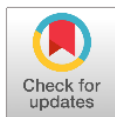




Artículo de investigación



# Automatización de inoculación en medios de cultivo para el laboratorio de microbiología

## *Automation of inoculation in culture media for the microbiology laboratory*

Pablo Jonatán Flores Medina , Paola Garibay Murillo , Guillermo Rey Peñaloza Mendoza 

TecNM – Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Av. Tecnológico #1, Zurumutaro, Pátzcuaro, Michoacán, México

**Autor de correspondencia:** Guillermo Rey Peñaloza Mendoza, TecNM - Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, e-mail: [grey@itspa.edu.mx](mailto:grey@itspa.edu.mx). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2795-670X>

Enviado: 15 de Agosto del 2023

Aceptado: 27 de Octubre del 2023

Publicado: 9 de Noviembre del 2023

**Resumen.** - Los laboratorios clínicos pertenecientes al sistema de salud en México son de los departamentos más discriminados debido a factores como fuentes de financiamiento ya que necesita de una fuerte gestión administrativa, así como la dependencia de basta infraestructura, recurso material y humano. La neumonía, enfermedad que puede detectarse en una etapa subclínica, es la 2da causa de muertes por infecciones respiratorias en México y está a su vez, es la 7ma causa de muerte en el país. Para el diagnóstico temprano de enfermedades causadas por microorganismos como la recién mencionada, se realizan exámenes de laboratorio, entre los que destacan la inoculación en medios de cultivo para la proliferación de dichos microorganismos, sin embargo, las técnicas utilizadas son manuales, retrasando el avance tecnológico aplicado en términos de automatización, lo que permitiría tener mejores flujos de trabajo con menos recursos. Un gran reto en la automatización del proceso es la contaminación cruzada que se da en el momento de realizar la inoculación, así como la descontaminación y esterilización posterior a la siembra. Considerando esto, se desarrolló el modelo de un dispositivo que realice el proceso de cultivos microbiológicos de forma automática, haciendo énfasis en las variables involucradas para evitar contaminación cruzada y la esterilización de las zonas, comparando diversas técnicas de descontaminación, las que mejor nos ajusta es por medio de exposición a luz UV, ya que evitamos el mal funcionamiento de componentes electrónicos por temperatura.

**Palabras clave:** Laboratorio clínico; Estría; Siembra de cultivos; Microorganismos; Contaminación cruzada.

**Abstract.** - The clinical laboratories belonging to the health system in Mexico are among the most discriminated departments due to factors such as sources of financing, as it requires strong administrative management, as well as the dependence on vast infrastructure, material, and human resources. Pneumonia, a disease that can be detected in a subclinical stage, is the 2nd cause of death from respiratory infections in Mexico and is, in turn, the 7th cause of death in the country. For the early diagnosis of diseases caused by microorganisms such as the one just mentioned, laboratory tests are performed, including inoculation in culture media for the proliferation of said microorganisms, however, the techniques used are manual, delaying technological progress. applied in terms of automation, which would allow better workflows with fewer resources. A great challenge in automating the process is cross contamination that occurs at the time of inoculation, as well as decontamination and sterilization after sowing. Considering this, the model of a device that performs the microbiological culture process automatically was developed, emphasizing the variables involved to avoid cross contamination and sterilization of the areas, comparing various decontamination techniques, the ones that best fit us are through exposure to UV light, since we avoid the malfunction of electronic components due to temperature.

**Keywords:** Clinical laboratory; Streak; Culture sowing; Microorganisms; Cross contamination.



## 1. Introducción

Los laboratorios clínicos son una parte esencial del sistema de salud en México, sin embargo, enfrentan diversos desafíos que los hacen ser uno de los departamentos más discriminados. Entre estos desafíos se encuentran la necesidad de una sólida gestión administrativa y la dependencia de una amplia infraestructura, recursos materiales y

personal altamente capacitado. Estas dificultades se vuelven especialmente críticas en el contexto del diagnóstico temprano de enfermedades, como la neumonía, que constituye la segunda causa de muertes por infecciones respiratorias en el país [1] y la quinta causa de muerte en general [2], en la Tabla 1 se muestra una relación de las principales causas de muerte en el 2021.

**Tabla 1.** Principales causas de muerte desglosadas por sexo Enero – Junio 2021 [2].

Rango	Total	Hombre	Mujer
1	COVID-19 145 159	COVID-19 89 716	COVID-19 55 437
2	Enfermedades del corazón 113 899	Enfermedades del corazón 63 617	Enfermedades del corazón 51 276
3	Diabetes mellitus 74 814	Diabetes mellitus 38 355	Diabetes mellitus 36 056
4	Tumores malignos 44 197	Tumores malignos 21 482	Tumores malignos 22 714
5	Influenza y neumonía 20 956	Enfermedades del hígado 15 041	Enfermedades cerebrovasculares 9 161

Para detectar enfermedades causadas por microorganismos, como la neumonía, los laboratorios clínicos llevan a cabo exámenes que incluyen la inoculación de muestras en medios de cultivo para la proliferación de dichos microorganismos [3, 4]. Lamentablemente, estas técnicas de inoculación aún son realizadas de forma manual, lo que retrasa el avance tecnológico y la automatización del proceso [5-7].

La falta de automatización en la siembra de microorganismos en los laboratorios clínicos puede tener un impacto negativo en la eficiencia, precisión y capacidad de respuesta de estos laboratorios, ya que la implementación de tecnologías automatizadas puede ayudar a superar estos problemas y mejorar significativamente la calidad de los servicios de diagnóstico y atención médica proporcionados por los laboratorios clínicos, permitiendo mejorar los flujos de trabajo y reducir el uso de recursos [8-10].

Sin embargo, la automatización presenta desafíos significativos: la contaminación cruzada que puede ocurrir durante la inoculación, así como la descontaminación y esterilización posterior. Resolver este problema se vuelve crucial para garantizar resultados precisos y confiables en el diagnóstico temprano de enfermedades infecciosas [11].

