

Innovation in Medical Disinfection: Design and Automation of an Intelligent Cabin for Pathogen Elimination with Logosoft in High-Complexity Clinics

Jonatan Barcelli¹  ; Ruben Quispe² 

^{1,2} Universidad Privada Del Norte, Lima-Perú, n00182112@upn.pe, ruben.quispe@upn.pe

Abstract-The disinfection of medical equipment became a highly demanded task following the 2020 pandemic due to the rapid spread of SARS-CoV-2. Various companies implemented rudimentary models of disinfection cabins and manual temperature monitoring for customers, accompanied by the abundant use of 70% medicinal alcohol. However, challenges arose, such as accidental application to the eyes causing irritation. With the wave of infections, many clinics experienced a high influx of patients, leaving them overwhelmed and exposed to contracting other pathogens in the environment. In response to this problem and the surge in infections, this thesis aims to design an automated cabin for pathogen elimination in clinical environments, specifically targeting clinical equipment in direct contact with patients and medical staff. To achieve automation, a process control program was required; Logosoft was chosen for its ease of use, compactness, and ability to display failure alerts on its built-in screen. The methodology used is quantitative-experimental in nature, given its trial-and-error approach to find efficient values that optimize the disinfection system. The results obtained are positive, demonstrating improvements in disinfection processes, with the only variation being the adjustment of the solution's concentration. However, the project seeks to integrate these independent processes to achieve better results with safer quantities and shorter processing times. From this study, it can be concluded that although the disinfection process is not entirely comprehensive, it can achieve results very close to those of a full sterilization process.

Keywords-Design, pathogens, medical equipment, disinfection, logosoft.

Innovación en la Desinfección Médica: Diseño y Automatización de una Cabina Inteligente para la Eliminación de Patógenos con Logosoft en Clínicas de Alta Complejidad

Jonatan Barcelli¹ ; Ruben Quispe² 

^{1,2} Universidad Privada Del Norte, Lima-Perú, n00182112@upn.pe, ruben.quispe@upn.pe

Resumen– La desinfección de equipos médicos se volvió una labor con bastante demanda a raíz de la pandemia del 2020 por la rápida propagación del SARS-COV-2. Diversas empresas implementaron modelos rústicos de cabinas y monitoreo de la temperatura en clientes manualmente, acompañado del uso abundante de alcohol medicinal al 70%. Sin embargo, surgían inconvenientes como la aplicación accidental a los ojos que generaba irritación; ante la oleada de contagios muchas clínicas presentaban gran afluencia de pacientes dejándolos saturados y exponiéndose ellos mismos a contraer otros patógenos en el ambiente. Ante esta problemática y oleada de contagios surge la siguiente tesis cuyo objetivo es el diseño de una cabina automatizada para la eliminación de patógenos en el ambiente de las clínicas, específicamente en los equipos clínicos que están en contacto directo con los pacientes y médicos, para conseguir la etapa de automatizado se debe emplear un programa de procesos, para ello se empleó logosoft debido a su facilidad de uso y por lo compacto, además brinda mensajes emergentes del fallo por la pantalla incorporada. La metodología empleada es cuantitativo-experimental dado su naturaleza de ensayo y error a fin de buscar valores eficientes que optimicen el sistema de desinfección. Los resultados obtenidos son positivos ya que manifiestan mejoras en los procesos de desinfección y la única variación ha sido el cambio de concentricidad de solución, sin embargo, el siguiente proyecto busca la sinergia de estos procesos independientes a fin de tener un mejor resultado con cantidades seguras y en menor lapso de tiempo. Del siguiente estudio se puede concluir que el proceso de desinfección a pesar de no ser completo puede lograr resultados muy cercanos al proceso de esterilización.

Palabras clave–Diseño, patógenos, equipo médico, desinfección, logosoft.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el servicio de atención médica es uno de los más sensibles donde la labor de desinfección y esterilización de equipos médicos son procesos críticos que deben garantizar la seguridad en las partes involucradas directamente como pacientes y personal interno de salud. La problemática surge cuando se vence la capacidad de atención en los hospitales a grado que no se abastecen y muchas veces la conglomeración de personas resulta un foco de propagación para los virus donde son ellos los afectados, dado que manifiestan ciertas complicaciones como

dificultad respiratoria, arritmia, espasmos, tos, entre otros síntomas y mayormente se le atribuye la responsabilidad al paciente cercano que manifieste dichos síntomas de manera más grave; sin embargo, se comete un error al ignorar que la fuente de estas reacciones sea por microorganismos que reposan en las superficies de equipos clínicos. Pese a que se aplique el método de desinfección tradicional que consta de usar peróxido de hidrógeno en la superficie y acto seguido esparcirlo en forma uniforme a toda la superficie contaminada. Este método queda obsoleto puesto que gran parte de la solución queda adherida en el paño aplicado y que este químico es tóxico para el personal que no use su EPP debidamente. Ante ello se busca el desarrollo de una cabina que automatice el proceso de desinfección; La automatización en el sector hospitalario ha reducido significativamente los tiempos de desinfección donde se asegura la eficacia de esta en la eliminación de patógenos a comparación de los métodos tradicionales. y, asimismo, reduce la exposición del personal a agentes infecciosos donde se minimiza los errores humanos. [1] Los infectados por un patógeno respiratorio pueden expulsar partículas infecciosas que contengan el patógeno por medio de la boca o nariz al respirar, hablar, toser o estornudar. Estas partículas deberían describirse con la expresión «partículas respiratorias infecciosas» o PRI [2]

Con el fin de hacerle frente a la problemática se diseñó equipos de desinfección con respuesta rápida como el caso de D-Box es una cabina de nebulización rápida y efectiva su estructura es a base de metal y policarbonato; El nebulizador cuenta con un temporizador para la descarga en los 14 difusores automatizados, lo que permite desinfectar al usuario en menos de 15 segundos [3]

Las cifras que se observaron en la siguiente imagen son bastante altas y preocupan a la humanidad, ya que su presencia es mundial, pero a que se debe la poca presencia de contagios en el continente Oceanía, la respuesta es el confinamiento y las constantes medidas de desinfección que toman

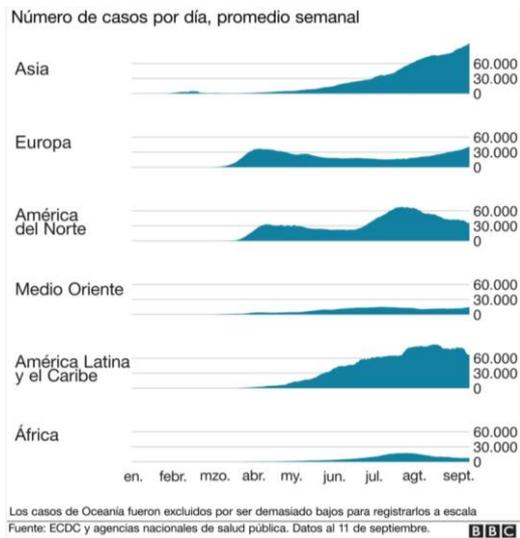


Fig. 1. Casos de COVID por continente

Se resalta de la figura 1 que alrededor de cientos de millones en pacientes sufren infecciones durante su estada hospitalaria En entornos de Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), donde se utilizan tanto dispositivos invasivos y equipos médicos de alta tecnología que debido a una baja eficiencia en la desinfección muchos de estos portaban consigo patógenos de diversos tipos favoreciendo la proliferación de enfermedades infecciosas.

