



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
PARA LA DESINFECCIÓN DE PRODUCTOS
AGROALIMENTARIOS CON LUZ UV-A LED.”**

TESIS

Para Obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

PRESENTA:

Ing. Juan Manuel Bernal Medina

TUTORES:

Dr. José Ernesto Olvera González

M en C. Julio Acevedo Martínez

M. en C. Víctor Manuel Herrera Ambríz

Pabellón de Arteaga, Ags., mayo del 2021



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

Tesis:

**“Diseño y Construcción de un Sistema para la
Desinfección de Productos Agroalimentarios con Luz UV-A LED.”**

Presenta:

Ing. Juan Manuel Bernal Medina

Dirigido por:

Dr. José Ernesto Olvera Gonzales

M. en C. Julio Acevedo Martínez

M. en C. Víctor Manuel Herrera Ambríz

Sinodales:

M en C. Víctor Manuel Velasco Gallardo

Dra. Claudia Lizeth Salas Aguilar

Pabellón de Arteaga, Ags., mayo del 2021

AGRADECIMIENTOS

Extiendo mi extenso agradecimiento Primeramente a Dios por haberme permitido llegar a mi meta debido a que todo ustedes saben lo sucedido a mi persona y pues aquí andamos nuevamente de pie gracias a Dios y me permitió esta segunda oportunidad de demostrar lo que valgo como persona y mis logros que puedo llegar a realizar, a mi familia quien fue la fuerza vital para la perseverancia de los esfuerzos logrados a lo largo de mi carrera.

De igual manera a mis hijos (Pedro de Jesús Bernal Torres y Juan Manuel Bernal Torres), que, con su felicidad, entusiasmo, además que ellos me vean como un ejemplo de vida para ellos de ver a su papá prospere en la vida tanto como persona, logros que he obtenido hasta ahorita y que ellos sigan esas huellas que voy dejando atrás para que ellos sean mejor que yo o igual en lo profesional, les agradezco a ellos que son mi motivo por el cual sigo mi preparación.

Un gran agradecimiento a mis padres (Javier Bernal Sánchez y María del Refugio medina Loera) quienes en todo momento no me han soltado de la mano siempre me han brindado su apoyo y por el simple hecho de que ellos me dieron vida que la volvería a vivir, aunque la vida me volviera a dar una oportunidad por ellos soy la persona que en este momento ven presente ante ustedes.

También expreso mi más cordial saludo y agradecimiento al plantel de conocimientos del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga por ser una fuente vital tanto en conocimientos como en experiencias de mi persona además que en motivos personales me apoyaron cuando más necesitaba que alguien me tendiera su mano.

Agradezco a todos los docentes que a lo largo de mi carrera me proporcionaron grandes conocimientos, y resolvieron todas mis inquietudes, me capacitaron y alimentaron de experiencia laboral como en conocimientos en especial a. Dr. Ernesto Olvera González, M. en C Julio Acevedo Martínez, y Víctor Manuel Herrera Ambriz por el apoyo que me brindaron para culminar mi carrera en **Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica**.



Pabellón de Arteaga, Ags.,

4/mayo/2021

ING. JUAN MANUEL BERNAL MEDINA
ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
NO. DE CONTROL M121050112

PRESENTE

Por medio de este conducto me permito comunicar a Usted que habiendo recibido los votos aprobatorios de los revisores de su trabajo de Tesis titulado: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA DESINFECCIÓN DE PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS CON LUZ UV-A LED"**, hago de su conocimiento que puede imprimir dicho documento y continuar con los trámites para la presentación de su examen de grado.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Tierra Siempre fértil®

MES. EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO





Pabellón de Arteaga, Ags.,

3/mayo/2021

MES. EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

PRESENTE

Por medio del presente doy el visto bueno a la Tesis de Maestría titulada **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA DESINFECCIÓN DE PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS CON LUZ UV-A LED"** del estudiante **JUAN MANUEL BERNAL MEDINA** con numero de control M121050112 de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica. Dicho trabajo ya fue revisado por cada uno de los miembros del comité tutorial y el estudiante ya realizo los cambios sugeridos, por lo que autorizamos su impresión.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Tierra Siempre fértil®

DR. JOSÉ ERNESTO OLVERA GONZÁLEZ
MIEMBRO DE COMITÉ TUTORIAL

M. en C. VÍCTOR MANUEL HERRERA AMBRIZ
MIEMBRO DE COMITÉ TUTORIAL

M. en C. JULIO ACEVEDO MARTÍNEZ
MIEMBRO DE COMITÉ TUTORIAL

RESUMEN

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA DESINFECCIÓN DE PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS CON LUZ UV-A LED

Por: Ing. Juan Manuel Bernal Medina

El reciente desarrollo de los LEDs UV ha permitido investigar el efecto germicida con diferentes longitudes de onda en el espectro UV, incluyendo el tipo A. La investigación y la industria han centrado su interés sobre el estudio y aplicaciones de la radiación ultravioleta de onda corta por su efecto deletéreo además de su bajo costo, versatilidad y nula residualidad. Esta propuesta pretende utilizar un sistema de irradiación de LEDs UV-A a un pico de emisión de 374 nm, controlado a través de una rutina automática, e integrado en un sistema mecatrónico semiindustrial diseñado para la desinfección de productos frescos. Se utilizaron productos frescos (ajo, chile serrano y tomate) para evaluar los beneficios y la funcionalidad del Sistema. Las dosis de irradiación establecidas para el experimento fueron 7.9, 23.7, 47.4 y 71.1 J/cm². De acuerdo con los resultados obtenidos, el máximo efecto germicida en ajo, chile serrano y tomate fue de 94.4%, 90.6% y 93.8%, respectivamente, con una dosis de 71.1 J/cm². La emisión de la irradiación no presenta efectos secundarios en el peso y color de cada producto fresco. La temperatura de cada producto fue monitoreada a lo largo del tratamiento, obteniendo valores máximos de 40 °C, 41.9 °C y 38.3 °C en ajo, chile serrano y tomate, respectivamente. Con la creación de este dispositivo, muchas de las empresas agroalimentarias de la región, se estarán viendo beneficiadas ya que no deberán transportar sus productos a lugares externos de la planta para lograr la descontaminación de los mismos.

Dirigido por:

Dr. José Ernesto Olvera González

M. en C. Julio Acevedo Martínez

M. en C. Víctor Manuel Herrera Ambriz

ÍNDICE GENERAL

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Inocuidad de los alimentos.	5
2.1.1 Principales Enfermedades Transmitidas por los Alimentos.	5
2.2.- Electromagnetismo.	6
2.2.1.- Tratamientos Térmicos.	7
2.2.2.- Tratamientos no Térmicos.	8
2.3.1.- Irradiación UV.	9
2.3.- Fuentes de Irradiación.	12
2.3.1.- Lámparas de Mercurio.	12
2.3.2.- Lámparas de Xenón.	15
2.3.3.- Lámparas UV-LEDs.	16
2.4.- Efecto Germicida.	17
2.5.- Microorganismos relacionados con los alimentos.	18
2.5.1.- Dimerización del ADN.	18
2.5.2.- Mesófilos Aerobios.	19
2.5.3.- Modelo cinético.	20
2.6.- Componentes integrados al Sistema de Sistema de Desinfección.	20
2.6.1.- Componentes Mecánicos.	20
2.7.- Componentes de Hardware.	25
2.7.1.- Arduino.	25
2.7.2.- Cámara Infrarroja.	29
2.7.3.- Espectro radiómetro.	30
2.7.4.-Componentes de Software.	31
2.8.- Aplicaciones.	35
2.8.1.- Radiación Ultravioleta en la Desinfección o Descontaminación.	35
III. METODOLOGÍA	38

3.1.- Diseño y construcción del Sistema de desinfección con luz ultravioleta A tipo LED.	38
3.1.1.- Diseño en SolidWorks.	38
3.1.2.- Manufactura y evaluación de los elementos a integrar en el sistema de desinfección.	40
3.2.- Diseño y desarrollo del circuito electrónico como base del sistema de control.	42
3.3.- Desarrollo del sistema de control.	44
3.3.1.- Módulo I. Modo manual del sistema (Primera parte del panel de control).	45
3.3.2.- MÓDULO II. Posición de la casa y configuración del COM.	46
3.3.3.- Módulo III Radiación UV-A Semiautomático.	47
3.3.4.- Módulo IV. Radiación UV-B Semiautomático.	47
3.3.5.- Módulo V. Irradiación UV-C Semi automático.	48
3.4.- Integración del Sistema de Desinfección.	50
3.5.- Configuración de experimentos del Sistema mecatrónico de desinfección de alimentos basado en UV-A LED.	52
3.5.1.- Caracterización de la zona de irradiación.	53
3.5.2.- Configuración experimental de las dosis.	53
3.5.3.- Diseño experimental para validar el sistema.	54
3.5.4.- Organismos y método de conteo.	54
3.5.5.-Monitoreo de la Temperatura de los Productos en Fresco.	55
3.5.6.- Análisis Estadístico.	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1 Monitoreo de la Temperatura en los Productos en Fresco.	56
4.2 Efecto Germicida.	57
V. CONCLUSIONES	64
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXO 1.	71
ANEXO 2.	72
ANEXO 3	73
ANEXO 4	74