En este contexto, es fundamental abordar los obstáculos que enfrentan los laboratorios clínicos en México para lograr una mejora significativa en la detección y diagnóstico de enfermedades, y así contribuir a la salud y bienestar de la población. La implementación de tecnologías automatizadas y métodos de prevención de contaminación podría marcar la diferencia en la eficiencia y precisión de los servicios médicos proporcionados por estos laboratorios. Para ello se propone el desarrollo de un dispositivo que automatice el proceso de inoculación de microorganismos de manera automática, haciendo énfasis en eliminar la contaminación

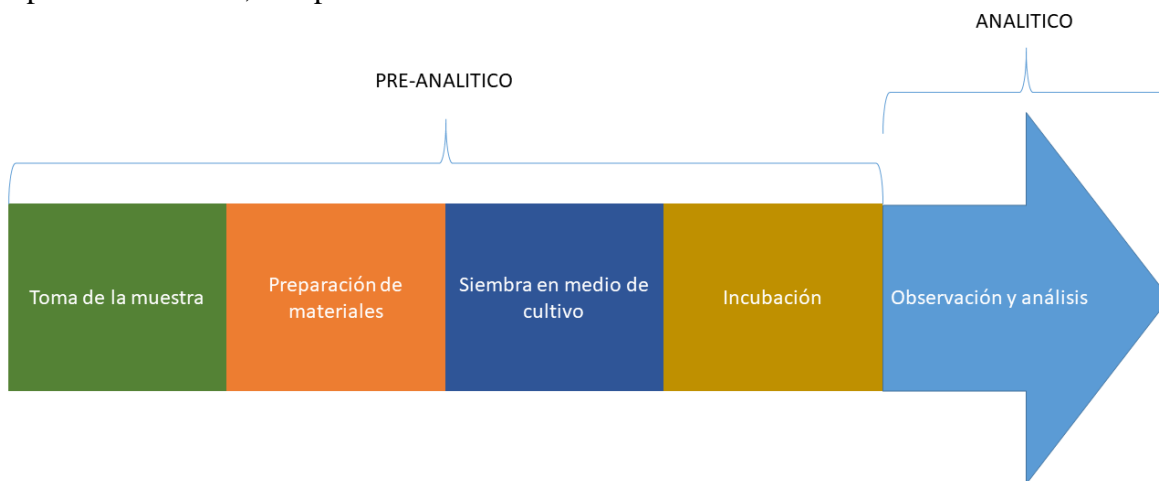


cruzada sin comprometer el funcionamiento correcto de los materiales utilizados, así como su esterilización.

## 2. Estado del arte

Para que la automatización tenga éxito, debe ser flexible para reafirmarse, adoptar el elemento

humano y adaptarse a los desafíos de la diversidad de muestras, entendiendo lo anterior mencionado, se muestra en la Figura 1 el proceso que se debe seguir en el proceso manual para obtener las siembras de microorganismos [12-14].



**Figura 1.** Flujo de trabajo para obtener cultivos microbiológicos (Fuente propia).

La etapa preanalítica ocupa una gran parte de la carga de trabajo, donde la inoculación de las muestras en placas de agar consume el 25% del tiempo de procesamiento inicial de las muestras [15]. Actualmente existen equipos con diferentes diseños y alcances de automatización para la siembra de muestras que se comunican con el sistema informático del laboratorio y permiten seleccionar el tipo de medios de cultivo, inoculan, siembran y etiquetan las placas. Estos equipos pretenden resolver problemas de calidad y estandarización de la estría o inóculo, contaminación cruzada, tiempo de procesamiento y costos en reprocesos, por consiguiente, ahorro en tiempo y reactivos [16, 17]. En términos generales, todos estos equipos utilizan muestras líquidas o medios de transporte líquido.

Si bien, cada fabricante puede tener sus técnicas de cultivo, el problema de esterilización y contaminación cruzada sigue estando presente,

para disminuir estos problemas, en técnicas manuales se controlan variables que garanticen una mejor bioseguridad para el usuario y un mejor resultado de siembra [18]. Las variables involucradas son las siguientes [19]:

- **Limpieza y desinfección**
  - Uso de material estéril
  - Manipulación adecuada de las muestras
- **Siembra en áreas separadas**
  - Cambio de asas entre muestras
  - Uso de medio selectivo
  - Lavado de manos
- **Control de temperatura**
  - Registro adecuado
  - Formación y capacitación del personal.

Donde, las variables resaltadas son las de mayor importancia en el diseño del dispositivo, ya que, son propias del proceso, las que no están resaltadas se dividen entre la toma de muestra



(ajena al proceso) y tareas que se anulan por efecto de la automatización.

## Temperatura

Los microorganismos tienen un margen de temperaturas en el cual pueden crecer. Este margen viene delimitado por la temperatura máxima de crecimiento, a partir de la cual no pueden vivir e incluso mueren; la temperatura mínima por debajo de la cual no pueden crecer,

aunque generalmente no mueren; y la temperatura óptima a la cual ofrecen el mejor crecimiento. La temperatura afecta a la velocidad de crecimiento (y, por lo tanto, al tiempo de generación). Cada bacteria (y suponiendo que el resto de condiciones ambientales se mantienen constantes) muestra una curva característica, como la mostrada en la Figura 2, de tasa de crecimiento en función de la temperatura, donde podemos distinguir tres puntos característicos llamados temperaturas cardinales [20].

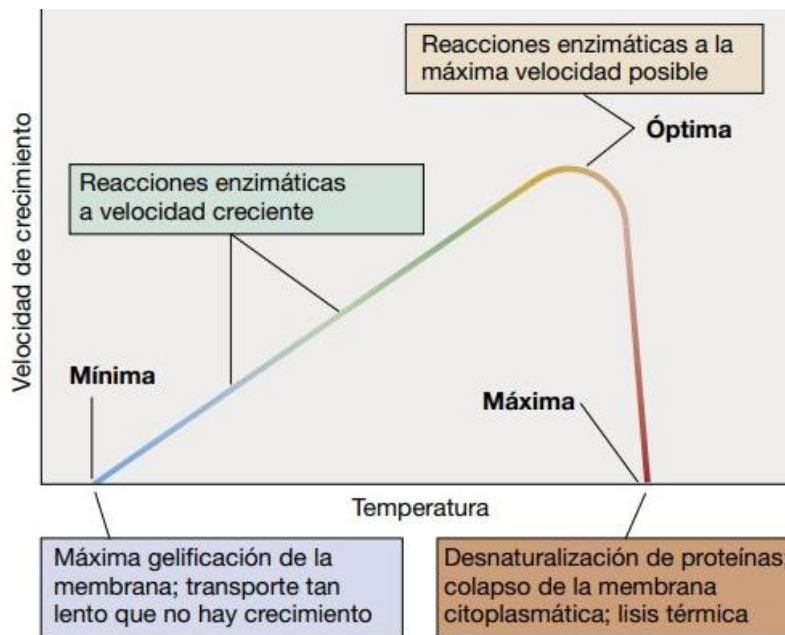


Figura 2. Efectos de la temperatura en el crecimiento microbiológico. [23]

Durante la siembra, es esencial mantener una temperatura adecuada en el laboratorio. Una temperatura excesivamente alta o baja puede afectar la estabilidad de los medios de cultivo y la calidad de los resultados. Por lo general, se busca mantener una temperatura ambiente controlada y estable en torno a 20°C a 25°C [20].