A. Formulación del problema

¿En qué medida el diseño de una cabina automatizada mejorara la desinfección de equipos médicos y eliminación de patógenos con logosoft en clínicas de alta complejidad?

Se buscaron ejemplos de trabajos para desinfección en centros clínicos y se encontró los siguientes artículos.:

1. **Investigación Internacional:** En un estudio realizado en Estados Unidos, se desarrolló un sistema automatizado de desinfección de instrumentos quirúrgicos utilizando radiación ultravioleta (UV). Los resultados mostraron una reducción significativa de patógenos en comparación con métodos manuales [4].

2. **Investigación Nacional:** En Perú, un trabajo de investigación en la Universidad Nacional de Ingeniería evaluó la implementación de cabinas de desinfección mediante vapor de peróxido de hidrógeno para clínicas locales, demostrando una mejora en la eficiencia del proceso de desinfección en un 30% [5].

3. **Investigación Local:** En la Universidad de Piura, se desarrolló un prototipo de cabina de desinfección automatizada para hospitales rurales, con el uso de ozono como agente desinfectante. Esta investigación concluyó que los sistemas automatizados no solo son viables, sino también más rentables a largo plazo [6].

El problema radica en la independencia de procesos para la desinfección de equipos clínicos, puesto que a diario se aplica peróxido de hidrogeno sobre estos por un tiempo corto, sin considerar aspectos relevantes como el periodo de desinfección de equipo a baja concentricidad. Una concentración del 3% durante 150 minutos mató a 10^6 esporas en seis de siete ensayos de exposición. [7]

el tiempo que emplea el personal para la desinfección es de 3 minutos apenas un 2% del tiempo recomendado. Por otro lado, al emplear una concentración mayor de peróxido de hidrógeno estabilizado al 7% demostró ser mico bactericida (20 minutos), fungicida (5 minutos) a plena fuerza, viricida (5 minutos) y bactericida (3 minutos) [7]

B. Objetivo principal

Determinar en qué medida el diseño de una cabina automatizada mejorara la desinfección de equipos médicos y eliminación de patógenos con logosoft en clínicas de alta complejidad.

II. METODOLOGÍA

La metodología de la investigación sigue un enfoque cuantitativo-experimental, ya que se recopilan datos durante los ensayos para contrastar los resultados a fin de encontrar una mejora notable y significativa frente a los modelos tradicionales que se siguen empleando en muchas instituciones del sector salud, siendo el personal de limpieza el más afectado dado que desconocen como les afecta involuntariamente el empleo de un químico como el peróxido de hidrogeno.

A. Materiales

- **Cabina de desinfección automatizada:** Prototipo desarrollado para el proyecto con el fin de cumplir una labor vital que es la optimización de procesos convencionales para la desinfección.
- **Logosoft:** Software utilizado para la etapa de automatización del proceso de desinfección.
- **Sistema de ventilación:** En este punto es vital contar con un extractor de aire encargado de la eliminación de ozono residual en la cabina.
- **Equipos médicos:** Respiradores, bombas de infusión, endoscopios neonatales, y otros equipos médicos seleccionados que caben en la cabina.
- **Agentes desinfectantes:** Peróxido de hidrógeno, ozono y radiación UV, que serán sometidos a una evaluación como parte del proceso de desinfección.
- **Placas de cultivo microbiológico:** Para cuantificar la presencia de microorganismos antes y después de la desinfección.
- **Espectrofotómetro:** Para medir la carga microbiana residual.
- **Sensores de medición:** Sensores de temperatura, presión y humedad dentro de la cabina, controlados por el sistema automatizado.
- **Software Logosoft:** Controla los ciclos de desinfección y monitorea las condiciones del sistema.

Recolección de datos: Se utilizarán placas de cultivo y espectrofotómetros dispositivo basado en la refracción de luz. Donde se interpreta el resultado según el propósito de estudio ya sea por la cantidad de luminiscencia absorbida se identifica el cultivo [8] y para la cuantificación de patógenos antes y después del proceso de desinfección

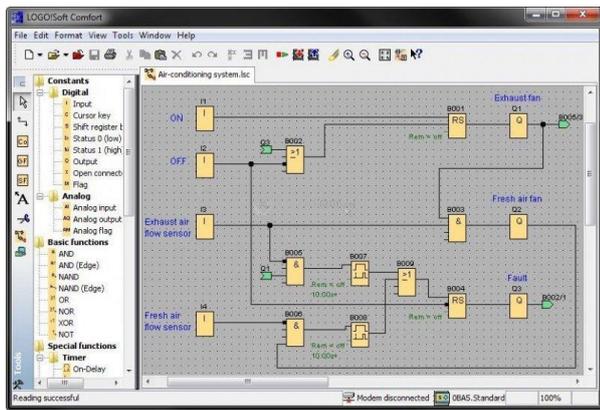


Fig. 2 interfaz del software logosoft

De la figura 2 se destaca el uso del software Logo porque es bastante dinámico y sencillo de usar, ya que no requiere las clásicas líneas de programación como en muchos otros programas. Además, el dispositivo Logo al ser compacto lo hace ideal para introducirlo dentro del prototipo, por si fuera poco, cuenta con una pantalla en la cual se pueden agregar mensajes de fallos, lo cual acelera el proceso de identificación siempre y cuando la programación sea correctamente argumentada. Como indica Perera, una ventaja esencial de estos equipos es el ahorro de espacio ya que no requiere un cableado exhaustivo como en antaño, y otra ventaja es que las alertas son del tipo visual un texto que indica al operario el fallo según la programación asignada [9]

TABLA I

EDT	Nombre de programas
1	Autodesk Inventor
2	Logosoft
3	Excel

Como se indica en la tabla 1 estos programas son esenciales para el desarrollo del proyecto, ya que sin ellos no lograríamos avances. En Autodesk Inventor se realizará el modelado del equipo tomando como referencias las medidas reales de accesorios y evaluando los equipos que se desean desinfectar en base a estas medidas se puede tener una idea clara de lo que será el prototipo en la vida real y sobre todo se puede modificar a gusto de cada uno el diseño final. Con el segundo programa tenemos toda la lógica de funciones que realizara el equipo para procesos de desinfección como establecer el tiempo de inyección de solución medir la temperatura, reflejar la concentricidad de ozono enviando la señal del sensor al Logo y asimismo dejar espacios libres para agregar a futuro nuevas funciones que permitan trabajos más robustos y completos que garanticen una mayor seguridad en el trabajo por sobre todo protegiendo la integridad del personal a cargo de las tareas de ejecución, ya que este es más vulnerable a contraer alguna afección. Por último, usamos el programa de Excel para el registro de datos importantes obtenidos en las pruebas continuas de placas de Petri bajo diversas condiciones, tales como la temperatura, cantidad de solución, tiempo que se deja reposando para evaluar su acción desinfectante y así finalmente exportar estos datos al ANOVA.