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.- Espectro electromagnético, energía no-ionizante y ionizante [17].</i>	7
<i>Figura 2.- Representación de los tratamientos térmicos.</i>	8
<i>Figura 3.- Tratamientos no térmicos a alimentos del sector agroindustrial.</i>	9
<i>Figura 4.- Región ultravioleta del espectro electromagnético [22].</i>	10
<i>Figura 5.- Construcción de una lámpara de arco de mercurio y diseño del balastro.</i>	13
<i>Figura 6.- Salida espectral de las lámparas de mercurio de baja y mediana presión.</i>	14
<i>Figura 7.- Partes implicadas en el funcionamiento de las lámparas de Xenón [31].</i>	15
<i>Figura 8.- Salida de diferentes lámparas UV LED en comparación con las de Mercurio.</i>	17
<i>Figura 9.- Formación del dinero de pirimidina en la cadena de ADN. Se muestra como tirosinas vecinas forman ciclobutilamina. Lo mismo sucede con citosinas vecinas (Domínguez y Parzanese, 2011).</i>	19
<i>Figura 10.- Figura X. Comparación del espectro de inactivación de E. coli con el espectro de absorción de la cadena de ADN. Las unidades de absorción e índice de activación se normalizaron para poder establecer una comparación [30].</i>	19
<i>Figura 11.- Motor PAP Nema 23.</i>	21
<i>Figura 12.- Ejemplo de rodamientos.</i>	21
<i>Figura 13.- Ejemplo de guías de sujeción.</i>	22
<i>Figura 14.- Esquema general de un servomotor. (a) Dinámica del funcionamiento de un servomotor. (b) Representación física de un servomotor (Fuente: Neoteo.com).</i>	23
<i>Figura 15.- Tornillo sin fin.</i>	24
<i>Figura 16.- Cople flexible.</i>	24
<i>Figura 17.- Diagrama general de la composición de un Arduino.</i>	26
<i>Figura 18.- Sensor ultrasónico.</i>	27
<i>Figura 19.- Esquema y funcionamiento general de los relevadores.</i>	28
<i>Figura 20.- Cables Dupont.</i>	28
<i>Figura 21.- Inversor de Frecuencia.</i>	29
<i>Figura 22.- Modelo de la Flir One Pro.</i>	29
<i>Figura 23.- Representación Gráfica del Espectro radiómetro.</i>	30
<i>Figura 24.- Simbología representativa de SolidWorks.</i>	31
<i>Figura 25.- Driver TB6560.</i>	32
<i>Figura 26.- Pantallas del Software Proteus.</i>	32
<i>Figura 27.- Insignia del software LabVIEW.</i>	33
<i>Figura 28.- Símbolo del software R.</i>	34
<i>Figura 29.- Pantalla principal del Fritzing.</i>	35
<i>Figura 30.- Esquema general del sistema mecatrónico.</i>	38
<i>Figura 31.- Croquis o hoja de cálculo del sistema mecatrónico.</i>	39
<i>Figura 32.- Diferentes vistas del Sistema Mecatrónico.</i>	39
<i>Figura 33.- Elementos para el movimiento y elementos de sujeción.</i>	41
<i>Figura 34.- Elementos para integrar y evaluar en la banda transportadora.</i>	41
<i>Figura 35.-Base de sujeción para tolva para suministro.</i>	42
<i>Figura 36.- Arreglo de conexión en paralelo de cada una de las lámparas tipo UV.</i>	43

Figura 37.- Diseño en fritzing de sistema mecatrónico.	43
Figura 38.- Caja de conexiones y adaptación para las señales de diferentes voltajes.	44
Figura 39.- Ensamble en el sistema mecatrónico.	44
Figura 40.- Pantalla principal del sistema de control.	45
Figura 41.- Modo manual del sistema mecatrónico.	46
Figura 42.- Posición del sistema, entrada USB de la computadora para la comunicación de Arduino para vincular.	46
Figura 43.- Configuración de la irradiación tipo A.	47
Figura 44.- Irradiación tipo B Semi-automático.	48
Figura 45.- Irradiación tipo "C" Semi automático.	49
Figura 46.- Panel general del sistema mecatrónico.	49
Figura 47.- Pruebas para la integración del sistema de desinfección.	50
Figura 48.- Adaptación de diferencia de voltaje de sincronía de 120 a 5v en el sistema.	51
Figura 49.- Verificación de lámparas en el Sistema de Desinfección.	51
Figura 50.- Simulación del funcionamiento con jitomate.	52
Figura 51.- Irradiación de los UV-A LEDS. (a) Máxima irradiación emitida por las lámparas. (b) Área de irradiación	53
Figura 52.- Procedimiento utilizado para el conteo de microorganismos.	55
Figura 53.- Termografías de los productos en fresco al inicio de cada tratamiento en jitomate (a1), chile serrano (a3), y en ajo (a5), y al final del tratamiento en jitomate (a2), chile serrano (a4) y ajo (a6). (b) Comportamiento de la temperatura durante los tratamientos por cada producto en fresco.	57
Figura 54.- Efecto Germicida por cada Tratamiento.	60
Figura 55.- La primera columna muestra el área donde se obtuvo el máximo efecto germicida en los tratamientos. La segunda columna muestra el desempeño del efecto germicida a través del tiempo.	63

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.- Conteo inicial de aerobios mesófilos en los productos en fresco.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 2.- Efecto germicida de la irradiación UV-A LEDs.</i>	<i>58</i>

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad importante debido a que responde a las demandas nutricionales de millones de personas, preserva los entornos naturales y estimula el proceso para generar una mejor calidad de vida [1]. El tomate es una hortaliza con un poderoso impacto económico en todo el mundo debido a su consumo en fresco, y es la base de la industria agrícola. Se trata de la mayor superficie cultivada en el mundo sobre un total de 177.042 millones de kilogramos en 2016 [2]. El consumo de tomate contribuye a la reducción del padecimiento de enfermedades cardiovasculares, algún tipo de cáncer debido a sus propiedades antioxidantes (licopeno, ácido ascórbico y compuestos fenólicos), fibra y potasio [3]. El ajo es uno de los condimentos favoritos de la gastronomía, y se cultiva anualmente una superficie cercana al millón de hectáreas en el mundo. El ajo contiene niveles de carbohidratos, grasas, proteínas, vitaminas (A, B y C), minerales, sulfóxidos, polisacáridos y saponinas. De acuerdo con sus propiedades medicinales, purifica la sangre, refresca el sistema circulatorio al actuar como regulador de la presión arterial, activa el óptimo funcionamiento del hígado; desinfecta el sistema digestivo de toxinas, actúa como desparasitante, elimina lombrices, por mencionar algunos beneficios [4]. Mientras que el chile serrano es importante por el valor que presenta a la producción agrícola, generando ingresos competitivos para los productores. Es conocido en todo el mundo como un delicioso condimento con un olor característico utilizado en la cocina mexicana y asiática.

Sin embargo, cuando se consume sin ningún proceso de desinfección, los productos frescos se vuelven potencialmente peligrosos para el ser humano. La contaminación por patógenos provoca pérdidas sustanciales de alimentos (55% en el caso de las frutas y verduras, 25% en el de los cereales, 35% en el de los pescados y mariscos, y 20% en el de la carne y los productos lácteos) durante el almacenamiento, el transporte y la comercialización [5]. Además, las bacterias patógenas son un riesgo para los seres humanos y uno de los problemas mundiales de salud pública. La inocuidad y la calidad de los alimentos se consideran la columna vertebral que sostiene la industria alimentaria, y están estrechamente relacionadas con la demanda de la comunidad de alimentos en buen estado y libres de riesgo. Más de 200 infecciones (desde

pequeñas diarreas hasta cáncer) son referidas por falta de seguridad [6]. Es imprescindible garantizar la seguridad y estabilidad de los alimentos, siendo la destrucción microbiana un procedimiento fundamental. Se han establecido numerosos enfoques de procesamiento para detener el deterioro de los alimentos y aumentar la seguridad. La pasteurización (por calor), el enlatado, la congelación, la refrigeración y los conservantes químicos se consideran métodos tradicionales [7]. Pero hay cambios en la textura, el sabor y la modificación de las cualidades sensoriales y nutricionales de los productos frescos. Otra tecnología que puede incluirse en la lista es la irradiación. La irradiación es una técnica de conservación de alimentos que se utiliza para extender y mejorar la vida útil de los alimentos frescos o procesados. La irradiación de alimentos es un método de bajo consumo energético (cantidad de partículas o rayos) que contribuye a reducir las enormes pérdidas generadas por el deterioro o la contaminación por bacterias dañinas y otros parásitos. Permite reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por los alimentos al retrasar o eliminar los microorganismos y/o la maduración de los mismos [8]. En diferentes países se ha reconocido el potencial del método de irradiación de alimentos, ya que ayuda a reducir las pérdidas en la etapa posterior a la cosecha, concede con los requisitos de cuarentena, extiende las exportaciones, y asegura la calidad higiénica de los alimentos. La eficacia de la destrucción microbiológica, también la descomposición a la transmisión de bacterias de un alimento a otro, estimará el éxito o el fracaso de las nuevas estrategias, así como la fisiología microbiana y su comportamiento antes, durante y después de cada tratamiento [9]. Al mismo tiempo, ofrece la oportunidad de sustituir los conservantes químicos que pueden considerarse arriesgados o perjudiciales para la salud [10] además mantiene los nutrientes en los alimentos se aplicará como un proceso dentro de una línea de producción.

