B E N E M É R I T A
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA

"MONITOREO Y CONTROL DE UN ESTERILIZADOR UV-C PARA EL HOGAR"

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN ELECTRÓNICA

PRESENTA

JESÚS YOHANDI GARCÍA ALONSO

ASESORES

M.C. JULIA CHÁVEZ CHÁVEZ
PROFESORA DE LA FCE

M.C. MANUEL APARICIO RAZO
PROFESOR DE LA FCE

PUEBLA, PUEBLA
2022

Agradecimientos

A mi madre, *Marilú Alonso Sánchez*, por todos esos años maravillosos llenos de amor y dicha, por tu sonrisa y cariño, por tu fe en mí, tu aliento que me motivo a realizar este trabajo, por el esfuerzo que realizaste para que nuestra familia fuese exitosa y por haber querido tener momentos hermosos a mi lado. Gracias por toda mamá, no te decepcionaré. 1965-2022

A mis asesores:

Mtra. Julia Chávez Chávez y Mtro. Manuel Aparicio Razo, por el apoyo y la oportunidad de desarrollar este trabajo bajo su tutoría, también por cada uno de los consejos brindados y conocimiento trasmitido que hicieron posible la conclusión de este trabajo de forma satisfactoria.

A mis profesores y a la Facultad de Ciencias de la Electrónica la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por todo el conocimiento y apoyo brindado que me permitió formarme como ingeniero.

Especial agradecimiento a todos los héroes anónimos, enfermeras, médicos, cirujanos, químicos y personal de la salud en general, por el esfuerzo humano y profesional que realizan, en la lucha contra la actual pandemia COVID-19 ocasionada por el virus SARS-Cov-2.

INDICE DE IMÁGENES 6
APÉNDICE DE TABLAS 8
RESUMEN 9
INTRODUCCIÓN 10
1.1 Antecedentes **10**
1.2 Importancia de los métodos de esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente **10**
1.3 Métodos de esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente **10**
1.3.1 Radiación ionizante **11**
1.3.2 Esterilización de calor seco **11**
1.3.3 Productos químicos líquidos **12**
1.3.4 Ácido perfórmico **13**
1.3.5 Filtración **13**
1.3.6 Microondas **14**
1.3.7 Esterilización de perlas de vidrio **15**
1.3.8 Peróxido de hidrógeno vaporizado (VHP) **15**
1.3.9 Ozono **16**
1.3.10 Vapor de formaldehído **17**
1.3.11 Dióxido de cloro gaseoso **18**
1.3.13 Radiación infrarroja **19**
1.3.14 Luz ultravioleta-C (UV-C) **19**
1.4 Método de elección, esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente **20**
1.5 Dispositivos comerciales de esterilización de uso doméstico basados en luz UV-C para eliminar agentes patógenos en objetos o en el ambiente **21**
1.5.1 Lámpara de esterilización, luz ultravioleta tipo C **21**
1.5.2 Contenedor de esterilización, luz ultravioleta tipo C **22**
1.6 Problemática **22**
1.6.1 Problemas detectados en los dispositivos comerciales, basados en luz UV-C **22**
1.6.2 Problemas detectados en las lámparas de esterilización UV-C **22**
1.6.3 Problemas detectados en los contenedores de esterilización **23**
1.7 Justificación **23**
1.8 Objetivo general **24**
1.9 Objetivos específicos **24**
1.10 Descripción general **25**
MARCO TEÓRICO 26
2.1 Luz **26**
2.1.1 Luz ultravioleta-C (UV-C) **26**
2.1.2 Dosis de exposición **27**

2.1.3 Irradiancia 27
2.1.4 Análisis teórico: potencia-irradiancia-dosis de exposición 28
2.2 Microcontrolador 30
2.3 Telecomunicación 31
2.4 Sistema empotrado 32
2.5 Definición de sensor 32
2.6 BME280 Módulo de sensores de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica 33
2.7 Fotoresistor como sensor de intensidad luminosa 33
2.8 Sensor de movimiento PIR 35
2.9 Actuador 36
2.10 Tarjeta de desarrollo utilizada, DOIT ESP32 DEVKIT V1 36
2.11 Arduino, entorno de desarrollo 37
2.12 Plataforma Blynk 37
2.13 Histérisis 38
2.14 Características del microscopio 38
DESARROLLO 41
3.1 Diagrama de bloques 41
3.2 Modos de operación 43
3.3 Etapas del desarrollo del dispositivo 45
3.3.1 Desarrollo físico 45
3.3.1.1 Dimensiones del dispositivo 45
3.3.1.2 Materiales del dispositivo 47
3.3.2 Desarrollo electrónico 49
3.3.2.1 Análisis del circuito desarrollado 49
3.3.2.2 Análisis de potencia 51
3.3.2.3 Sensores utilizados 52
3.3.3 Desarrollo de software 53
3.3.3.1 Diagrama de flujo dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C UV-C 53
..... 55
3.3.3.2 Aplicación desarrollada en Blynk para el control y monitoreo del esterilizador de luz ultravioleta-C (UVC) 56
3.4 Montaje del dispositivo 59
3.4.1 Paso 1 59
3.4.2 Paso 2 61
3.4.3 Paso 3 61
3.4.4 Paso 4 62
3.4.5 Paso 5 63
3.4.6 Paso 6 64
3.5 Medidas de seguridad 67
PRUEBAS DE RENDIMINETO Y RESULTADOS 68
4.1 Pruebas de rendimiento 68
4.1.1 Pruebas de funcionamiento eléctrico 68

4.1.1.1 Pruebas de conexiones eléctricas 68
4.1.1.2 Prueba indicador de encendido o apagado de las lámparas de luz ultravioleta-C..... 69
4.1.1.3 Prueba sensado de luz 70
4.1.1.4 Prueba de sensor de proximidad 71
4.1.2 Pruebas de software..... 71
4.1.2.1 Pruebas de control y monitoreo a través de WIFI 71
4.1.2.2 Pruebas de monitoreo de variables físicas y generación de reportes 71
4.2.3 Pruebas en modos de operación..... 72
4.2.3.1 Pruebas en modo de operación 1 72
4.1.3.2 Pruebas en modo de operación 2 75
4.2 Resultados..... 78
4.2.1 Resultados de funcionamiento eléctrico..... 78
4.2.1.1 Resultados de conexiones eléctricas..... 78
4.2.1.2 Resultados indicador de encendido o apagado de las lámparas de luz ultravioleta-C . 78
4.2.1.3 Resultados sensado de luz 79
4.2.1.3 Resultado de sensor de proximidad..... 79
4.2.2 Resultados de software 79
4.2.2.1 Resultados de control y monitoreo a través de WiFi 79
4.2.2.2 Resultados de monitoreo de variables físicas y generación de reportes..... 80
4.2.3 Resultados modos de desempeño 80
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO..... 81
5.1 Conclusiones..... 81
5.2 Trabajo futuro 82
BIBLIOGRAFÍA..... 83
APÉNDICES 85
Apéndice – A Tablas informativas 86
Apéndice - B Programa implementado en la tarjeta de desarrollo DOITESP32..... 92

INDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. LÁMPARA DE ESTERILIZACIÓN UVC COMERCIAL [3]. 21
IMAGEN 2. CONTENEDOR DE ESTERILIZACIÓN CON LUZ UV-C COMERCIAL, DESINFECTANDO UN CABLE DE CARGA [4]. 22
IMAGEN 3. EFICACIA GERMICIDA DE LAS LONGITUDES DE ONDA UV. (NM) [2]. 27
IMAGEN 4. SENSOR DE TEMPERATURA BME280. 33
A) VISTA INFERIOR INDICADORES DE CONEXIÓN Y SEÑAL. 33
B) VISTA SUPERIOR DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS FÍSICOS. [10] 33
..... 34
IMAGEN 5. A) FOTORESISTOR. [12] 34
B) RESPUESTA ESPECTRAL DEL FOTORESISTOR. [13] 34
IMAGEN 6. SENSOR DE MOVIMIENTO PIR. [15] 35
IMAGEN 7. SENSOR DE MOVIMIENTO PIR (POTENCIÓMETROS PARA CONFIGURAR LA SENSIBILIDAD Y EL RANGO DE DETECCIÓN). 35
IMAGEN 8. TARJETA DE DESARROLLO DOIT ESP32 DEVKIT V1. [17] 37
IMAGEN 9. DISPOSICIÓN DE BOTÓN E INTERRUPTORES EN EL MICROSCOPIO. [23] 39
[23] 39
IMAGEN 11. DISTINTOS OBJETOS OBSERVADOS A DISTINTOS AUMENTOS MICROSCÓPICOS. HASTA ARRIBA, LOS OBJETOS QUE PUEDEN SER OBSERVADOS EN EL RANGO DE LOS 200X AUMENTOS SON INSECTOS; EL AUMENTO DE LOS 500X PERMITE OBSERVAR DISPOSITIVOS MICROELECTRÓNICOS; EL AUMENTO DE LOS 1000X PERMITE OBSERVAR DIAMANTES Y CÉLULAS; HASTA ABAJO, EL AUMENTO DE LOS 2000X PERMITE OBSERVAR MICROORGANISMOS. [23] 40
IMAGEN 12. DIAGRAMA DE BLOQUES ESPECIFICO. 42
IMAGEN 13. DIAGRAMA DE BLOQUES CONTROL Y MONITOREO DEL DISPOSITIVO UV-C. 42
IMAGEN 14. FORMA DE OPERACIÓN 1, COMO CONTENEDOR DE ESTERILIZACIÓN. 43
IMAGEN 15. VISTA INTERNA INFERIOR DEL CONTENEDOR ESTERILIZADOR. 43
IMAGEN 16. VISTA INTERNA SUPERIOR DEL CONTENEDOR ESTERILIZADOR. 44
IMAGEN 17. FORMA DE OPERACIÓN 2, COMO LÁMPARA DE ESTERILIZACIÓN EN ESPACIOS DEL HOGAR. 44
IMAGEN 18. FORMA DE OPERACIÓN 2, COMO LÁMPARA DE ESTERILIZACIÓN DE OBJETOS QUE NO CABEN EN EL CONTENEDOR. 45
IMAGEN 19. DIMENSIONES EXTERNAS DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR FUNCIONANDO EN MODO DE OPERACIÓN 1, COMO CONTENEDOR. 46
IMAGEN 20. DIMENSIONES EXTERNAS DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR FUNCIONANDO EN MODO DE OPERACIÓN 2, COMO LÁMPARA DE ESTERILIZACIÓN EN ESPACIOS DEL HOGAR. 46
IMAGEN 21. CHASIS DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR FABRICADO EN MADERA Y CON RIELES METÁLICOS (2PZS EN TOTAL). 47
IMAGEN 22. PLACA DE VIDRIO INTERNA (2PZS EN TOTAL) 48
IMAGEN 23. LAMINA DE ACERO INOXIDABLE INTERNA (2 PIZAS EN TOTAL) 48
IMAGEN 24. DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR DE LUZ ULTRAVIOLETA UV-C 49
IMAGEN 25. DIAGRAMA ELÉCTRICO QUE SEPARA LA ETAPA DE POTENCIA (LÍNEA PUNTEADA MORADA), DE LA ETAPA DE CONTROL (LÍNEA PUNTEADA AMARILLA) 51

IMAGEN 26. DIAGRAMA DE FLUJO DISPOSITIVO ESTERILIZADOR DE LUZ ULTRAVIOLETA-C UV-C, PARTE #1 54
IMAGEN 27. DIAGRAMA DE FLUJO DISPOSITIVO ESTERILIZADOR DE LUZ ULTRAVIOLETA-C UV-C, PARTE #2 55
IMAGEN 28. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO, APLICACIÓN DE CONTROL Y MONITOREO EN "BLYNK", SECCIONES "CONTROL DE ESTERILIZADOR" Y "CONTROL MANUAL". 57
IMAGEN 29. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO DE LA APLICACIÓN "CONTROL Y MONITOREO" ESTERILIZADOR DE LUZ ULTRAVIOLETA-C (UV-C). 57
IMAGEN 30. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIOS, SECCIÓN "MONITOREO DEESTERILIZADOR", 2. 58
IMAGEN 31. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIOS, SECCIÓN ADICIONAL. 59
IMAGEN 32. PAR DE LÁMPARAS DE LUZ ULTRAVIOLETA-C (UVC), COLOCADAS EN EL INTERIOR DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR. 59
IMAGEN 33. CHASIS SUPERIOR DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR. 60
IMAGEN 34. CHASIS INFERIOR DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR. 60
IMAGEN 35. CHASIS DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR CON RIELES METÁLICOS. 60
IMAGEN 36. DISPOSITIVO ESTERILIZADOR PINTADO DE BLANCO. 61
IMAGEN 37. PRUEBA DE CONEXIÓN PARA EL SENSOR BME280. 61
IMAGEN 38. MENÚ DESPLEGABLE DERECHO PARA AGREGAR W*IDGETS* (ETIQUETAS FUNCIONALES) A NUESTRA APLICACIÓN. 62
IMAGEN 39. APLICACIÓN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR DE LUZ ULTRAVIOLETA-C (UVC). 63
IMAGEN 40. INTEGRACIÓN DE LOS ELEMENTOS ELECTRÓNICOS AL INTERIOR DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR. 63
IMAGEN 41. COLOCACIÓN DE REFLECTORES, VIDRIO Y SELLADO DE JUNTAS. 64
IMAGEN 42. VISTA INTERNA SECCIONADA DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR 64
IMAGEN 43. DE ABAJO A ARRIBA, SENSOR BME280, FOTORESISTOR Y ZUMBADOR ACTIVO. 65
..... 65
IMAGEN 44. DE ABAJO A ARRIBA, LED INDICADOR DE ENCENDIDO, LED INDICADOR DE CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LÁMPARAS DE LUZ ULTRAVIOLETA-C (UV-C), BOTÓN DE REINICIO PARA CONFIGURACIÓN DE SEÑAL WIFI. 65
IMAGEN 46. MANIJA IZQUIERDA. 66
IMAGEN 45. MANIJA IZQUIERDA. 66
IMAGEN 47. SENSOR DE MOVIMIENTO PIR (ALOJADA A UN COSTADO DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR). 66
IMAGEN 48. DISPOSITIVO ESTERILIZADOR TERMINADO. 67
UBICACIÓN DEL SENSOR PIR 67
IMAGEN 49. PRUEBAS Y ARMADO DEL CIRCUITO QUE CONTROLA AL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR. 69
IMAGEN 50. DIAGRAMA ELÉCTRICO, DEL CIRCUITO, PARA LA DETECCIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA-C AL INTERIOR DEL DISPOSITIVO. 70
..... 70
IMAGEN 51. PRUEBA DE LDR PARA DETECCIÓN ENCENDIDO DE LÁMPARAS LUZ ULTRAVIOLETA-C. 70

IMAGEN 52. SE PRUEBA QUE EL VOLTAJE DE SALIDA DEL SENSOR PIR ES APROXIMADO AL INDICADO EN SU HOJA DE DATOS (3.3V). 71
IMAGEN 53. MONITOREO DE VARIABLES FÍSICAS DESDE LA APLICACIÓN. 72
IMAGEN 54. CONFIGURACIÓN DE REPORTES DESDE LA APLICACIÓN. 72
IMAGEN 55. USO DEL DISPOSITIVO ESTERILIZADOR, COMO CONTENEDOR. 73
IMAGEN 56. MONITOREO DE UNA PRUEBA DE ESTERILIZACIÓN. 74
IMAGEN 57. RECIPIENTE QUE CONTIENE AGUA DE LLUVIA ESTANCADA, CON LA FINALIDAD DE OBTENER MUESTRAS CON MICROORGANISMOS. 74
IMAGEN 58. MUESTRA DE AGUA ESTANCADA QUE CONTIENE DIFERENTES MICROORGANISMOS VIVOS EN MOVIMIENTO. 75
IMAGEN 59. DISPOSITIVO DE ESTERILIZACIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA-C (UVC), EN MODO DE OPERACIÓN 2, COMO DISPOSITIVO DE ESTERILIZACIÓN DE ESPACIOS DENTRO DEL HOGAR. 76
IMAGEN 60. PLACAS DE PRUEBA A, B Y C. 76
IMAGEN 61. PLACAS DE PRUEBA D Y E. 77
IMAGEN 62. PLACAS DE PRUEBA H E I. 77
IMAGEN 63. PRUEBAS DE AGUA CONTAMINADA SOMETIDAS A LA EMISIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA-C (UVC) EN LA OSCURIDAD. 78
IMAGEN 64. RECEPCIÓN DE REPORTES VÍA CORREO ELECTRÓNICO. 80

APÉNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DOSIS DE EXPOSICIÓN DE RADIACIÓN UV-C PARA LA ERRADICACIÓN DE AGENTES PATÓGENOS A UNA DURACIÓN DE 1 SEGUNDO. [2] 86
TABLA 2. TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE RADIACIÓN UV-C PARA LA ERRADICACIÓN DE AGENTES PATÓGENOS A UNA DISTANCIA DE 40CM CON UNA IRRADIANCIA MEDIA DE $\mathbf{3.28}\boldsymbol{W/m2}$. 86
TABLA 3. DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR BME280. [9] 87
TABLA 4. MUESTRA LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS TARJETAS *ESPRESSIF* ESP8266 Y ESP32 [23]. 88
TABLA 5. MUESTRA LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS TARJETAS DE DESARROLLO BASADAS EN EL MODELO ESPRESSIF ESP32 [17]. 89

RESUMEN

En el presente trabajo se investigan y analizan algunos de los métodos de esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente.

A continuación, se determina el mejor método de esterilización. Posteriormente se analizan los dispositivos que usan dicha tecnología de esterilización y se describen los problemas que poseen.

A partir de la problemática detectada en dichos dispositivos se realiza una propuesta tecnológica que permite subsanar los problemas detectados y genere una mayor información sobre el proceso de esterilización.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

A continuación, se presentan los antecedentes que motivaron a la realización del presente trabajo.

1.1 Antecedentes

La esterilización de espacio y objetos en el hogar se ha vuelto una forma eficaz para evitar la propagación del virus SARS-Cov-2, el cual se ha cobrado la vida de millones de personas alrededor del mundo.

Debido a lo anterior, la sociedad ha buscado métodos de esterilización que puedan brindar una protección eficaz contra diferentes agentes patógenos en el ambiente, incluyendo el virus SARS-Cov-2, responsable de la actual crisis sanitaria, social y económica.

1.2 Importancia de los métodos de esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente

Dada la contingencia sanitaria, ha quedado patente la necesidad de esterilizar objetos personales y determinados espacios del hogar, con el fin de evitar la propagación de agentes patógenos que pudieran ocasionar daños significativos a la salud.

1.3 Métodos de esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente

1.3.1 Radiación ionizante

La esterilización por radiación ionizante, principalmente por rayos gamma de cobalto 60 o aceleradores de electrones, es un método de esterilización a baja temperatura que se ha utilizado para varios elementos médicos (por ejemplo, tejidos para trasplante, productos farmacéuticos, dispositivos médicos).

Ventajas

- Baja temperatura en el proceso de esterilización.
- La esterilización por radiación ionizante es adecuada para su uso a gran escala.

Desventajas

- No existen procesos de esterilización por radiación ionizante aprobados por la FDA (*Food and Drug Administration*) para su uso en instalaciones sanitarias.
- Debido a los altos costos de esterilización, este método es una alternativa desfavorable a la esterilización con otros métodos, como ETO (*Ethylene Oxide Gas)* y plasmas, utilizados en los centros de salud en USA (*United State of America*).
- Efectos nocivos asociados con la radiación gamma por la oxidación inducida en el polietileno [1].

1.3.2 Esterilización de calor seco

Hay dos tipos de esterilizadores de calor seco: el tipo de aire estático y el tipo de aire forzado. El tipo de aire estático se conoce como esterilizador de tipo horno, ya que las bobinas de calentamiento en la parte inferior de la unidad esterilizadora hacen que el aire caliente suba dentro de la cámara a través de la convección por gravedad. Este tipo de esterilizador de calor seco se calienta mucho más lentamente, requiere más tiempo para alcanzar la temperatura de esterilización y es menos uniforme en el control de la temperatura en toda la cámara que el tipo de aire forzado.

El esterilizador de convección mecánica o de aire forzado está equipado con un ventilador motorizado que hace circular aire caliente por toda la cámara a alta velocidad, lo que permite una transferencia más rápida de energía del aire a los instrumentos [1].

Las relaciones tiempo-temperatura más comunes para la desinfección con esterilizadores de aire caliente son 170°C (340°F) durante 60 minutos, 160°C (320°F) durante 120 minutos y 150°C (300°F) durante 150 minutos.

Ventajas

- No es tóxico.
- No daña el medio ambiente.
- No es corrosivo para los instrumentos metálicos y afilados.
- Es fácil de instalar.
- Tiene costos operativos relativamente bajos.
- Penetra materiales.