El análisis de los datos se realizará mediante técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales. Se utilizará un análisis de varianza (ANOVA). Para comparar los resultados entre los diferentes ciclos de desinfección y agentes desinfectantes, evaluando la significancia de las diferencias observadas. con el fin de encontrar una normalidad de los residuos o errores y homocedasticidad, es decir cuando la varianza de error se vuelve constante [10] Se establecerá un nivel de significancia del **95% ($p < 0.05$)** para determinar la efectividad del sistema. En el proceso de recolección de muestras se seguirán los siguientes pasos

TABLA II

EDT	Nombre de tarea
1	Preparar la placa de Petri para el cultivo
2	Pasar isopo en la superficie a tomar muestras
3	Depositar la muestra y sellar
4	Apuntar en un diario las condiciones normales
5	En el espectroscopio medir la colonia
6	Al cultivo agregarle la solución peróxido y sellar
7	Luego de 24 horas volver evaluar el cultivo
8	Comparar resultados del proceso 1
9	Cambiar a temperatura alta y replicar proceso
10	Constatar resultados y anotar en diario
11	Cambiar a temperatura baja y replicar proceso
12	Constatar resultados y anotar en diario
13	Comparar el proceso a diversas condiciones
14	Establecer una hipótesis de eficacia
15	Replicar el experimento, pero con UV-C
16	Tomar notas y establecer hipótesis
17	Repetir experimento ahora con ozono
18	Tomar notas y establecer hipótesis
19	Tras evaluar se opta por la fusión de procesos
20	Replicar experimento en condiciones variadas
21	Trabajo similar a control calidad con resultado +

Como se observa en la tabla 2 la ejecución de estas tareas es tediosa y repetitiva muy similar a los procesos que se ven en control de calidad, por ello decimos que la investigación se torna cuantitativa experimental, ya que se analizan muestras bajo condiciones de temperatura variable a fin de detectar cual es el porcentaje de eficacia y viabilidad del proyecto, aunque se tiene resultados positivos para los procesos ejecutados de manera independiente la fusión de ellos puede no resultar factible y llevar a resultados negativos donde en lugar de mitigar la carga bacteriana termina por acelerar el proceso de cultivo y lo que es peor entrenarlos para mostrar resiliencia a procesos adaptativos que impliquen los mismos lineamientos aunque con la diferencia de emplear valores más altos a fin de erradicar completamente estas bacterias que se vienen desarrollando en colonias.



Fig. 3 placa de Petri con isopo lleno de bacterias

En base a la figura 3, luego de aplicar los procesos previamente establecidos por el sistema y tomar datos en un diario sobre las condiciones y concentraciones de solución en las placas, se requiere evaluar cual ha sido su alcance, si logro el propósito de erradicar patógenos o incremento y sirvió como un catalizador para el cultivo de estos. Las mediciones se hacen con la placa de Petri siendo insertadas en el contador de colonias



Fig. 4 contador de colonias Scan

En base a la figura 4, un aspecto vital a considerar durante todos los procesos es el ambiente designado para la ejecución de estos, dado que una mala iluminación y una mala circulación del oxígeno puede conllevar a crear un ambiente apto para caldo de cultivos, los cuales bajos un ambiente húmedo el cual serviría para la proliferación de moho, de este microorganismo lo más letal son sus esporas que desencadenan diversas afecciones respiratorias[11] sobre todo proliferan mucho más rápido dado que se establecen colonias en diversos puntos.

B. Instrumentos

Dentro del ámbito clínico los equipos que conforman el kit quirúrgico requieren un proceso de esterilización, sin embargo, el equipo diseñado podría ayudar a que el resultado final sea mucho más seguro puesto que un proceso de desinfección reduciría la carga notablemente y podría llevar al exterminio total de aquellos patógenos resilientes a los procesos de esterilización. Por ejemplo, tenemos los equipos AMBU que es la unidad de bolso con mascara de vía aérea es decir que al presionarlo suministrara oxígeno para el paciente [12] considerar que un equipo de esta dimensión pasa de mano en mano y sin ser consecuente de lo que implica tocarlo y trasladar patógenos

C. Métodos

Dentro de los métodos cabe resaltar la importancia de equipos de apoyo que facilitan la labor como el caso del espectrofotómetro, dispositivo basado en la refracción de luz. Donde se interpreta el resultado según el propósito de estudio ya sea por la cantidad de luminiscencia absorbida que permite la cuenta de colonia o se busque identificar el cultivo [13] dado los avances tecnológicos se plantea la reutilización de ciertos insumos de alto costo, pero gracias a los avances tecnológicos muchas técnicas de esterilización y reprocesado permiten la reutilización de estos con niveles aceptables de seguridad y una carga libre de patógenos,

labores que deben ser validadas por el equipo médico que realiza la gestión interna de la clínica [14]

Respecto a los insumos empleados en la cabina de desinfección nos centramos en: Peróxido de Hidrogeno, un líquido bastante amigable con el ecosistema debido a su composición química que es oxígeno e hidrogeno, donde una vez ya empleado se descompone en agua y oxígeno a temperatura ambiente el químico se encuentra en fase líquida y es incoloro; tienes aplicaciones múltiples como en la agricultura para el cuidado de cultivos contra hongos [15]

El segundo insumo aplicado para la desinfección es la luz UV-C, dado que la longitud de onda con un valor de 254 nm es capaz de destruir el ADN y ARN, el ácido ribonucleico se encuentra presente en todas las células tanto eucariotas como procariontas y aunque guarde similitud con el ADN su déficit radica en la única cadena que la compone y en muchos virus esta es tomada como genoma propio [16]. Según Kowalski La luz UV-C ha demostrado ser altamente efectiva en la eliminación de microorganismos, incluyendo virus, bacterias y hongos, sin necesidad de productos químicos. [17] Para ello se debe establecer el equipo adecuado de onda con el fin de no dañar los materiales sensibles del equipo médico, puesto que algún filamento quedaría comprometido en el proceso y dañaría el equipo.

El ultimo insumo agregado al sistema es ozono, este será suministrado mediante tanques al equipo, por dos razones la primera por seguridad ya que durante los transportes del equipo podría sufrir alguna abolladura y el gas encapsulado se fugaría sin darse cuenta. A causa de la fuga se habrá realizado un proceso con ausencia de este y en baja presión. Por ello se monitorea constantemente la presión y tal como señala un estudio de Boczkaj que este gas ozono es un desinfectante potente que puede eliminar agentes patógenos en espacios cerrados, aunque requiere medidas de seguridad debido a su toxicidad temporal.[18] Una vez suministrado el ozono en un espacio confinado se debe de extraer el aire de esta zona para no perjudicar al usuario que pueda quedar intoxicado debido a la concentración de ozono en el área.