El uso de la luz ultravioleta (UV) en la irradiación de alimentos se presenta como un método alternativo a las técnicas térmicas convencionales para la desinfección. Una cuestión importante generada por los métodos térmicos es que se modifican las propiedades nutricionales y organolépticas [11]. Las lámparas de mercurio, xenón y UV-LEDs en los últimos años se han integrado en estos procesos. A principios del siglo XX, la irradiación UV se ha utilizado en la desinfección del agua [12], y de diferentes alimentos (productos frescos) como el tomate y el chile. La tecnología de la luz ultravioleta ha demostrado ser una opción adecuada para la

desinfección, aunque tiene varias desventajas como la de no penetrar en los alimentos, es decir, la descontaminación se realiza de forma superficial [13]. Cuando los alimentos pasan por un proceso de descontaminación, hay zonas de sombra; es decir, la irradiación no entra en contacto con todos los lados del producto, lo que se considera un reto para el diseño y desarrollo de nuevos sistemas de desinfección.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una nueva serie de factores está redefiniendo de forma acelerada la inocuidad alimentaria mundial. Factores como el cambio climático, los altos costos de esterilización, la globalización, el transporte de alimentos y la urbanización están transformando el consumo, la producción y el mercado de alimentos lo cual nos lleva a desarrollar sistemas más eficaces para controlar la inocuidad alimentaria. Por su parte, el incremento en la demanda de alimentos requiere sistemas más estrictos de inocuidad; debido a que a la par la población crece, la industria de alimentos se ve afectada por no satisfacer las necesidades requeridas; dado que, el suministro de alimentos de calidad fortalece las economías nacionales, el comercio y el turismo. Los alimentos infectados que contienen bacterias, virus, parásitos o sustancias químicas nocivas causan más de 200 enfermedades que van desde la diarrea hasta el cáncer. Cada año se pierden US\$ 110 000 millones en productividad y gastos médicos derivados de los alimentos contaminados en los países de ingresos bajos y medianos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema mecatrónico para la desinfección de productos agroindustriales a través de la luz UV tipo A con tecnología de estado sólido (LED).

1.2.2 Objetivos específicos

- Establecer el diseño del sistema mecatrónico.

- Construir el sistema mecatrónico con los materiales necesarios, además de cuidar la inocuidad de cada uno de ellos.
- Implementar el sistema mecatrónico en una banda transportadora semiindustrial.
- Evaluar el desempeño del sistema de desinfección con productos agroalimentarios (jitomate, chile serrano, ajo, nuez, entre otros).

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente el uso de tecnologías no térmicas se está aplicando como una alternativa viable para la desinfección de alimentos debido a que no eleva su temperatura por consecuencia las vitaminas, nutrientes esenciales y sabores se someten a cambios mínimos o nulos. Una de estas técnicas no térmicas es la radiación ultravioleta, esta radiación se ha utilizado para desinfección de agua desde principios del siglo XX, no obstante, para la desinfección de alimentos no había sido apropiada por diversas desventajas que presentaban las lámparas emisoras de UV (Xenón y Mercurio). Sin embargo, una nueva fuente de luz UV emitida por diodos UV-LEDs surgió en la última década (2010 en adelante) con varias ventajas respecto a las tecnologías existentes (Mercurio y Xenón) con lo que el desarrollo de nuevos sistemas de desinfección es una alternativa para atender las necesidades de los productos agroindustriales.

Por ello, la propuesta de esta investigación es el desarrollo de un sistema mecatrónico con UVA-LEDs para la desinfección de productos frescos. Este sistema mecatrónico cuenta con un sistema de control que puede cambiar las rutinas en función del producto a tratar. La motivación de este proyecto surge de la necesidad que existe en el sector agroindustrial de utilizar un método de desinfección seguro, no térmico y que pueda ser aplicado en línea (línea de producción). Un problema destacado en este tipo de aplicaciones tecnológicas es la zona o cara no irradiada de los productos, que se puede resolver aplicando estrategias mecánicas (pasos, vibraciones, técnicas de parada/arranque, entre otras) asociadas al sistema mecatrónico.

II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos que integran la propuesta de solución, como lo es los elementos que integran el sistema mecatrónico, la programación del sistema, además algunas de las aplicaciones que han sido reportadas y se relacionan con el desarrollo de esta propuesta.

2.1 Inocuidad de los alimentos.

La inocuidad de los alimentos es un elemento fundamental de la salud pública y un factor determinante del comercio de alimentos. Involucra a varias personas interesadas, entre ellos los productores primarios, los manipuladores de alimentos, los elaboradores y los comerciantes, a lo largo de toda la cadena alimenticia, los servicios oficiales de control de alimentos y los consumidores, teniendo como objetivo alcanzar productos alimenticios seguros, que no causen daño a la salud del consumidor [14]. Pero en los últimos años se han producido varios brotes extremadamente graves de enfermedades de transmisión alimentaria. Muchos de esos brotes han afectado a más de un país, y en algunos casos a más de un continente. Los alimentos insalubres plantean amenazas para la salud a escala mundial y ponen en peligro la vida de todos: los lactantes, los niños pequeños, las embarazadas, las personas mayores y las personas con enfermedades subyacentes son particularmente vulnerables [15]. Existen diversos métodos que contribuyen para garantizar la inocuidad de los alimentos yendo de los más sencillos, como es el secado al sol, hasta ciertos procesos que son complejos y requieren tecnología muy específica.

2.1.1 Principales Enfermedades Transmitidas por los Alimentos.

Las enfermedades de transmisión alimentaria (ETA) constituyen un enorme y creciente. Por ejemplo, los países que disponen de sistemas de notificación de casos de esas enfermedades han documentado un considerable incremento de la incidencia de Salmonella, Campylobacter jejuni, Escherichia coli enterohemorrágica y otros agentes patógenos [15].

Existen dos categorías de enfermedades causadas por los alimentos: las intoxicaciones alimentarias, causadas por toxinas producidas por los microorganismos, y las infecciones alimentarias causadas por el crecimiento de los microorganismos en el cuerpo humano, luego de haber ingerido alimentos contaminados.

Existen diferentes intoxicaciones alimentarias estafilocócicas y posteriormente las graves como el botulismo, terminando con las aquellas en que se incluyen las salmonelosis y otras infecciones similares [16].

2.2.- Electromagnetismo.

Es el estudio y la unificación de las teorías eléctricas y magnéticas. El fenómeno de las cargas en aceleración son los encargados de producir ondas electromagnéticas y radiación, se clasifican según su frecuencia y longitud de onda [14]. Esta clasificación se conoce como el espectro electromagnético. El espectro electromagnético se puede dividir en radiaciones ionizantes y no ionizantes [5]. La luz ultravioleta corresponde a las radiaciones no ionizantes, debido a que no posee la energía suficiente para producir ionización [17].

La mayor parte de las ondas electromagnéticas son originadas a partir de vibraciones entre electrones, generando perturbaciones que hace variar sus campos eléctricos y magnéticos, siendo perpendiculares entre sí. Al movimiento de la perturbación, se le denomina onda transversal. Es por este efecto que los electrones emiten energía en forma de onda electromagnética, tal como los rayos X, los rayos ultravioletas, la luz visible, los rayos infrarrojos, las microondas o las ondas de radio y televisión. Todas ellas están clasificadas y ordenadas de manera creciente en función de la longitud de onda y la frecuencia. El espectro electromagnético se puede dividir en radiaciones ionizantes y no ionizantes [5]. La luz ultravioleta corresponde a las radiaciones no ionizantes, dado que no posee la energía suficiente para producir ionización [15].

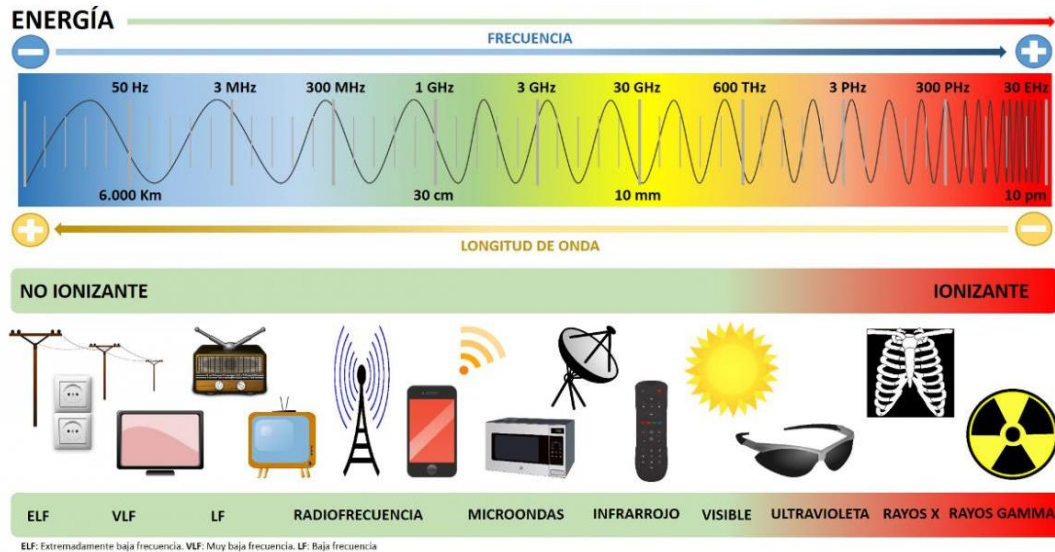


Figura 1.- Espectro electromagnético, energía no-ionizante y ionizante [17].

2.2.1.- Tratamientos Térmicos.

Los métodos térmicos han sido ampliamente utilizados en la industria alimentaria como un método de conservación donde su objetivo principal inactivar a los microorganismos de riesgo en el alimento, reduciendo la carga microbiana (como en el caso de la pasteurización) o consiguiendo su total inactivación como es el caso de los métodos de esterilización por calor. Durante el proceso, el calor es utilizado para destruir las células vegetativas de los microorganismos y sus esporas capaces de crecer en un ambiente anaeróbico durante el almacenamiento pudiendo provocar enfermedades a los consumidores o causar el deterioro del producto. Tradicionalmente se han utilizado como envases para este tipo de productos botellas de vidrio o los cilindros metálicos [18]. Laminados flexibles resistentes a las altas temperaturas han sido introducidos en los últimos años como materia prima para la elaboración de nuevos envases en donde se destaca la bolsa flexible esterilizable (“retort pouch”) [19]. En las últimas décadas se han desarrollado nuevas tecnologías y sistemas de envasado para cumplir estos objetivos sin la necesidad de aplicar un tratamiento térmico al alimento.