Desventajas

- Velocidad lenta de penetración del calor.
- Requiere mucho tiempo para la eliminación de microbios.
- Las altas temperaturas no son adecuadas para la mayoría de los materiales.

1.3.3 Productos químicos líquidos

Varios esterilizantes químicos líquidos aprobados por la *FDA* incluyen indicaciones para la esterilización de dispositivos médicos. Los tiempos de contacto indicados oscilan entre 3 y 12 horas. Sin embargo, a excepción de algunos productos, el tiempo de contacto se basa únicamente en las condiciones para pasar la prueba esporicida AOAC (*Association of Official Agricultural Chemists*) como esterilizante y no en pruebas de uso simulado con objetos. Estas soluciones se utilizan comúnmente como desinfectantes de alto nivel cuando se requiere un tiempo de procesamiento más corto. Generalmente, los esterilizantes líquidos químicos no se pueden monitorear usando un indicador biológico para verificar el nivel de desinfección [1].

Ventajas

- Aprobados por la *FDA*
- Tiempo de esterilización corto.

Desventajas

- No se pueden monitorear usando un indicador biológico para verificar el nivel de desinfección.
- No ofrece la misma garantía de esterilización que otros métodos.
- No pueden atravesar adecuadamente barreras, como biopelículas, tejidos y sangre.
- La viscosidad de algunos esterilizantes químicos líquidos impide su acceso a los organismos en las superficies acopladas de diversos objetos.
- Su uso está restringido a la desinfección de objetos críticos que son sensibles al calor e incompatibles con otros métodos de esterilización.

1.3.4 Ácido perfórmico

El ácido perfórmico es un esporicida de acción rápida que se incorporó a un sistema automatizado de esterilización en endoscopios. Actualmente, los sistemas que utilizan ácido perfórmico no están autorizados por la *FDA* porque no se tienen suficientes pruebas clínicas [1].

Ventaja

- Tiempo de esterilización corto.

Desventaja

- No está aprobado por la *FDA*.

1.3.5 Filtración

Esta tecnología se utiliza para eliminar las bacterias de fluidos farmacéuticos que no se pueden purificar por ningún otro medio. Para eliminar las bacterias, el tamaño de los poros de la membrana de los filtros (por ejemplo, 0,22 mm) debe ser más pequeño que el tamaño de las bacterias y uniforme en toda su extensión.

Ventaja

- Tiempo de esterilización corto.

Desventajas

- No está aprobado por la *FDA*.
- Ligero paso bacteriano a través de filtros.
- Alto riesgo de contaminación.

1.3.6 Microondas

Las microondas se utilizan en medicina para la desinfección de lentes de contacto blandos, instrumentos dentales, dentaduras postizas, leche y catéteres urinarios. Sin embargo, las microondas sólo deben usarse con productos que sean compatibles (por ejemplo, que no se derritan). Las microondas son ondas de radiofrecuencia, generalmente de 2450 MHz, que producen fricción entre las moléculas de agua en un campo eléctrico alterno.

Ventaja

- Tiempo de esterilización corto.
- Inactivan completamente cultivos bacterianos.
- La esterilización de instrumentos metálicos se puede lograr, pero requiere ciertas precauciones.

Desventajas

- No está aprobado por la *FDA*.
- Sólo deben usarse con productos que no se derritan.
- La eficacia de los hornos microondas para diferentes propósitos de esterilización y desinfección debe probarse y demostrarse ya que las condiciones de la prueba afectan los resultados.

1.3.7 Esterilización de perlas de vidrio

La esterilización de perlas de vidrio utiliza perlas de vidrio pequeñas (1,2-1,5 mm de diámetro) y alta temperatura (217°C -232°C) durante breves tiempos de exposición (por ejemplo, 45 segundos) para inactivar los microorganismos. Los dispositivos que hacen uso de este método de desinfección se han utilizado durante varios años en la profesión odontológica. La FDA cree que existe un riesgo de infección con este dispositivo debido a una posible falla en la esterilización de los instrumentos dentales por lo que su uso está actualmente suspendido [1].

Ventajas

- Aprobados por la *FDA*
- Tiempo de esterilización corto.

Desventajas

- Alta temperatura.
- Uso suspendido.
- Alto riesgo de contaminación.

1.3.8 Peróxido de hidrógeno vaporizado (VHP)

Las soluciones de peróxido de hidrógeno se han utilizado como esterilizantes químicos durante muchos años. Sin embargo, el VHP (*Vaporized Hydrogen Peroxide)* no se desarrolló para la esterilización de equipos médicos hasta mediados de la década de 1980. Un método para administrar VHP al sitio de reacción utiliza un vacío profundo para extraer peróxido de hidrógeno líquido (concentración 30-35%) de un cartucho desechable a través de un vaporizador calentado y, después de la vaporización, hacia la cámara de esterilización.

Ventajas

- Tiempo de esterilización corto.
- Uso industrial.
- Baja temperatura de esterilización.
- Subproductos ambientalmente seguros (oxígeno).
- Compatibilidad de materiales.
- Facilidad de operación, instalación y monitoreo.
- Método muy eficaz para erradicar esporas que permanecen en habitaciones, muebles y superficies.

Desventajas

- La celulosa no se puede procesar y el nylon se vuelve quebradizo.
- No está aprobado por la *FDA*.
- Alto riesgo de contaminación.
- Costo elevado.

1.3.9 Ozono

El ozono se ha utilizado durante años como desinfectante de agua potable. El ozono se produce cuando el O_2 se energiza y se divide en dos moléculas monoatómicas (O_2). Las moléculas de oxígeno monoatómicas luego chocan con las moléculas de O_2 para formar ozono, que es O_3. Por lo tanto, el ozono consiste en O_2 con un tercer átomo de oxígeno débilmente enlazado que está disponible para unirse y oxidar otras moléculas. Este átomo de oxígeno adicional hace que el ozono sea un oxidante poderoso que destruye los microorganismos, pero es muy inestable (es decir, tiene una vida media de 22 minutos a temperatura ambiente) [1].

Ventajas

- Temperatura baja de esterilización.
- Subproductos ambientalmente seguros (oxígeno).
- Compatibilidad de materiales.
- Ningún posible riesgo durante el proceso de esterilización.
- Aprobado por la *FDA*

Desventajas

- Complejidad media en el proceso de instalación.
- Su uso se limita a la esterilización de objetos sólidos y líquidos.
- No es viable esterilizar espacios.

1.3.10 Vapor de formaldehído

El vapor a baja temperatura con formaldehído se utiliza como método de esterilización a en muchos países, particularmente en Escandinavia, Alemania y el Reino Unido. El proceso implica el uso de formalina, que se vaporiza en un gas de formaldehído que se admite en una cámara de esterilización. Se genera una concentración de formaldehído de 8-16 mg/l a una temperatura de funcionamiento de 70-75°C. El ciclo de esterilización consta de una serie de etapas que incluyen un vacío inicial para eliminar el aire de la cámara y la carga, dando paso a la admisión de vapor a la cámara con la bomba de vacío en funcionamiento para purgar el aire de la cámara y calentar la carga, seguido de un ciclo de esterilización. El formaldehído se retira del esterilizador y se carga mediante evacuaciones alternas repetidas y enjuagues con vapor y aire.

Ventajas

- Tiempo de esterilización corto.
- Puede esterilizar equipos médicos sensibles al calor.

Desventajas

- No está aprobado por la *FDA*.
- Alta temperatura de esterilización.
- Hay estudios que indican que el formaldehído es un mutágeno y un carcinógeno humano potencial

1.3.11 Dióxido de cloro gaseoso

A finales de la década de 1980 se desarrolló un sistema de dióxido de cloro gaseoso para la esterilización de productos sanitarios. El dióxido de cloro no es mutágeno ni carcinógeno en humanos. A medida que aumenta la concentración de dióxido de cloro, el tiempo necesario para lograr la esterilización se acorta progresivamente. Por ejemplo, sólo se necesitaron 30 minutos a 40 mg /l para esterilizar las 106 esporas de *Bacillus atrophaeus* entre 30°C y 32°C. Actualmente, ningún sistema de dióxido de cloro gaseoso está autorizado por la FDA [1].

Ventajas

- Tiempo de esterilización corto.
- Amplia gama de objetos a esterilizar.
- Baja temperatura de esterilización.
- No es mutágeno ni carcinógeno.

Desventajas

- No está aprobado por la *FDA*.
- No esteriliza espacios.

1.3.12 Ácido peracético vaporizado

La actividad esporicida del vapor de ácido peracético a 20%, 40%, 60% y 80% de humedad relativa y 25°C se probó para eliminar esporas de *Bacillus atrophaeus* sobre superficies de papel y vidrio. Se produjo una actividad apreciable dentro de los 10 minutos posteriores a la exposición a 1 mg de ácido peracético por litro al 40% o más de humedad relativa. Ningún sistema de ácido peracético vaporizado está autorizado por la FDA [1].

Ventajas

- Tiempo de esterilización corto.
- Amplia gama de objetos a esterilizar.
- Baja temperatura de esterilización.
- Rango amplio de humedad relativa.

Desventajas

- No está aprobado por la *FDA*.
- No esteriliza espacios.

1.3.13 Radiación infrarroja

Hay una investigación sobre un prototipo de esterilizador de radiación infrarroja que demostró que destruía las esporas de *B. atrophaeus*. Algunas de las posibles ventajas de la tecnología infrarroja incluyen ciclos cortos, bajo consumo de energía, ausencia de residuos de ciclo y ausencia de efectos toxicológicos o ambientales. Esto puede proporcionar una tecnología alternativa para la esterilización de determinados instrumentos resistentes al calor, pero no existen sistemas aprobados por la FDA para su uso en instalaciones sanitarias [1].

Ventajas

- Tiempo de esterilización corto.
- Bajo consumo de energía.
- Ausencia de residuos tóxicos.
-

Desventajas

- No está aprobado por la *FDA*.
- Solo puede esterilizar objetos resistentes al calor.

1.3.14 Luz ultravioleta-C (UV-C)

La irradiación germicida ultravioleta es una radiación electromagnética que puede destruir la capacidad de reproducción de los microorganismos al causar cambios fotoquímicos en los ácidos nucleicos. Las longitudes de onda en el rango UVC son especialmente dañinas para las células porque son absorbidas por los ácidos nucleicos. [2]

Aunque los métodos y los detalles de la desinfección con luz ultravioleta se comprenden bastante bien, hasta el punto de que se pueden diseñar e instalar sistemas de desinfección efectivos con efectos predecibles, la naturaleza exacta del efecto de la luz ultravioleta sobre los microorganismos a nivel molecular aún se desconoce. [2]

El espectro de la luz ultravioleta se extiende desde longitudes de onda de aproximadamente 100nm a 400nm. Las subdivisiones de mayor interés incluyen UV-C (200 a 280nm) y UVB (280nm a 320nm). Aunque todas las longitudes de onda UV causan algunos efectos fotoquímicos, las longitudes de onda en el rango UV-C son particularmente dañinas para las células porque son absorbidas por proteínas, ARN y ADN. [2]

Ventajas

- Tiempo de esterilización corto (dependiendo del patógeno).
- Bajo consumo de energía.
- Ausencia de residuos tóxicos.
- Está aprobado por la *FDA*.
- Desinfecta materiales solidos líquidos y gaseosos.
- Desinfecta objetos y espacios.
- Bajo índice de resistencia bacteriana.
- Versatilidad de tamaño.
- Nula afectación a objetos y espacios
- Puede desinfectar alimentos y bebidas.
- Costo de implementación accesible.

Desventajas

- Puede llegar a ser mutágeno y carcinógeno en humanos y animales.

1.4 Método de elección, esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente

Los factores por tomar en cuenta para elegir el mejor método de esterilización son, viabilidad tecnológica, la baja o nula afectación a los objetos a esterilizar, eficacia, tiempo de desinfección y el costo tecnológico que requiera dicho desarrollo.

Con base en la información recopilada sobre los métodos de esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente, se considera al método de esterilización de luz ultravioleta tipo C como el método más factible para la esterilización de objetos cotidianos, como las llaves, el dinero o el celular, por las siguientes razones:

1. Las lámparas de luz ultravioleta-C (UV-C) son de dimensiones reducidas, lo cual se traduce en una implementación tecnológica viable.

2. Al ser luz UV-C lo que emiten estos dispositivos, la afectación a objetos del hogar, como las llaves, el dinero o los celulares, es mínima o nula en comparación con desinfectantes químicos líquidos o gaseosos que podrían filtrarse al interior de aparatos electrónicos ocasionando fallas en los mismos.

3. Este método de desinfección puede esterilizar líquidos, superficies, el aire lo que lo hace muy versátil.

4. Los tiempos necesarios para la desinfección no son tan prolongados como otros métodos existentes (alrededor de 150min) y mencionados anteriormente.

5. El costo de la implementación tecnológica es accesible (250USD), comparado con algunos modelos del mercado (mayores a 500USD).

1.5 Dispositivos comerciales de esterilización de uso doméstico basados en luz UV-C para eliminar agentes patógenos en objetos o en el ambiente

1.5.1 Lámpara de esterilización, luz ultravioleta tipo C

Una lámpara de luz UV-C es un dispositivo electrónico que realiza la emisión de luz UV-C con la finalidad de esterilizar diversos espacios. Algunas lámparas que existen en el mercado cuentan con un sistema electrónico que genera un retardo de tiempo para que la persona que lo activa no reciba la emisión directa de esta luz, puesto que puede ser perjudicial para su salud (Imagen 1).

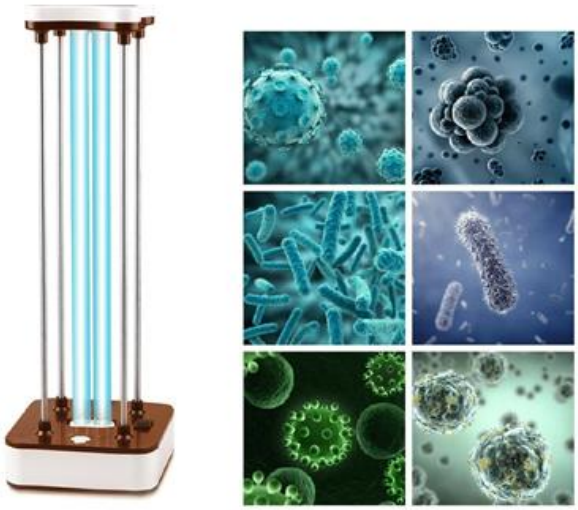


Imagen 1. Lámpara de esterilización UVC comercial [3].

1.5.2 Contenedor de esterilización, luz ultravioleta tipo C

Un contenedor desinfectante es un dispositivo electrónico que implementa la tecnología de luz UV-C para proceder a desinfectar objetos personales en su interior, tales como llaves, celulares, gafas, credenciales, etc. (Imagen 2).

Imagen 2. Contenedor de esterilización con luz UV-C comercial, desinfectando un cable de carga [4].

1.6 Problemática

1.6.1 Problemas detectados en los dispositivos comerciales, basados en luz UV-C

A continuación, se describen los problemas más comunes detectados en los dispositivos de esterilización comerciales, basados en luz ultravioleta-C UV-C.

1.6.2 Problemas detectados en las lámparas de esterilización UV-C

Si el bulbo llega a fallar no hay forma de saber que éste se encuentra roto o descompuesto, dado que ninguna persona puede permanecer en el lugar en el que esté funcionando la lámpara; de esta forma, se puede pensar que el dispositivo se encuentra desinfectando el espacio sin que eso ocurra necesariamente.

Además de que este dispositivo no cuenta con un sistema de emergencia que apague la lámpara si es que, por error, alguna persona o animal llega a entrar al espacio en el que se encuentre desinfectando.

1.6.3 Problemas detectados en los contenedores de esterilización

Una de sus principales desventajas es que, como en el caso anterior (lámpara de esterilización, luz ultravioleta tipo C), no cuenta con un indicador que muestre si el bulbo que se usa está fundido o se encuentra en buen estado.

En el peor de los casos, estos contenedores esterilizantes pueden tener un vidrio que deja escapar cierta cantidad de luz UV-C que puede ser perjudicial para seres humanos y animales.

Además, los dispositivos mencionados (lámpara de esterilización, luz ultravioleta tipo C y el contenedor de esterilización, luz ultravioleta tipo C) no cuentan con ninguna forma de medir las variables físicas que influyen en el crecimiento de elementos patógenos en el ambiente, tales como bacterias y hongos, y la probabilidad de que se estén desarrollando en el mismo.

1.7 Justificación

Partiendo de una investigación acerca de los métodos de esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos, se estableció que el mejor método es la esterilización con luz ultravioleta-C UV-C. Esta elección se basa en que la luz ultravioleta no genera químicos residuales líquidos o gaseosos que puedan ocasionar fallas en aparatos electrónicos, siendo posible su uso en ambientes domésticos. Pese a los riesgos asociados al uso de este método, es posible utilizarla de forma segura con tecnologías de monitoreo y control apropiadas. Además, este método de esterilización ya está aprobado por la FDA.

Se encontró que los dispositivos comerciales que implementan dicho método de esterilización cuentan con problemas significativos que impactan en el proceso de esterilización y la seguridad de los usuarios, por tanto, se propuso el desarrollo de un dispositivo esterilizador mediante luz ultravioleta-C (UV-C). El dispositivo propuesto funciona como lámpara y contenedor, cuenta con un indicador de correcto funcionamiento, así como medidas de seguridad para protección de los usuarios: una alarma audible y un sensor de movimiento que activa un paro de emergencia.

De igual manera, se implementa una aplicación para configuración y control del dispositivo esterilizador vía WiFi, con un smartphone, por ser una manera práctica y segura de controlar el dispositivo.

Además, se monitorearán variables que influyen en el crecimiento de agentes patógenos, como el porcentaje de intensidad de luz mediante un fotoresistor, temperatura y humedad relativa mediante un sensor, con la finalidad de observar la posibilidad de crecimiento de dichos patógenos en el ambiente. El dispositivo esterilizador genera alarmas cuando la temperatura y humedad relativa alcanzan niveles favorables para el crecimiento de agentes patógenos.

1.8 Objetivo general

Desarrollar un dispositivo de esterilización de luz ultravioleta tipo C para el hogar que cuente con un indicador de correcto funcionamiento y medidas de seguridad para protección de los usuarios, siendo controlado de forma remota a través de una aplicación móvil, monitoreando variables que influyen en el crecimiento de agentes patógenos.

1.9 Objetivos específicos

- Investigar y analizar los métodos de esterilización de objetos para eliminar agentes patógenos presentes en el ambiente.

- Diseñar y construir el prototipo esterilizador de luz ultravioleta tipo C que funcione como lámpara y contenedor.

- Implementar un indicador de correcto funcionamiento y medidas de seguridad para protección de los usuarios, como una alarma audible y un sensor de movimiento que active el paro de emergencia.

- Implementar una aplicación para configuración y control del dispositivo esterilizador vía *WiFi* con un smartphone.

- Monitorear variables que influyen en el crecimiento de agentes patógenos, como luz, temperatura y humedad relativa.

- Realizar pruebas de desempeño del dispositivo esterilizador.

1.10 Descripción general

Capítulo 1:

Aborda los antecedentes sanitarios que dan pie al uso de diferentes formas de esterilización debido a la actual crisis ocasionada por el virus SARS-Cov-2, resalta la importancia de esterilizar espacios y objetos dentro del hogar, muestra por qué el uso de la tecnología de luz ultravioleta-C UVC es la más indicada para llevar a cabo una esterilización eficaz.

Se plantean los problemas detectados en dispositivos de esterilización basados en tecnología de luz ultravioleta-C UV-C y se propone un dispositivo que subsane los problemas detectados.

Capítulo 2:

Habla sobre el efecto de la luz en la materia y de forma más especifica que es la luz ultravioleta-C (UV-C) así como sus aplicaciones en diferentes ámbitos como el uso doméstico y en el sector salud. Asimismo, se describen los conceptos que le dan sustento teórico al presente trabajo, como sistemas empotrados, sensores, actuadores y circuitos integrados.

Capítulo 3:

Se plantea el desarrollo y construcción del dispositivo esterilizador (materiales, dimensiones, programa, algoritmo, aplicación, circuitos implementados, sensores, actuadores y lámparas de luz UV-C).

Capítulo 4:

En este capítulo se resumen las pruebas de desempeño realizadas. Se muestran diferentes microorganismos que se someten a la exposición de luz UV-C generada por el dispositivo en 2 formas de operación del mismo, como contenedor de objetos y como lámpara de esterilización apara espacios dentro del hogar. De igual forma, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño, así como el área de cobertura que abarca el dispositivo esterilizador en la segunda forma de operación, como lámpara de esterilización para espacios dentro del hogar. Se muestran los resultados de la aplicación y su interfaz gráfica de usuario.

Capítulo 5:

Este capítulo aborda las conclusiones a las que se llegó en el presente trabajo. Las funcionalidades del dispositivo, su capacidad de esterilización, así como el diseño y la aplicación en Android.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan los conceptos teóricos que le dan sustento al trabajo.