### 2.1. Luz UV-C como germicida

La luz UV es la radiación electromagnética con longitud de onda más corta que la luz visible y más larga que los rayos X; se divide en UV-Cercano (380-200 nm), UV-Lejano (200-10 nm)

y UV-Extremo. Considerando el efecto de la radiación sobre la salud humana y el medio ambiente, a una longitud de onda de 100 a 400 nm, se divide en: UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm), UV-C (200-280 nm) y Vacío-UV (100-200 nm) (a veces considerada UV-C o UV-Extremo). En la literatura, han sido documentadas variaciones en los intervalos y la nomenclatura. La luz UV-C posee el mayor efecto germicida, específicamente entre 250 y 270 nm, y la máxima eficiencia para la desinfección se sitúa específicamente a 254 nm [21].



La inactivación del número de microorganismos depende principalmente de la dosis, pudiéndose compensar un menor tiempo de exposición con una mayor irradiación. La dosis necesaria para conseguir inactivaciones del 99, 99,9 y 99,99% son, respectivamente: 2, 3 y 4 veces la dosis para un 90% de inactivación o un 10% de supervivencia, es decir, si una determinada exposición a los rayos UV inactiva al menos el 90% de una población bacteriana, duplicar el tiempo o la intensidad de la exposición puede inactivar el 90% del 10% de microorganismos restantes, para una eficacia germicida general del 99%. En la mayoría de los casos las dosis usadas abarcan un intervalo desde los 0,2 hasta los 20 kJ/m<sup>2</sup> [22]. En la Tabla 2 se muestra una relación entre los microorganismos a eliminar y la dosis de radiación necesaria.

Ahora bien, igualmente la distancia entre la lámpara y el sustrato, el grado de turbidez de la vía de propagación de la luz, afectan la dosis que finalmente alcanza la muestra. Igualmente, este tipo de tratamiento requiere que toda la superficie del objeto quede expuesta a la luz UV durante el tiempo suficiente para que cualquier

microorganismo presente pueda acumular la dosis letal. Por lo que es limitada la capacidad de predicción de la tasa de desinfección de la luz UV. Dado que pueden producirse interacciones complejas entre los microorganismos y la composición de la superficie, la eficacia de la luz UV depende de la estructura de la superficie o topografía y presenta su limitación debido al efecto sombra. Una distancia menor o igual a ocho pies es una distancia adecuada para un 99.9% de desinfección, considerando un tiempo de funcionamiento de aproximadamente 30 minutos [23]. La intensidad de irradiación (mW/cm<sup>2</sup>), se puede calcular mediante la ecuación (1).

$$D = \left[ \frac{I * t}{1000} \right] \quad (\text{Ec 1})$$

Donde:

- D = dosis de irradiación (kJ/m<sup>2</sup>)
- I = intensidad de irradiación bajo el área de emisión de luz UV-C (W/m<sup>2</sup>)
- t = tiempo de exposición

**Tabla 2.** Dosis de inactivación de diferentes grupos microorganismos [21].

Microorganismo	Mínima dosis rango 99.9% ml/cm <sup>2</sup>	Máxima dosis rango 99.9% ml/cm <sup>2</sup>
Esporas	<6	370
Bacterias	1.5	39
Protozoario	<1	132
Virus	5	246
Algas y otros	>60	720

### Mecanismo de desinfección

El mecanismo de desinfección por luz UV-C, se efectúa por una reacción de foto sensibilidad del microorganismo ante la radiación de onda corta, en donde su ADN es afectado, logrando de esta manera la inactivación. La reacción de inactivación ocurre debido a un mecanismo de dimerización del ADN, efecto que es causado

debido a la inducción de la formación de dímeros de pirimidina, que alteran las hélices de ADN y los bloques de replicación de las células microbianas, que destruyen la capacidad de reproducción y otras funciones de la célula. El mecanismo de daño biológico es consistente con la absorbancia de la luz ultravioleta por el ADN, que alcanza su máximo en la banda UV-C





alrededor de 260 nm [24], el daño puede verse representado en la Figura 3.

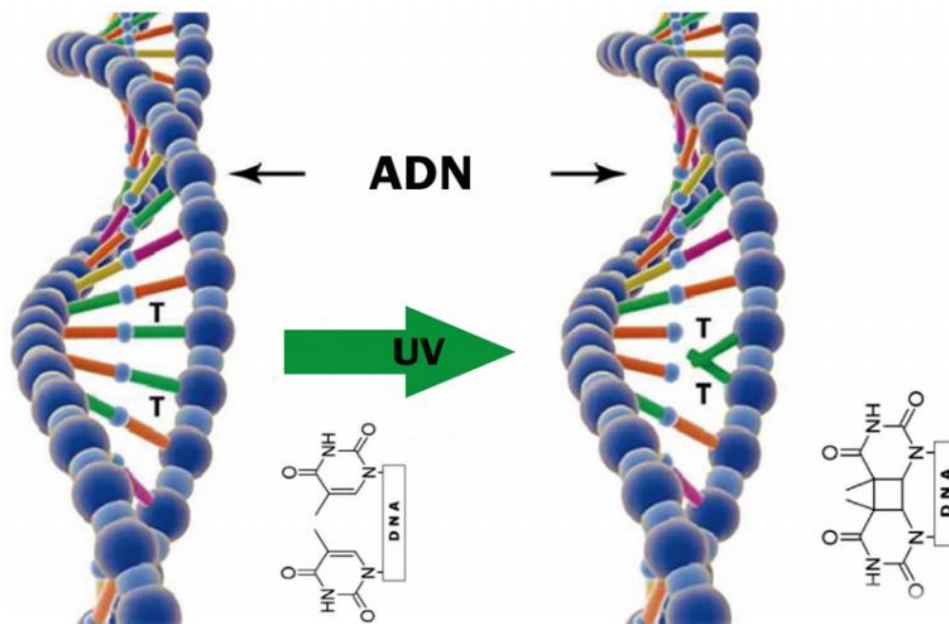


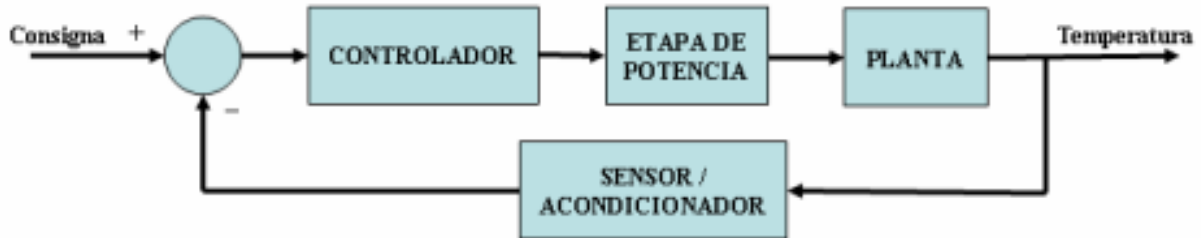
Figura 3. Dimerización del ADN, como efecto de la incidencia de luz UV-C [25]