Figura 2.- Representación de los tratamientos térmicos.

2.2.2.- Tratamientos no Térmicos.

Los tratamientos de conservación de alimentos no térmicos denominados también tecnologías suaves, son poco agresivos dado que han generado un gran interés en la industria alimentaria por lo que los consumidores de hoy en día demandan que un producto fresco también sea de calidad, por lo que se está evaluando su potencial como una alternativa o como un proceso complementario a los métodos clásicos de conservación [20]. A modo de ejemplo, en determinados alimentos líquidos se suele emplear la filtración por membrana; con ello se consigue reducir la carga microbiana y además conserva las propiedades sensoriales y nutricionales del alimento. en determinados alimentos líquidos se suele emplear la filtración por membrana; con ello se consigue reducir la carga microbiana y además conserva las propiedades sensoriales y nutricionales del alimento. La irradiación es un tratamiento que aplica radiaciones ionizantes, regularmente de alta energía u ondas electromagnéticas para mejorar la seguridad microbiológica en algunos alimentos provocando daños en el ADN, además evita la reproducción y paraliza la división celular. Aplicada también para restringir la germinación de granos y retardar la maduración de frutas tropicales. Garantiza una calidad microbiológica, la calidad sensorial y nutritiva de los productos no se ven afectadas, siempre y cuando se utilicen las dosis recomendadas en las normas establecidas para el empleo de radiación en alimentos, algunos ejemplos se muestran en la Figura 3.



Figura 3.- Tratamientos no térmicos a alimentos del sector agroindustrial.

2.3.1.- Irradiación UV.

La principal fuente de luz ultravioleta (UV) a la que estamos expuestos toda la población proveniente del sol, a pesar de que existen numeras fuentes artificiales. La radiación ultravioleta tiene una longitud de onda más corta que la luz visible azul o violeta se utiliza en diferentes sectores de la industria de alimentos, debido al efecto nocivo que causa sobre el ADN de muchos microorganismos. Asimismo, es elegida por tratarse de un proceso que no altera las propiedades organolépticas de los productos y reduce el uso de sustancias químicas. Se emplea para la preservación de alimentos líquidos y sólidos, pero en estos últimos su aplicación es efectiva a nivel superficial. La radiación UV produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte. Sus longitudes de onda se extienden entre 100 y 400 nm más cortas que las de la luz visible. Tiene una temperatura de 6000 K (aproximadamente la temperatura superficial del sol). La longitud de onda UV se divide en 4 grupos, cada uno con un efecto germicida diferente: UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm), UV-C (200–280 nm) y UV de vacío (100–200 nm) [21], como se observa en la Figura 4. La aplicación práctica de la desinfección UV se basa en la capacidad germicida de UV-A, UV-B y UV-C.

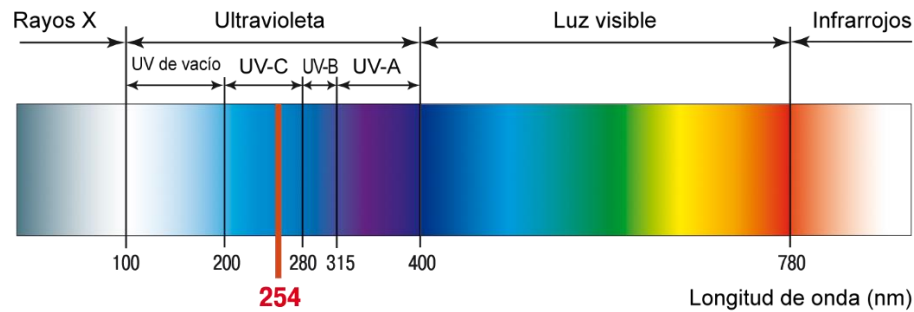


Figura 4.- Región ultravioleta del espectro electromagnético [22].

2.3.1.1.-Irradiación UV-A.

Los rayos UVA, de longitud de onda relativamente larga, representan aproximadamente el 95% de la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra. Puede penetrar en las capas más profundas de la piel y es responsable del efecto de bronceado inmediato. Además, también contribuye al envejecimiento de la piel y a la formación de arrugas. Durante mucho tiempo se pensó que los rayos UVA no podían causar ningún daño duradero. Estudios recientes sugieren firmemente que también puede potenciar el desarrollo de cánceres de piel.

2.3.1.2.- Irradiación UV-B

La radiación UVB de longitud de onda media es muy activa desde el punto de vista biológico, pero no puede penetrar más allá de las capas superficiales de la piel. Es responsable del bronceado retardado y de las quemaduras; además de estos efectos a corto plazo, favorece el envejecimiento de la piel y promueve de forma significativa el desarrollo del cáncer de piel. La mayor parte de los UVB solares son filtrados por la atmósfera.

2.3.1.3.- Irradiación UV-C.

La radiación UVC es una radiación entre 100 nm y 280 nm. Dado que el aire absorbe la radiación UVC por debajo de unos 200 Nm, ésta suele considerarse la longitud de onda límite inferior. La radiación UVC puede ser generada eficazmente por lámparas de mercurio de baja presión. El rendimiento de la radiación UV es de hasta un 40% aproximadamente, con una potencia eléctrica de varios cientos de vatios. La emisión dominante es de aproximadamente 254 Nm. Las aplicaciones más importantes son la desinfección de superficies, así como de envases de alimentos y la desinfección del agua potable. Para la polimerización UV está muy extendida la lámpara de media presión de Hg con una potencia eléctrica de entre aprox. 400 W y 24 kW. En este caso, la elevada potencia permite alcanzar altas velocidades y tiempos de proceso en fracciones de segundo.

En general, existe un creciente interés en aplicar luz UV para la desinfección de alimentos [23]. Sin embargo, todo producto alimenticio, líquido o sólido, tiene su propia composición y esto puede determinar la dosis de cada tipo de irradiación. Se deben evaluar las ventajas y desventajas para la desinfección siendo que la unidad o equipo de luz UV deben tener consideraciones para irradiar en los diferentes productos.

Un claro ejemplo es, la penetración de la luz UV en jugos o fase líquida excepto el agua donde su profundidad es muy pequeña es aproximadamente 1mm por una absorción del 90% de luz [24,25]. Por consiguiente, incrementar la cantidad de sólidos reducirá la intensidad de penetración de radiación; las partículas grandes suspendidas también podrían bloquear la incidencia de la luz en la carga microbiana.

En la actualidad no se encuentra establecida ningún estándar, norma o procedimiento donde se indiquen las dosis mínimas de irradiación UV para la reducción de patógenos o bacterias. Existen muchas características específicas que deben ser consideradas cuando se selecciona una dosis de UV para desinfectar un alimento o superficie. Los factores a considerar incluyen la calidad del material, el área a desinfectar, la fuente y el nivel de contaminación de microorganismos.

Una opción para establecer los requerimientos de una dosis es a través de un dispositivo de haz colimado dentro de un laboratorio o una unidad piloto de desinfección UV in situ. Una investigación, explicó el proceso de realizar la irradiación a través de un haz colimado donde se irradia de manera controlada un plato Petri que contiene la muestra. La curva entre la dosis y el tiempo brindará información sobre la sensibilidad de los microorganismos con la radiación UV y acerca del impacto de los microorganismos asociados con partículas en el nivel de desinfección que se puede alcanzar.

2.3.- Fuentes de Irradiación.

La luz UV puede generarse con una lámpara monocromática de arco de mercurio de baja o media presión dentro de un tubo de cuarzo [26], que se llena con el gas inerte argón, que reduce las pérdidas térmicas y extiende la vida de los electrodos de tungsteno y metales al tungsteno y metales alcalinotérreos localizados a cada orilla, los cuales facilitan la formación del arco. Cuando el vapor de mercurio es excitado por una descarga, vuelve a un nivel menor de energía, emitiendo radiación UV. Para mantener la estabilidad del funcionamiento, es necesario el uso de balastos que limiten el flujo de corriente y provean el voltaje apropiado [27].

En la actualidad se han buscado nuevos métodos y tecnología de desinfección que sean más eficaces y menos destructivas que los procesos químicos convencionales, dentro de estos nuevos métodos se encuentran los equipos para desinfección con radiación UV-C. Los equipos que logran emitir luz ultravioleta artificial son las lámparas de mercurio de mediana y baja presión, lámparas fluorescentes e incandescentes; sin embargo, se han desarrollado lámparas UV de microondas, las cuales son más eficientes [27].

2.3.1.- Lámparas de Mercurio.

Estas lámparas son las más comunes fuentes de luz UV-C. Las lámparas de mercurio están compuestas dos electrodos en sus extremos y un tubo herméticamente cerrado de materiales como el cuarzo o la silica Vitreosa, ambos transmisores de luz ultravioleta [28]. Usualmente el tubo hermético es llenado con argón, este ayuda al arranque de la lámpara, extiende la vida de

los electrodos y evita perdidas térmicas; los electrodos que se ubican en los extremos son fabricados con tungsteno y una mezcla de alcalinotérreos, esto facilita la formación del arco dentro de la lámpara; cuando el vapor de mercurio es excitado por una descarga eléctrica retorna a un nivel de menor energía, produciendo radiación UV-C [27]. Estas lámparas de mercurio pueden funcionar a mediana y baja presión [29]. Las lámparas de mercurio a mediana presión no son eficientes como método de desinfección, debido a que alcanzan temperaturas muy altas y su radiación no logra ser completamente absorbida por los microorganismos [27], de acuerdo a la Figura 5.