2.1 Luz

La luz visible es el espectro de radiación electromagnética que los ojos, a través de los fotoreceptores, perciben dentro de una longitud de onda de 400nm a 700nm; en este rango electromagnético se encuentra la luz azul, verde, amarilla y roja, es decir, a una longitud de 400nm, nuestros ojos perciben la luz azul, a una longitud media de 580nm el color amarillo y entre mayor –longitud por ejemplo 700nm– la luz roja. Esto quiere decir que los diferentes colores que apreciamos al atardecer son debidos a las diferentes longitudes de onda dentro del espectro de luz visible que emiten los rayos del Sol. Sin embargo, el ojo humano no puede percibir longitudes de onda en donde se encuentran los rayos gama, rayos X y la luz infrarroja debido a que no contamos con proteínas fotosensibles para esas longitudes de onda. [5]

2.1.1 Luz ultravioleta-C (UV-C)

Dentro del rango de longitudes de onda de la luz ultravioleta-C (mencionados en el 1.3.14), existe un rango de longitudes de onda donde el porcentaje de eficacia germicida es mayor.

La eficacia germicida de la luz UVC se ilustra en la Imagen 3, donde se puede observar que la ésta alcanza un pico a unos 260-265nm de longitud de onda. Esto corresponde al pico de absorción UV por el ADN bacteriano. La eficacia germicida de las longitudes de onda UVC y UVB puede variar entre especies. Las lámparas de vapor de mercurio de baja presión irradian su energía a una longitud de onda de 253.7nm que, coincidentemente, está tan cerca del pico de absorción del ADN (260–265nm) que tiene una alta eficacia germicida. [2]

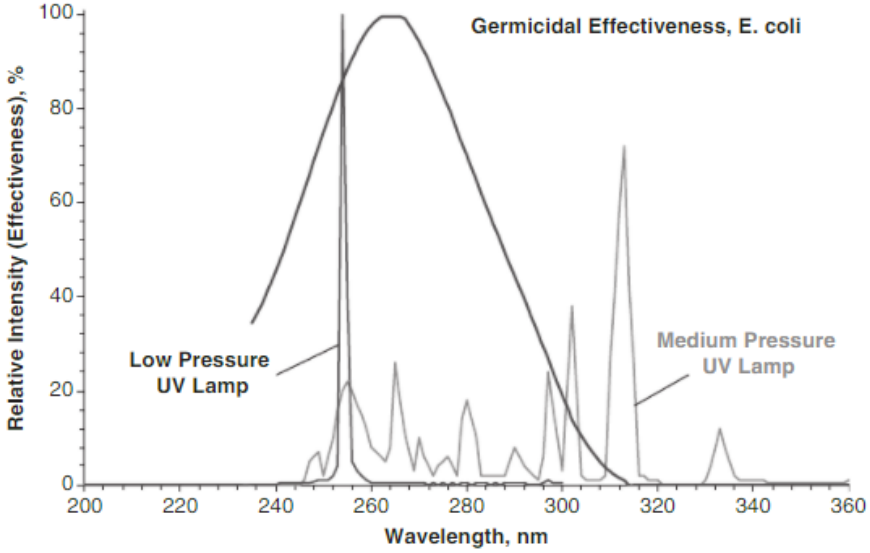


Imagen 3. Eficacia germicida de las longitudes de onda UV. (nm) [2].

2.1.2 Dosis de exposición

La dosis de exposición UV, también denominada fluencia, representa la energía radiante total que incide sobre una superficie o un microorganismo y tiene las unidades J/m^2 $(1Ws/m^2)$. Por dosis UV se entiende la dosis de exposición UV, siendo ésta la dosis a la que se expone la superficie o el microbio, y no la dosis absorbida, que se desconoce. Es decir, actualmente no se sabe cuánta energía UV es realmente absorbida por un microbio, solo se sabe a qué cantidad de UV estuvo expuesto en cualquier situación. En muchos casos, cuando se mide la dosis de UV, la irradiancia es la cantidad real que se mide durante un período de tiempo medido. [2]

2.1.3 Irradiancia

El parámetro I_R se utiliza para referirse a la irradiancia, que es el flujo de radiación a través de una superficie. [2]

Se han utilizado una variedad de unidades en la desinfección UV para la irradiación y la dosis de UV. La irradiancia, a veces llamada intensidad, tiene las unidades preferidas de W/m^2 en la desinfección del aire y de superficies. La dosis UV (también conocida como tasa de fluencia) tiene las unidades preferidas de J/m^2 en la desinfección de aire y superficies. Se tiene en cuenta que un julio J es equivalente a un watt-segundo Ws. [2]

2.1.4 Análisis teórico: potencia-irradiancia-dosis de exposición

La potencia de la lámpara UV se especifica en términos de potencia de entrada total nominal y potencia de salida UV. La relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada define la eficiencia de la lámpara. La mayoría de las lámparas de baja presión tienen eficiencias de alrededor del 30-31%. [2]

El valor de irradiancia media que corresponde a 40cm es $2.43W/m^2$ se usa para el cálculo de las lámparas de luz UV-C, estos 40cm se toman en cuenta dado que es la distancia hasta el extremo del objeto a desinfectar (Una laptop que no cabe al interior del dispositivo esterilizador UV-C)[2]

La potencia de entrada total de la lámpara es igual a la potencia de salida UV entre la eficiencia típica; luego se podría hallar la potencia de salida UV multiplicando la potencia de entrada total de la lámpara por la eficiencia típica. [2]

Para el presente trabajo (esterilizador de luz UV-C) se tienen lámparas de 12W de potencia de entrada. Para hallar la potencia de salida UV se tendría que multiplicar la potencia de entrada por 0.31 que representa la eficiencia del 31%. [2]

$$P_{salida\ UV} = P_{entrada\ nominal}\ (eficiencia)$$

$$P_{salida\ UV} = 12\ W(0.31)$$

$$P_{salida\ UV} = 3.72W$$

Con la potencia de salida ($P_{salida\ UV}$) ahora es posible encontrar la irradiancia media por metro cuadrado desde una lámpara de luz UV hasta una superficie situada a 40cm.

Las siguientes formulas muestran cómo se relaciona la $P_{\text{salida UV}}$ y la $I_{\text{R media}}$ para encontrar valores diferentes de estas mismas variables. [2]

$$\frac{(P_{salida\ UV\ 1\ (10W)})(I_{\text{R media 2}})}{I_{\text{R media 1 (para potencia de salida a 10W)}}} = P_{\text{salida UV 2}} \quad [2]$$

$$\frac{(P_{salida\ UV\ 2})(I_{\text{R media 1 (para potencia de salida a 10W}})}{P_{salida\ UV\ 1\ (10W)}} = I_{\text{R media 2}} \quad [2]$$

$$\frac{(3.72W)(2.43W/m^2)}{10W} = 1.64W/m^2$$

Luego se tiene que la irradiancia media por metro cuadrado desde una lámpara de luz UV hasta una superficie ubicada a 40cm de distancia es:

$$1.64W/m^2 = 164.79uW/cm^2$$

Como son dos lámparas de luz ultravioleta-C, la irradiancia media se suma [2] esto de acuerdo al Dr. K, debido a que varias lámparas tendrán contornos de irradiación superpuestos que aumentarán la irradiancia media general [2], por tanto, la irradiancia total proporcionada por dos lámparas de luz ultravioleta-C es

$$3.28W/m^2 = 328uW/cm^2$$

Los microbios expuestos a la radiación ultravioleta están sujetos a una dosis de exposición de la irradiancia multiplicada por el tiempo de exposición, de la siguiente manera:

$$D = (E_t)\ (I_R)$$

Donde

D: Dosis de exposición UV (J/m^2).

E_t: Tiempo de exposición en segundos.

I_R: Irradiancia (W/m^2).

De la formula anterior puede desprenderse que:

$$dosis\ de\ exposición = (tiempo)\ (irradiancia)$$

$$1J/m^2 = (1s)\ (1W/m^2)$$

Por tanto, la exposición de dosis UV-C que genera cada una de las lámparas usadas en el presente trabajo equivale a $3.28J/m^2$ por segundo hasta una superficie situada a 40cm desde la fuente de luz UV-C. (El análisis estricto, teórico, matemático de la propagación de la luz UV-C a través de diversos medios escapa al alcance del presente trabajo).

Con la información de la dosis de exposición de diferentes agentes patógenos (mostrados en la tabla 1, apéndice A) y la irradiancia calculada del dispositivo presentado en este trabajo, se realizaron los cálculos del tiempo necesario para desinfectar estos mismos agentes patógenos en una superficie de $1/m^2$ a una distancia de 40cm. Esta información es mostrada en la tabla 2 (apéndice A).

2.2 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado o “chip” que tiene la característica de ser programable. Es decir, que es capaz de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones previamente definidas por el usuario [6].

Un microcontrolador incluye en su interior:

La CPU (Unidad Central de Proceso)

Es la parte encargada de ejecutar cada instrucción y de controlar que dicha ejecución se realice correctamente. Normalmente, estas instrucciones hacen uso de datos disponibles

previamente (los “datos de entrada”), y generan como resultado otros datos diferentes (los “datos de salida”), que podrán ser utilizados (o no) por la siguiente instrucción [6].

Diferentes tipos de memorias:

Son en general las encargadas de alojar tanto las instrucciones como los diferentes datos que estas necesitan. De esta manera posibilitan que toda esta información (instrucciones y datos) esté siempre disponible para que la CPU pueda acceder y trabajar con ella en cualquier momento. Generalmente se encuentran dos tipos de memorias: las que su contenido se almacena de forma permanente incluso tras cortes de alimentación eléctrica (llamadas “persistentes”), y las que su contenido se pierde al dejar de recibir alimentación (llamadas “volátiles”). Según las características de la información a guardar, esta se grabará en un tipo u otro de memoria de forma automática, habitualmente [6].

Diferentes puertos de E/S (entrada/salida):

Son los encargados de comunicar el microcontrolador con el exterior. En las patillas de entrada del microcontrolador podremos conectar sensores para que este pueda recibir datos provenientes de su entorno, y en sus patillas de salida podremos conectar actuadores para que el microcontrolador pueda enviarles órdenes y así interactuar con el medio físico. De todas formas, muchas patillas de la mayoría de microcontroladores no son exclusivamente de entrada o de salida, sino que pueden ser utilizados indistintamente para ambos propósitos (de ahí el nombre de E/S).

Un microcontrolador es una computadora completa (aunque con prestaciones limitadas) en un solo chip, el cual está especializado en ejecutar constantemente un conjunto de instrucciones predefinidas. Estas instrucciones, irán teniendo en cuenta en cada momento, la información obtenida y enviada por las patillas de E/S y reaccionarán en consecuencia. Lógicamente, las instrucciones serán diferentes según el uso que se le dé al microcontrolador [6].

2.3 Telecomunicación

El objetivo fundamental de un sistema electrónico de comunicaciones, es transferir información de un lugar a otro. Por consiguiente, se puede decir que las comunicaciones electrónicas son la transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más lugares, mediante circuitos electrónicos. La fuente original de información puede estar en forma analógica(continua), como por ejemplo la voz humana o la música, o en forma digital(discreta), por ejemplo, los números codificados binariamente. Sin embargo, todas las formas de información se deben convertir a energía electromagnética antes de ser propagadas a través de un sistema electrónico de comunicaciones. [7]

Un sistema electrónico de comunicación simplificado comprende un transmisor, un medio de transmisión y un receptor. Un transmisor es un conjunto de uno o más dispositivos o circuitos electrónicos que convierte la información de la fuente original en una señal que se presenta más a una transmisión a través de determinado medio de transmisión. El medio de transmisión transporta las señales transporta las señales desde el transmisor hasta el receptor, y puede ser tan sencillo como un par de conductores de cobre que propaguen las señales en flujo de corriente eléctrica. También se puede convertir la información a ondas electromagnéticas luminosas, propagarlas a través de cables de fibra óptica hechas de vidrio o de plástico, o bien se puede usar el espacio libre para transmitir ondas electromagnéticas de radio, a grandes distancias o sobre terreno donde sea difícil o costoso instalar un costo físico. [7]

2.4 Sistema empotrado

"Un sistema empotrado es un sistema informático de uso específico que está encapsulado totalmente por el dispositivo que controla. Los sistemas empotrados constituyen un sistema computacional fruto de la combinación de hardware y software**.** Esta combinación tiene como misión llevar a cabo una funcionalidad o un conjunto de funcionalidades determinadas. Se denominan empotrados porque normalmente forman parte de un sistema completo o con funcionalidades más generales. Normalmente, un sistema empotrado está basado en un microcontrolador, que controla una función o funciones específicas de un sistema".

Sin embargo, el sistema no está diseñado para ser programado por el usuario final, como podría suceder con un PC, en el que ahora lo utilizamos como un procesador de textos y al cabo de un rato le instalamos un juego. Es decir, un usuario final puede configurar el dispositivo empotrado, pero normalmente no puede modificar la funcionalidad para la que ha sido construido. [7]

El ESP32 es un SoC (*System On a Chip)* el cual se encuentra en una tarjeta de desarrollo diseñada específicamente para realizar tareas puntuales y a bajo costo.

2.5 Definición de sensor

Una parte básica de un sistema empotrado es la capacidad de medir ciertas magnitudes del exterior para, a partir de éstas, generar algún comportamiento según lo programado en el microcontrolador. Esto se logra a través de sensores que generen una señal eléctrica específica con base en el cambio en la magnitud física medida.

A continuación, se describen algunos sensores útiles en sistemas empotrados.

2.6 BME280 Módulo de sensores de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica

El módulo de sensores BME 280 puede medir la temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, por lo que se decidió usarlo para medir variables que impactan en el crecimiento de agentes patógenos en el ambiente (Imagen 4).

El módulo de sensores BME280 fue especialmente desarrollado para dispositivos móviles, donde el tamaño y el bajo consumo de energía son parámetros clave del diseño. El fabricante menciona que el módulo combina sensores de alta linealidad y alta precisión (±3% para humedad relativa) y es perfectamente factible para un bajo consumo de corriente (hasta 3.6uA), estabilidad a largo plazo (histéresis < 2%) y alta robustez (presiones desde 300 hasta 110 hPa y temperatura desde –48 hasta 85°C) (Tabla 3). [9]

La tabla 3 del apéndice A muestra los datos técnicos del sensor BME280.

a) **b)**

Imagen 4. Sensor de temperatura BME280.
a) Vista inferior indicadores de conexión y señal.
b) Vista superior dispositivos electrónicos físicos. [10]

2.7 Fotoresistor como sensor de intensidad luminosa

Los fotoresistores, resistencias dependientes de la luz también conocidos como LDR (*Light Dependent Resistor*), son componentes hechos de materiales semiconductores. [11]

Un fotoresistor es sensible a la luz. Su resistencia disminuye cuando aumenta la iluminación, por lo que se incrementa la corriente. Los fotoresistores tienen múltiples usos, por ejemplo, apertura automática de puertas. [11]

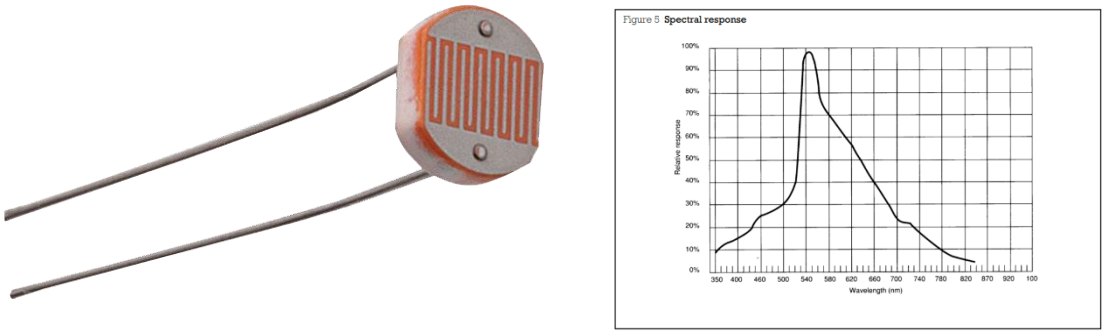
Otra aplicación es el control de la iluminación. Para ilustrar la funcionalidad de un fotoresistor (LDR), éste puede usarse para el control de voltaje por intensidad de luz. El voltaje de salida varía en función de la resistencia del fotoresistor. [11]

Para el presente trabajo se planteó el uso de un fotoresistor no lineal por su bajo costo y su rápida implementación.

El fotoresistor, al no ser un dispositivo lineal, presenta dificultad para medir con exactitud la intensidad de luz. [11] La razón por la cual se usó un fotoresistor para determinar un porcentaje de luz presente en el ambiente y no un fotodiodo es porque la medición de la luz no es un objetivo específico del presente trabajo.

Es importante mencionar, que para saber cómo influye la intensidad de luz en el desarrollo o erradicación de agentes patógenos en el ambiente, es necesario recabar cantidades significativas de datos durante un largo periodo de tiempo, y posteriormente realizar un análisis de dichos datos, lo cual excede el alcance del presente trabajo; sin embargo, no se descarta el análisis de datos en trabajos futuros. Cabe mencionar, que la instalación de sensores y fotoresistores instalados en el actual prototipo de esterilizador de luz UV-C, facilitaran el análisis de datos de dichos trabajos.

Adicional a lo anterior, se utilizó otro fotoresistor para detectar la emisión de luz ultravioleta-C al interior del dispositivo esterilizador, ello con la finalidad de saber que las lámparas de luz ultravioleta-C UV-C están encendidas. Este fotoresistor está conectado a un *LED* que indica si las lámparas están encendidas o apagadas (Imagen 5).



a) **b)**

Imagen 5. a) Fotoresistor. [12]
b) Respuesta espectral del fotoresistor. [13]

2.8 Sensor de movimiento PIR

El sensor PIR en sí tiene dos ranuras, cada ranura está hecha de un material especial que es sensible a los IR. Cuando pasa un cuerpo caliente como un ser humano o un animal, primero intercepta la mitad del sensor PIR, lo que provoca un cambio positivo diferente entre las dos mitades. Cuando el cuerpo caliente sale del área de detección, ocurre lo contrario, por lo que el sensor genera un cambio diferencial negativo. Estos pulsos de cambio son lo que se detecta.

Para tener un amplio rango de detección, se usó una lente simple. Los sensores también se pueden calibrar de tal manera que ignoren a las mascotas domésticas estableciendo un umbral de sensibilidad más alto o asegurándose de que el suelo de la habitación permanezca desenfocado. [14]

El sensor que se usara es el PIR HC-SR501.

Imagen 6. Sensor de movimiento PIR. [15]

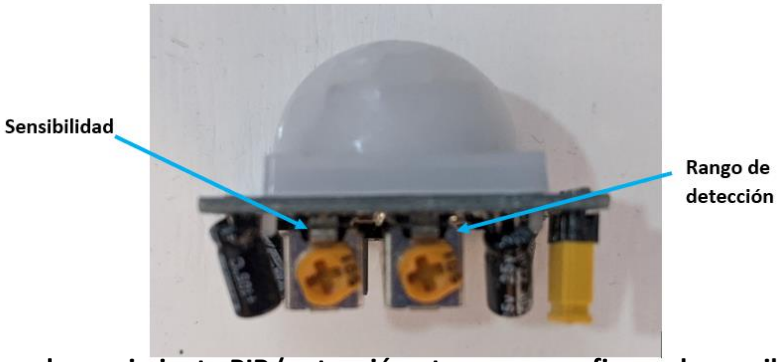


Imagen 7. Sensor de movimiento PIR (potenciómetros para configurar la sensibilidad y el rango de detección).

2.9 Actuador

Modulo relevador

Un interruptor controlado magnéticamente se llama relé. Un relé es esencialmente un dispositivo electromagnético que se utiliza para abrir o cerrar un interruptor que controla otro circuito. [16]

Cuando se cierra el interruptor, el circuito de la bobina se energiza. La corriente de la bobina aumenta gradualmente y produce un campo magnético. Eventualmente, el campo magnético es lo suficientemente fuerte como para tirar del contacto móvil en el otro circuito y cerrar el interruptor. En este punto, se dice que el relé está tirado. El intervalo de tiempo entre el cierre de los interruptores y se llama tiempo de retardo del relé. [16]

Los relés se utilizaron en los primeros circuitos digitales y todavía se utilizan para conmutar circuitos de alta potencia. [16]

2.10 Tarjeta de desarrollo utilizada, DOIT ESP32 DEVKIT V1

Para su programación, se utilizó una tarjeta de desarrollo DOIT ESP32 DEVKIT V1, las razones por la cuales se ha optado por usar esta tarjeta son las siguientes:

1- Posee conectividad inalámbrica como Bluetooth y WiFi integrada en la misma tarjeta, lo cual permite trabajar de una forma más compacta e integral en el proyecto (imagen 8), sin necesidad de adquirir módulos adicionales para realizar la comunicación inalámbrica entre el dispositivo desarrollado (esterilizador de luz UV-C) y el smartphone Android [17].