### 3. Metodología

Por medio de una investigación mixta de alcance experimental, se desarrollaron modelos 3D con el software fusión 360 del dispositivo de automatización para inoculación en medio de cultivo. Se realizó el modelo de la zona de inoculación, tomando como inspiración el funcionamiento de las incubadoras neonatales, ya que según CENETEC, la incubadora neonatal es un equipo médico cerrado, que consta de un capacete transparente lo que permite aislar al paciente sin perder contacto visual con él, con el fin de proporcionarle un medio ambiente con temperatura y condiciones preestablecidas, esto para favorecer el desarrollo del neonato [25, 26], a diferencia del neonato, el desarrollo en el diseño es para crear un ambiente óptimo con las variables controladas necesarias para el crecimiento microbiológico en la zona aislada, los aspectos importantes que se consideraron en el diseño son; la doble cúpula o capacete y el

principio de transferencia de temperatura por convección [27], justificados por su simple mecanismo en el que se hace ingresar un flujo de aire del exterior, se calienta con una resistencia y se dirige con un ventilador hacia el espacio existente entre la doble cúpula, se consideró un área para el flujo de entrada y una de salida, aquí donde termina su recorrido dentro del capacete para posteriormente ser expulsado hacia el exterior, es importante mencionar que en el recorrido que realiza el flujo de aire se colocan sensores de temperatura y controles que manipulan las variables para obtener las acciones deseadas, así como la implementación de filtros de aire que cumplen con otra función preventiva del ingreso de partículas contaminantes y la salida de estos mismos.

El control de la temperatura es fundamental en el proceso automático, por ello, se hace uso de la teoría de control clásico [28], se usa el esquema de lazo cerrado de la Figura 4.



**Figura 4.** Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado [29].

Donde, la planta a controlar está constituida por el sistema de temperatura, el diseño del controlador se ha hecho pensando en el problema que existe al manipular la temperatura que es una dinámica lenta. El sistema térmico estará constituido por una resistencia calefactora, montada sobre una placa que estará debajo del capote [30, 31].

La etapa de potencia, está constituida por una fuente de corriente que tiene como elemento de potencia un transistor. Para la retroalimentación, se usará un sensor de temperatura comercial como lo es el LM35DZ, este se colocará en el área de salida del flujo.

En la etapa de control, el diseño de la acción proporcional nos otorgara la diferencia entre el valor medido de la variable y el valor de referencia. Esta diferencia, conocida como error, se multiplica por una constante proporcional ( $K_p$ ), donde la acción proporcional responde de manera directamente proporcional al error, la acción integral toma la integral del error acumulado y lo multiplica por una constante integral ( $K_i$ ) para obtener la salida del controlador y finalmente la derivativa que permite evitar las fuertes oscilaciones que se pueden producir en torno a la referencia dotando al sistema de dotar al sistema de una cierta capacidad de “anticipación”.

Se desarrolló el control PID de manera que se pudieran variar las ganancias de cada acción para

encontrar los valores que mejor se adapten a nuestra planta. La faceta estética del proyecto se plasmó mediante el uso de MDF de 3mm como material base, y su diseño se desarrolló utilizando la plataforma Fusion 360 para crear vectores de corte y mediante el uso de la herramienta “origin” propia del software, se exporto como archivo SVG para cortarse en una maquina CNC laser.

El diseño del PID se realizó de manera electrónica, esto pensando en disminuir la demanda computacional para el prototipo, bajo esta premisa, se emplearon amplificadores operacionales TL084 que albergan internamente cuatro amplificadores operacionales de entrada JFET de alta velocidad.

Se realizaron pruebas del controlador en el software de Matlab, donde se le otorgaron valores simulados de una planta con un comportamiento similar al que se utiliza y su respuesta a un escalón unitario. Posteriormente, de realizo el modelo 3D en Fusion360 de un cuarto oscuro, esto con la intención de detectar la mejor posición que debe tener la fuente de luz UV-C respecto al material radiado y así tener la mayor exposición de dosis letal.

Se construyó el cuarto oscuro con dimensiones de 55cm de largo, 15cm de base mayor, 12cm base menor y 20cm de alto, con lamina lisa de calibre 90 y una fuente de luz UV comercial de longitud de onda 254nm, 15W y 120V.



Se realizaron cultivos de bacterias Gram (+) y Gram (-) con la intención de someterse a la radiación de la luz comercial y analizar sus efectos sobre las mismas [32, 33]. Se realizaron los cálculos tomando en cuenta los materiales utilizados:

- Para la determinación de la intensidad de la lámpara se usa la fórmula de irradiación de una fuente de luz (2), en unidades de potencia (watts) por m<sup>2</sup>, luego se transforma a unidades de W/m<sup>2</sup> para el uso de las dosificaciones recomendadas.

$$I = \frac{P}{A} \quad (\text{Ec 2})$$

Donde:

I = intensidad de la lámpara

P = potencia de la lámpara (W)

A = área radiada (m<sup>2</sup>)

Según nuestras características obtenemos:

$$I = \frac{15W}{0.0825m^2}$$

- La determinación del tiempo de exposición se encuentra representada por (3):

$$t = \frac{D}{I} \quad (\text{Ec 3})$$

Donde:

t = tiempo de exposición

D = dosis (J/m<sup>2</sup>)

I = intensidad de la lámpara (W/m<sup>2</sup>)

Por tanto, las dosis obtenidas son:

$$D = \frac{181.81W}{m^2} * t$$

Para determinar la eficacia de la descontaminación se utilizó el cálculo de reducción bacteriano, este se logra realizando un conteo bacteriano antes de comenzar el proceso. El resultado se expresa en unidades formadoras de colonias (UFC) por mililitro o por gramo de muestra.

1. Después de completar el proceso de desinfección o tratamiento, se toma una muestra de la muestra tratada y se realiza un conteo bacteriano nuevamente. Esto proporcionará el número final de bacterias que quedan después del proceso. Al igual que en el paso anterior, el resultado se expresa en UFC por mililitro o por gramo de muestra.