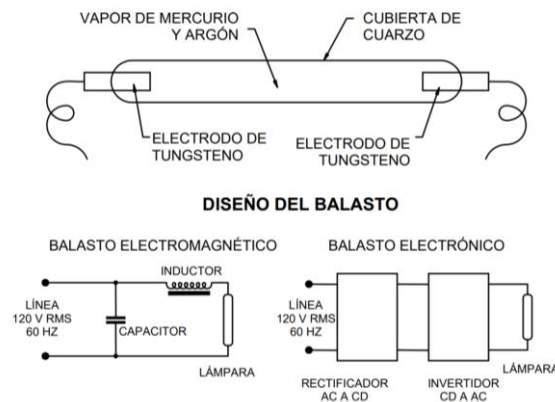


Figura 5.- Construcción de una lámpara de arco de mercurio y diseño del balasto.

Las fuentes de UV más comunes son lámparas de mercurio de baja y mediana presión que se encuentran disponibles comercialmente. La Figura 6 muestra una comparación de la salida espectral de las lámparas de mercurio de baja y mediana presión. Las de baja presión (mercurio) son utilizadas para la desinfección de agua y se encuentran en una longitud de 35 a 163 cm, cuentan con un diámetro entre 1.2 y 1.9 cm. Operan a una temperatura de 40 °C y a una potencia eléctrica cercana a 0.3 W/cm [29], la presión de vapor de mercurio en el interior es de 0.9 Pascales y la mayor cantidad de mercurio en la lámpara se encuentra en fase líquida. La construcción, llenado, y operación de una lámpara de baja presión se eligen de manera tal que se maximice la conversión de energía eléctrica a radiación UV resonante a 254nm y 185nm. Aproximadamente 85% de la luz emitida por una lámpara de baja presión es radiación UV resonante. Incluidas las pérdidas del balasto, la conversión de energía eléctrica a luz UV tiene

una eficiencia aproximada de 35 a 40% [30]. Una lámpara de baja presión estándar de 147 cm de longitud debe producir 26.7 watts de UV a 254nm cuando se le conecta a una fuente de energía de 75 watts. Las lámparas de arco de mercurio de mediana presión usadas en la desinfección de agua varían en longitud de 25 a 70 cm y tienen un diámetro de cerca de 2.2 cm. Debido a la alta temperatura del plasma dentro de la lámpara de mediana presión, el mercurio vaporizado se encuentra en varios estados de excitación. El paso de estos niveles de excitación a un nivel de energía menor da como resultado la liberación de luz con diferentes longitudes de onda. En consecuencia, la salida espectral de una lámpara de mediana presión consiste de numerosos picos con un continuo de UV por debajo de 245 nm. Si se ignora la radiación por debajo de 248.3 nm, [29], reporta que una lámpara de mediana presión que opere con una potencia de arco eléctrico de 107 watts/cm produce 9.38 watts/cm de UVC y 8.19 watts/cm de UVB. Entonces, por lo menos 44% de la radiación total emitida por una lámpara de mediana presión es UVB y UVC. La conversión de energía eléctrica a UVB y UVC tiene una eficiencia de por lo menos 16%. De acuerdo con esto, una lámpara de mediana presión de 25cm de longitud puede producir 450 watts de UVB y UVC suministrándosele una energía eléctrica de 2.8 kW.

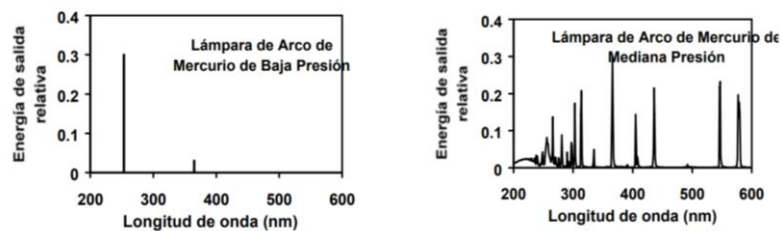


Figura 6.- Salida espectral de las lámparas de mercurio de baja y mediana presión.

Si bien las lámparas de baja presión son eléctricamente más eficientes que las lámparas de mediana presión, producen una potencia UV mayor por lámpara. Por consiguiente, los sistemas UV de mediana presión tienen menos lámparas, ocupan menos espacio y requieren menos mantenimiento. Al mismo tiempo, al requerir un menor número de lámparas, los sistemas UV de mediana presión pueden incorporar, en forma económica, sistemas automáticos de limpieza para remover la suciedad que se acumula en las lámparas durante la desinfección de agua, con lo que se reduce la mano de obra asociada con el mantenimiento de las lámparas. La decisión

de escoger el sistema apropiado para una aplicación específica, ya sea un sistema de baja presión, uno de mediana presión o una combinación de ambos, dependerá de los factores específicos del lugar.

2.3.2.- Lámparas de Xenón.

Son sistemas de iluminación con alto rendimiento luminoso capaz de iluminar una zona de más de 140 m, funcionan por descarga de gas en el interior de la ampolla, donde se encuentra el gas xenón y halogenuros metálicos. La luz se genera por medio de un arco voltaico de hasta 30.000 V, entre los dos electrodos de tungsteno situados en la cámara de vidrio. El arco es generado por una reactancia o reacción que produce una corriente alterna de 400 Hz. En el interior de la lámpara se alcanza una temperatura de aproximadamente 700 °C. La temperatura de luz de estas lámparas es de 4100 a 4500 °K frente a los 3200 de las halógenas, por lo que es más blanca.

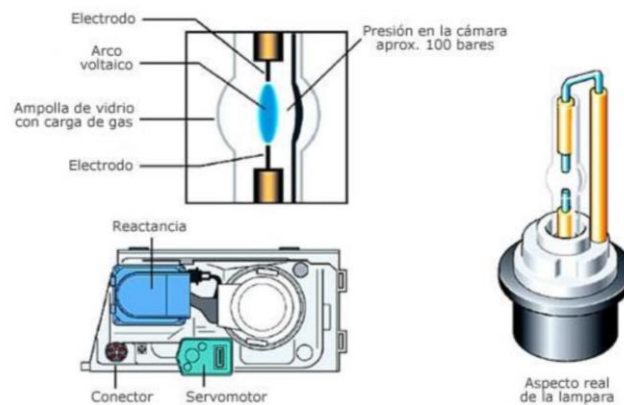


Figura 7.- Partes implicadas en el funcionamiento de las lámparas de Xenón [31].

Cuando se ha logrado el encendido, la lámpara de descarga de gas funciona aproximadamente durante 3 segundos después del encendido, con una corriente de mayor intensidad. El único objetivo de esto es que la lámpara alcance su claridad máxima con un retardo mínimo de 0.3 segundos. Debido a la composición química del gas, en la ampolla (bulbo) de la lámpara se

genera una luz con elevados porcentajes de luz verde y azul. Esa es la principal característica de identificación exterior de la técnica de luminiscencia por descarga de gas [32], la representación de las lámparas se despliega en la Figura 7.

2.3.3.- Lámparas UV-LEDs.

Los diodos emisores de luz (Light-Emitting Diodes) o LEDs son fuentes luminosas a base de semiconductores. A diferencia de los diodos semiconductores de silicio, que emiten una débil radiación infrarroja, los LEDs están fabricados con otros materiales, como el Nitruro de Galio e Indio, seleccionados para que emitan, de forma eficiente, radiación de una longitud de onda determinada. Conforme al desarrollo de tecnología se ha logrado aumentar sustancialmente la eficacia energética de las fuentes de iluminación de estado sólido, esto gracias a la innovación de nuevos y mejores materiales semiconductores y fósforos.

Un LED UV genera energía UV mediante la aplicación de una corriente eléctrica a un dispositivo semiconductor llamado diodo. Los materiales específicos en el diodo determinan la longitud de onda de salida, que normalmente se ubica en una banda muy estrecha ± 10 nm. La Figura 8 compara la salida de varias lámparas UV LED con una lámpara de mercurio. Las lámparas UV LED se proveen en configuraciones de longitud de onda única, típicamente centradas en una longitud de onda específica ± 5 nm.

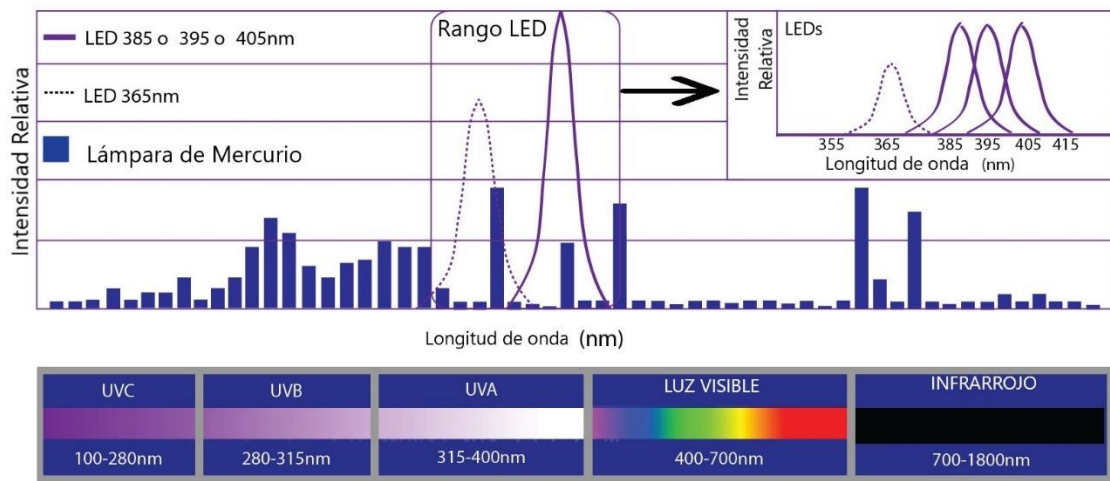


Figura 8.- Salida de diferentes lámparas UV LED en comparación con las de Mercurio.