2 - Es una tarjeta de desarrollo con una excelente relación costo-prestaciones ya que, como se muestra en la tabla #5 del apéndice A, posee características tecnológicas significativas a un costo accesible en comparación con otras tarjetas similares [18].

3- Cuenta con una amplia gama de documentación y respaldo por parte de la comunidad electrónica, lo que se traduce en conocimiento útil para poder realizar proyectos diversos (Imagen 8).

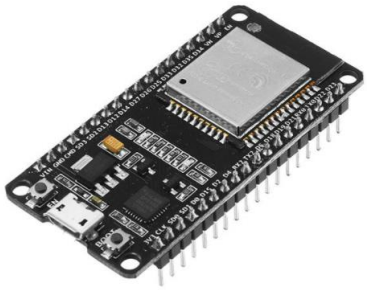


Imagen 8. Tarjeta de desarrollo DOIT ESP32 DEVKIT V1. [17]

En la tabla 5 del apéndice A, se puede apreciar la comparativa entre las tarjetas de desarrollo de la empresa *espressif* basadas en el modelo ESP8266 Y ESP32. En la tabla 6 se puede observar la comparación entre las diversas tarjetas basadas en el modelo ESP32.

2.11 Arduino, entorno de desarrollo

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, el cierre de un interruptor en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida, activando un motor, encendiendo un LED, publicando algo en línea. Desde el software es posible programar el hardware para que realice determinadas acciones con base a entradas físicas o lógicas. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino y el Software Arduino, basado en Processing. [19]

Gracias a la plataforma Arduino es posible obtener librerías que facilitan la implementación de funcionalidades en el dispositivo esterilizador.

Para la implementación del sensor BME280, utilizo la librería BME280.h en Arduino.

2.12 Plataforma Blynk

Blynk es una plataforma web que permite crear aplicaciones para sistemas móviles como Android y iOS. Estas aplicaciones están enfocadas en el internet de las cosas y permite comunicar diversas tarjetas de desarrollo directamente a la nube de Blynk. [20]

Gracias a esta plataforma podemos tener un espacio gratuito en el servidor de la nube, lo cual ayuda a reducir los costos de implementación, además de que brinda funcionalidades predefinidas.

2.13 Histérisis

Característica de un circuito en la que dos niveles de disparo crean un desequilibrio o retraso de la acción de conmutación. Básicamente histéresis significa que existe un nivel de referencia más alto cuando el voltaje de entrada pasa de un valor más bajo a uno más alto que cuando pasa de un valor más alto a uno más bajo. Un buen ejemplo de histéresis es un termostato casero que prende el horno a una temperatura y lo apaga a otra. [22]

Para el caso del sensor utilizado en el presente trabajo (BME280) representa la diferencia máxima que se observa para un valor cualquiera del campo de medida; se expresa en porcentaje del margen de medida. El sensor BME280 tiene un porcentaje de histéresis menor al 2% de acuerdo al fabricante.

2.14 Características del microscopio

El microscopio utilizado es un microscopio genérico que permite observar objetos con un rango de aumentos que van desde los 500x aumentos a los 2000x aumentos, posee una pantalla LCD, LEDs color blanco y es alimentado a través de un puerto USB tipo A, con un voltaje de 5 Volts corriente directa. Posee 2 lentes y una estructura plástica que permite colocar placas de vidrio.

A continuación, se observan algunas de las características tecnológicas que posee este microscopio, así como, así como su rango de visualización (Imágenes 9, 10 y 11).

Imagen 9. Disposición de botón e interruptores en el microscopio. [23]

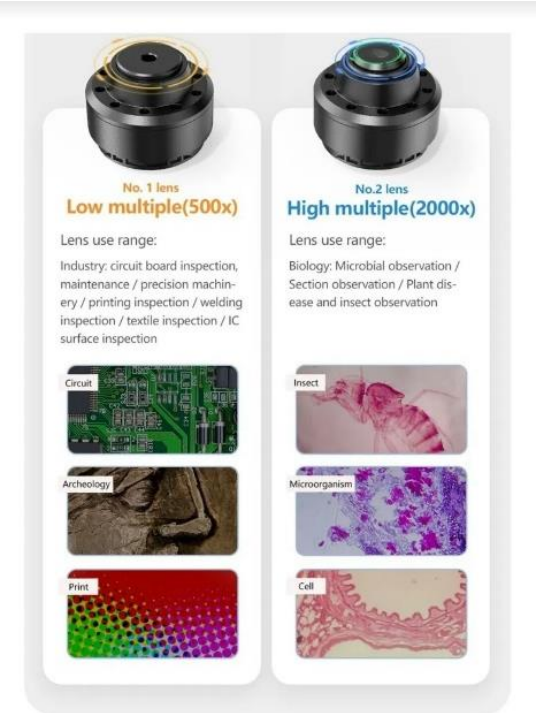


Imagen 10. Izquierda: lente 1, ~ 500x permite observar placas de circuitos y restos arqueológicos. Derecha: lente 2, ~ 2000x permite observar insectos, microorganismos y células. [23]

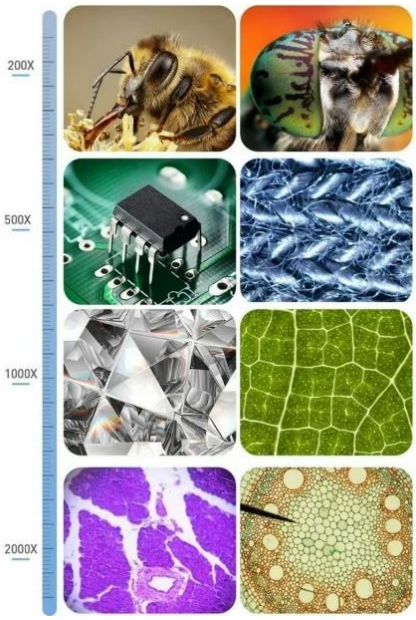


Imagen 11. Distintos objetos observados a distintos aumentos microscópicos. Hasta arriba, los objetos que pueden ser observados en el rango de los 200x aumentos son insectos; el aumento de los 500x permite observar dispositivos microelectrónicos; el aumento de los 1000x permite observar diamantes y células; hasta abajo, el aumento de los 2000x permite observar microorganismos. [23]

Capítulo 3

DESARROLLO

A continuación, se describe el trabajo realizado.

3.1 Diagrama de bloques

Se realizó la construcción del dispositivo UV-C en base a los problemas detectados en los dispositivos de esterilización comerciales.

Se muestran los diagramas de control y monitoreo, así como el diagrama general, los cuales explican el funcionamiento del dispositivo UV-C.

El diagrama de bloques especifico muestra cómo funciona el dispositivo:

1- El bloque amarillo que pertenece a la etapa de monitoreo, recibe los datos del entorno a través de los diversos sensores (PIR, LDR y BME280) estos datos son enviados al dispositivo controlador (DOIT ESP32 DEVKIT V1).
2- El controlador (bloque verde brillante) comunica los datos obtenidos por los sensores, a la nube de Blynk a través de internet.
3- La nube de Blynk envía los datos a la aplicación de Android (verde mate).
4- El controlador toma las decisiones correspondientes en base a la configuración del usuario y acciona los actuadores, esto se representa en el bloque color purpura (Bloque de lámparas UV-C, zumbador, relevador e indicadores luminosos).

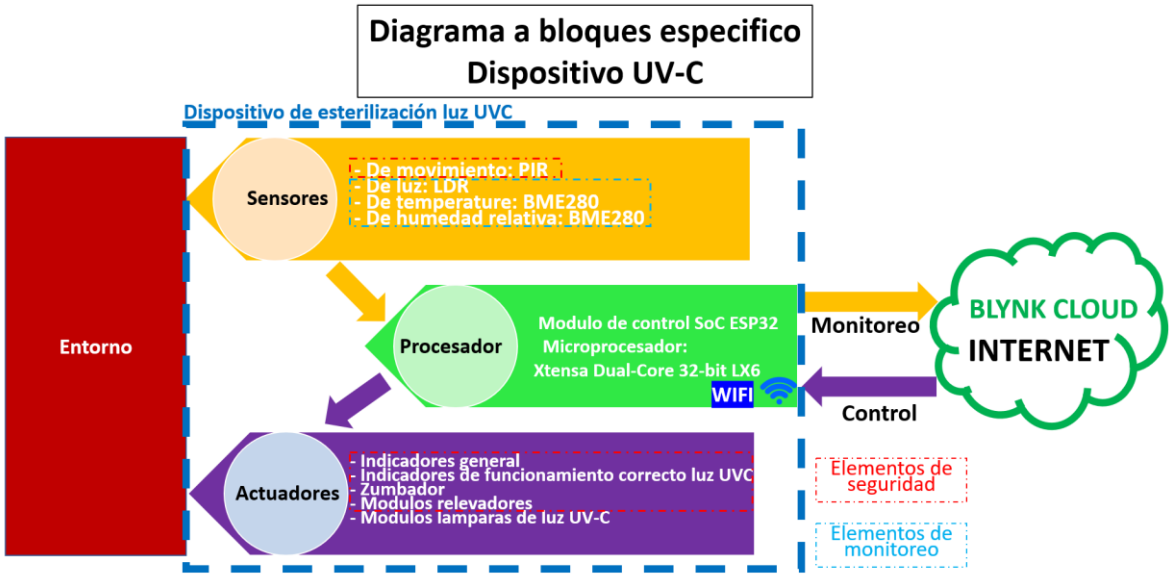


Imagen 12. Diagrama de bloques especifico.

En la siguiente imagen se observa el diagrama general de comunicación que existe entre el dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C UVC, la nube y la aplicación Android.

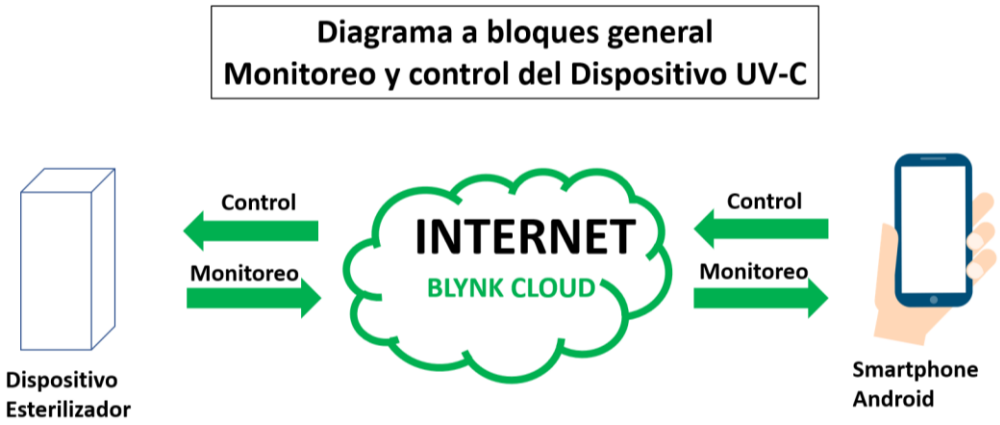


Imagen 13. Diagrama de bloques control y monitoreo del dispositivo UV-C.

3.2 Modos de operación

A continuación, se describen los modos de operación que tendrá el dispositivo UV-C:

Se diseñó y construyó un prototipo de dispositivo UV-C. El dispositivo de luz ultravioleta UV-C tiene dos formas de operación:

1- Puede funcionar como un contenedor UV-C, en el que se podrían desinfectar objetos personales, como celulares, llaves, carteras, peines, gorras, credenciales, billetes, etc. (Imagen 14):

Imagen 14. Forma de operación 1, como contenedor de esterilización.

Imagen 15. Vista interna inferior del contenedor esterilizador.

Imagen 16. Vista interna superior del contenedor esterilizador.

2- Podria funcionar como una lámpara esterilizadora de espacios dentro del hogar; como habitaciones, recámaras, salas de estar, alfombras, lavabos y, además, objetos más grandes que no pudieran entrar dentro del contenedor (Imágenes 17 y 18):

Imagen 17. Forma de operación 2, como lámpara de esterilización en espacios del hogar.

Imagen 18. Forma de operación 2, como lámpara de esterilización de objetos que no caben en el contenedor.

3.3 Etapas del desarrollo del dispositivo

El dispositivo se desarrolló, con base en el diagrama de la imagen 24, comenzando con la parte física, a continuación, la parte eléctrica y electrónica y, finalmente, el software de control y monitoreo.

3.3.1 Desarrollo físico

3.3.1.1 Dimensiones del dispositivo

La estructura del dispositivo es de madera. Para la primera forma de operación, sus medidas son de 43cm de largo, 23.8cm de ancho y 32.5cm de alto (Imagen 19). Para la segunda forma de operación, sus medidas son de 79cm de alto, 23.8cm de ancho y 32.5cm de largo (Imagen 20). Las medidas del dispositivo esterilizador, se establecieron en esos valores, teniendo en cuenta las dimensiones de las lámparas, las conexiones, el circuito eléctrico y el espacio suficiente para poder esterilizar objetos de uso personal como gorras, teléfonos celulares, carteras, etc.

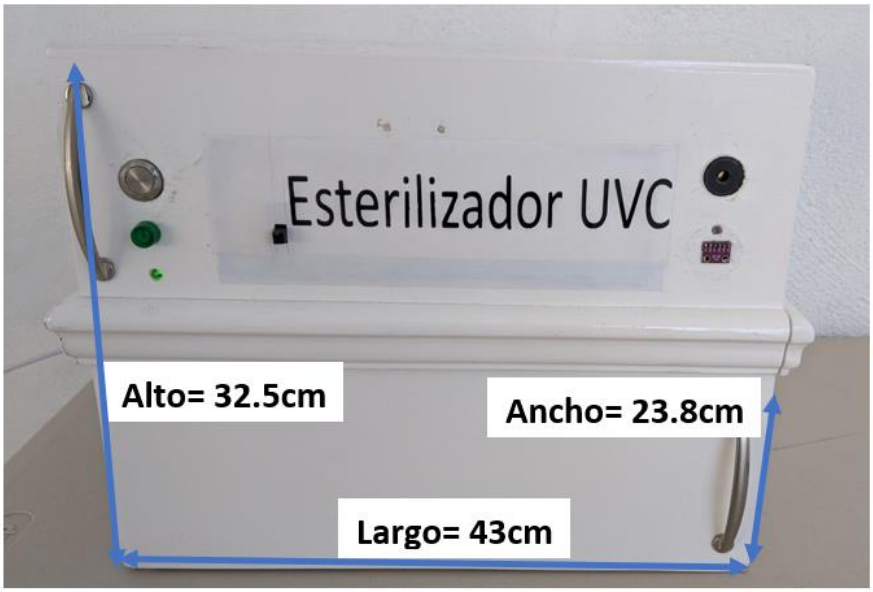


Imagen 19. Dimensiones externas del dispositivo esterilizador funcionando en modo de operación 1, como contenedor.

Imagen 20. Dimensiones externas del dispositivo esterilizador funcionando en modo de operación 2, como lámpara de esterilización en espacios del hogar.

3.3.1.2 Materiales del dispositivo

Las razones por las que se usó la madera en la construcción del chasis del dispositivo esterilizador, son las siguientes:

1- Es un material que no es conductor térmico por tanto el calor generado por las lámparas de luz ultravioleta-C UV-C, no se transmitirá al sensor de temperatura que se ubica en el exterior del dispositivo, esto con la finalidad de no alterar las mediciones de temperatura en el ambiente.

2- Se tuvo en cuenta la reducción de desechos contaminantes que pudiera derivar del vencimiento por uso normal del dispositivo esterilizador, recordando que la madera es más amigable con el medio ambiente.

3- La madera es un material económico, accesible y de fácil uso para la elaboración de diversos productos (Imagen 21).

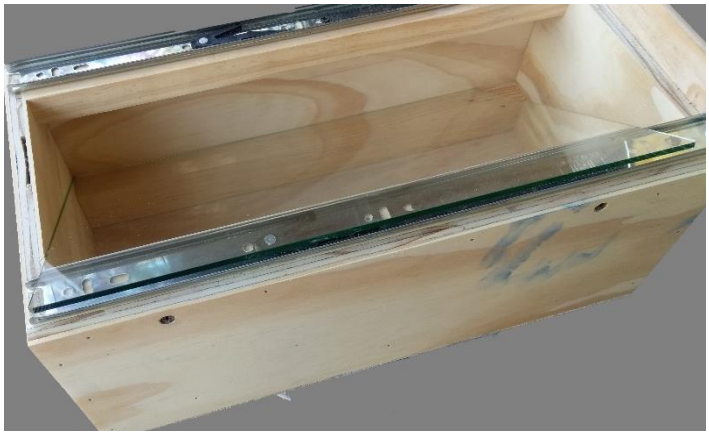


Imagen 21. Chasis del dispositivo esterilizador fabricado en madera y con rieles metálicos (2pzs en total).

Adicional al chasis del dispositivo, en su interior cuenta con 2 placas de vidrio a 1cm de distancia de las lámparas esterilizadoras de luz ultravioleta-C, cada placa de vidrio cuenta con 2 ranuras las cuales corresponden a las dimensiones de cada lámpara (23.5cmx3cm), esto con la intención de evitar cualquier atenuación que el vidrio pueda ocasionar en las lámparas, y de esta manera permitir que la luz ultravioleta-C se propague mejor. El dispositivo UV-C cuenta con una placa de vidrio en la parte superior y otra en la parte inferior, esto por las siguientes razones:

1- Estas placas de vidrio evitan el contacto directo entre los objetos y las lámparas alojadas al interior del dispositivo, esto ayuda a que los objetos no muevan las lámparas.

2- Estas placas de vidrio son un soporte plano para alojar al interior del dispositivo, los objetos a esterilizar.

3- La distancia que existe entre las lámparas de luz ultravioleta-C UV-C y los objetos a esterilizar, es de 1cm.

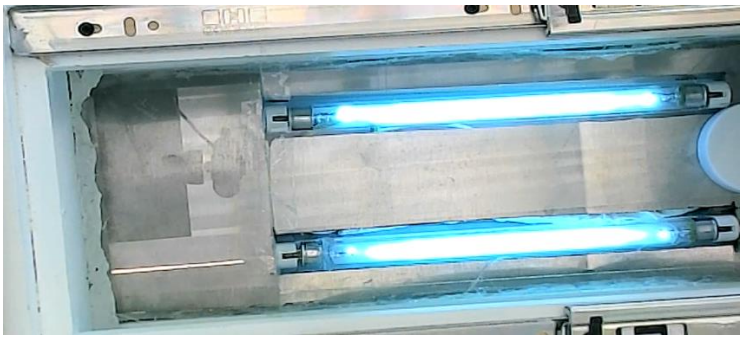


Imagen 22. Placa de vidrio interna (2pzs en total)

Cuenta con 2 placas de acero inoxidables tipo “espejo”, colocadas en las caras internas, junto a las lámparas, las placas de acero inoxidable no se utilizan para el cálculo de la irradiancia y su uso es solo para ocultar el cableado interno del dispositivo esterilizador (Imagen 22)

Imagen 23. Lamina de acero inoxidable interna (2 pizas en total)

Se utilizó silicón caliente para sellar las juntas que existen entre el marco que sostiene las placas de vidrio y los vidrios.