ROADMAP DEL PROYECTO

EDT	Nombre de tarea	Días
1	Planificación y requisitos	12
2	Definición de alcances	4
3	Requerimientos	5
4	Elección de software idóneo	3
5	Diseño inicial (boceto)del sistema	6
6	Hardware y Software	6
7	Adquisición de hardware	4
8	Interconexión de los dispositivos electrónicos	3
9	Pruebas de funcionamiento individual	7
10	Instalación de software	3
11	Pruebas de software	2
12	Desarrollo de la solución / Programación	2
13	Comprobar resultados	20
14	Ajustes de funciones	12
15	Adaptación a los ciclos	5
16	Constatación de resultados	4
17	Buscar nuevas adaptaciones al sistema	7

Para la cámara interna donde se depositan los equipos médicos se empleará acero quirúrgico debido a su alta resistencia a la corrosión sin embargo el diseño convencional de caja no es ideal cuando se trabaja bajo una

variación de presión y afin de evitar daños se opta por achatar los bordes a fin de conseguir una distribución de carga uniforme.

D. Ecuaciones

Como se mencionó previamente requerimos manejar presiones variables con el objetivo de encontrar el valor ideal para trabajar con el equipo de desinfección

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{F}{\Delta S} = \frac{dF}{dS}$$

Ecuación 1 – fórmula general de presión

Dada la ecuación 1 y considerando que los contenedores de solución son sometidos a un empuje continuo por parte de pistones neumáticos se debe mantener este valor en forma constante, ya que la variación afecta al sistema en el sentido de crear precipitados y cambie el estado de la solución es decir que contemos con fase líquida y gaseosa lo cual implica una nueva variable de presión interna en el equipo la cual afectara directamente al resultado. Para comodidad del estudio se estableció que el sistema cuente con una presión homologa de 50 Psi y en base a nuestro diseño tenemos el área sobre cual se ejerce una fuerza constante.

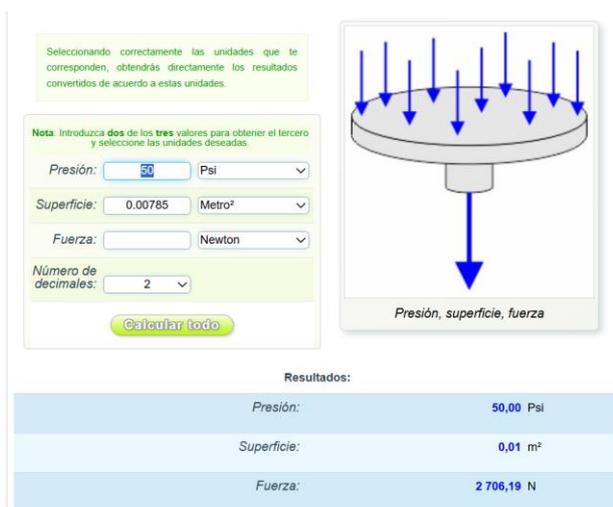


Fig. 5 cálculo de la fuerza para el sistema

En base a la figura 5, la razón por la que los insumos van encapsulados y no libres bajo acción de un pistón directo es por el desgaste mecánico y reacción química de los fluidos al estar en movimiento continuo, dicho fenómeno se denomina cavitación. Tal como indica Instituto Asteco: Este fenómeno ocurre cuando el líquido tratado cambia su fase de líquido a gaseoso, son estas burbujas que al viajar y hacer ruptura cerca de las superficies del contenedor lo dañan generando desprendimiento del material. La condición para este evento es un cambio mecánico en el fluido, entiéndase por cambio mecánico la variación en la velocidad o presión de este [19]. ahora en una condición de trabajo continuo la temperatura tiende a aumentar por la fricción generada.

Bajo esta perspectiva es importante contar con un sistema de regulación de temperatura a fin de evitar el cambio de fases de la solución almacenada y a su vez una dilatación en la estructura metálica del sistema de desinfección. El candidato ideal para la regulación de temperaturas es el cobre, si bien se conoce a este metal por su alta conductividad eléctrica y su amplio uso en el rubro de electrónica, este también es usado para procesos de refrigeración; como indica el artículo de Química: El mecanizado de este y sus variantes obtenidas por aleaciones es muy bueno y conforme recibe un tratamiento térmico ya sea temple o recocido adquirirá una cualidad distintiva, por lo general se observa grandes beneficios de este metal cuando se encuentra en bajas temperaturas [20]

Ante el creciente desarrollo de empresas centradas en fabricación y comercialización del cobre tenemos a Incotherm con un enfoque diferente que señala lo siguiente: Aunque el tubo de cobre es un material de alta durabilidad capaz de resistir la presión y corrosión su uso prolongado sin un mantenimiento sostenido le da una esperanza de vida menor a los 20 años aproximadamente. Un buen mantenimiento prolonga su vida útil alrededor de los 50 años [21] dentro del tubo se verterá un gas refrigerante como R22, dado que la distancia de recorrido es corta se usara la tubería desnuda, es decir que esta no contara con revestimiento como emplean muchos otros procesos que recorren distancias más largas con el fin de garantizar la temperatura dentro de la tubería, para nuestro caso se busca la homogeneidad de las soluciones contenidas en los cilindros y que se mantenga líquida en condiciones normales de ambiente.

Para la aplicación de luz UV-C en los instrumentos médicos debemos considerar la intensidad de luminiscencia emitida y para asegurar que llegue a todos lados no solo se propone la instalación de un solo foco de iluminación sino hasta 6 y apuntando a superficies pulidas similares a un espejo con el fin de reflejar los haces de luz proyectados y se plasmen en la superficie del equipo médico a desinfectar en este segundo proceso. A continuación, se brinda la siguiente imagen para plasmar lo expuesto.

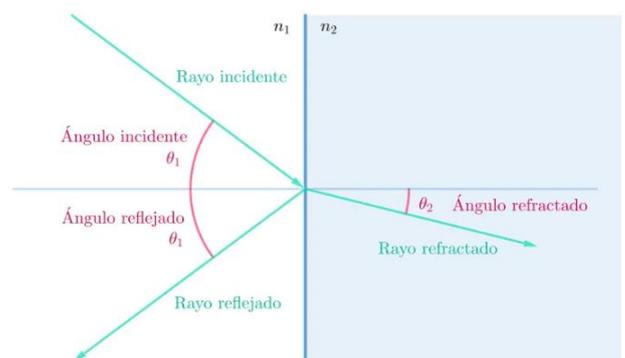


Fig. 6 índice de refracción de luz reflejada

Como se observa en la figura 6 contamos con dos haces originados por el rayo incidente, donde el rayo reflejado mantiene el mismo ángulo, pero el refractado posee uno menor, con esta imagen se pone en contraste que los rayos reflejados en una superficie pulida que se asemeja a un espejo se consiguen abarcar mayores áreas del equipo a desinfectar. Sin embargo, la exposición a este rayo es perjudicial para el usuario, como indica la empresa

Lanternas: si bien la luz UV-C es ampliamente usada para procesos de desinfección dado su acción germicida capaz de eliminar variedad de patógenos. Existe una preocupación por los usuarios dado que se han encontrado casos de quemaduras [22] La exposición continua y prolongada daña la dermis similar a los rayos del sol en el cual se da la recomendación de usar bloqueadores a fin de proteger la piel. No obstante, la incidencia directa del rayo UV-C con la vista conlleva al desarrollo de cataratas y daño en la retina. Una de las indicaciones que da la empresa es colocar carteles que indiquen que la luz se encuentra encendida usar vestimenta adecuada que cubra nuestro cuerpo a fin de evitar la exposición directa y no mirarla directamente.