Una unidad UV LED puede ser tan liviana como 0.2 kg. Su tamaño y peso generalmente aumentan con la producción de energía o al aumentar el tamaño de la ventana emisora. Los proveedores suelen especificar el tamaño de la ventana emisora y la irradiancia máxima en W/cm^2 . La salida de los diferentes UV-LEDs se muestra en la Figura 8.

2.4.- Efecto Germicida.

La radiación UV proporciona una inactivación rápida y eficiente de los microorganismos mediante un proceso físico. Cuando las bacterias, los virus y los protozoos se exponen a las longitudes de onda germicidas de la luz UV, se vuelven incapaces de reproducirse e infectar. Se ha demostrado que la luz UV es eficaz frente a microorganismos patógenos, como los causantes del cólera, la polio, la fiebre tifoidea, la hepatitis y otras enfermedades bacterianas, víricas y parasitarias.

Por su parte, la radiación ultravioleta (UV) ejerce un efecto nocivo sobre el ADN de muchos microorganismos, inicialmente se utilizó para desinfectar en las industrias alimentarias de: cintas transportadoras, láminas, tapas de cierre, envases, agua, entre otros; posteriormente se ampliaron sus usos hacia los productos alimenticios, entre los cuales se encuentran los vegetales como frutas y hortalizas, induciendo mecanismos de defensa en su tejido metabólicamente activo, y provocando la producción de fitoalexinas [33]. Asimismo, es elegida por tratarse de

un proceso que no altera las propiedades sensoriales y reduce el uso de sustancias químicas [34]. La radiación UV como tecnología no térmica de conservación es un tratamiento simple, limpio, se realiza a bajas temperaturas y sin humectación del producto, requiere menos espacio que otros métodos, poco mantenimiento y tiene un bajo costo. Este método, además de poder ser incorporado fácilmente a una línea de procesamiento, requiere una baja inversión para su implementación convirtiéndolo en una atractiva técnica de descontaminación [35]. El uso de la radiación UV ha sido aprobado como control en el tratamiento superficial de alimentos, esterilización del agua usada en la producción de alimentos y reducción de patógenos humanos y otros microorganismos en jugos [36].

2.5.- Microorganismos relacionados con los alimentos.

2.5.1.- Dimerización del ADN.

Los microorganismos son inactivados por la luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La radiación UV es absorbida por los nucleótidos, los bloques constitutivos del ADN y ARN de la célula, según la longitud de onda (ver Figura 9). La UV absorbida promueve la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros. Estas uniones cruzadas son directamente proporcionales a la cantidad de exposición a la luz ultravioleta y evitan que se formen puentes de hidrógeno con las purinas, resultando en la falta de transcripción y replicación del ADN. Las células en su fase de crecimiento exponencial parecieran ser más sensibles al tratamiento que células en fase estacionaria, debido a la gran velocidad de crecimiento que ocurre en esa etapa [37]. Como se ve en la Figura 10, hay una correlación entre la absorción de la radiación de la cadena de ADN y la inactivación microbiológica. La absorción parece depender de la homogeneidad del flujo de luz, la transmisividad, la composición química, los sólidos presentes, las macromoléculas como almidón y el color, y no pareciera estar influenciada por el pH, la presión o la temperatura del medio [38].

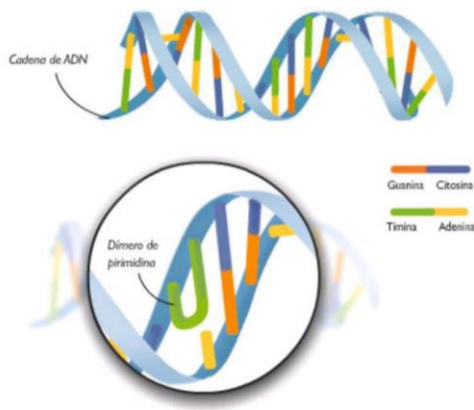


Figura 9.- Formación del dímero de pirimidina en la cadena de ADN. Se muestra como timinas vecinas forman ciclobutamina. Lo mismo sucede con citosinas vecinas (Domínguez y Parzanese, 2011).

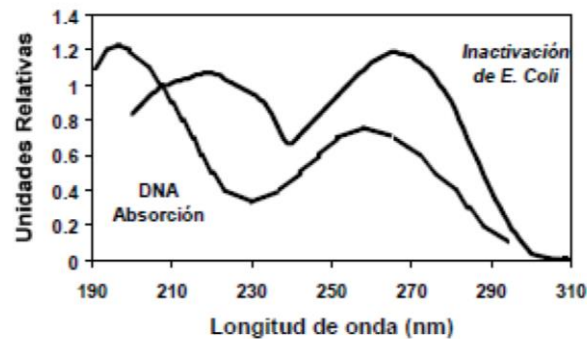


Figura 10.- Comparación del espectro de inactivación de *E. coli* con el espectro de absorción de la cadena de ADN. Las unidades de absorción e índice de activación se normalizaron para poder establecer una comparación [30].

2.5.2.- Mesófilos Aerobios.

Son todas las bacterias, mohos y levaduras capaces de desarrollarse a 30°C, pero pueden hacerlo en rangos muy amplios de temperaturas inferiores y mayores a los 30°C [39]. El recuento de este tipo de microorganismos permite conocer el grado de contaminación de una muestra, se lleva a cabo a partir de diluciones decimales de la muestra, que se inoculan en placas vertidas en Agar cuenta Estándar. Las placas se inoculan en condiciones de aerobiosis a una temperatura de 35°C durante 24 a 48 horas es importante aplicar las reglas indicadas en la NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de Bacterias Aerobias en Placa [40]. En este recuento se estima la microflora total sin especificar tipos de microorganismos, reflejando la

calidad sanitaria de un alimento, las condiciones de manipulación y las condiciones higiénicas de la materia prima.

2.5.3.- Modelo cinético.

La bibliografía existente permite establecer un modelo cinético para alcanzar una reducción de 4 log (99.99 %) (presentando casi una curva lineal), el que depende del tipo de microorganismo y la matriz donde se encuentre, de acuerdo a la ecuación (1). La radiación UV emitida se mide en watts (W) y la intensidad en W/m^2 . La dosis ($D = J/m^2$) necesaria de cada microorganismo para reducir la carga es el producto de la intensidad de la radiación ($I = W/m^2$) y el tiempo de exposición (t en s). Puede expresarse en $mJ/cm^2 = \mu Ws/cm^2$.

$$D \left(\frac{J}{m^2} \right) = I \left(\frac{W}{m^2} \right) \times t(s) \quad (1)$$

La resistencia de cada organismo es variada: influye la matriz en la que se encuentren y la especie. En general, las bacterias presentan la menor resistencia, seguido de los virus y, por último, las esporas bacterianas [26].

2.6.- Componentes integrados al Sistema de Sistema de Desinfección.

2.6.1.- Componentes Mecánicos.

2.6.1.1.- Motor a Pasos (Motor PAP).

Los motores paso a paso, como se muestra a la Figura 11; son motores diseñados específicamente para poder controlar su posición angular con precisión. Teniendo como principal función el posicionamiento antes que la posibilidad de girar libremente a grandes velocidades. Para que el eje rote se aplica una secuencia determinada de señales digitales. Están estructuradas por diferentes pasos en un orden específico y cada vez que la secuencia de control incrementa o decrementa un paso, el motor incrementa o decrementa un valor fijo en su posición angular. El valor de ese incremento estará determinado por el tipo de secuencia que el motor

haya recibido y por las características constructivas del motor. Los motores de pasos son transductores electro mecánicos, es decir, son dispositivos capaces de transformar energía eléctrica en mecánica [41].



Figura 11.- Motor PAP Nema 23.

2.6.1.2.- Rodamientos Lineales.

También llamados casquillos esféricos o guías líneas de eje son los encargados de guiar con la menor fricción posible los movimientos lineales de un elemento de la máquina. A diferencia de los rodamientos de bolas convencionales, tienen una dirección axial de bolas circulantes. Se encuentran formados por carcasas de acero o de plástico con segmentos de pista de rodadura de acero endurecido. Además, son los responsables de guiar los conjuntos de rodamiento en el sistema y aseguran una carrera sin límite. Los cojinetes lineales constituyen elementos importantes en la construcción de dispositivos, porta piezas y máquinas utilizándose en los sistemas automáticos de producción, las máquinas herramientas, los vehículos ferroviarios, así como en la tecnología alimentaria y médica [42], como se observa en la Figura 12.



Figura 12.- Ejemplo de rodamientos.

2.6.1.3.- Guía-Cabos de fijación.

Elemento fijo o desmontable que forma una ranura por donde pasar el cabo y evita rozamientos con otras piezas. Los cabos ayudan a que los objetos se desplacen en cualquier sentido [43], un ejemplo se muestra en la Figura 13.



Figura 13.- Ejemplo de guías de sujeción.

2.6.1.4.- Servomotor.

Un servomotor es un actuador rotativo o motor que permite un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad, capacidades que un motor normal no tiene. Utiliza un motor normal y lo combina con un sensor para la retroalimentación de posición. El controlador es la parte más sofisticada del servomotor, ya que está diseñado específicamente para este fin, como se muestra en la Figura 14.

Los servomotores son una combinación de piezas específicas que se constituyen de un motor de corriente continua o alterna y han implementados en sistemas de control de bucle cerrado. Se utilizan básicamente en la robótica industrial en la fabricación de sistemas de automatización y en aplicaciones de mecanizado en control numérico (CNC) por computadora. Utiliza la retroalimentación de posición para controlar su velocidad de rotación y posición. La señal de control es la entrada (analógica/digital) que representa el comando de posición final para el eje. El codificador o encoder actúa como sensor proporcionando retroalimentación de velocidad y posición [44].