2. La reducción bacteriana se calcula restando el número final de bacterias (NF) del número inicial de bacterias (NI) y dividiendo el resultado entre el número inicial de bacterias (NI). La fórmula para calcular la reducción bacteriana es (4):

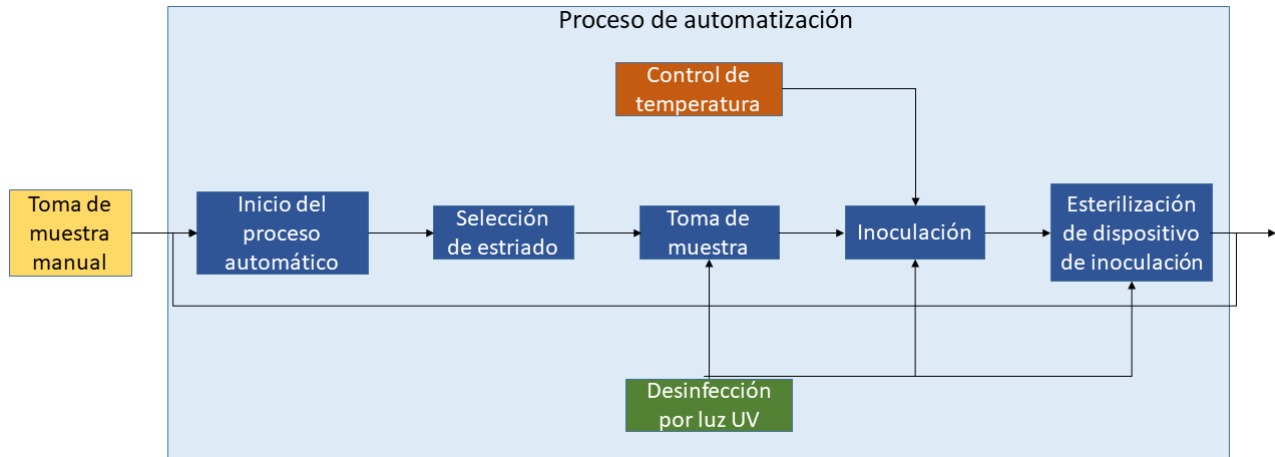
$$R = \frac{NI - NF}{NI} \quad (4)$$

3. La reducción bacteriana se expresa típicamente como un porcentaje, lo que indica la disminución de la población bacteriana después del proceso. Para ello, el resultado se multiplica por 100%.

$$\text{Red. Bacteriana} = R * 100\% \quad (\text{Ec 5})$$

A continuación, se muestran en la Figura 5 las áreas del proceso de inoculación y donde se realizarán las acciones anteriormente mencionadas, la toma de muestra, aunque es parte del pre analítico no se considera dentro de la automatización por lo que esta seguirá siendo tomada por personal capacitado o un profesional del área.



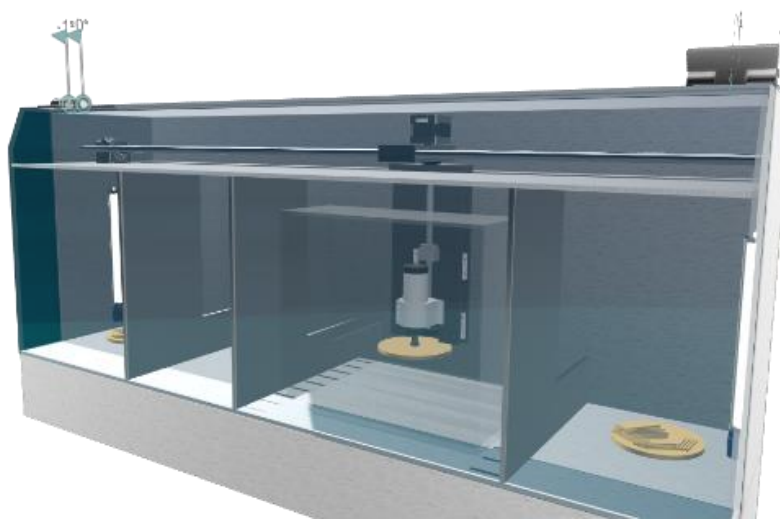


**Figura 5.** Proceso de automatización y áreas importantes de desinfección y control de temperatura. (Fuente propia).

#### 4. Resultados

Tomando en cuenta las características físicas de las incubadoras neonatales, se desarrolló el

modelo del dispositivo, contando con la doble cúpula y entradas y salidas de aire, esto se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Modelo 3D de dispositivo de inoculación en Fusion360 (Fuente propia).

El proceso se realiza en un total de 4 departamentos, en la primer área, se elige el tipo de estriado entre una serie de patrones mediante un desplazamiento en el eje Z, posteriormente, avanza a la segunda área donde el dispositivo con el patrón del inóculo se impregna de muestra, en el tercer departamento se realiza el inóculo con el control de la variables para finalmente concluir en el cuarto departamento donde se realiza la

esterilización de las áreas y se reinicia las configuraciones para comenzar nuevamente el proceso.

El diseño del PID se llevó de dos partes, la carcasa, se aprecia en la figura 7 el render del modelo 3D en fusión 360 y su corte en una maquina CNC y ensamblaje físico en la figura 8.

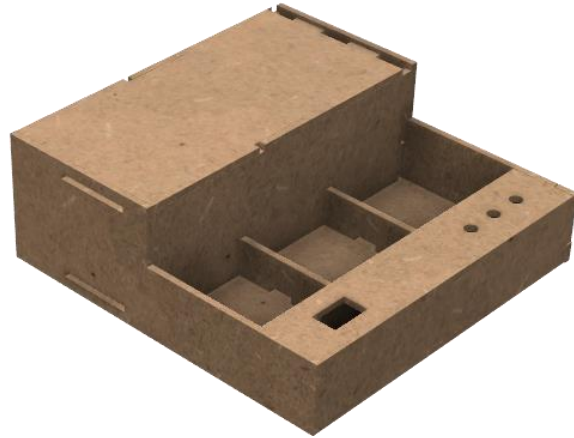


Figura 7. Modelo 3D de la carcasa del control PID en Fusion360 (Fuente propia).



Figura 8. Modelo físico de la carcasa del control PID (Fuente propia).

La segunda parte del control PID se divide en el segmento electrónico, en el que se desarrollaron los circuitos electrónicos mostrados en la Figura

9 y se realizó su parte física en baquelita con la técnica de planchado.