Por ello el siguiente mecanismo contara con sensores UV en relación proporcional a los focos que emanan estos rayos para así tener la seguridad que estos se encuentran en funcionamiento y sobre todo usarlos como medida de seguridad para indicar que estos se encuentran inactivos y se puede abrir el compartimiento sin que algún haz de luz UV-C llegue a la vista y la dañe. La empresa Boston Electronics nos brinda una amplia gama de sensores entre los cuales destacan los TOCON, quienes poseen rangos de sensibilidad ajustable. Entre sus características destaca que al ser un paquete compacto el ruido no interfiere, asimismo cuentan con sondas capaces de trabajar en altas temperaturas y bajo el agua [23] características más que ideales para trabajar en situaciones complejas.

A continuación, se hablará del suministro de ozono, este gas es abundante en la atmosfera protegiéndonos de los rayos UV, pero lo que destaca es su eficacia en tratamientos clínicos con alto índice de recuperación. Por ejemplo, en pacientes de pie diabético, tal como indica la empresa Hospiten: En el grado medico la concentración de este gas no debe superar la brecha de 5% debido a su inestabilidad y reacción violenta con diversos elementos, el otro 95% es oxígeno, se lo conoce por ser un potente germicida, además de analgésico y estimulante para el sistema inmunológico [24] una exposición continua a este compuesto causa adversidades en el cuerpo; la empresa Sanitas indica: en caso de respirar $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por un lapso mayor a 8 horas conlleva a problemas pulmonares e inflamar las vías respiratorias, lo cual da paso libre a variedad de infecciones de este tipo [25] pacientes con afecciones de esta índole terminan conectadas a un pulmón artificial siendo este su único ancla de vida. Como medida de prevención se recomienda al personal asignado de estos procesos emplear la EPP completa (guantes, mascarillas con filtro y lentes). Adicionalmente el equipo contara con sensor de ozono lo cual nos brindara la seguridad que este se ha disipado mostrando los niveles de concentración en pantalla.

Respecto al sensor de ozono se estaría implementando uno de 50 ppm de la empresa Prana Air, quienes indican lo siguiente: el sensor reacciona electroquímicamente brindando una corriente proporcional a la concentración de gas, el tiempo de respuesta es corto a comparación de sus homólogos y sobre todo el diseño compacto permite su traslado en equipos estacionarios como portátiles, pero lo más destacable es su bajo consumo energético [26] Las características de este sensor lo hacen el más idóneo no solo para proceso de control de un proceso sino que también podemos alinearlos para evaluar la calidad del aire en la zona

de trabajo siendo el ambiente idóneo para emplear equipos médicos o no.

En base a los procesos expuestos quedaría como variante el orden de ejecución de cada uno y por la naturaleza de resultados primero se aplicará peróxido de hidrógeno, dado que es el proceso menos violento y agresivo a comparación de disparar rayos UVC o aplicar ozono al equipo médico. Acto seguido se planteó aplicar ozono para así solo emplear una sola radiación de rayos con un tiempo equivalente a los dos procesos previos. Sin embargo, existe una reacción química entre el peróxido de hidrogeno y ozono, como señala la empresa CHEMEUROPE: La reacción produce un tipo de poli-óxido altamente inestable denominado trióxido de hidrogeno (H_2O_3). El cual al interactuar con agua fácilmente se descompondrá en oxígeno singlete y 2 moléculas de agua, pero este proceso resulta irreversible, es decir que ya no se podría regresar al trióxido de hidrogeno a menos que se incremente la concentricidad de oxígeno singlete [27]

Asimismo, en condiciones donde la temperatura es baja ha permitido la creación de varios solventes orgánicos uno de los más importantes es Peroxono la empresa LENNTECH indica que la obtención de este compuesto es mucho más avanzada Se emplea este químico para el tratamiento de suelos y agua contaminado, asimismo ayuda con el control de hidrocarburos volátiles su fórmula química es ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$). La manera que atrae al carbono es por su disociación química formando hidroxi-radicales los cuales actúan de inmediato con contaminantes orgánicos [28] ambos compuestos resultan irritantes para las personas, así como el ozono en alta concentricidad. Por ello el proceso de disparo de soluciones será intercalado por procesos de rayos UV-C a fin de garantizar la no formación de nuevos compuestos. Y como existe el riesgo de presencia de restos de las soluciones, al equipo se le acoplara un sistema de control para temperatura y para no afectar el estado de cada solución se pondrán aislantes térmicos como el aerogel o fibra de vidrio. Para crear un sistema de elevación de temperatura se acondiciono mallas de cobre en el entorno a fin de asegurar la correcta limpieza de restos al evaporarse estos, a causa de la alta temperatura.

Dentro de los equipos clínicos que son constantemente manipulados por el personal tales como bisturí, fórceps, termómetro, tijeras, pinzas, espéculos, contenedores, curetas, escoplos, terminal de poole, cánula de yankauer, AMBU, entre otros se optó por usar de referencia en cuanto dimensión al equipo AMBU, ya que su tamaño es de 295 mm de largo y 127 mm en diámetro para la versión adulto, estas medidas superan a la de los instrumentos mencionados para poder maniobrar el objeto al ser introducido en la cámara donde recibirá el tratamiento de desinfección se agregó 2 pulgadas a estas medidas, un equivalente de 50 mm en total para el largo y diámetro. Sin embargo, al momento de ensamblar y considerar estos valores dimensionales nos entrega un equipo final con dimensiones mayores a la definición de un equipo compacto. Es por ello que este primer modelo resulta al final un tanto robusto debido a las dimensiones que posee y por ello esta versión de prototipo que se asemejaría por mucho a una microondas queda descartado y se opta por replantear el modelo acabando semejante a una sopladora de hojas lo cual resulta mucho más maniobrable y permite el acondicionamientos de

nuevos periféricos que harán más eficiente el servicio de desinfección, también se agregó al nuevo modelo una base que rote el equipo para lograr alcanzar todos los espacios.

III. RESULTADOS

En las siguientes líneas se comparte el diseño del primer prototipo portátil para la desinfección de equipos médicos, el cual a pesar de ser grande cumple con su función, se denomina que es grande por las dimensiones que alcanza siendo 60 cm * 26 cm con una altura de 39 cm. Uno de los factores que hace complicado es su centro de masa puesto que se encuentra concentrado en el lado donde se almacenan los tanques que van a dosificar las dosis para el proceso de desinfección. Razón por la cual ubicaríamos los primeros 20 cm del equipo en nuestro centro y sobresaldrían un equivalente de 30 cm los cuales colisionarían con cualquier ente dañando parte de la infraestructura.

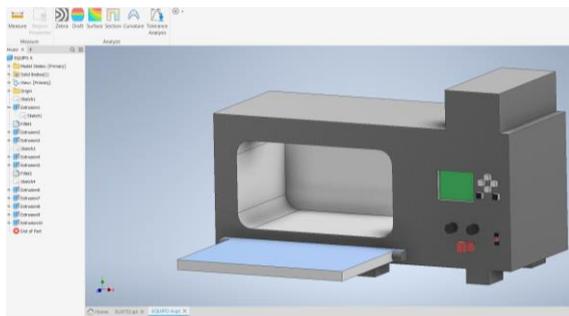


Fig. 7 versión A del equipo de desinfección

Como se visualiza en la figura 7 se realiza el siguiente modelado de diseño propio con fines de interpretar cual sería el aspecto final del proyecto desarrollado, pero se encontró una falla en cuanto dimensionado.