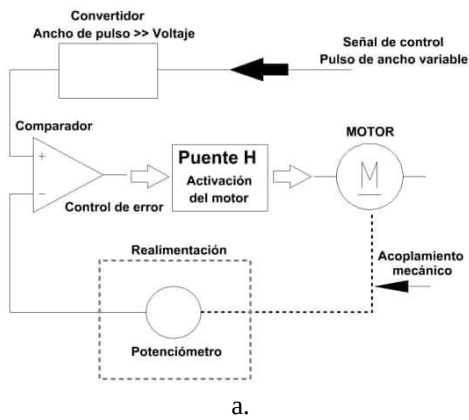


Figura 14.- Esquema general de un servomotor. (a) Dinámica del funcionamiento de un servomotor. (b) Representación física de un servomotor (Fuente: Neoteo.com).

2.6.1.5.- Tornillo sin fin.

Se utiliza para transmitir la potencia entre ejes que se cruzan, casi siempre perpendicularmente entre sí. En un pequeño espacio se pueden obtener relaciones de velocidad comparativamente altas.

La velocidad de giro del eje conducido depende del número de entradas del tornillo y del número de dientes de la rueda. Si el tornillo es de una sola entrada, cada vez que éste de una vuelta avanzará un diente. Es considerado una rueda dentada de un solo diente que ha sido tallado helicoidalmente (en forma de hélice). Este operador ha sido diseñado para la transmisión de movimientos giratorios, por lo que siempre trabaja unido a otro engranaje. El tornillo sinfín se puede considerar, por tanto, como una rueda dentada de un número de dientes igual al número de entradas. También se puede considerar como una rosca trapecial (ver Figura 15) con un ángulo entre flancos de 40° y con un paso igual al paso de la rueda con la que va a engranar; es decir, que el paso es modular o múltiplo de , por consiguiente, sus dimensiones estarán expresadas en función del módulo y del diámetro primitivo d_p [45].



Figura 15.- Tornillo sin fin.

2.6.1.6.- Cople flexible.

La Figura 16 es un cople flexible y sirven para proteger a las máquinas del estrés, desgaste y el costoso tiempo fuera de servicio. Estos componentes, aunque suelen ser pequeños en comparación con los equipos que conectan, desempeñan un papel muy importante en la confiabilidad del equipo. Cuando son seleccionados, instalados y mantenidos correctamente, pueden prolongar significativamente la vida útil de un equipo. Diseñado para motores con flecha de 5mm o 10mm (uno en cada lado). Ideal para máquinas CNC, impresoras 3D. Cuenta con flexibilidad para tolerar vibraciones o movimiento del eje sin dañar el motor y manteniendo la precisión [46].



Figura 16.- Cople flexible.

2.6.1.7.- Estructura de perfil Bosch para colocación de lámparas.

El perfil de aluminio es la solución más flexible para el armado de estructuras dinámicas ligeras que ayudan a la implementación de mejoras en sus procesos de manufactura y producción.

2.6.1.8.- Barras Lineales y Circulares.

Las barras para doble piso/retenedoras están hechas de aluminio extruido de alta resistencia para una mayor rigidez y durabilidad. Se utilizan junto con los rieles de acero para sostener y organizar más eficientemente la carga. Con estos aditamentos, se pueden hacer varias secciones dentro de la caja del camión y evitar que la mercancía se balance de un lado a otro [47].

2.7.- Componentes de Hardware.

2.7.1.- Arduino.

Basada en la filosofía del software libre, Arduino es una plataforma de electrónica “open-source” o de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar. Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables dupont). Básicamente lo que permite esta herramienta es la generación de infinidad de tipos de microordenadores de una sola placa, que luego pueden tener una amplia variedad de usos según la necesidad de la persona que lo cree. Es decir, una forma sencilla de realizar proyectos interactivos para cualquier persona [48]. El diagrama general de la placa es mostrado en la Figura 17.

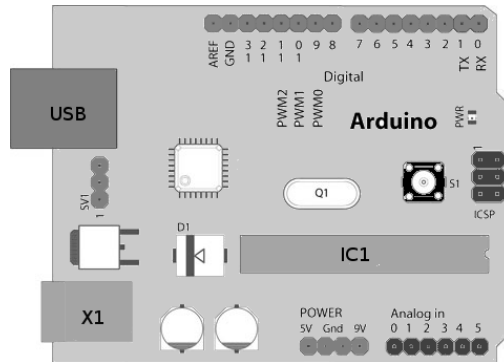


Figura 17.- Diagrama general de la composición de un Arduino.

2.7.1.1.- Sensor Ultrasónico.

Los sensores ultrasónicos miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas. El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción, la representación general se muestra en la Figura 18. Un sensor óptico tiene un transmisor y receptor, mientras que un sensor ultrasónico utiliza un elemento ultrasónico único, tanto para la emisión como la recepción. En un sensor ultrasónico de modelo reflectivo, un solo oscilador emite y recibe las ondas ultrasónicas, alternativamente. Esto permite la miniaturización del cabezal del sensor [49]. La distancia se puede calcular de acuerdo con la ecuación (2),

$$L = \frac{1}{2} \times T \times C \quad (2)$$

Donde, L es la distancia, T es el tiempo entre la emisión y la recepción de la señal y, C es la velocidad del sonido (El valor se multiplica por $\frac{1}{2}$, dado que T es el tiempo que tarda en realizar el recorrido de ida y vuelta).



Figura 18.- Sensor ultrasónico.

2.7.1.2.- Módulo de 4 relevadores.

El módulo de 4 Relevadores de 5V se muestra en la Figura 19, son fabricados por Songle cada uno de los canales necesita de 15 a 20 mA. Los contactos de los relevadores están diseñados para conmutar cargas debajo de 250 AC a 10A o 30 DC 10A. Esto tiene una interfaz estándar puede ser controlado directamente por el microcontrolador. Cada canal es aislado por medio de un optoacoplador (817c), minimizando el ruido para la conmutación de carga y el led indica el estado del relevador.

El puerto de señal (proveniente de nuestro microcontrolador) está en un nivel bajo, la luz de señal se encenderá y el optoacoplador 817c (transforma las señales eléctricas por la luz y puede aislar las señales eléctricas de entrada y salida) conducirá al transistor, la bobina del relay se electrificará y el contacto normalmente abierto del relé se cerrará. Cuando el puerto de señal del módulo de 4 Relevadores está en un nivel alto, el contacto normalmente cerrado del relé se cerrará. Para que pueda conectar y desconectar la carga controlando el nivel del puerto de señal de control [50].

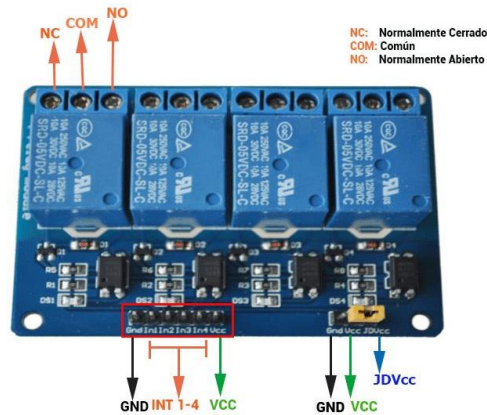


Figura 19.- Esquema y funcionamiento general de los relevadores.

2.7.1.3.- Cables Dupont.

Un cable Dupont para prototipos (ver Figura 20), es un cable con un conector en cada punta, que se usa normalmente para interconectar entre sí los componentes en una placa de pruebas. Se utilizan de forma general para transferir señales eléctricas de cualquier parte de la placa de prototipos [51].



Figura 20.- Cables Dupont.

2.7.1.4.- Inversor de frecuencia NEMA 4X IP65 serie LENZE SMVECTOR.

La Figura 21 muestra un variador de frecuencia por definición es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador

y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento [52].



Figura 21.- Inversor de Frecuencia.

2.7.2.- Cámara Infrarroja.

El módulo FLIR ONE Pro mostrada en la Figura22, tiene una capacidad para medir temperaturas de hasta 400 °C (752 °F) y la integración de potentes herramientas de medición. Algunas de las funciones son para inspeccionar paneles eléctricos o buscar problemas de climatización o daños causados por agua [53].



Figura 22.- Modelo de la Flir One Pro.

2.7.3.- Espectro radiómetro.

Es un equipo que incluye lo necesario para hacer el más amplio estudio de radiación y medición de color desde que lo saca de su estuche e incluye la óptica, cables, software, manual de instrucciones y calibración de radiación. El software Spectra Light III es un paquete para Windows que le permite capturar información de luz y color. El análisis se calcula instantáneamente dentro del mismo software - no requiere exportarlo. La nueva versión del software es de fácil ajuste de todos los controles de operación del espectrómetro con un paquete de análisis de datos (antes era un módulo de exportación a Excel) haciendo su análisis espectral fácil y sencillo. El rango de longitud de onda, el tiempo de integración, promedio de rastreo y demás controles pueden ser ajustados fácilmente por medio de ventanas de diálogo, menús y barras de herramienta. La irradiación absoluta y cromaticidad son calculados de inmediato. Pulse en la imagen de la derecha para ver una versión de mayor tamaño [54].