3.3.2 Desarrollo electrónico

3.3.2.1 Análisis del circuito desarrollado

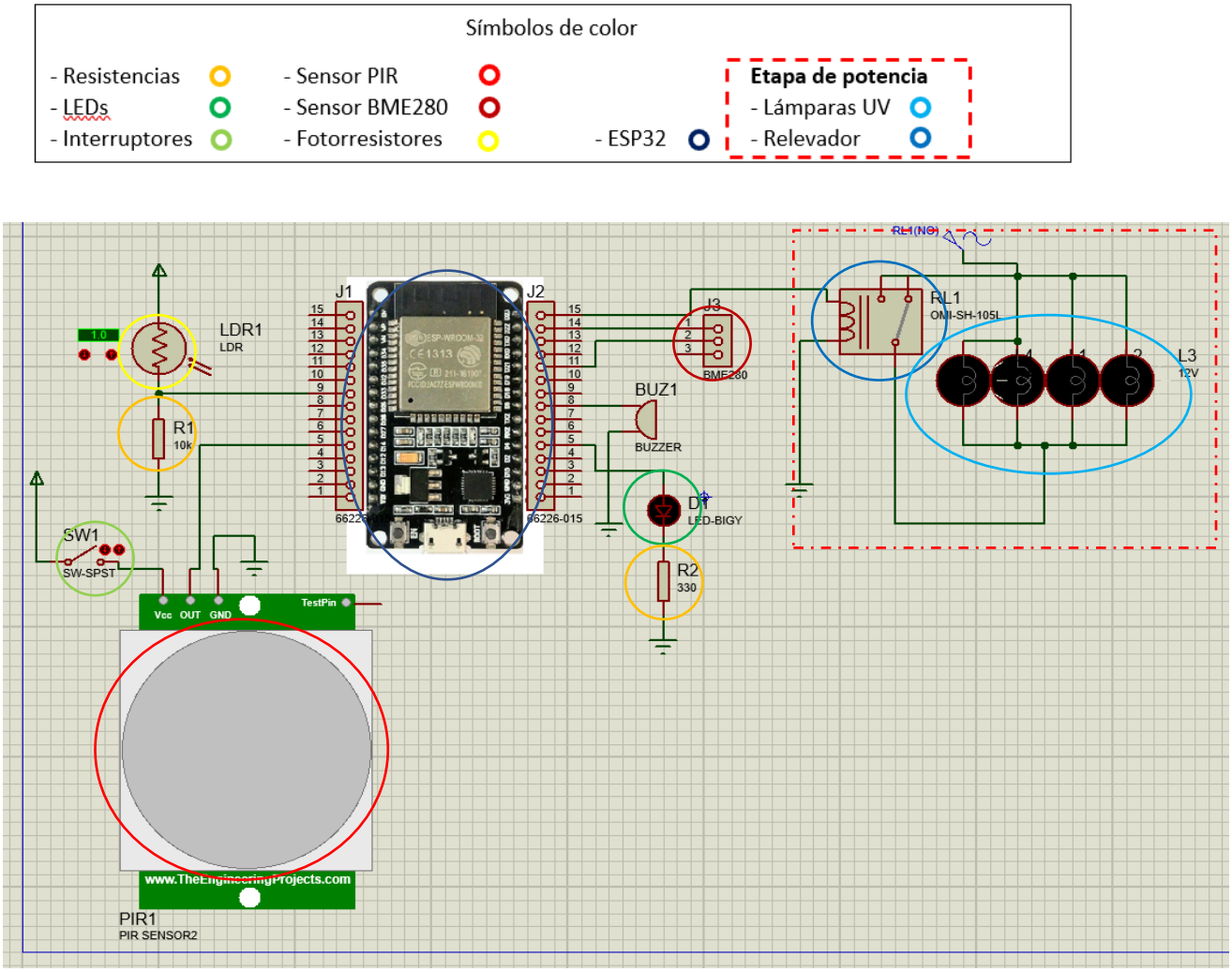


Imagen 24. Diagrama eléctrico del dispositivo esterilizador de luz ultravioleta UV-C

En la imagen 25, se muestra el diagrama de control y potencia para el dispositivo esterilizador de luz ultravioleta UV-C.
El diagrama eléctrico de la imagen 25, pertenece al circuito usado en el dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C UVC. Es importante resaltar que el desarrollo del circuito electrónico está construido de forma modular, lo cual implica que los dispositivos que conforman el circuito no se encuentran en una sola placa base. Esto permite la flexibilidad de conexiones, una rápida implementación y amplio margen de integración tecnológica a futuro.

Para el control y monitoreo se utiliza una tarjeta de desarrollo DOIT ESP32 DEV KIT V1(circulo azul marino). La tarjeta de desarrollo está montada en una placa de expansión con borneras, lo cual permite realizar conexiones de forma rápida y eficaz.

Como medidas de seguridad se utilizan sensores, uno de los cuales es el sensor PIR (círculo rojo) el cual envía una señal “HIGH” o “1” lógico cuando detecta la presencia de un ser humano o un animal.

El otro sensor de seguridad es un fotoresistor, el cual está conectado a un LED indicador verde, este LED se enciende cuando el fotoresistor detecta luz ultravioleta-C UV-C, en el interior del dispositivo esterilizador, esto indica que las lámparas de luz ultravioleta-C UV-C están encendidas.

En la etapa de potencia hay un módulo relevador el cual se activa cuando el ESP32 envía una señal “HIGH” o “1” lógico, lo cual accionaria las lámparas de luz ultravioleta-C UV-C (círculos de color azul claro).

En el círculo cafe se encuentra una representación del sensor de temperatura, humedad relativa y presión.

El diagrama eléctrico muestra la implementación de un zumbador el cual es activado por el ESP32.

El fotoresistor (LDR 1), imagen 24, está conectado al canal ADC1_CH5, el cual, lee el voltaje analógico a través del divisor de voltaje. El voltaje va de 0 a 3.3V mismo que es convertido a un valor digital en un rango de 0 a 1023.

El sensor BME280 utiliza una comunicación digital de I2C.

3.3.2.2 Análisis de potencia

El dispositivo esterilizador cuenta con dos módulos de lámparas UV-C, cada lámpara de cada módulo es de una potencia de consumo de 12W, en total se usarán 4 lámparas en este dispositivo esterilizador. Cada lámpara requiere un voltaje de 127 Volts de corriente alterna y consume una corriente de 0.0944A.

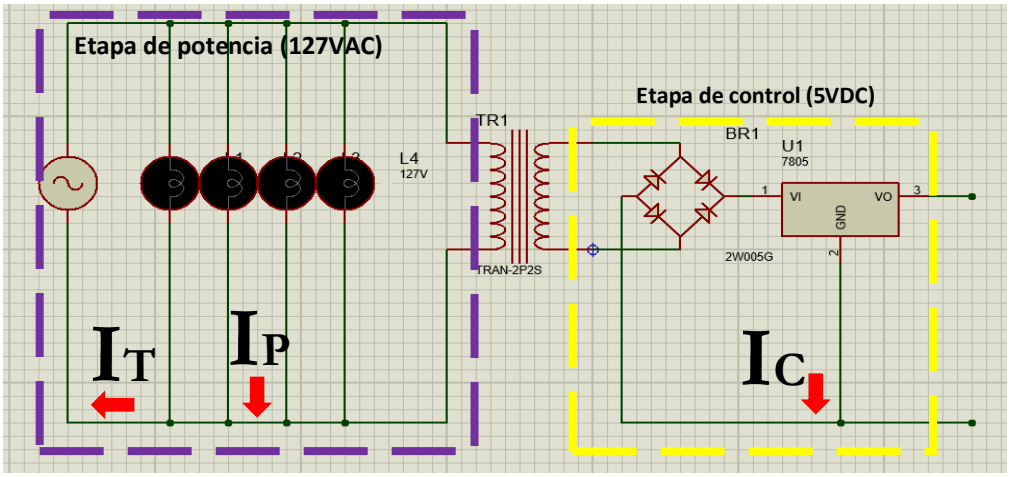


Imagen 25. Diagrama eléctrico que separa la etapa de potencia (línea punteada morada), de la etapa de control (línea punteada amarilla)

Se puede hallar la potencia total W_T, usando la formula:

$$W_T = V_T \cdot I_T$$

Donde

W_T *es la potencia total*
V_T *es el voltaje total*
I_T *es la corriente total*

La potencia consumida por los módulos de lámparas de luz ultravioleta-C UV-C (línea punteada morada) es de 48 Watts y la corriente consumida por la etapa de control (línea punteada amarilla), es de 0.080 A.

La corriente total es igual a la corriente de la etapa de potencia más la corriente en la etapa de control:

$$I_T = I_{EP} + I_{EC}$$

Donde

I_T *es la corriente total*
I_{EP} *es la corriente en la etapa de potencia*
I_{ec} *es la corriente en la etapa de control*

Como cada lámpara está conectada en paralelo con la fuente de voltaje, y cada lámpara consume una corriente de 0.0944A, la corriente total en la etapa de potencia es de 0.3775A.

Con la corriente total en la etapa de potencia y la corriente en la etapa de control, ahora, es posible hallar la corriente total:

$$I_T = 0.3775A + 0.080A$$

$$I_T = 0.4575A$$

A continuación, se usa el valor de la corriente total I_T para encontrar el valor de la potencia total consumida por el dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C UV-C:

$$W_T = 127V \cdot 0.4575A$$

$$W_T = 58.10Watts$$

3.3.2.3 Sensores utilizados

Tiene un sensor de temperatura y humedad, descritos en la sección 2.7, que le permite monitorear variables que podrían influir en el crecimiento de agentes patógenos, como luz, temperatura, y humedad relativa.

3.3.3 Desarrollo de software

Utilizando la plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles para Android (Blynk), descrita en la sección 2.13, se generó una aplicación cuyas funciones básicas consisten en: encendido y apagado del dispositivo, configuración de tiempo y alarmas.

En los siguientes párrafos, se describe el algoritmo seguido por la aplicación expresado mediante un diagrama de flujo.

3.3.3.1 Diagrama de flujo dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C UV-C

En las Imágenes 26 y 27, se muestra el diagrama de flujo de la aplicación que controla el dispositivo esterilizador desarrollado. El diagrama de flujo empieza con la comprobación del sensor PIR, si el sensor PIR detecta movimiento entonces no ocurre el proceso de esterilización, esto indica que las lámparas de luz ultravioleta-C UV-C no se encienden.
Posteriormente se realiza la comprobación del paro de emergencia, si este ha sido pulsado entonces no hay emisión de luz ultravioleta.

Después, se realiza la comprobación del modo de control para el dispositivo esterilizador, en esta parte del diagrama de flujo se evalúa si el usuario ha seleccionado el modo de operación automático, de ser cierta esta evaluación ahora se evalúa si la hora y fecha coincide con la establecida por el usuario, de ser cierto entonces ocurre la emisión de luz ultravioleta por parte del dispositivo esterilizador. Si no es la misma hora y fecha, entonces no ocurre la emisión de luz ultravioleta.

Si el usuario ha seleccionado el modo de control manual, ahora se evalúa si el usuario ha presionado el botón de “MARCHA” en la aplicación Android. Si el usuario no ha presionado el botón de marcha, el dispositivo esterilizador no inicia el proceso de esterilización, en caso contrario ocurre el proceso de esterilización durante el tiempo que haya seleccionado el usuario, una vez el tiempo seleccionado se termina, el proceso de esterilización se termina, las lámparas de luz ultravioleta-C UV-C se apagan y el dispositivo vuelve a la espera de que todas las evaluaciones se cumplan para volver a efectuar el proceso.

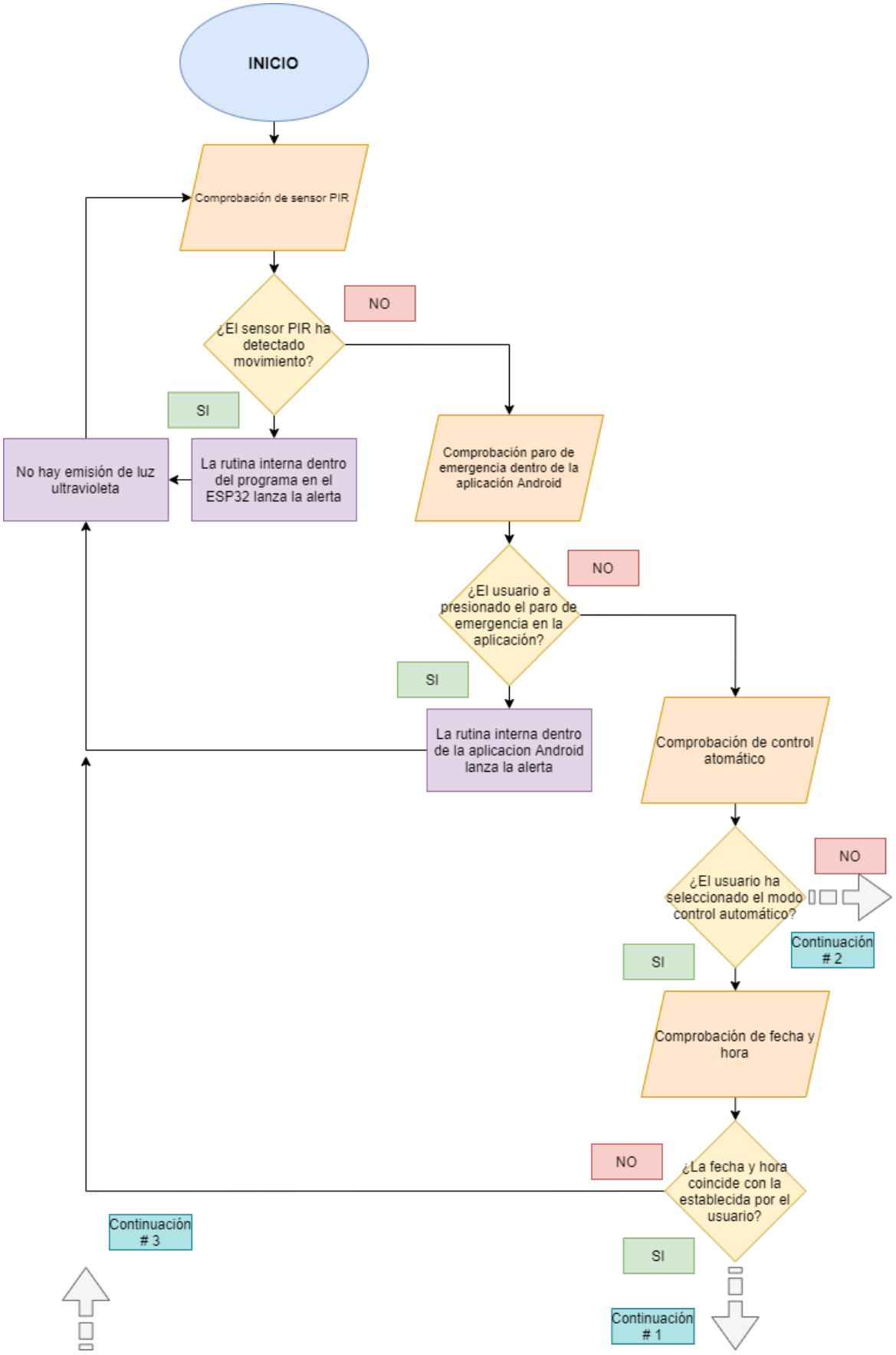


Imagen 26. Diagrama de flujo dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C UV-C, Parte #1

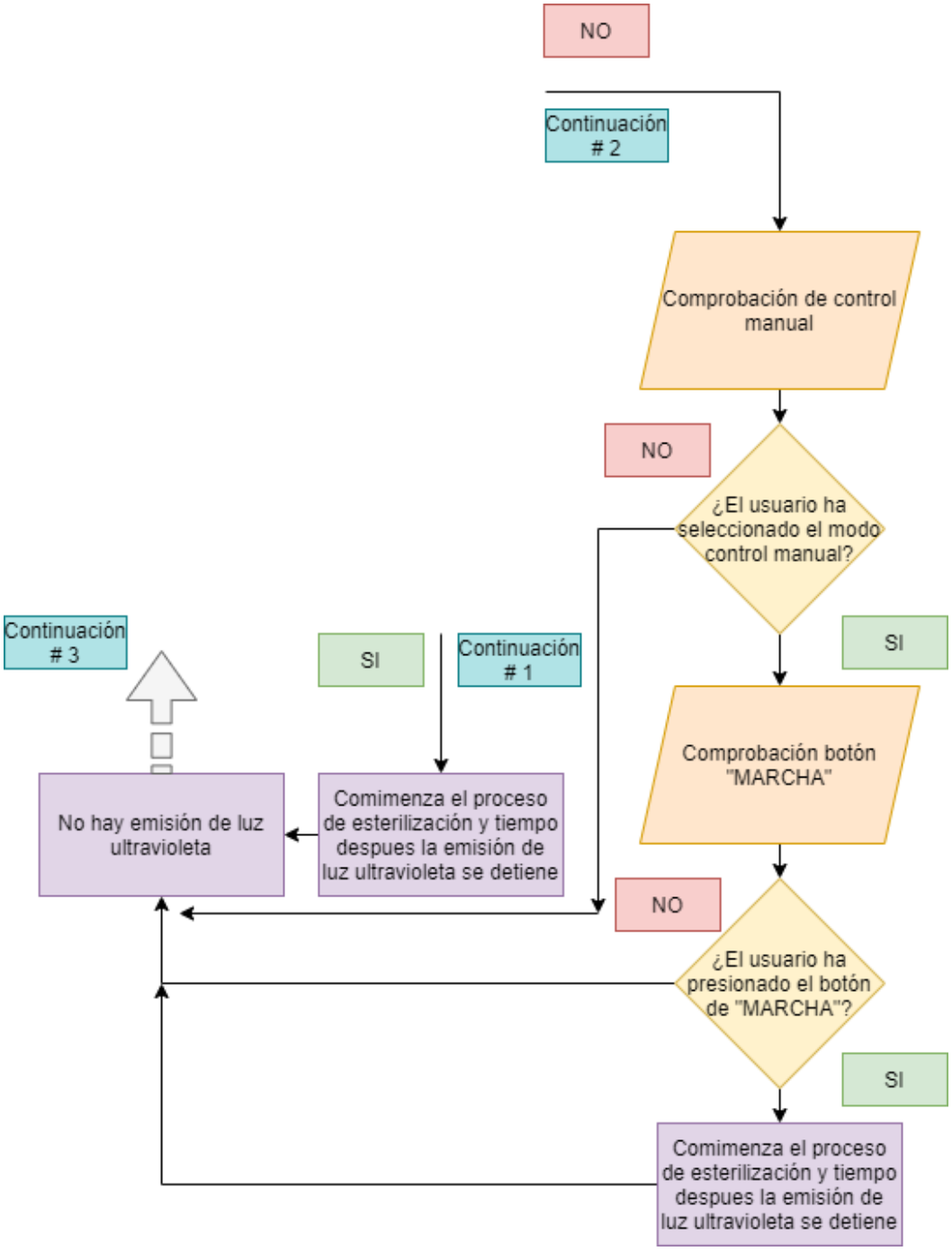


Imagen 27. Diagrama de flujo dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C UV-C, Parte #2

3.3.3.2 Aplicación desarrollada en Blynk para el control y monitoreo del esterilizador de luz ultravioleta-C (UVC)

Para el control y monitoreo del dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C (UV-C), se desarrolló una aplicación en el entorno de desarrollo “Blynk”, esta aplicación se programa ensamblando bloques de funcionalidades y se enlazan al dispositivo a controlar a través de WiFi, esto significa que es posible controlar el dispositivo esterilizador desde cualquier parte del mundo.

En la Imagen 28 se puede observar la parte “CONTROL DE ESTERILIZADOR”:

1.- Título de la sección “CONTROL DE ESTERILIZADOR”.
2.- “CONTROL MANUAL”, indica que puede realizar el control manual del proceso de esterilización.
3.- Indicador de movimiento detectado por el sensor PIR.
4.- “HIGH o LOW” indica si el dispositivo esterilizador ha recibido la señal de “PARO DE EMERGENCIA”.
5.- Indica cómo se configura el tiempo de esterilización, así como “MARCHA” (Botón grande amarillo).
6.- Permite fijar el tiempo de esterilización en minutos, desde 1 minuto hasta 180 minutos (desde 1 minuto hasta 3 horas).
7.- Permite visualizar en cuenta regresiva el tiempo restante que falta para terminar la esterilización.
8.- Botón virtual amarillo, permite poner en MARCHA el dispositivo esterilizador, así como ponerlo en PAUSA.
9.- Indicador LED rojo virtual, muestra si el proceso está activo, en caso de ser verdad, el LED virtual se iluminará en color rojo.

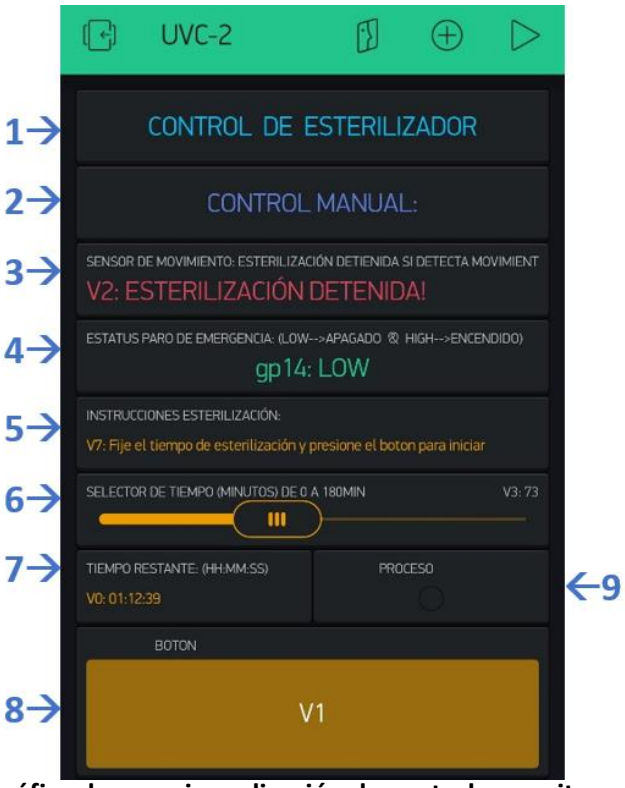


Imagen 28. Interfaz gráfica de usuario, aplicación de control y monitoreo en "Blynk", secciones "CONTROL DE ESTERILIZADOR" y "CONTROL MANUAL".

10.- Botón virtual en color rojo ("PARO"), sirve para detener y reiniciar el proceso de esterilización.