La solución para este inconveniente es la remoción del compartimiento para agregar el equipo médico e iniciar el ciclo de desinfección, asimismo la extracción de este compartimiento implica un ahorro significativo en cuanto componentes a usar, ya que para el modelo de un cubo se debe atacar de manera uniforme desde las 6 caras a fin de tener la garantía que se cubrió el área total del equipo. El modelo B contaría con solo dos cañones uno para el rocío de peróxido de hidrogeno y el segundo para emplear ozono, sin embargo, este debe ser contenido en un empaque en conjunto con el equipo médico a desinfectar o en su defecto ambos dentro de una cúpula de cristal que cuente con su extractor de gases para garantizar la dispersión de ozono.

En la siguiente imagen al culminar este párrafo se puede apreciar un equipo de pulverizado propio de la empresa que es capaz de eliminar múltiples patógenos en las superficies que entran en contacto con la solución concentrada esparcida por el equipo, como se expuso previamente un modelo así de compacto es ideal para transporte.



Fig. 8 personal de TecnoBio realizando desinfección

Tal como muestra la figura 8 una ventaja notable de la empresa TecnoBio es la siguiente: maneja el concepto de pulverización electrostática, proceso en el cual la solución se encuentra ionizada con carga negativa, la cual permitirá adherirse a la superficie contaminada con eficacia logrando así la completa distribución uniforme en la zona aplicada[29] medida que de ser considerada para el proyecto actual implicaría el uso de radicales libres los cuales son inestables y dependiendo de las condiciones de su entorno pueden reaccionar de manera violenta, algunos procesos son exotérmicos, esto quiere decir que en la mezcla de compuestos se va liberando energía en forma de calor si bien la variación pequeña de temperatura no es suficiente para cambiar el estado de los compuestos lo que generara es una variación en la presión del gas ozono y esto afectara directamente a los ciclos de desinfección.

Por lo expuesto se puede dar visto bueno a los procesos automatizados de desinfección, ya que reducen el error humano, lo protege de una prolongada exposición y sobre todo los pacientes se ven menos perjudicados a contraer una infección por las condiciones del nosocomio. Hemos visto casos tanto nacional como internacional donde el personal no se da abasto para atender a los pacientes o que cuentan con muy pocos especialistas, como el caso de escasas de habitaciones. Tareas como estas son delegadas al equipo biomédico que vela por la integridad de la instalación y mide los alcances y limitaciones que esta tiene. Tales como contrastar los valores del nivel de desinfección alcanzado con UV-C y ozono mediante pruebas microbiológicas para verificar la eliminación de patógenos en diferentes tipos de equipos médicos.

Como alcance se busca que el dispositivo cumpla con la erradicación mayoritaria de patógenos bastante agresivos y así el impacto sea mucho menor, donde el 5% que resiste a desaparecer está muy debilitado y puede ser controlado por el sistema inmune del paciente. Con esta noticia se busca expandir la disponibilidad del producto no solo a un nosocomio sino a todos los pertenecientes al país y de llegar a internacionalizarse también distribuirlo modernizándolo para que no quede obsoleto y siga compitiendo. Ya que se

estarán evaluando los tiempos de exposición y las condiciones óptimas de operación (temperatura, humedad, concentración de ozono). Para maximizar su eficacia.

Entre los insumos con mayor empleabilidad para los procesos de la desinfección tenemos lo siguiente

TABLA III

Product	Cost to Treat	pH Dependency	Temperature Dependency	Chemical Compatibility	Corrosion	Biodegradability	Disinfecting by-products
Peroxido de Hidrogeno	Low	Low	Low	Good	Low	High	Evaporated Oxygen and Water
Chlorine, Hypochlorite	Moderate	Ultra High	Ultra High	Poor	High	Low	Chlorites, Chlorates, Chloramines, THM
Ozone	Very High	Moderate	High	Poor	High	Low	Hydroxyl radicals
Bromine	Moderate	High	Moderate	Poor	Very High	Low	Bromamines, Bromoform
Peracetic Acid	Moderate	High	High	Poor	Very High	Moderate	Acetic Acid
Chlorine Dioxide	Very High	Low	High	Poor	Very High	Low	Chlorites, Chlorates
Quaternary Compounds	Moderate	High	Low	Poor	Low	High	Benzyl chloride used to manufacture

En base a la tabla 3 se evalúa el costo de producción de cada insumo a fin de evaluar la rentabilidad de estos siendo el peróxido de hidrogeno uno de los más accesibles a comparación del ozono, otro de los puntos mas importantes es evaluar su temperatura de trabajo como el caso de hipoclorito, dicho insumo requiere un constante control de la temperatura dado que la variación del insumo afectara directamente a la calidad del trabajo entregado, por ello se acondicionan parámetros de regulación a fin de salvaguardar el bienestar del producto. Un aspecto que ha tomado mucha fuerza es el impacto ambiental de los insumos. Como el caso de la producción de bormamina obtenido de emplear bromina, este insumo es empleado altamente para la desinfección de piscinas y spas. Sin embargo, el tratamiento para eliminar este residuo conlleva un tiempo y puede prolongarse de no tratarse de forma inmediata.

en procesos Concretar el hito de una cabina automatizada capaz de mejorar la desinfección de equipos médicos y eliminación de patógenos con logosoft en clínicas de alta complejidad ya es una realidad, pero conseguirlo in situ es un reto, ya que se dividió en 3 extensas fases (dosificación, dimensión y optimización de procesos).

La primera implica evaluar el tiempo y cantidad de suministro en el proceso de desinfección. La variable de tiempo varia en cuanto dimensión del equipo a desinfectar y sobre todo cual es el grado de penetración que ha tenido por ejemplo un bisturí solo realiza cortes superficiales y su desinfección es más rápida ya que su tamaño no es mayor de 12 cm, aparte que es solo una pieza rígida. Por otro lado, tenemos los fórceps que sujetan tejido y es un instrumento de grado más profundo de penetración dado que no solo toca la dermis, sino fluidos corporales que basados en su estructura pueden ser solubles en agua o insolubles ante ella, razón por la cual la sola aplicación de peróxido no sería suficiente para la desinfección del instrumento, por ello se acopla el proceso de luz UV-C, se escoge este tipo de luz UV porque no es dañino para la salud como sus homólogos del tipo A y B , quienes producen cáncer a la piel e inclusive ceguera por una exposición prolongada, por ello la OMS sugiere dosis mínimas comprendidas en un intervalo inferior a 15 minutos por 2 a 3 veces a la semana, dado que aportan como beneficio la vitamina D, la cual ayuda al metabolismo con la absorción de calcio y fósforo en alimentos [30]

