Vista general del dispositivo ensamblado.

Medición

Con las dimensiones y características del prototipo definidas para su operación, se llevó a cabo una medición de la capacidad del mismo en términos de la dosis alcanzada en el tiempo de recorrido de los contaminantes en el aire para distintos puntos de recepción interna (ecuación 1); esto con base en la relación expuesta por Kowalski (2009). En la Tabla 3 se detallan los resultados de la medición.

$$D(t) = I \cdot t \quad (1)$$

Tabla 3: Medición de intensidad de radiación dentro del prototipo.

Distancia (cm)	Potencia (mW/cm ²)	Punto de referencia	Dosis UV (mJ/cm ²)
5,38	8,172	Lejano	16,908
5,0	8,471	Medio	17,527
1,25	14,10	Cercano	29,179

Posteriormente, se realizó un testeó de los valores de radiación y concentración de ozono obtenidos en la parte externa con el dispositivo en operación, con el fin de corroborar la seguridad de aplicación del mismo.

Se obtuvieron valores nulos en casi todos los puntos de medición, con excepción de la zona lateral (ventilador), en donde se registró ciertos niveles de radiación cercanos a los 20 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ a una distancia aproximada de 5 cm; sin embargo, a una distancia de 50 cm (aprox.) se registraron lecturas prácticamente nulas; es decir, 0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. En cuanto a las concentraciones de ozono, se corroboró que las lámparas no producen ninguna cantidad de este gas.

Respecto al tiempo necesario para purificar cierta cantidad de volumen de aire, en base a los valores indicados en la Tabla 4, se obtuvo que el tiempo necesario para esterilizar un volumen de aire de 1m³ es de 3 minutos con 57 segundos (aproximadamente 4 minutos).

Tabla 4: Detalles de operación del prototipo en modo automático (6 horas).

Duración del periodo de operación (min)	Ciclos de aplicación	Potencia UV media ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Volumen de aire purificado por periodo (m ³)	Volumen de aire purificado por operación (m ³)
30	8	9940,32	7,59	60,72
45	6		11,39	68,31
60	5		15,18	75,90

DISCUSIÓN

El proceso de implementación de un prototipo purificador de aire involucra un extenso proceso, iniciando con la fundamentación teórica de los procedimientos involucrados en la operación de los dispositivos de purificación de aire mediante tecnología ultravioleta, y principalmente, enfocado en la inactivación del SARS-CoV-2.

El análisis de la literatura permitió la identificación de los parámetros involucrados en el diseño de los mecanismos correspondiente a las operaciones de un purificador de aire; entre las variables base para la ejecución del proyecto se establecen el tiempo de aplicación de la radiación, el caudal de aire intervenido, los valores mínimos a alcanzar y la factibilidad de ciertas soluciones en relación con el tipo de ambiente planteado.

La eliminación de patógenos presentes en el aire es un proceso que depende de una gama de factores, los mismos que implican una variabilidad en las condiciones de desempeño de los diversos dispositivos de purificación. El presente proyecto delimita el tratamiento de espacios cerrados, de bajo nivel de ventilación y con una concurrencia moderada de personas.

La elección de la unidad de control del sistema, debía cumplir con un despliegue óptimo de los procesos y permitir el acoplamiento de un medio de interacción digital, para beneficio del usuario; por ello, se utilizó una tarjeta SBC de

Raspberry Pi modelo 3 B+. El desarrollo del código fuente se efectuó en Python, a partir de la gama de módulos de este lenguaje de programación.

La variación de los parámetros de funcionamiento trajo consigo la necesidad de intercalar los sistemas a través de un circuito externo, capaz de establecer un nexo entre los sistemas, además de salvaguardar la integridad de la unidad de control. Para su diseño se empleó el programa de simulación online CircuitLab, debido a la variedad de componentes ofrecidos para el despliegue de circuitos y permite el sondeo dinámico de valores de voltaje y corriente.

En cuanto a la estructura del prototipo, se decidió emplear acero inoxidable para el volumen principal, puesto que ofrece una gran resistencia a daños provocados en la manipulación del mismo, así como una base sólida la fijación de otros componentes en su interior. Adicionalmente, la superficie reflectiva del material permite la concentración de las emisiones dentro del volumen.

Las pruebas realizadas permitieron verificar el despliegue de un nivel de inactivación pertinente para el SARS-CoV2 a partir de los parámetros de aplicación en aerosoles. En adición, la adaptación del filtro de aire ofrece un respaldo del dispositivo ante folículos de mayor tamaño. Como punto adicional, se corroboró la operabilidad del dispositivo en ambientes de interacción humana, dados los valores nulos de potencia UV externos a una distancia prudente y las normas de seguridad establecidas.