11.- Etiqueta "CONTROL MANUAL", indica que puede realizar el control manual del proceso de esterilización.

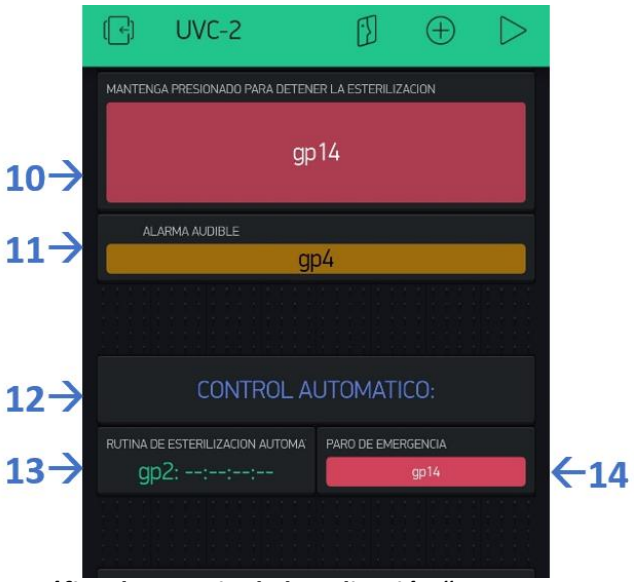


Imagen 29. Interfaz gráfica de usuario de la aplicación "CONTROL y MONITOREO" esterilizador de luz ultravioleta-C (UV-C).

La Imagen 29 pertenece a la misma sección “CONTROL DE ESTERILIZADOR” y “CONTROL AUTOMÁTICO”

11.- La etiqueta “CONTROL AUTOMIÁTICO”, indica que pertenece en la sección donde se realiza el proceso de esterilización de forma automática, es decir, se puede configurar la fecha y hora de esterilización.
12.- Puede programar el proceso de esterilización de forma automática a determinada hora y fecha.
14.- Botón de color rojo que funciona como un paro de emergencia, puede detener y reiniciar el proceso de esterilización.

Imagen 30. Interfaz gráfica de usuarios, sección “MONITOREO DEESTERILIZADOR”, 2.

La Imagen 30 pertenece a la sección “MONITOREO DE ESTERILIZADOR”

15.- La etiqueta “MONITOREO DE ESTERILIZADOR”, muestra la sección monitoreo.
16.- Muestra casi en tiempo real, la esterilización que lleva completada en base al tiempo seleccionado.
17.- Barra horizontal de intensidad luminosa que va de 0 a 100%, muestra la cantidad de luz que hay en el medio ambiente.
18.- Permite graficar los valores de las variables físicas que se miden, tales como temperatura, humedad y presión atmosférica.
19.- Mensaje de la nube *Blynk*, muestra si se encuentra actualmente conectado (*LCD ESP32 connected*), o desconectado (*LCD ESP32 desconnected*).
20.- Se observa la medición de la temperatura en grados centígrados (ºC).
21.- Se observa la medición de la humedad relativa en porcentaje (%).
22.- Se observa la medición de la presión atmosférica en hectoPascales(hPa).

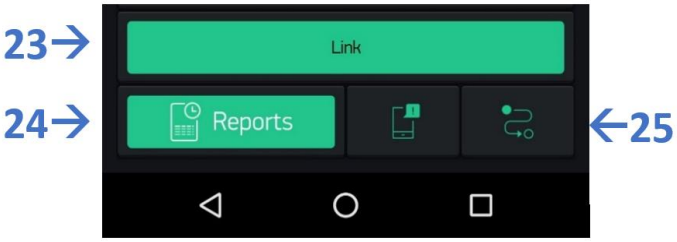


Imagen 31. Interfaz gráfica de usuarios, sección adicional.

23.- Redirecciona a una web.
24.- La etiqueta “Reports” color verde sirve para generar reportes automáticos que se envían al correo electrónico una vez al día.
25.- Configuraciones predeterminadas.

3.4 Montaje del dispositivo

3.4.1 Paso 1

Para el montaje del dispositivo se tomaron en cuenta las especificaciones de las lámparas de luz ultravioleta-C (UV-C), las cuales son los elementos clave para poder esterilizar objetos o espacios dentro del hogar.

Las dimensiones para cada una de estas lámparas son de 23cm de largo por 3cm de ancho por 4cm de alto (imagen 32).

Imagen 32. Par de lámparas de Luz ultravioleta-C (UVC), colocadas en el interior del dispositivo esterilizador.

Teniendo en cuenta las dimensiones de las lámparas, los circuitos necesarios para el funcionamiento del dispositivo esterilizador, los dispositivos electrónicos como sensores y

la tarjeta de desarrollo, así como el espacio necesario para alojar objetos dentro del dispositivo esterilizador, se procedió a elaborar el chasis del dispositivo con madera y un par de rieles metálicos que sirven para deslizar la parte superior y la parte inferior del chasis (Imágenes 33, 34 y 35).

Imagen 33. Chasis superior del dispositivo esterilizador.

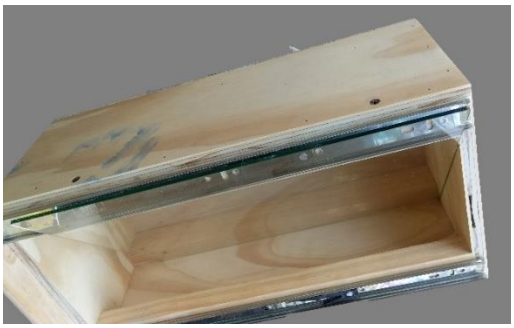


Imagen 34. Chasis inferior del dispositivo esterilizador.

Imagen 35. Chasis del dispositivo esterilizador con rieles metálicos.

3.4.2 Paso 2

Se procedió a ensamblar la parte superior del chasis con la parte inferior, de forma que quedó un contenedor rectangular.
A continuación, se pintó el chasis de madera con pintura blanca. Esto se realizó tanto en el interior como en el exterior (Imagen 36).

Imagen 36. Dispositivo esterilizador pintado de blanco.

3.4.3 Paso 3

Se probaron las conexiones de todos los dispositivos electrónicos que están dentro del dispositivo de luz ultravioleta-C (UV-C) (imagen 37). Para ello se usó una tablilla de conexiones (*bredboard*).

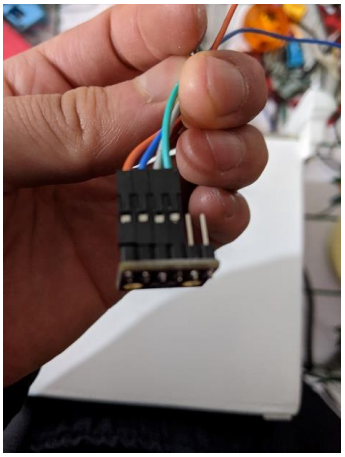


Imagen 37. Prueba de conexión para el sensor BME280.

3.4.4 Paso 4

Posteriormente, se desarrolló la aplicación para Android en la plataforma Blynk. Para ello, se descargó la aplicación, se realizó el registro en ella, se generó un código de autentificación y se enlazó la tarjeta de desarrollo DOIT ESP32 DEVKIT V1, con la aplicación en Blynk.

Una vez realizados los pasos anteriores, se agregaron funcionalidades a la aplicación, deslizando el menú *Widget Box* del lado derecho. Para ello, se arrastró cada *widget* (etiqueta) y se configuraron los parámetros necesarios para que funcione correctamente la tarjeta de desarrollo (Imagen 38).

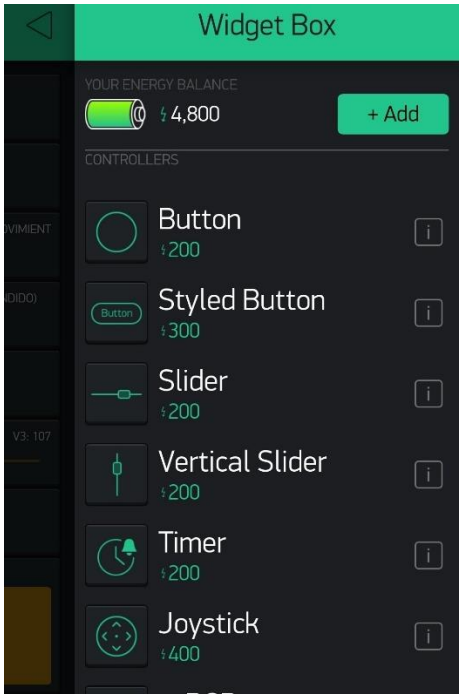


Imagen 38. Menú desplegable derecho para agregar w*idgets* (etiquetas funcionales) a nuestra aplicación.

Se continuó agregando y configurando todos los *widgets* (etiquetas funcionales) a la aplicación, hasta que estuvo lista (Imagen 38).

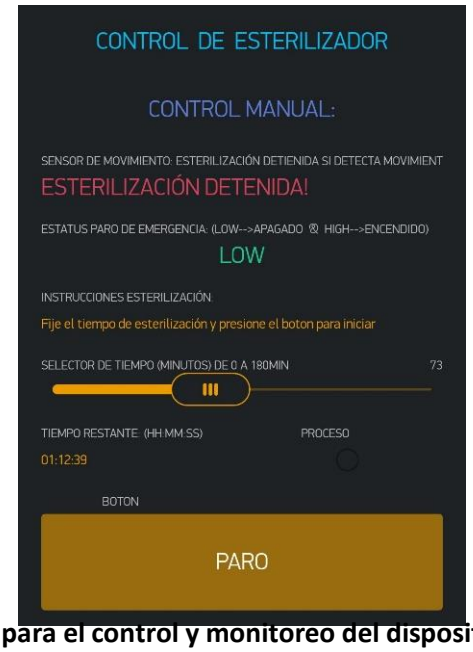


Imagen 39. Aplicación para el control y monitoreo del dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C (UVC).

3.4.5 Paso 5

Una vez lista la aplicación, se comprobó que el circuito trabajara correctamente con la nube de Blynk y la aplicación. Posteriormente, se integraron todos los componentes electrónicos al interior del dispositivo esterilizador de luz ultravioleta-C (UV-C) (Imagen 40).

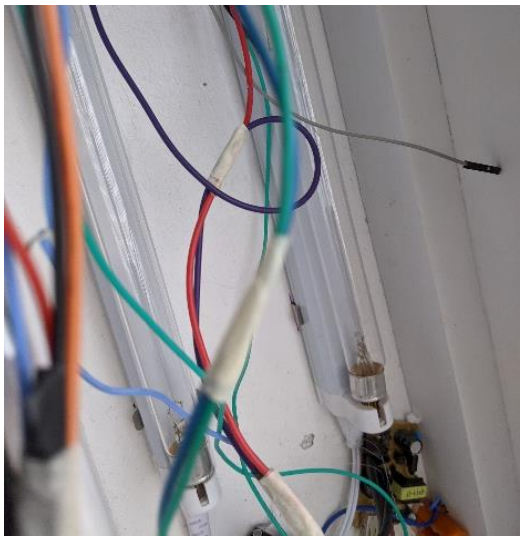


Imagen 40. Integración de los elementos electrónicos al interior del dispositivo esterilizador.

Ya integrados todos los componentes electrónicos al interior del dispositivo, se procedió a colocar los reflectores y el vidrio protector, tanto del lado inferior como del lado superior del chasis, cada placa de vidrio cuenta con dos ranuras del tamaño de las lámparas, esto para evitar cualquier atenuación causada por lo vidrios. A continuación, se sellaron las juntas de los vidrios con silicón y se le añadió una pasta blanca al contorno para reforzar mejor las juntas (Imagen 41).

Imagen 41. Colocación de reflectores, vidrio y sellado de juntas.

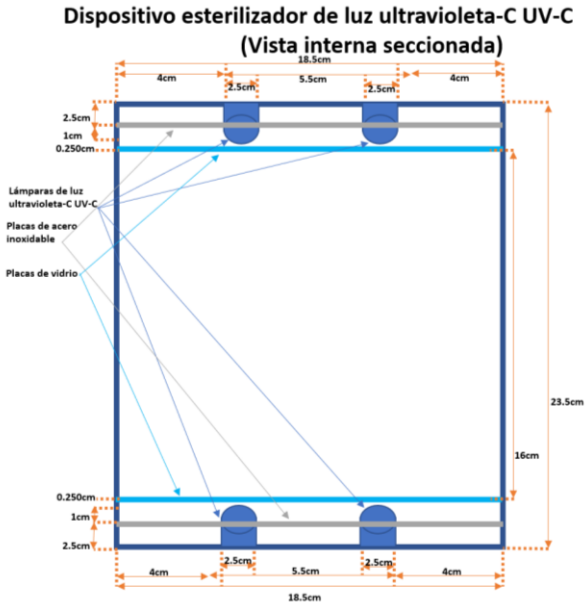


Imagen 42. Vista interna seccionada del dispositivo esterilizador

3.4.6 Paso 6

Se colocaron los dispositivos electrónicos: el sensor BME280, el fotoresistor, el zumbador activo, los LEDs indicadores, el sensor de movimiento PIR. Finalmente, se agregó una

calcomanía con el nombre del dispositivo y unas manijas en los sitios que fueron planeados para ello (Imágenes 43, 44, 45, 46, 47 y 48).

Imagen 43. De abajo a arriba, sensor BME280, fotoresistor y zumbador activo.

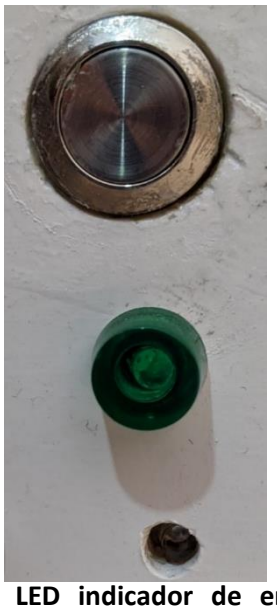


Imagen 44. De abajo a arriba, LED indicador de encendido, LED indicador de correcto funcionamiento de lámparas de Luz ultravioleta-C (UV-C), botón de reinicio para configuración de señal WiFi.

Imagen 45. Manija izquierda.

Imagen 46. Manija izquierda.

Imagen 47. Sensor de movimiento PIR (Alojada a un costado del dispositivo esterilizador).

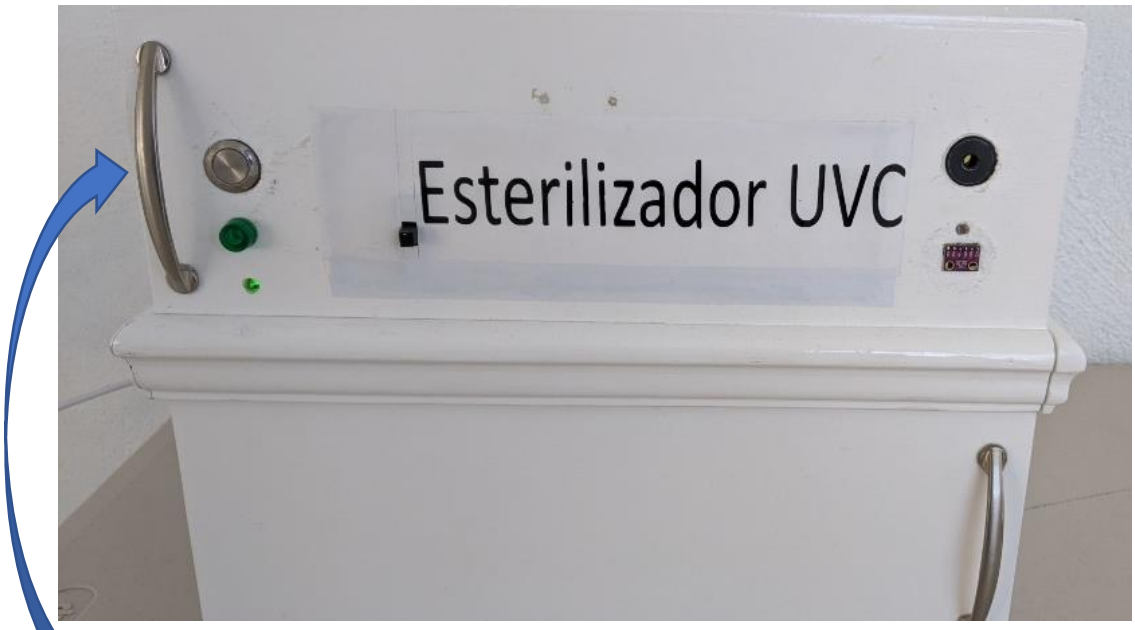


Imagen 48. Dispositivo esterilizador terminado.

La imagen 48 muestra la ubicación del sensor PIR en el dispositivo esterilizador UV-C, el cual se encuentra en la parte lateral izquierda, se colocó en este lugar porque de esta forma el sensor tiene un mayor rango de detección (360º).

3.5 Medidas de seguridad

- Indicador luminoso: Para mostrar que los elementos emisores de luz ultravioleta tipo C se encuentran encendidos. Esto evita que el usuario se exponga a la luz ultravioleta tipo C.

- Alarma audible: Para indicar si el dispositivo está en proceso de desinfección o no. Ésta puede ser activada o desactivada a criterio del usuario.

- Sensor de movimiento: El sensor de movimiento PIR desactiva de forma automática el dispositivo esterilizador si es que detecta alguna presencia de algún humano o animal.

Capítulo 4

PRUEBAS DE RENDIMINETO Y RESULTADOS

4.1 Pruebas de rendimiento

La metodología usada para llevar a cabo las pruebas del dispositivo se describe a continuación. Antes de iniciar con las pruebas de desempeño, se realizaron pruebas de las conexiones y el funcionamiento eléctrico. Posteriormente, se realizaron pruebas de los elementos de seguridad. A continuación, se realizaron las pruebas de comunicación y control a distancia. Finalmente, se llevaron a cabo las pruebas de desempeño en cuanto a la capacidad de desinfección, en condiciones de luz como en condiciones de oscuridad. La tabla 6 muestra las pruebas y los resultados obtenidos.

4.1.1 Pruebas de funcionamiento eléctrico

4.1.1.1 Pruebas de conexiones eléctricas

Para realizar esta prueba se realizó el montaje del circuito propuesto en una *bredboard*, esto con la finalidad de comprobar que el circuito funcionaba correctamente (Imagen 49).

El diagrama del circuito que aparece en la imagen 49, corresponde a la imagen 24.

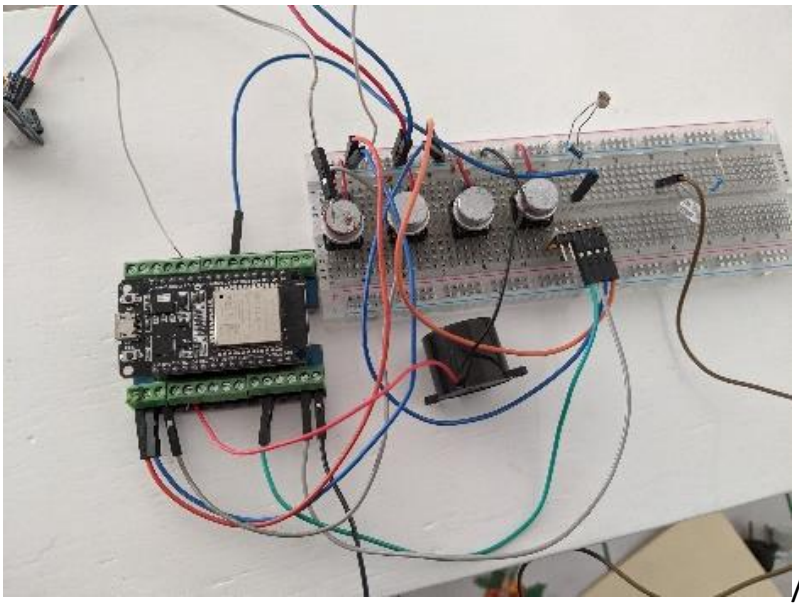
 //

Imagen 49. Pruebas y armado del circuito que controla al dispositivo esterilizador.

4.1.1.2 Prueba indicador de encendido o apagado de las lámparas de luz ultravioleta-C

Para realizar esta prueba, se utilizó un fotoresistor, este sensor permite captar el encendido de las lámparas al interior del dispositivo de luz ultravioleta-C. El sensor colocado al interior del dispositivo en condición de “off”, no recibe ninguna luz, o la luz es mínima, puesto que, el interior del dispositivo, está completamente cerrado. Cuando las lámparas están encendidas, en condición de “on”, la luz llega al fotoresistor, el cual enciende un LED indicador en la parte externa del dispositivo. El diagrama de conexión se muestra a continuación en la imagen 50, las pruebas del circuito armado están en la imagen 51. Se puede observar que la fotoresistencia en configuración “pull-down”.