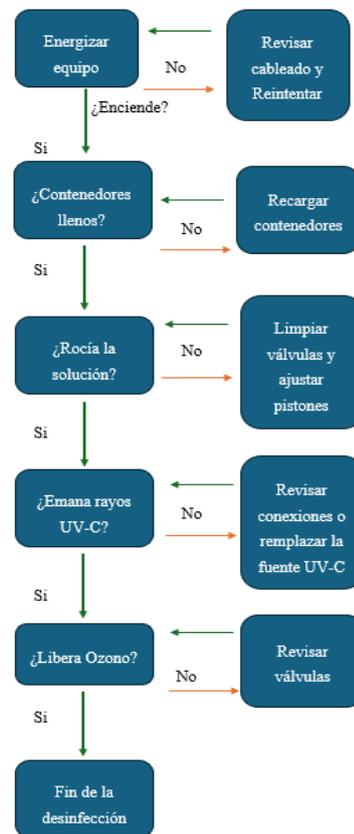


Fig. 9 – flujo del equipo de desinfección y soluciones rápidas

Como indica la figura 9 para comprender mejor el diseño del proyecto se adjunta el diagrama de flujo en cuanto las funciones y posibles soluciones a realizar para mantener activo el equipo en los procesos de desinfección, aunque si llegase a fallar de manera constante existirían mermas que en principio no serían muy significativas como el derroche de solución durante las pruebas de ensayo siempre y cuando el suceso sea eventual.

También como se venía explicando las condiciones del ambiente deben ser aptas y no presentar fallas por sistemas de ventilación los cuales muchas veces condensan el aire hasta volverlo agua y depositarse en parte de las estructuras del nosocomio. Tal como se aprecia en la siguiente imagen.



Fig. 10 – cumulo de agua en techo cerca de luminarias

Con la figura 10 se aprecia un poco de oxido en el soporte para el drywall que está en el techo, asimismo este cumulo está cerca de las luminarias lo cual provocaría un corto circuito y siendo este el mejor escenario, dado que podría producirse un incendio si la chispa es bastante fuerte como para quemar el material del techo y que se propague fácilmente por el nosocomio si el área contiene elementos inflamables, se instruye constantemente al personal para evitar este tipo de siniestros que no solo conlleva a una pérdida económica de estructura sino también tiente contra las vidas de pacientes y trabajadores.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A. Discusiones

Se debatió sobre que problemática abordar y la reciente pandemia fue el candidato ideal para abordar desde un enfoque tecnológico con el fin de poder mejorar los procesos actuales de desinfección y sobre todo evitar la propagación de este. El personal de desinfección realizaba su labor, pero su equipo de protección se desgastaba durante los procesos de limpieza y los dejaba expuestos a contraer no solo el virus COVID sino otros patógenos que están en el ambiente. Ante este detalle surge la idea de automatizar dicho proceso para salvaguardar la vida del personal que se expone directamente mientras realiza su labor. En base a los datos recopilados se procede hacer un modelamiento de las variables implicadas en la ejecución del prototipo.

Por ejemplo, la dosificación de agentes de limpieza, el tiempo que será suministrado y realizar dos escaneos en el equipo a desinfectar. El primero para ver el estado que se recibe y el segundo para ver el estado de entrega, si este último era mejor a lo recibido podríamos catalogarlo como eficiente. Si el prototipo compartía estos lineamientos se puede expresar que es un producto óptimo para el propósito diseñado y en caso de no serlo tenemos la oportunidad de mejorarlo para futuro con un fin más competitivo ante el mercado existente de soluciones, es decir que el prototipo desarrollado muestra adaptabilidad y escalamiento. Tras estar en una primera versión existirán ciertos parámetros a corregir con un margen de error exagerado de un 15%. En este punto el objetivo clave será reducir la brecha de error a un valor de 5% lo cual garantiza para el cliente una mayor confiabilidad.

Los resultados obtenidos por el prototipo frente a los métodos tradicionales se ponen en contraste para corroborar cual es más eficiente y en qué valor, pongamos el caso de una desinfección superficial aplicando peróxido de hidrogeno, pasamos de la colonia inicial a una población más reducida de aproximadamente un 20-30% mientras que aplicar un proceso más complejo donde no solo actúa un agente de limpieza sino hasta 3 (peróxido de hidrogeno, ozono y UV-C). obtenemos un valor por debajo de 10%, este valor es muy esperanzador dado que refleja una alta eficacia en comparación de los modos tradicionales brindando así una desinfección más segura en los equipos médicos.

En teoría se esperaría que una mayor concentración de la dosificación erradique los patógenos, lo cual se cumple en algunos casos donde las condiciones son favorables para el proceso, pero la realidad es otra ya que solo se satura la propagación del virus y se establecen las condiciones que dan

paso a un ambiente húmedo el cual serviría para la proliferación de moho, de este microorganismo lo más letal son sus esporas que desencadenan diversas afecciones respiratorias [9]

B. Conclusiones

El proyecto planteado dio a conocer los alcances que genera implementar una cabina automatizada para la desinfección de equipos médicos a fin de lograr la eliminación de patógenos con Logosoft en clínicas de alta complejidad con un resultado positivo y confianza, donde los patógenos fueron eliminados de manera eficaz y más rápido frente a métodos convencionales. la integración de los rayos UV-C con Ozono resulto bastante eficiente y segura en los equipos médicos.

En primer lugar, hallar la ecuación que se aproxime al cálculo de la dosificación en consumibles, cabe tener en cuenta que el valor varío porque está sujeto a la dimensión de instrumentos, material y su uso. Estos valores quedan registrados en la memoria del controlador a fin de calibrar los parámetros obtenidos. Lo siguiente es evaluar las dimensiones del equipo, como primer modelo se realizará una versión compacta y manejable lo cual permitirá su traslado a cualquier ambiente de la clínica que requiera desinfección aumentando la potencia según la necesidad y el personal debe llevar su EPP para no quedar contaminado.

Por último, los procesos actuales de desinfección son un poco torpes por la intervención humana, es decir son lentos y perjudiciales para el personal que se expone continuamente a varios patógenos en un ambiente confinado, por ello se busca automatizar este proceso a fin de salvaguardarlo y reducir tiempos para obtener una tasa efectiva de reducción infecciosa en nosocomios. Por ello se recomienda la implementación de esta tecnología.

Para versiones posteriores se estaría integrando una pantalla HMI, lo cual haría más atractivo el equipo a comparación del modelo actual en el cual se debe accionar un montón de perillas y botones para lograr un valor objetivo. Así mismo se habilitarán nuevos puertos para la conexión de más sensores orientados a la verificación de condición electrónica del equipo, es decir que se pueda evaluar los voltajes en la entrada y salida de equipos médicos, ya que en la mayoría de casos existe falo contacto y entregan voltajes anómalos o tienen una interferencia de tierra durante su funcionamiento y se bloquean. Lo cual al manifestarse de manera continua estaría forzando el inicio del equipo llevándolo poco a poco a su fin de uso dejándolo obsoleto. Otra de las mejoras es crear un módulo que permita la operatividad remota del equipo desde un teléfono móvil, de esta manera se podrá asistir al personal que requiera apoyo.



Fig. 11 – Panel SIMATIC HMI KTP400 Basic PROFINET

En base a la figura 11 con la implementación de esta pantalla se tiene un mejor monitoreo y control de parámetros, ya que permite una visualización más atractiva e indexar las funciones dentro de un menú desplegable el cual no solo muestra un formato, según el diseño en la programación se obtendrán diversos resultados.