Definiendo las características de ejecución del prototipo desarrollado, se puede destacar la capacidad de despliegue en ambientes ocupados, además del despliegue de medios modernos de interacción para el usuario. En el mercado local se encuentran algunas opciones de despliegue de sistemas de desinfección de aire con luz ultravioleta, aunque con cierta limitación por la exposición a la radiación y la generación de ozono.

Los sistemas comerciales ofrecen un nivel de dosis mayor y permiten el acoplamiento con sistemas de ventilación ya existentes. En comparación, el prototipo construido ofrece un margen de error limitado ante la dispersión de partículas en el aire.

CONCLUSIONES

Mediante la revisión bibliográfica se logró identificar y establecer los factores principales para el diseño y construcción de un dispositivo purificador de aire con tecnología ultravioleta, para la determinación de los ejes de desarrollo del prototipo.

El análisis del despliegue, la estructura y la disposición de los recursos tecnológicos de diversos sistemas antes desarrollados, permitió definir el esquema general de operación y las bases de desarrollo para los subsistemas abarcados.

El cálculo de los parámetros del prototipo permitió establecer las dimensiones físicas y la capacidad de flujo para la elección de los componentes del sistema. La medición del valor de radiación demostró que el sistema es apto para alcanzar la dosis UV de inactivación para el SARS-CoV-2 en aerosoles presentes en el aire.

El mecanismo lógico de administración programado en Python integró la flexibilidad de los sistemas digitales y la facilidad de manejo de los dispositivos táctiles para obtener

un medio intuitivo de interacción y de fácil despliegue, basado en las facultades ofrecidas por el sistema Raspberry Pi.

El proceso de medición de radiación y dosis alcanzada en la operación del prototipo arrojó valores acordes al umbral de inactivación para el SARS-CoV-2 señalados en la literatura, lo cual minimiza la probabilidad de contagio en ambientes de poca ventilación y de intervención directa de personas.

A través de las mediciones realizadas con los equipos, se demostró que no existe peligro para las personas ante la exposición continua al funcionamiento del prototipo, ya que la radiación ultravioleta está contenida dentro del mismo y las lámparas germicidas utilizadas no generan residuos de ozono.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja y a su planta docente, en especial al director del proyecto, el Ing. Pabel Merino, encargado del Centro de Investigación, Innovación, Desarrollo de Prototipos Tecnológicos y Pruebas Electroenergéticas – I²TEC.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

conceptualización: RMV; metodología: RMV; análisis formal: AVL.; investigación: BN; recursos: JGE; curación de datos: JCG; redacción — preparación del borrador original: BN; redacción — revisión y edición: AVN; administración de proyecto: RMV; adquisición de financiamiento para la investigación: BN. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Rodolfo Merino-Vivanco: RMV. Andy Vega-León: AVL. Brandon Narváez: BN. Jonathan González-Espinosa: JGE. Jorge Carrión-González: JCG. Alba Vargas-Naula: AVN.

FINANCIAMIENTO

El financiamiento para el desarrollo del proyecto se obtuvo de los propios recursos de los autores.

REFERENCIAS

- ASHRAE. (2021). Ashrae epidemic task force, healthcare.
- Biasin, M., Bianco, A., Pareschi, G., Cavalleri, A., Cavatorta, C., Fenizia, C., Galli, P., Lessio, L., Lualdi, M., Tombetti, E., Ambrosi, A., Redaelli, E. M. A., Saulle, I., Trabattoni, D., Zanutta, A., & Clerici, M. (2021). UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Scientific Reports*, 11(1), 6260.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., & Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637–645.
- Claus, H. (2021). Ozone Generation by Ultraviolet Lamps†. *Photochemistry and Photobiology*, 97(3), 471–476.
- Darnell, M. E. R., Subbarao, K., Feinstone, S. M., & Taylor, D. R. (2004). Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *Journal of Virological Methods*, 121(1), 85–91.

- Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos? . In *Folios* (pp. 165–179). scieloco.
- Kowalski, W. (2009). *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook* (pp. 17–50).
- Lopera Echavarría, J. D., Ramírez Gómez, C. A., Zuluaga Aristazábal, M. U., & Ortiz Vanegas, J. (2010). EL MÉTODO ANALÍTICO COMO MÉTODO NATURAL. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, 25(1).
- Luo, H., & Zhong, L. (2021). Ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) for in-duct airborne bioaerosol disinfection: Review and analysis of design factors. *Building and Environment*, 197, 107852.
- Qian, H., Miao, T., Liu, L., Zheng, X., Luo, D., & Li, Y. (2021). Indoor transmission of SARS-CoV-2. *Indoor Air*, 31(3), 639–645.