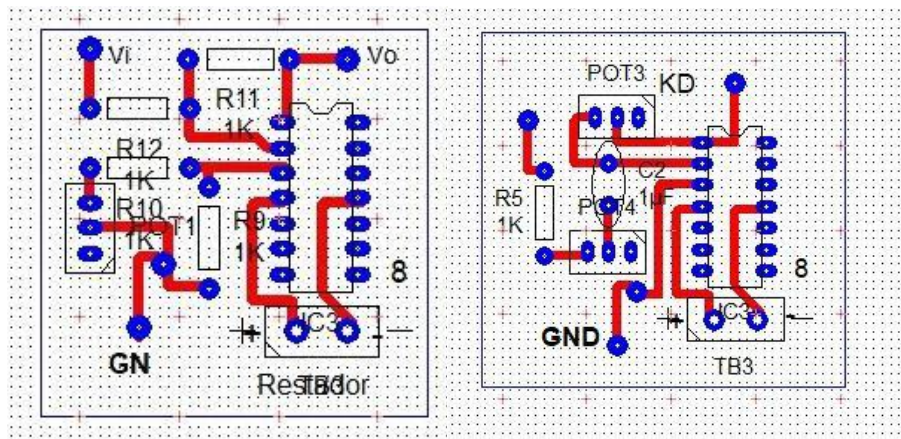


Figura 9. Circuitos electrónicos, Restador del lado izquierdo y Kd del lado derecho (Fuente propia).



Se probó el funcionamiento del controlador con un motor de DC como planta que permite controlar la posición del mismo [34], para ello se utilizó un osciloscopio, un setpoint que varía de

1-5V y un potenciómetro acoplado al eje rotatorio del motor que toma el trabajo de sensor, las pruebas se observan en las señales de la Figura 10.

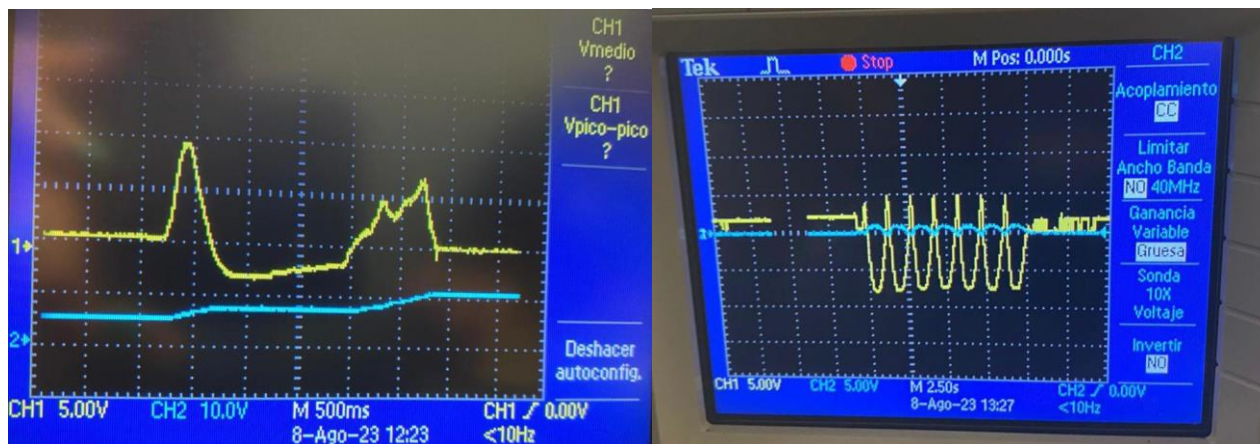


Figura 10. Pruebas del controlador en osciloscopio (Fuente propia).

La señal amarilla representa el valor deseado o el comportamiento que queremos tener en el sistema y la azul el error, a su vez, del lado izquierdo acción proporcional y lado derecho acción proporcional con KP que hace que el sistema se encuentre en estado crítico. En ambos casos, las variables K del controlador PID hacen que el sistema reaccione de formas distintas.

Con el correcto funcionamiento del controlador PID analógico, se cambió la planta a una de control de temperatura, donde se realiza el sensado por medio de un transductor de

temperatura y se corrige el error haciendo aumentar o disminuir el voltaje en una resistencia eléctrica calefactora, con esto, se garantiza una temperatura adecuada en el interior del tercer departamento donde se realiza el inoculo.

Para el modelo del cuarto oscuro, se tomaron en cuenta las medidas y distancias adecuadas para obtener mejor dosis de exposiciones de la luz UV-C, en base a eso se realizó el diseño del sistema tal como se muestra en la Figura 11, este sirvió como base para realizar la construcción física, tal como se ve en la Figura 12.



Figura 11. Modelo 3D de cuarto oscuro en Fusion360 (Fuente propia).



**Figura 12.** Construcción de cuarto oscuro (Fuente propia).

Se construyó el cuarto oscuro para realizar las pruebas de exposición de diversos microorganismos [35].

Los microorganismos utilizados para la exposición fueron colonias de bacteria tomadas

de colonias *lactobacillus* Gram (+), *lactobacillus* Gram (-), así como muestras de diversas frutas (manzana, fresa, guayaba, pera, tomate y aguacate), todas a la misma exposición de tiempo y distancia, los resultados son representados en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Efecto de la exposición de diversas muestras a diferentes dosis de luz UV-C (Fuente propia).

Microorganismo	Dosis 1 minuto	Dosis 5 minutos	Dosis 10 minutos
Lactobacillus Gram +	96%	99.99%	99.99%
Lactobacillus Gram -	97%	99.99%	99.99%
<i>Escherichia coli</i> (Obtenidas de fresa, manzana y durazno)	94%	99.99%	99.99%
Levaduras	-	-	-
<i>Salmonella</i> (Obtenidas de papaya y lechuga)	98%	99.99%	99.99%

Se logró controlar el disparo de luz UV en tiempos programados, según los resultados obtenidos, la mejor dosis se logra con un tiempo de exposición de 5 minutos en el área designada para el dispositivo, ya que, con 1 minuto aún hay crecimiento de microorganismos y con 10 minutos o más, es mínima la diferencia que existe en comparación a 5 minutos, con el problema que hace lento el proceso y genera calor que puede dañar la integridad del agar.

#### 4. Conclusiones

La siembra microbiológica permite el cultivo y aislamiento de microorganismos para su posterior análisis y estudio. La correcta realización de esta técnica requiere prácticas en condiciones ideales y esterilización para evitar la contaminación cruzada y obtener resultados precisos.

En el contexto de la desinfección y esterilización, la luz ultravioleta (UV) es una alternativa atractiva a los productos químicos desinfectantes debido a su capacidad germicida y la ausencia de





residuos tóxicos. La irradiación UV actúa dañando el material genético de los microorganismos, lo que inactiva su capacidad de replicarse y los destruye. Sin embargo, es importante considerar las limitaciones de la luz UV en términos de penetración y sensibilidad de ciertos microorganismos.

A su vez, la implementación de un control PID es útil para eliminar errores en estado estacionario, lo que garantiza que el sistema alcance el valor de referencia de temperatura con precisión y rapidez, a su vez, al hacerlo analógico, ofrece simplicidad y respuestas en tiempo real sin la latencia asociada con la conversión digital. Esto es especialmente importante ya que, la respuesta por sí sola es lenta y se busca obtener mayor velocidad en el control, además, suelen ser más simples en diseño y construcción en comparación con sus contrapartes digitales ya que no requieren sistemas de procesamiento altos. Esto se traduce en costos de fabricación más bajos, lo que puede ser ventajoso.