Si bien la primera versión del equipo de desinfección se basa en una cámara estacionaria con una capacidad bastante reducida, su siguiente versión rompe este espacio buscando así llegar a abarcar equipos clínicos de mayor dimensión. Con ello pasamos de instrumentos quirúrgicos para desinfección a un alcance más amplio que abarcar desfibriladores, equipos de ventilación mecánica y volumétrica como a su vez alcanzar electrobisturías. Estas versiones, aunque requieren el actuar de un personal se proyecta que la siguiente mejora emplee IA y el equipo sea capaz de entrenarse para mejorar los tiempos de desinfección según la identificación previa que esta realice para cada equipo específico, esta acción se realizaría sin intervención de un operario. Para mayor alcance se buscará implementar un cuarto inteligente en donde mediante una faja pase el equipo a la habitación y se realiza el ciclo de desinfección e inmediato un proceso de esterilización. Para así aprovechar los insumos obtenidos de los procesos con el fin de darles una segunda vida útil a estos residuos obtenidos por ciclo de trabajo.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Agradezco a mi familia que me ha brindado su apoyo constante, profesores quienes me inculcaron sus conocimientos, compartieron experiencias y me inspiraron a superar cada obstáculo, asimismo agradezco a mis amigos que me ayudaban a despejarme cuando estaba saturado; sobre todo un agradecimiento a mi asesor que creyó en mí, me brindo su comprensión y apoyo incondicional.

REFERENCIAS

[1] Díaz, P., Fernández, R., & González, M. (2021). Automation of disinfection processes in hospitals. *Journal of Hospital Infection*, 108(3), 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.06.009>

[2] Farrar J. (2024). *Los principales organismos de salud establecen una terminología actualizada para los patógenos transmitidos por el aire*. OMS. <https://www.who.int/es/news/item/18-04-2024-leading-health-agencies-outline-updated-terminology-for-pathogens-that-transmit-through-the-air>

[3] López V. (2020). *Cabina de desinfección automatizada para combatir el coronavirus en hoteles, restaurantes y empresas*. La Barra. <https://www.revistalabarra.com/es/noticias/cabina-de-desinfeccion-automatizada-para-combatir-el-coronavirus-en-hoteles-restaurantes-y>

[4] Smith, J., et al. (2020). *Automated UV Disinfection System for Surgical Instruments*. *Journal of Hospital Infection*, 105(1), 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.005>

[5] Pérez, M., et al. (2021). *Evaluación de Cabinas de Desinfección Automática con Peróxido de Hidrógeno*. *Revista Peruana de Salud Pública*, 32(3), 245-253.

[6] Gómez, A. (2022). *Prototipo de Cabina Automatizada para la Desinfección de Equipos Médicos en Zonas Rurales*. Universidad de Piura.

[7] CDC. (s.f.). *Guía para la Desinfección y Esterilización en Instalaciones Sanitarias*. *Infection Control*. <https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/disinfection-sterilization/chemical-disinfectants.html>

[8] Materiales de Laboratorio (s.f.) *Espectrofotómetro*. Materiales de Laboratorio <https://materialeslaboratorio.com/espectrofotometro/>

[9] PERERA, A. (s.f.). *¡LOGO! de SIEMENS, ¿qué es? ¿Es realmente un PLC?* *Automatismos Mundo - Electricidad, Automatización y Domótica para todos*. <https://automatismosmundo.com/logo-de-siemens-que-es-es-realmente-un-plc/>

[10] ESTEMATICA (2019) *ANOVA Minitab*. ESTEMATICA <https://estematica.net/anova-minitab/>

[11] MURPROTEC (s.f.) *Las humedades provocan serios problemas de salud: alergias, asma, dolores e incluso enfermedades pulmonares*. MURPROTEC. <https://www.murprotec.es/consecuencias-humedades/salud/>

[12] Indolora (s.f.) *¿Sabes que es el AMBU?*. Indolora <https://indolora.es/sabes-que-es-el-ambu-un-ambu-del-ingles-airway-mask-bag-unit-tambien-con/>

[13] Materiales de Laboratorio (s.f.) *Espectrofotómetro*. Materiales de Laboratorio <https://materialeslaboratorio.com/espectrofotometro/>

[14] Quiroz C. (2020) *La Gestión de Equipo Médico en los retos del Sistema Nacional de Salud: Una Revisión*. Scielo https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322020000100141

[15] Solvay peróxidos (2024) *Peróxido de Hidrógeno*. Brasil <https://www.peroxidos.com.br/es/aplicaciones>

[16] National Human Genome Research Institute (s.f.) *ARN (ácido ribonucleico)*. USA <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/%C3%81cido-ribonucleico-ARN>

[17] Kowalski, W. (2020). *Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9>

[18] Boczkaj G., Fernandes, A., & Ramos, P. (2019) *Ozone-based technologies in water and wastewater treatment. Ozone: Science & Engineering*, 41(1), 3-12. <https://doi.org/10.1080/01919512.2018.1548610>

[19] Instituto Asteco (s.f.). *Cavitación: uno de los fenómenos de desgaste – InstitutoAsteco*. InstitutoAsteco. <https://institutoasteco.com/asteco/cavitacion-uno-de-los-phenomenos-de-desgaste/>

[20] Química. (s.f.). *Cobre*. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Cobre.html#Propiedades.f.C3.ADsic>

[21] INCOTERM. (s.f.). *Tuberías de cobre para un sistema de refrigeración* INCOTERM. <https://incoterm.com/tuberias-de-cobre-para-un-sistema-de-refrigeracion/>

[22] Lanterna. (s.f.). *Posibles riesgos de la luz UV-C germicida*. Lanterna. <https://lanterna.mx/investigacion/posibles-riesgos-al-usar-luz-germicida/>

[23] Boston Electronics. (s.f.). *UV Detectors, Sensors and Probes*. Boston Electronics. https://shop.boselec.com/collections/uv-sic-sensors/uvc-225-287nm?sort_by=manual

[24] Hospiten. (s.f.). *Información sobre Ozonoterapia*. Hospiten <https://hospiten.com/informacion-sobre-ozonoterapia>

[25] SANITAS. (s.f.). *Efectos del ozono sobre la salud*. Sanitas. <https://www.sanitas.es/biblioteca-de-salud/estilo-vida/efectos-ozono>

[26] Prana Air. (s.f.). *Sensor Ozono O3 50 PPM | Electroquímica | Prana Air*. Prana Air. <https://www.pranair.com/es/air-quality-sensor/ozone-o3-sensor/>

[27] Chemeurope. (s.f.). *Trioxidane*. [chemeurope.com - The chemistry information portal from laboratory to process. https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Trioxidane.html](https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Trioxidane.html)

[28] Lenntech. (s.f.). *Applications of peroxone as a disinfectant*. Lenntech. <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-peroxono.htm>

[29] TecnoBio. (s.f.). *Desinfección de microorganismos* TecnoBio. <https://www.tecnobio.es/desinfeccion-superficies-microorganismos/>

[30] CDC. (2023) *Radiación UV*. U.S.A. <https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/radiacionuv/index.html>