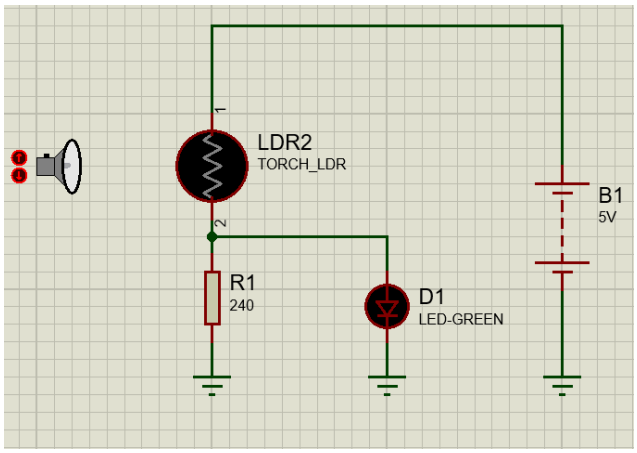


Imagen 50. Diagrama eléctrico, del circuito, para la detección de luz ultravioleta-C al interior del dispositivo.

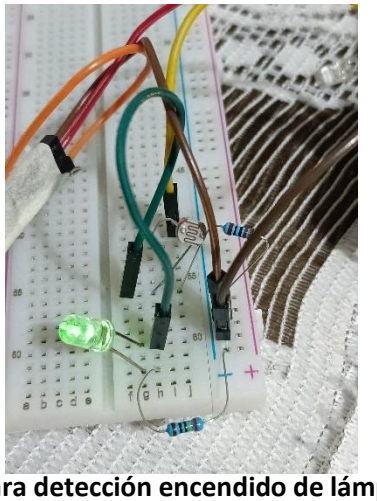


Imagen 51. Prueba de LDR para detección encendido de lámparas luz ultravioleta-C.

4.1.1.3 Prueba sensado de luz

Para medir un porcentaje de luz en el ambiente, como un posible factor inhibidor de crecimiento bacteriano, se usa un fotoresistor, por su bajo precio y versatilidad. Este fotoresistor está conectado al pin 33 del módulo ESP32 DEVKIT V1, el cual cuenta con el convertidor ADC1_CH5, los valores registrados para diferentes intensidades de luz se muestran en la tabla 6.

4.1.1.4 Prueba de sensor de proximidad

Se ajustaron los potenciómetros del sensor PIR, de modo que el radio de detección, fuera de 3 metros. El sensor PIR HC-SR501, trabaja con un voltaje de alimentación de 5V a 20V y arroja un voltaje de salida TTL de 3.3V en “on” y 0V en off, imagen 52.

Imagen 52. Se prueba que el voltaje de salida del sensor PIR es aproximado al indicado en su hoja de datos (3.3V).

4.1.2 Pruebas de software

4.1.2.1 Pruebas de control y monitoreo a través de WIFI

Para realizar esta prueba, se llevó a cabo el control y monitoreo del dispositivo UV-C a través de la misma red WiFi. El teléfono móvil con la aplicación de control estaba conectado a la misma red en la que se encontraba conectado el dispositivo UV-C.

4.1.2.2 Pruebas de monitoreo de variables físicas y generación de reportes

Se realizaron pruebas de medición de variables físicas, y su monitoreo a distancia desde la aplicación (imágenes 50 y 51)

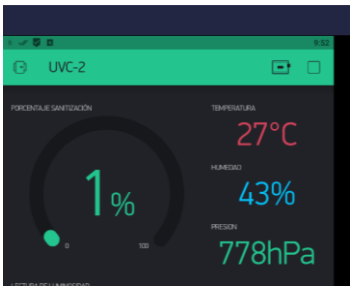


Imagen 53. Monitoreo de variables físicas desde la aplicación.

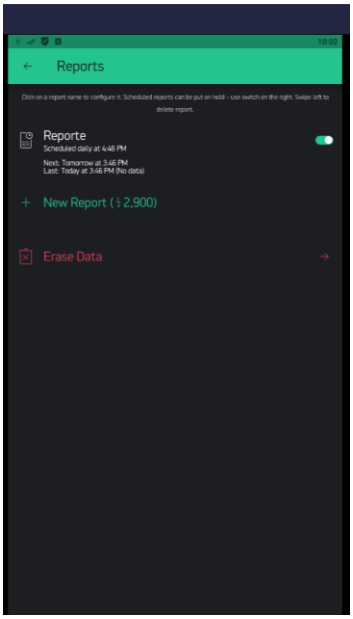


Imagen 54. Configuración de reportes desde la aplicación.

4.2.3 Pruebas en modos de operación

4.2.3.1 Pruebas en modo de operación 1

El dispositivo de luz ultravioleta-C (UV-C), como un dispositivo contenedor (Imagen 53).

Imagen 55. Uso del dispositivo esterilizador, como contenedor.

Como el microscopio digital no entró en el interior del dispositivo de luz ultravioleta-C (UV-C), se extrajo una de las lámparas del interior del dispositivo esterilizador, y se colocó a la misma distancia a la que estarían un objeto dentro del dispositivo esterilizador (1cm), esto con la finalidad de recrear lo mejor posible las condiciones de trabajo en una situación real de esterilización.

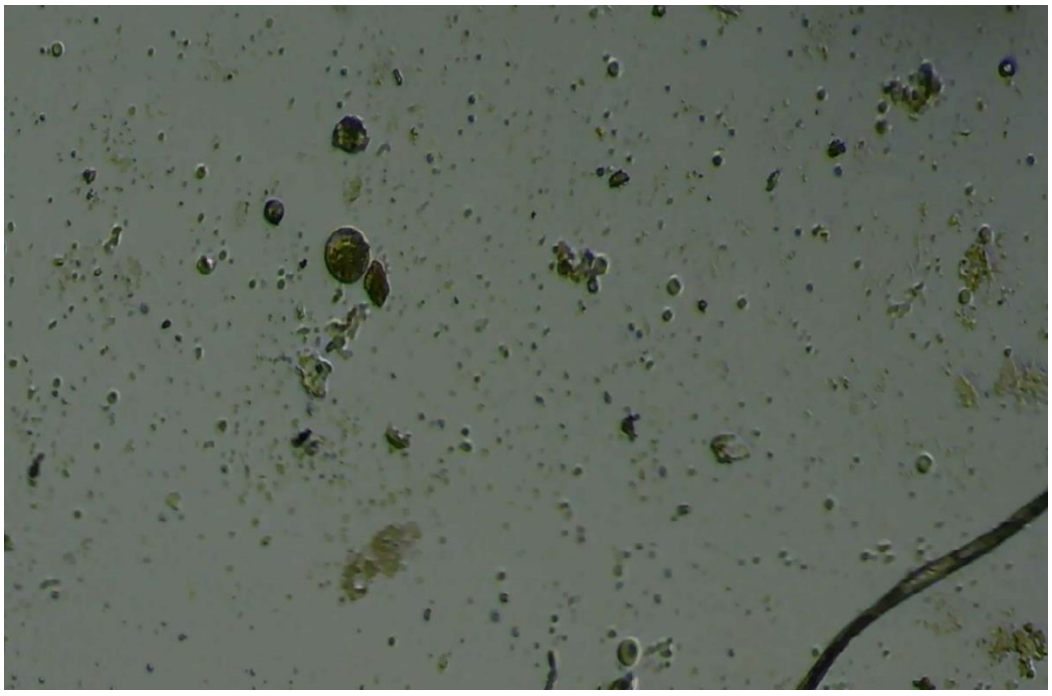


Imagen 56. Monitoreo de una prueba de esterilización.

Para realizar las pruebas, se utilizó agua de lluvia contaminada, estancada en un recipiente (Imagen 55). Se procedió a observar gotas de esta agua a través del microscopio y se detectó de forma visual la presencia de microorganismos en ellas.

Imagen 57. Recipiente que contiene agua de lluvia estancada, con la finalidad de obtener muestras con microorganismos.

Imagen 58. Muestra de agua estancada que contiene diferentes microorganismos vivos en movimiento.

4.1.3.2 Pruebas en modo de operación 2

Para esta prueba se deslizó la parte superior del chasis para que quedara abierta, y la luz fuese emitida al exterior (Imagen 57).

Imagen 59. Dispositivo de esterilización de luz ultravioleta-C (UVC), en modo de operación 2, como dispositivo de esterilización de espacios dentro del hogar.

Para esta prueba se colocaron gotas de agua contaminada en placas de prueba y se ubicaron a 12cm una después de la otra, comenzando desde el lugar más cercano a las lámparas de luz ultravioleta-C (UV-C) y hasta una distancia de 96cm (Imágenes 60, 61 y 62).

Imagen 60. Placas de prueba A, B y C.

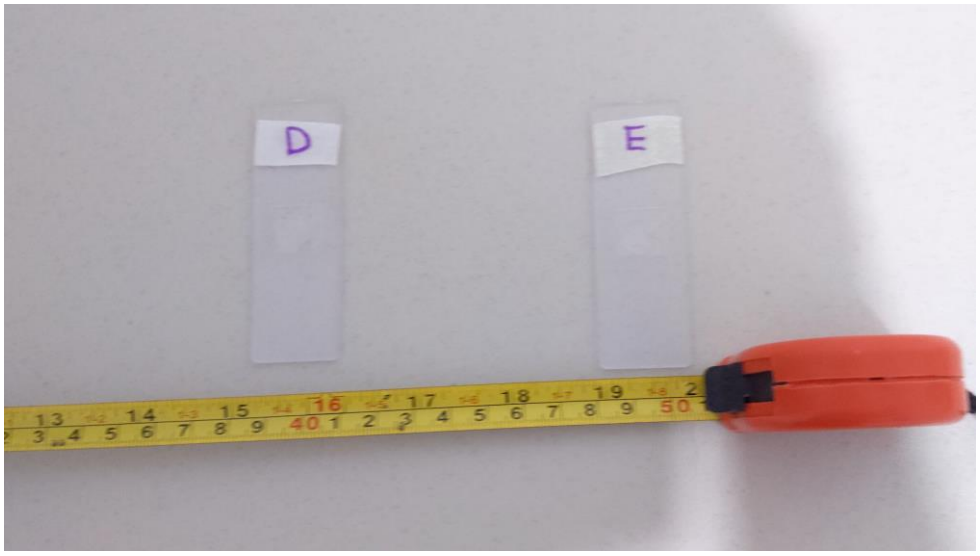


Imagen 61. Placas de prueba D y E.

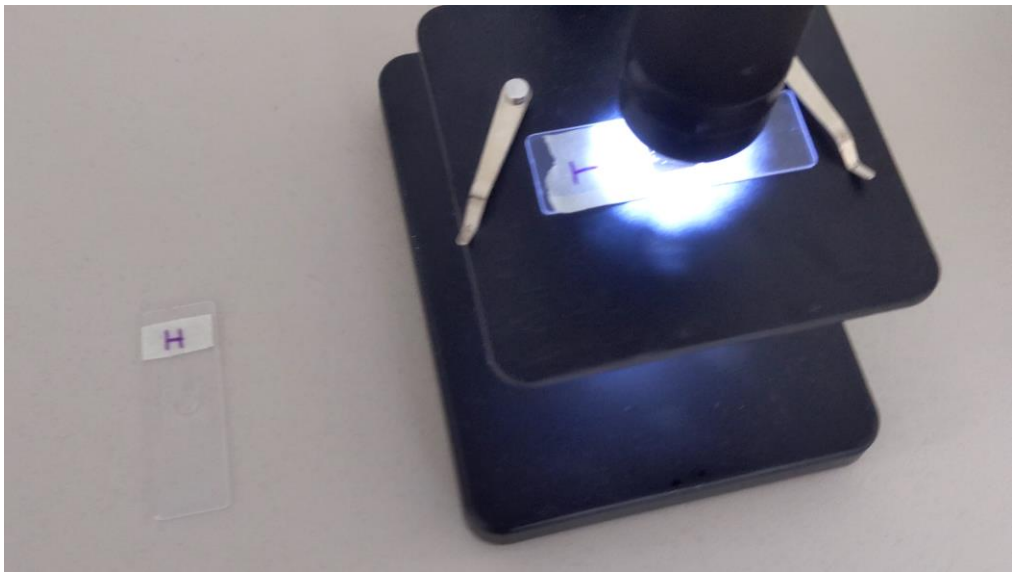


Imagen 62. Placas de prueba H e I.

Imagen 63. Pruebas de agua contaminada sometidas a la emisión de luz ultravioleta-C (UVC) en la oscuridad.

4.2 Resultados

4.2.1 Resultados de funcionamiento eléctrico

4.2.1.1 Resultados de conexiones eléctricas

Como resultado de las conexiones eléctricas, fue posible enviar y recibir datos, desde el sensor hasta el ESP32DEVKIT V1, así como el encendido de LEDs como indicadores luminosos y emisión de sonido a través del zumbador activo piezoeléctrico.

4.2.1.2 Resultados indicador de encendido o apagado de las lámparas de luz ultravioleta-C

Cuando el voltaje en el fotoresistor es de 3.94V el voltaje en el diodo LED es de .32V, esto indica que las lámparas al interior del dispositivo se encuentran apagado; mientras que, cuando el voltaje en el fotoresistor es de 1.6V, el voltaje en el diodo es de 2.6V, y enciende el diodo LED, esto indica que las lámparas de luz ultravioleta-C, imagen 50. Ese LED indicador de encendido o apagado de las lámparas puede servir como medida de seguridad para que las personas no abran el dispositivo cuando las lámparas estén encendidas (modo de operación 1).

4.2.1.3 Resultados sensado de luz

Gracias al fotoresistor incorporado, fue posible establecer un porcentaje de luz en el amiento, esto a través del ESP32 DEVKIT V1, el cual lee los datos analógicos y los envía a una barra horizontal en la aplicación Android.

4.2.1.3 Resultado de sensor de proximidad

Como resultado de las pruebas realizadas con el sensor PIR, fue posible medir voltaje “on” activado a 3.2V que es muy cercano a los 3.3V necesarios para polarizar el pin del ESP32 DEVKIT V1 y determinar ese valor como un 1 lógico. En cambio, cuando el sensor arrojaba un valor de 0V. Fue posible determinar un estado lógico de 0, esto permitió usar al sensor PIR como un método efectivo de seguridad, puesto que activa el paro de emergencia cuando detecta la presencia una persona o animal, evitando de esta forma que la luz ultravioleta-C pueda ocasionar daños a la salud imagen 52.

4.2.2 Resultados de software

4.2.2.1 Resultados de control y monitoreo a través de WiFi

Como resultado de las pruebas, fue posible controlar el dispositivo UV-C de forma remota en diferentes ubicaciones dentro de una casa, así como el monitoreo de variables físicas. Asimismo, fue posible activar el paro de emergencia desde la misma aplicación y detener del proceso de desinfección de forma inmediata. También, fue posible su control y monitoreo desde otra ciudad, obteniendo los mismos resultados que cuando se controlo en la misma red WiFi.

4.2.2.2 Resultados de monitoreo de variables físicas y generación de reportes

Como resultado de la medición de variables físicas que impactan en el desarrollo de agentes patógenos en el ambiente, fue posible enviar un reporte diario por correo electrónico para monitorear de manera puntual estas variables.

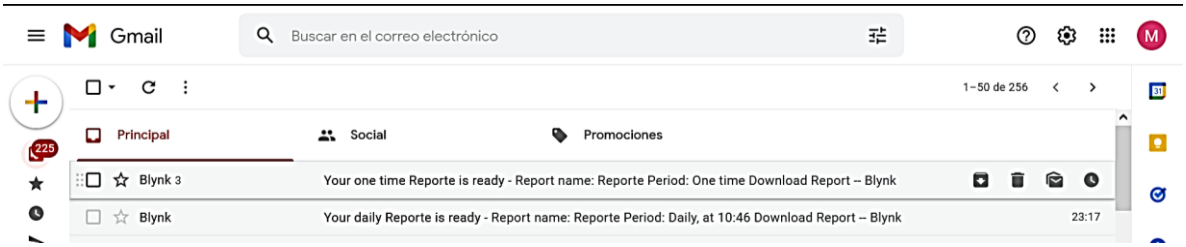


Imagen 64. Recepción de reportes vía correo electrónico.

4.2.3 Resultados modos de desempeño

En el modo de operación 1, después de someter las muestras de agua contaminada a la exposición de luz ultravioleta-C a una distancia de 1cm, se observa que los microorganismos dejaron de moverse a los 20minutos de exposición.

En el modo de operación 2, después de someter las muestras de agua contaminada a diferentes distancias de luz ultravioleta-C provenientes de las lámparas, se observa que los microorganismos ubicados hasta una distancia de 40cm dejaron de moverse a los 50minutos de exposición.

Lo anterior podría suponer la eliminación de los microorganismos y un proceso de desinfección exitoso; sin embargo, la comprobación de la eliminación de los microorganismos requeriría pruebas más especializadas.

El concentrado de las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

A continuación, se abordan las conclusiones a las que se llegaron con el presente trabajo.

5.1 Conclusiones

De los resultados anteriores se pudo concluir que:

- Gracias al dispositivo esterilizador UV-C desarrollado, es posible tener las prestaciones de un contenedor y de una lámpara en un solo dispositivo.

- El dispositivo (UV-C), contenedor de objetos personales desarrollado, sería de gran ayuda en una posible esterilización debido a que no es necesario utilizar ningún agente líquido que pueda ocasionar algún daño a los objetos. Además, se elimina el riesgo asociado al uso recurrente de dichos desinfectantes líquidos, así como la reducción de contaminación asociada a la fabricación y desechos restantes de los mismos.

- El dispositivo (UV-C) desarrollado, podría ser igualmente útil en la esterilización de espacios dentro del hogar, pero, por limitaciones tecnológicas, no es posible corroborar dicho proceso de esterilización. Además, sería posible esterilizar objetos que no entren en el contenedor debido a su tamaño, por ejemplo: computadoras portátiles, mochilas, maletas, almohadas, etc. De igual manera, podría esterilizar el aire circundante que pudiera traer consigo agentes patógenos.

- Debido a las medidas de seguridad integradas en este dispositivo desarrollado (sensor de movimiento PIR y detección de funcionamiento de las lámparas de luz ultravioleta-C), es posible reducir al mínimo los riesgos a la salud asociados al uso de dicha tecnología.

- Los datos recabados por el sensor permitirían generar un informe sobre ciertas variables físicas medidas (temperatura, humedad y presión).

- Debido al circuito electrónico integrado, la estructura del dispositivo y la aplicación Android, es posible utilizar de forma más segura la tecnología de luz ultravioleta-C, para una posible esterilización de objetos y espacios dentro del hogar.

- Por limitaciones tecnológicas, no fue posible corroborar dicho proceso de esterilización, sin embargo, existe suficiente documentación científica que respalda el uso de la luz ultravioleta-C como método de esterilización (capitulo 2, secciones 2.1.1 a 2.1.4).

5.2 Trabajo futuro

Posible trabajo a futuro:

1) Implementar un banco de baterías que permitan que el dispositivo esterilizador puede ser móvil.

2) Implementar un circuito inversor que transforme el voltaje corriente directa de las baterías en voltaje de corriente alterna para las lámparas de luz ultravioleta-C (UVC).

3) Construir una base motorizada que le permita moverse por los espacios de la casa y logre giros de 360º.

4) Implementación de un sensor de distancias HC-SR04 con un algoritmo que le permita moverse de forma autónoma dentro del hogar.

5) Disminuir el grosor del chasis mediante el uso de algún material más ligero, como el PLA (*Polylactic Acid Polyactide),* para lograr la máxima movilidad del dispositivo esterilizador debido a la disminución de peso que supondría dicha implementación.

6) Implementar una base de datos para recopilar la información obtenida a partir de los sensores de humedad relativa, temperatura, luz y presión atmosférica para su posterior análisis.

Bibliografía

[1] William A. Rutala, Ph.D., M.P.H., David J. Weber, M.D., M.P.H.1,2, and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Hospital Epidemiology Universityof North Carolina Health Care System Chapel Hill, NC 27514. Division of Infectious DiseasesUniversity of North Carolina School of Medicine Chapel Hill, NC 27599-7030. USA. 2008, last update: Feburary 15, 2017. Disponible: https://stacks.cdc.gov/view/cdc/47378

[2] Dr. Wladyslaw J. Kowalski. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. July 2009 DOI:10.1007/978-3-642-01999-9_2. In book: Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook (pp.17-50). Disponible:

https://www.researchgate.net/publication/278717381_Ultraviolet_Germicidal_Irradiation_Handbook

[3] Hogar, Muebles y Jardín. 6w Uvc Germicida Desinfección Lámpara Uv Esterilización. MercadoLibre. México. Disponible en: ***https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-764872296-36w-uvc-germicida-desinfeccion-lampara-uv-esterilizacion-_JM#position=7&type=item&tracking_id=9aa1adf5-bcb2-4072-9afb-0bc3e7b5f2a3***

[4] Salud y Equipamiento Médico. Caja Esterilizadora Muntifuncional. MercadoLibre. México. Disponible en: ***https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-793724260-caja-esterilizadora-muntifuncional-llevate-2-piezas-x-900-_JM#position=29&type=item&tracking_id=c04bf100-ed9a-4da1-a7ec-88fa9f494b06***

[5] Benítez García Israel, Araiza Lizarde Nidia. Yo veo, tú ves, ¿las plantas qué ven?.2019. CONACYT . México. Disponible en: ***https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=540***

[6] *Óscar Torrente*. ARDUINO, curso práctico de formación. ALFAOMEGA 2013.