Por otro lado, es importante mantener una temperatura ambiente controlada y estable en el laboratorio y la zona de inoculación para garantizar la estabilidad de los medios de cultivo y preservar la viabilidad de las muestras.

En general, tanto la siembra microbiológica como el control de temperatura y desinfección de las zonas aisladas son cruciales para el diagnóstico y la investigación en microbiología. Al seguir protocolos adecuados y mantener un control riguroso en todas las etapas de estos procesos, se puede garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados microbiológicos deseados para la correcta automatización del proceso de inoculación.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a la infraestructura prestada por el Instituto

Tecnológico Superior de Pátzcuaro, así como los asesores, Mtro. Guillermo Rey Peñaloza Mendoza y Dra. Gladys Jiménez García.

## 6. Agradecimiento de autoría

*Pablo Jonatán Flores Medina:* Conceptualización; Metodología; Software; Validación; Investigación; Análisis formal; Escritura - Borrador original; Escritura - revisión y edición; Visualización. *Paola Garibay Murillo:* Recursos; Escritura - Borrador original; Visualización. *Guillermo Rey Peñaloza Mendoza:* Conceptualización; Validación; Análisis formal; Escritura - revisión y edición; Supervisión.

## Referencias

- [1] J. R. Pérez-Padilla. “Muertes respiratorias en México, 2015”, *NCT Neumología y Cirugía de Tórax*, vol. 77, no 3, pp. 198-202, 2018. ISSN 2594-1526. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/neumo/nt-2018/nt183e.pdf>
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “Principales causas de muerte desglosadas por sexo Enero – junio 2021”, *Comunicado de prensa num 24/22*. INEGI 2021. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/dr/dr2021.pdf>
- [3] P. Jiménez y A. Calvo. “Diagnóstico microbiológico de la neumonía del adulto adquirida en la comunidad”. *Revista Chilena De Enfermedades Respiratorias*, vol. 21, no. 2, pp. 95-101, Abril 2005. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482005000200005>
- [4] C. M. C. Rodríguez and H. Groves. “Community-acquired pneumonia in children: the challenges of microbiological diagnosis”. *Journal of Clinical Microbiology*, vol. 56, no. 3, pp. 10-1128, Febrero 2018. <https://doi.org/10.1128/jcm.01318-17>
- [5] E. Hervé. “Nuevas tecnologías en diagnóstico microbiológico: automatización y algunas aplicaciones en identificación microbiana y estudio de susceptibilidad”. *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 26, no. 6, pp. 753-763, Noviembre 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2015.11.004>
- [6] J. P. Hays and W. B. Van Leeuwen (eds.). “The role of new technologies in medical microbiological research and diagnosis”. Bentham Science Publishers, Erasmus University Medical Center (Erasmus MC), Rotterdam, The



- Netherlands 2012. Disponible en: <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=HvrUb8DxKQkC&oi=fnd&pg=PP1&dq=The+role+of+new+technologies+in+medical+microbiological+research+and+diagnosis.+Bentham+Science+Publishers+2012.&ots=QTUPczGpZ-&sig=prsQJx2AFurreB1fR7bhH9qbGF0>
- [7] S. Tejada, A. Romero and J. Rello. “Community-Acquired Pneumonia in Adults: What’s New Focusing on Epidemiology, Microorganisms and Diagnosis?”, *Erciyes Medical Journal*, vol. 40, no. 4, pp. 177-182. <https://doi.org/10.5152/etd.2018.18128>
- [8] C. D. Doern and M. Holfelder. “Automation and Design of the Clinical Microbiology Laboratory”. In *Manual of Clinical Microbiology* 11th edition, chapter 5. <https://doi.org/10.1128/9781555817381.ch5>
- [9] M. I. Sánchez-Romero, J. M. García-Lechuz Moya, J. J. González-López y N. Orta-Mira. “Recogida, transporte y procesamiento general de las muestras en el laboratorio de Microbiología”. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, vol. 37, no. 2, pp. 127-134, Febrero 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2017.12.002>
- [10] D. J. Hardy. “Practical Aspects and Considerations When Planning a New Clinical Microbiology Laboratory”. *Clinics in Laboratory Medicine*, vol. 40, no. 4, pp. 421-431, Diciembre 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cll.2020.08.015>
- [11] S. Novak and E. M. Marlowe. “Automation in the Clinical Microbiology Laboratory”. *Clinics in Laboratory Medicine*, vol. 33, no. 3, pp. 567–588, Septiembre 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cll.2013.03.002>
- [12] E. Garcia, A. Ali and S. Choudhry. “The American Society for Clinical Pathology 2012 vacancy survey of clinical laboratories in the United States”. *Laboratory Medicine*, vol. 44, no. 1, pp. e1–e18, Febrero 2013. <https://doi.org/10.1309/LMZK40NMGLFLW9SX>
- [13] T. H. Froland, I. Heldal, G. Sjøholt and E. Ersvær. “Games on mobiles via web or virtual reality technologies: How to support learning for biomedical laboratory science education”. *Information*, vol. 11, no. 4, pp. 195-210. <https://doi.org/10.3390/info11040195>
- [14] C. P. Yeo and W. Y. Ng. “Automation and productivity in the clinical laboratory: experience of a tertiary healthcare facility”. *Singapore medical journal*, vol. 59, no. 11, pp. 597-601, Noviembre 2018. <https://doi.org/10.11622%2Fsmelj.2018136>
- [15] A. Croxatto, G. Prod’hom, F. Faverjon, Y. Rochais and G. Greub. “Laboratory automation in clinical bacteriology: what system to choose?”. *Clinical Microbiology and Infection*, vol. 22, no. 3, pp. 217–235. ISSN 1198-743X <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.09.030>
- [16] A. Croxatto, K. Dijkstra, G. Prod’hom and G. Greub. “Comparison of inoculation with the InoqLA and WASP automated systems with manual inoculation”. *Journal of clinical microbiology*, vol. 53, no. 7, pp. 2298-2307, Junio 2015. <https://doi.org/10.1128/jcm.03076-14>
- [17] O. Dauwalder, L. Landrieu, F. Laurent, M. de Montclos, F. Vandenesch and G. Lina. “Does bacteriology laboratory automation reduce time to results and increase quality management?”, *Clinical Microbiology and Infection*, vol. 22, no. 3, pp. 236-243, Marzo 2016. ISSN 1198-743X, <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.10.037>.
- [18] L. S. Garcia (ed.). *Clinical microbiology procedures handbook*. 3th edition. USA. American Society for Microbiology Press, 2010. Disponible en: <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=Fu2rBA AAQBAJ&oi=fnd&pg=PT8&dq=Clinical+microbiology+procedures+handbook&ots=p4AsuwIzJj&sig=HSpiVlcWk2174rdHEe29gTX58NA>
- [19] A. Mischnik, M. Trampe and S. Zimmermann. “Evaluation of the impact of automated specimen inoculation, using PREVI IsOLA, on the quality of and technical time for stool cultures”. *Annals of Laboratory Medicine*, vol. 35, no. 1, pp. 82–88. ISSN 2234-3806. <https://doi.org/10.3343/alm.2015.35.1.82>
- [20] Agentes físicos. [Online]. Febrero 2005. Disponible en: [https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/13agfisicos.htm#\\_Toc59451620](https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/13agfisicos.htm#_Toc59451620)
- [21] M. Correa, M. Sabrina, F. Guacho, E. Villarreal y S. Valencia. “Desinfección mediante el uso de luz UV-C germicida en diferentes medios como estrategia preventiva ante la COVID-19”. *Revista Minerva: Multidisciplinaria de Investigación Científica*, vol. 1, no. 2, pp. 46-53. <https://doi.org/10.47460/minerva.v1i2.11>
- [22] J. P. Sánchez, M. A. Echandi, J. A. Prada y D. Salas-Segura. “Luz ultravioleta germicida y control de microorganismos ambientales en hospitales”. *Revista Costarricense de Salud Pública*, San José, Costa Rica, vol. 21, no. 1, pp. 19-22. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-14292012000100005&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292012000100005&lng=en&tlng=es)
- [23] J. Nielsen and J. D. Keasling. “Engineering Cellular Metabolism”, *Cell*, vol. 164, no 6, pp. 1185-1197, Marzo 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.02.004>
- [24] D. Millán-Villarreal, L. Romero-González, M. Brito y A. Y. Ramos-Villarreal. “Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas”. *Saber*, vol. 27, no. 3, pp. 454-469, Septiembre 2015. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-01622015000300011&lng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000300011&lng=es).
- [25] Edpilo (2020, Agosto 02). “Esterilización de objetos con UV”. [En línea] Disponible en: <https://www.novomun.com/radiacion-uv-para>
- [26] G. A. Acevedo Hernández, et al. “Sistema e-Salud para el monitoreo de un prototipo de incubadora neonatal”. *Ciencia e Ingeniería*, vol. 38, no 2, pp. 107-112.