[7] Tomasi, Wayne. SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS. Prentice Hall. 2003

[8] Ignasi Vilajosana Guillén: Introducción a los sistemas empotrados. Unniversitat Oberta de Catalunya 2018.

[9] BME280. *BOSCH*. Humidity sensor measuring relative humidity, barometric pressure and ambient temperature. Disponible en: ***https://www.boschsensortec.com/products/environmentalsensors/humidity-sensors-bme280/***

[10] Optimus Digital. BME280 Barometric Pressure Sensor Module. Vânzări: 0771169287, 0771466353, Luni-Vineri 10:00 - 19:00. Disponible en: ***https://www.optimusdigital.ro/en/pressure-sensors/5649-bme280 barometric-pressure-sensor-module.html***

[11] Photoresistors. *ScienceDirect*. Brahim Haraoubia, in Nonlinear Electronics 1, 2018. Disponible en: ***https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photoresistors*** **https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-300-4.50001-4**

[12] Measuring light intensity with LDR (photo resistor) and arduino. *TEXOLAB*. PUBLISHED 04/11/2018 UPDATED 10/24/2018. Disponible en: ***https://texolab.net/2018/04/11/midiendo-intensidad-de-luz-con-ldr-foto-resistencia-y-arduino/***

[13] Light Dependent Resistor. *RS DATASHEET*. NOR RS stack number 651-507. NSL 19-M5 SR stack number 596-141.

[14] Kolisetty Likhitha, Sowmya Malineni, Nagalakshmi Jampani, Dr. N. Lakshmi Prasanna. Home Security System Using PIR Sensor-IoT. CSEIT195272 | Received : 08 March 2019 | Accepted : 20 March 2019 | March-April -2019 [5 (2) : 497-500] International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology © 2019 IJSRCSEIT | Volume 5 | Issue 2 | ISSN : 2456-3307
DOI : **https://doi.org/10.32628/CSEIT195272**

[15] PIR Sensor Interfacing with LPC2148 . EmbeTronicX, Embedded Tutorials Zone. Disponible en: ***https://embetronicx.com/tutorials/microcontrollers/lpc2148/pir-sensor-interfacing-lpc2148/***

[16] Charles K. Alexander, Matthew N.O. Sadiku. Fundamentals of Electric Circuits. Fourth Edition.

[17] S. Santos. ESP32 vs ESP8266 – ESP32 Development Boards Review and Comparison. US. May 18, 2020. Disponible en: ***https://makeradvisor.com/esp32-development-boards-review-comparison/***

[18] components101. Most Popular Development Boards of 2019. components101.com.US. 27 December, 2019. Disponible en: ***https://components101.com/articles/most-popular-development-boards-of-2020***

[19] What is Arduino. Arduino Official web. Disponible en: ***https://www.arduino.cc/en/guide/introduction***

[20] Our mission is to make Internet of Things simple, accessible, and practical. Blynk. Disponible en: ***https://blynk.io/about***

[21] Microscopio Digital Lcd Tomlov, Microscopio Biológico 2000x. MercadoLibre. Disponible en: ***https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-958833361-microscopio-digital-lcd-tomlov-microscopio-biologico-2000x-_JM#position=10&search_layout=stack&type=item&tracking_id=ae9816e3-9b9a-45e0-a256-bd24332eb87e***

[22] FLOYD. Dispositivos Electrónicos.8ª Edición . Pearson Pretince Hall.

[23] Microscopio Digital Lcd Tomlov, Microscopio Biológico 2000x. MercadoLibre. Disponible en: ***https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-958833361-microscopio-digital-lcd-tomlov-microscopio-biologico-2000x-_JM#position=10&search_layout=stack&type=item&tracking_id=ae9816e3-9b9a-45e0-a256-bd24332eb87e***

[24] S. Santos. ESP32 vs ESP8266 – Pros and Cons. makeradvisor. US. May 18, 2020. Disponible en: ***https://makeradvisor.com/esp32-vs-esp8266/***

Apéndices

Apéndice – A Tablas informativas

Microbio	Medio	Dosis necesaria de esterilización UV J/m^2
Staphylococcus aureus	superficie	8,000
Staphylococcus epidermis	aire	1558
Bacillus subrilis spores	superficie	3,200
B. pumilis spores	aire	8,237
Aspergillus niger spores	aire	1,781

Tabla 1. Dosis de exposición de radiación UV-C para la erradicación de agentes patógenos. [2]

Microbio	Medio	Tiempo de exposición necesario para eliminación microbiana en segundos
Staphylococcus aureus	superficie	2439.02
Staphylococcus epidermis	aire	475
Bacillus subrilis spores	superficie	975.60
B. pumilis spores	aire	2511.00
Aspergillus niger spores	aire	542.98

Tabla 2. Tiempo de exposición de radiación UV-C para la erradicación de agentes patógenos a una distancia de 40cm con una irradiancia media de $3.28W/m^2$.

Parámetro	Datos técnicos
Rango de operación	Presión: 300…1100hPa Temperatura: -40…85ºC
Fuente de voltaje VDDIO	1.2…3.6V
Fuente de voltaje VDD	1.71…3.6V
Interfaz	I^2CySPI
Promedio de consumo de corriente (En rango 1Hz de dato de refresco)	1.8uA @ 1Hz (H, T) 2.8uA @ 1Hz (P, T) 3.6uA @ 1Hz (H, P, T)
Promedio de consumo de corriente en modo de hibernación	0.1uA
Sensor de Humedad **Respuesta de tiempo (T63%)** **Tolerancia de precisión** **Histéresis**	 1s ±3% humedad relativa ≤2% humedad relativa

Tabla 3. Datos técnicos del sensor BME280. [9]

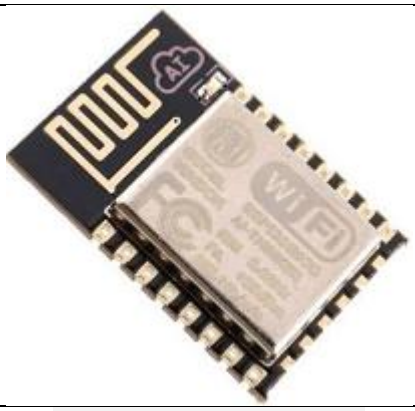
	ESP8266	ESP32
		
MCU	Xtensa Single-core 32-bit L106	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 with 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	HT20	HT40
Bluetooth	X	Bluetooth 4.2 and BLE
Typical Frequency	80 MHz	160 MHz
SRAM	X	✓
Flash	X	✓
GPIO	17	34
Hardware /Software PWM	None / 8 channels	None / 16 channels
SPI/I2C/I2S/UART	2/1/2/2	4/2/2/2
ADC	10-bit	12-bit
CAN	X	✓
Ethernet MAC Interface	X	✓
Touch Sensor	X	✓
Temperature Sensor	X	✓(old versions)
Hall effect sensor	X	✓
Working Temperature	-40ºC to 125ºC	-40ºC to 125ºC
Price	$ (3$ - $6)	$$ ($6 - $12)
Where to buy	Best ESP8266 Wi-Fi Development Boards	ESP32 Development Boards Review and Comparison

Tabla 4. Muestra las diferencias entre las tarjetas *espressif* ESP8266 y ESP32 [24].

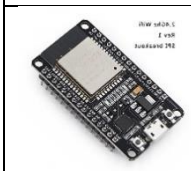
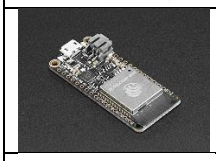
FIGURE	NAME	LINKS	GPIOS	PINOUT	ON-BOARD BUTTOS	EXTRAS
	ESP32 DEV KIT DOIT	Banggood eBay.com Amazon.com	30/36	Yes	EN and BOOT	No
	Adafruit HUZZAH32	Amazon.com Amazon.co.uk	28	Yes	RESET	LiPo charger
	ESP32 Thing	Amazon.com Amazon.co.uk	40	Yes	EN and BOOT	LiPo charger
	LOLIN32	Banggood eBay.com Amazon.com	40	Yes	EN and BOOT	18650 battery with charging system
	ESP32/OLED	Banggood eBay.com Amazon.com	26	Yes	EN and BOOT	0.96'' OLED display
	SX1278	Banggood eBay.com Amazon.com	26	Yes	EN and BOOT	SX1278 LoRa transceiver chip + OLED

Tabla 5. Muestra las diferencias entre las tarjetas de desarrollo basadas en el modelo espressif ESP32 [17].

Sistema electrico		
Prueba	**Procedimiento**	**Resultado**
Alimentación general	Se realizan las conexiones y se miden los voltajes en los pines de alimentación, para comprobar que no existe un corto circuito o la falta de corriente	Los sensores y actuadores muestran valores de voltaje correcto, 3.3V de alimentación para el sensor BME280, fotoresistor de censado, LEDs indicadores y zumbador
Medición de voltaje en LDR lámparas apagadas	Se arma el circuito eléctrico y se procede a medir los voltajes	3.94V
Medición de voltaje en LED lámparas apagadas	Se arma el circuito eléctrico y se procede a medir los voltajes	.32V
Medición de voltaje en LDR lámparas encendidas	Se arma el circuito eléctrico y se procede a medir los voltajes	1.6V
Medición de voltaje en LED lámparas apagadas	Se arma el circuito eléctrico y se procede a medir los voltajes	2.6V
Medición de voltaje fotoresistor en pin A0 con luz	Se arma el circuito eléctrico y se procede a medir los voltajes	2.69V
Medición porcentaje de luz	Se arma el circuito y se observan las variaciones en el monitoreo de luz, para diferentes intensidades	53.86%
Medición de voltaje fotoresistor en pin A0 en oscuridad	Se arma el circuito eléctrico y se procede a medir los voltajes	1.19V
Medición porcentaje de luz	Se arma el circuito y se observan las variaciones en el monitoreo de luz, para diferentes intensidades	23.75%
Activación de paro de emergencia	Se conecta el sensor PIR y se prueba la detección de personas en un rango de 3m	Se activa el paro de emergencia y las lámparas se apagan
Encendido de lámparas de luz ultravioleta-C	Se arma el circuito y se observan las variaciones en el monitoreo de luz, para diferentes intensidades	Se enciende el LED indicador de funcionamiento
Sistema informatico (software)		

Lectura de datos a través de los sensores	Se leen los datos obtenidos por el sensor y se visualizan en el teléfono Android	Envió de reporte con las lecturas de los sensores a través de correo electrónico
Paro y marcha del dispositivo	Se conecta el dispositivo UV-C en distintas redes y lugares para comprobar su funcionamiento	Se activa y desactiva el dispositivo de forma remota
Exposición de luz ultravioleta-C		
Prueba modo de operación 1	Exposición a 2cm de distancia desde la fuente de luz ultravioleta-C	Inmovilidad de microorganismos a los 20min
Prueba modo de operacion2	Exposición a 40cm de distancia desde la fuente de luz ultravioleta-C	Inmovilidad de microorganismos a los 50min

Tabla 6. Pruebas y resultados.

Apéndice - B Programa implementado en la tarjeta de desarrollo DOITESP32

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#define timeSeconds 10//40MIN
#include <ArduinoOTA.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include "ESP32_BME280_I2C.h"

const uint8_t SCL_bme280 = 22;
const uint8_t SDA_bme280 = 21; //SDA
const int ldr = 33;         // LDR (Light Dependent Resistor)
int lectura;
const int motionSensor = 14;
const int output = 19;      // Output socket
const int LED = 2;          // LED

int ledState = LOW;          // current state of the output pin
int PIR = 0;
bool motionDetected = false;  // flag variable to send motion alert message
bool clearMotionAlert = true; // clear last motion alert message from web page
unsigned long lastDebounceTime = 0;  // the last time the output pin was toggled
unsigned long debounceDelay = 50;    // the debounce time; increase if the output flickers

int CountdownRemainReset;
int CountdownRemain;
int CountdownTimer;
 void IRAM_ATTR detectsMovement() {
  motionDetected = true;
  clearMotionAlert = false;
}
ESP32_BME280_I2C bme280i2c(0x76, SCL_bme280, SDA_bme280, 100000); //address, SCK, SDA,
frequency
char temp_c[10], hum_c[10], pres_c[10];

#define USE_CUSTOM_BOARD         // See "Custom board configuration" in Settings.h
#define APP_DEBUG       // Comment this out to disable debug prints
#define BLYNK_PRINT Serial
#include "BlynkProvisioning.h"
byte temperature;
byte humidity;
uint16_t pressure;
const int LED2 = 20;
const int motionpush = 16;
```

```
const int rele1 = 23;
const int rele2 = 4;
const int zumbador = 5;
unsigned long now = millis();
unsigned long lastTrigger2 = 0;
boolean startTimer2 = false;

void IRAM_ATTR detectspush() {
  digitalWrite(LED2, HIGH);
  digitalWrite(rele2, HIGH);
  startTimer2 = true;
  lastTrigger2 = millis();
}
void bme_get(void);
SimpleTimer timer0;
SimpleTimer timer1;
BlynkTimer timer3;

void myTimerEvent()
{
  bme_get();
  Blynk.virtualWrite(V13, pressure);
  Blynk.virtualWrite(V14, temperature);
  Blynk.virtualWrite(V15, humidity);
  Blynk.virtualWrite(V10, analogRead(ldr));
  lectura = digitalRead(motionSensor);

  if (lectura==1)
  {
    PIR = 1;
  }
   if (PIR==0)
  {
    Blynk.virtualWrite(V2, " ");
  }
}

void setup() {
BlynkProvisioning.begin();
   uint8_t t_sb = 5; //stanby 1000ms
   uint8_t filter = 0; //filter O = off
   uint8_t osrs_t = 4; //OverSampling Temperature x4
   uint8_t osrs_p = 4; //OverSampling Pressure x4
   uint8_t osrs_h = 4; //OverSampling Humidity x4
```

```
  uint8_t Mode = 3; //Normal mode
 bme280i2c.ESP32_BME280_I2C_Init(t_sb, filter, osrs_t, osrs_p, osrs_h, Mode);
 timer3.setInterval(1000L, myTimerEvent);
 CountdownTimer = timer1.setInterval(500, CountdownTimerFunction);
 timer1.disable(CountdownTimer); // disable it on boot

 pinMode(LED, OUTPUT);
 pinMode(rele1, OUTPUT);
 digitalWrite(rele1, LOW);
 pinMode(rele2, OUTPUT);
 digitalWrite(rele2, LOW);
 pinMode(zumbador, OUTPUT);
 digitalWrite(zumbador, LOW);
 pinMode(motionSensor, INPUT_PULLUP);
 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(motionSensor), detectsMovement, RISING);
 pinMode(motionpush, INPUT_PULLUP);
 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(motionpush), detectspush, RISING);
pinMode(LED2, OUTPUT);
 digitalWrite(LED2, LOW);
}

void CountdownTimerFunction() {
 CountdownRemain--; // remove 1 every second
 CountdownShowFormatted(CountdownRemain);
 CountdownProgress(CountdownRemain);
 if (!CountdownRemain) { // check if CountdownRemain == 0/FALSE/LOW
  timer1.disable(CountdownTimer); // if 0 stop timer
  Blynk.virtualWrite(1, LOW); // reset START/STOP button status
  Blynk.virtualWrite(0, "ESTERILIZACIÓN COMPLETADA!");
  Blynk.setProperty(0, "color","#21C48D");
  Blynk.notify("ESTERILIZACIÓN COMPLETADA!");
  Blynk.virtualWrite(6, 255); // LED for timer completed
  Blynk.virtualWrite(5, 0); // Timer LED status light off
  digitalWrite(LED, 0); // LED for timer completed
  digitalWrite(rele1, 0);
  digitalWrite(zumbador, 0);
  //Blynk.virtualWrite(V7, "-->1-Presione el bóton amarillo para esterilizar");
  Blynk.virtualWrite(V7, "Fije el tiempo de esterilización y presione el boton para iniciar");
  Blynk.setProperty(V7, "color","#ED9C01");
  Blynk.setProperty(V0, "color","#ED9C01");
 } else {
  Blynk.virtualWrite(6, 0); // LED for timer completed
 }
}
```

```
BLYNK_WRITE(1) {
 if (param.asInt()) {
  if (CountdownRemain) { // check if there is a time set or not
   timer1.enable(CountdownTimer);
   Blynk.virtualWrite(5, 255); // Timer LED status light on
   digitalWrite(LED, 1); // LED for timer completed
   digitalWrite(rele1, 1);
   digitalWrite(zumbador, 1);
   Blynk.virtualWrite(V7, "Esterilización en proceso...");
   Blynk.setProperty(V7, "color","#D2435D");
  } else {
0, then tell the user
  }
 } else {
  timer1.disable(CountdownTimer);
  Blynk.virtualWrite(5, 0); // Timer LED status light off
  digitalWrite(LED, 0); // LED for timer completed
  digitalWrite(rele1, 0);
  digitalWrite(zumbador, 0);
  Blynk.virtualWrite(V7, "Fije el tiempo de esterilización y presione el boton para iniciar");
  Blynk.setProperty(V7, "color","#ED9C01");
  Blynk.setProperty(V0, "color","#ED9C01");
 }
}
BLYNK_WRITE(2) {
 CountdownRemain = CountdownRemainReset; // reset to original start time
}
BLYNK_WRITE(3) {
 if (timer1.isEnabled(CountdownTimer)) { // only update if timer not running
  Blynk.virtualWrite(3, param.asInt() ); // if running, refuse to let use change slider
 } else {
  CountdownRemainReset = param.asInt() * 60 + 1; // + 1 set the timer to 1:00:00 instead of
00:59:59
  CountdownRemain = param.asInt() * 60;
  CountdownShowFormatted(CountdownRemain);
 }
}
void CountdownShowFormatted(int seconds) {
 long hours = 0;
 long mins = 0;
 long secs = 0;
 String secs_o = ":";
 String mins_o = ":";
 String hours_o = ":";
```

```
  secs = seconds; // set the seconds remaining
  mins = secs / 60; //convert seconds to minutes
  hours = mins / 60; //convert minutes to hours
  secs = secs - (mins * 60); //subtract the coverted seconds to minutes in order to display 59 secs
max
  mins = mins - (hours * 60); //subtract the coverted minutes to hours in order to display 59
minutes max
  if (secs < 10) {
    secs_o = ":0";
  }
  if (mins < 10) {
    mins_o = ":0";
  }
  if (hours < 10) {
    hours_o = "0";
  }
  //Blynk.virtualWrite(0, days + hours_o + hours + mins_o + mins + secs_o + secs);
  Blynk.virtualWrite(0, hours_o + hours + mins_o + mins + secs_o + secs);
}

void CountdownProgress(int seconds){
    int progress = map(seconds,CountdownRemainReset,0,0,100); // make sure to invert it
    //Blynk.virtualWrite(4,progress + String("%"));
    Blynk.virtualWrite(11,progress);
}

void loop() {
  // This handles the network and cloud connection
  BlynkProvisioning.run();
  Blynk.run();
  ArduinoOTA.handle();
  timer1.run();
  timer3.run(); // Initiates BlynkTimer
  static const unsigned long EVENT_INTERVAL_MS = 1000;
  if(motionDetected & !clearMotionAlert){
    //Serial.println("MOVIMIENTO DETECTADO!");
    motionDetected = false;
  }
  now = millis();
  // Turn off the LED2 after the number of seconds defined in the timeSeconds variable
  if(startTimer2 && (now - lastTrigger2 > (timeSeconds*1000))) {
    //Serial.println("Push stopped...");
    digitalWrite(LED2, LOW);
    digitalWrite(rele2, LOW);
```

```
   startTimer2 = false;
  }
 }
 void bme_get(){
  temperature = (byte)round(bme280i2c.Read_Temperature());
  humidity = (byte)round(bme280i2c.Read_Humidity());
  pressure = (uint16_t)round(bme280i2c.Read_Pressure());
   if (PIR==1){
   digitalWrite(LED, 0); // LED for timer completed
   digitalWrite(rele1, 0);
   digitalWrite(zumbador, 0);
   Blynk.notify("Sensor de movimiento activado, esterilización detenida!");
   Blynk.virtualWrite(V2, "ESTERILIZACIÓN DETENIDA!");
   //Blynk.virtualWrite(V7, "-->1-Presione el botón amarillo para esterilizar");
   Blynk.virtualWrite(V7, "Fije el tiempo de esterilización y presione el boton para iniciar");
   Blynk.setProperty(V7, "color","#ED9C01");
   Blynk.setProperty(V0, "color","#ED9C01");
   Blynk.virtualWrite(1, LOW);
   Blynk.virtualWrite(5, 0);
   delay(2000);
   ESP.restart();
  }
 }
```