Universidad de los Andes, Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507555007002>

[27] F. P. Incropera and D. P. Dewitt. *Fundamentos de transferencia de calor*. Cuarta Edición, México, Pearson Educación, 1999. Disponible en:

[https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=QqfJw4tPljcC&oi=fnd&pg=PA25&dq=Incropera,+F.+P.,+DeWitt,+D.+P.+\(1999\).+Fundamentos+de+transferencia+de+calor.+Espa%C3%B1a:+Pearson+Educaci%C3%B3n.&ots=p3LXsl8zOu&sig=dkOo6PMqpZAE6yoK0fsblgAAdG0](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=QqfJw4tPljcC&oi=fnd&pg=PA25&dq=Incropera,+F.+P.,+DeWitt,+D.+P.+(1999).+Fundamentos+de+transferencia+de+calor.+Espa%C3%B1a:+Pearson+Educaci%C3%B3n.&ots=p3LXsl8zOu&sig=dkOo6PMqpZAE6yoK0fsblgAAdG0)

[28] D. Cera-Martínez, J. E. Ortiz-Sandoval y O. E. Gualdrón-Guerrero. “Sintonización de un controlador de temperatura a través de un autómata programable”. *Revista De Investigación, Desarrollo E Innovación*. vol. 9, no 1, pp. 177-186, 2018.

<https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8513>

[29] K. Ogata (1996, enero 01). *Sistemas de control en tiempo discreto*. 2da ed. Pearson educación, 1996. Disponible en:

[https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=aYFU17m0YQC&oi=fnd&pg=PA11&dq=Ogata,+K.+\(1996\).+Sistemas+de+control+en+tiempo+discreto.+Pearson+educaci%C3%B3n.&ots=5KcM-tSC4E&sig=FTUexHBaHT2L9J9WD83V-nn1YSQ](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=aYFU17m0YQC&oi=fnd&pg=PA11&dq=Ogata,+K.+(1996).+Sistemas+de+control+en+tiempo+discreto.+Pearson+educaci%C3%B3n.&ots=5KcM-tSC4E&sig=FTUexHBaHT2L9J9WD83V-nn1YSQ)

[30] J. A. Dávalos-Pinto, E. Ávila-Córdova and C. B. Castellón-Lévano. “Design and implementation of a digital PID temperature controller for neonatal incubator ESVIN”. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, vol. 5, no. 3, pp. 167-172, Marzo 2015. <http://doi.org/10.17265/2159-5275/2015.03.005>

[31] W. Widhiada, I. N. G. Antara, I. N. Budiarsa and I. M. G. Karohika. “The robust PID control system of temperature stability and humidity on infant incubator based on Arduino at mega 2560”. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 248, no. 1, pp. 1-12. IOP Publishing 2019.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/248/1/012046>

[32] L. Xu, P. Deng, W. Song, M. Liu, M. Liu, M. Wang, Y. Yu and F. Wang. “An AIE-Active Cyclometalated Iridium (III) Photosensitizer for Selective Discrimination, Imaging, and Synergistic Elimination of Gram-Positive Bacteria”. *ACS Materials Letters* 2023, vol. 5, no. 1, pp. 162-171. <https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.2c00774>

[33] T. D. Tavares, J. C. Antunes, J. Padrão, A. I. Ribeiro, A. Zille, M. T. P. Amorim and H. P. Felgueiras. “Activity of specialized biomolecules against Gram-positive and Gram-negative bacteria”. *Antibiotics*, vol. 9, no. 6, 314. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9060314>

[34] A. Bârsan. “Position control of a mobile robot through PID controller”. *Acta Universitatis Cibiniensis. Technical Series*, vol. 71, no. 1, pp. 14-20. <https://doi.org/10.2478/aucts-2019-0004>

[35] L. J. Montero-García, A. Castillo-González, O. Y. Chang-Espinosa y O. Torres-Monfil. “Desinfección de superficies mediante el empleo de luz UVC”. *Innovación en Biotecnología I*, pp. 75-84. ISBN 978-607-8617-85-2. Disponible en: <https://redibai-myd.org/portal/wp-content/uploads/2021/01/607-8617-85-2.pdf#page=82>

Derechos de Autor (c) 2023 Pablo Jonatán Flores Medina, Paola Garibay Murillo, Guillermo Rey Peñaloza Mendoza



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)