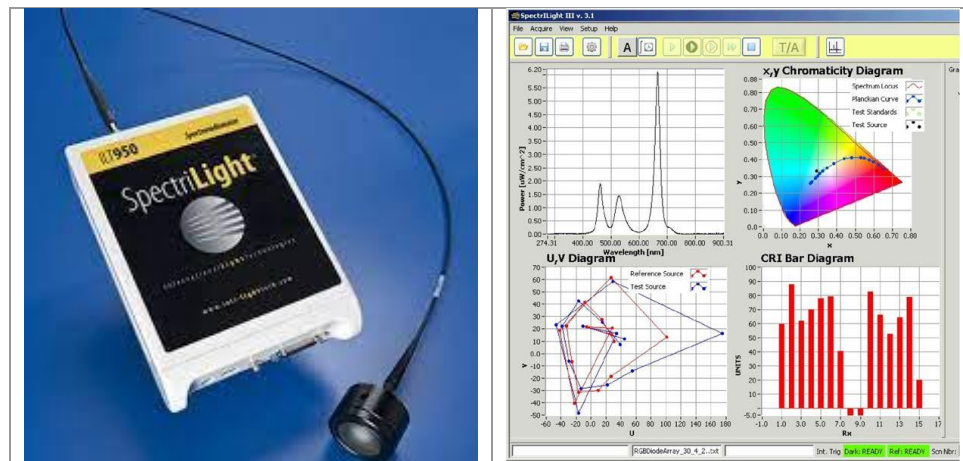


Figura 23.- Representación Gráfica del Espectro radiómetro.

2.7.4.-Componentes de Software.

2.7.4.1.- SolidWorks.

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto [55], cómo se muestra en la Figura 24.



Figura 24.- Simbología representativa de SolidWorks.

2.7.4.2.- Driver TB6560.

La Figura 25 representa la tarjeta con el integrado TB6560; es un controlador de motores ajustable que permite satisfacer necesidades de la aplicación, es de uso sencillo y usa acoplamiento de alta velocidad para garantizar que no influya en pérdidas en el control de los pasos que el motor proporciona. Funciona al proporcionar un pulso digital de trabajo y dirección. Trae un disipador de calor el cual permite que el módulo se mantenga a una temperatura adecuada y no se afecte el funcionamiento, es implementado en máquinas de grabado, CNC, máquinas SMT, y otros equipos, donde podemos tener un Pulso Controlado y salidas digitales. Y más adelante la posibilidad de lectura Analógica, para afectar tantos tiempos de actividad, inactividad y velocidad [56].



Figura 25.- Driver TB6560.

2.7.4.3.- Proteus.

Proteus es una aplicación para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de la placa de circuito impreso, simulación de todo el conjunto, depuración de errores, documentación y construcción [57].

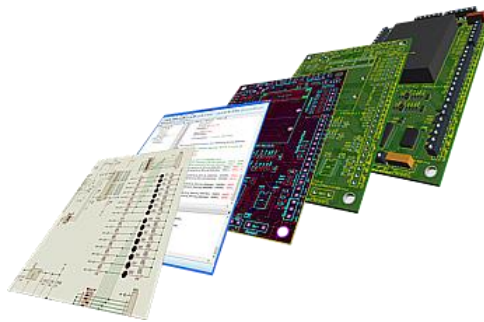


Figura 26.- Pantallas del Software Proteus.

2.7.4.4.- LabVIEW.

LabVIEW es un software de ingeniería de sistemas para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos.

El término LabVIEW es un acrónimo que proviene de la expresión inglesa Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. El sistema fue ideado por National Instruments Corp., una

compañía estadounidense. La primera versión de LabVIEW fue dada conocer en 1986 y apuntaba a su uso en MAC. Con el tiempo surgieron versiones para Windows, GNU/Linux y UNIX. Una de las principales características de LabVIEW es que presenta un enfoque gráfico de la programación. De este modo, el desarrollador puede apreciar con claridad los distintos aspectos de su aplicación, como las medidas y la configuración del hardware. La visualización, por otra parte, facilita la integración del hardware de medidas, independientemente del proveedor en cuestión [58]. Con LabVIEW se pueden crear algoritmos de análisis de datos y elaborar interfaces de usuario. Aunque en un principio la plataforma se orientaba al control de instrumentos (lo que se conoce como instrumentación electrónica), actualmente su alcance se extendió hasta llegar a las comunicaciones y a la programación embebida, por ejemplo, el ícono que identifica a este tipo de software se muestra en la Figura 27.



Figura 27.- Insignia del software LabVIEW.

2.7.4.5.- Software R.

R es un lenguaje de programación que se constituye con una serie de reglas diseñadas para realizar procesos en una computadora, por ejemplo, C, Python, por mencionar algunos. A su vez, como todo lenguaje, el set de reglas es particular y lleva tiempo incorporarlo. La mejor forma de naturalizarse con un idioma es hablarlo y, fundamentalmente corresponde a este caso.

R nació en 1993 en Auckland, sin embargo, su origen puede rastrearse hasta un lenguaje previo llamado S, creado por John Chambers y colaboradores en Bell Laboratories durante la década

de 1970. Actualmente, la diversidad de proyectos que pueden abarcarse en R es altísima, desde hacer análisis de estadística pura hasta escribir libros.

El copyright del software R es mantenido por la fundación R (R Foundation) bajo una licencia pública GNU General Public License version 2.0. Fue fundada por los miembros del R Development Core Team para proveer [59], la representación común de R, se muestra en la Figura 28.



Figura 28.- Símbolo del software R.

2.7.4.6.- Fritzing

La Figura 29 representa el software Fritzing, es un programa para la realización de esquemas eléctricos en proyectos con Arduino y es open source. Al mismo tiempo, permite hacer esquemas eléctricos, diseñar un PCB final. Proporciona un esquema eléctrico, listado de componente usados y el diagrama para poder fabricar la PCB. Se puede diseñar un shield; además de simulaciones [60].

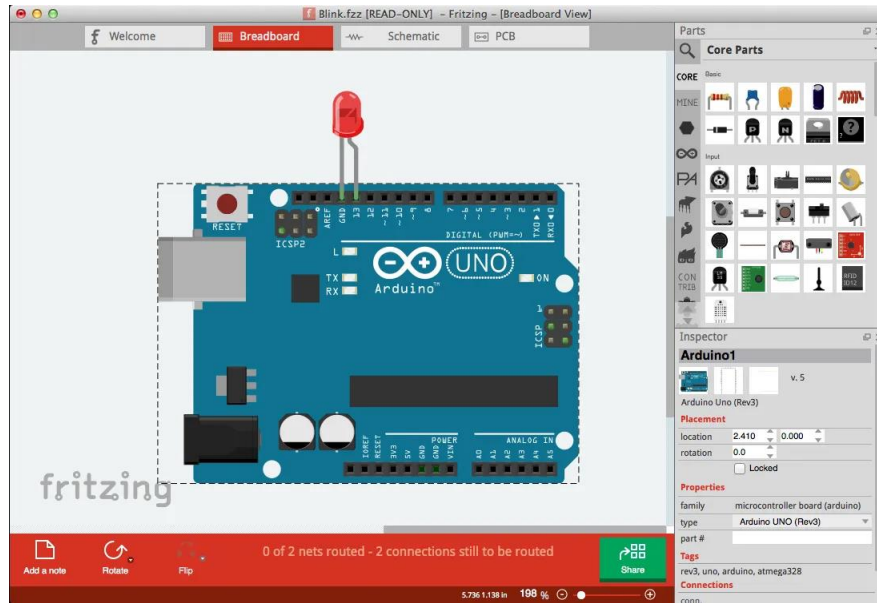


Figura 29.- Pantalla principal del Fritzing.

2.8.- Aplicaciones.

2.8.1.- Radiación Ultravioleta en la Desinfección o Descontaminación.

El uso de las radiaciones con luz UV para desinfección o descontaminación se remonta a principios del siglo XIX, cuando se logró producir de forma artificial. Los primeros intentos experimentales se llevaron a cabo en Marsella, Francia, en 1910 [61]. Entre 1916 y 1926, el uso de irradiación UV en Estados Unidos fue aplicada en la desinfección de agua para abastecer de agua potable a los barcos [62]. Su eficacia fue comprobada contra una amplia gama de microorganismos incluyendo bacterias (células vegetativas y esporas), hongos, virus y protozoos. El proceso ancestral para realizar irradiaciones de UV era utilizar lámparas de mercurio de baja presión que emitían longitudes de onda de 254 nm dentro del rango germicida. Sin embargo, en la actualidad se apuesta por el uso de UV-LEDs que han demostrado una eficacia hasta del 99.9%, presentando diversas ventajas sobre las lámparas UV existentes como son el ahorro de energía, amigables con el medio ambiente, no contienen gases, metales o sustancias tóxicas y su tiempo de vida [63]. Este tipo de tecnología se clasifica como no térmica contribuyendo a conservar en mayor índice las propiedades físicas de los objetos a desinfectar.

De igual forma, benefician en la conservación de nutrientes en comparación a lo que fue sometido con un tratamiento térmico procedimiento que se realiza regularmente [64]. En diferentes países se ha reconocido el potencial del método de irradiación de alimentos con UV-LEDs dado que ha demostrado reducir las pérdidas en la etapa posterior a la cosecha, concede con los requisitos de cuarentena, extiende las exportaciones, y asegura la calidad higiénica de los alimentos. La eficacia de la destrucción microbiológica, también la descomposición a la transmisión de bacterias de un alimento a otro, estimará el éxito o el fracaso de las nuevas estrategias, así como la fisiología microbiana y su comportamiento antes, durante y después de cada tratamiento [65]. Al mismo tiempo, ofrece la oportunidad de sustituir los conservantes químicos que pueden considerarse arriesgados o perjudiciales [66], además mantiene los nutrientes en los alimentos se aplicará como un proceso dentro de una línea de producción.

A principios del siglo XX, la irradiación UV se ha utilizado en la desinfección del agua [12], y de diferentes alimentos (productos frescos) como el tomate y chile. La tecnología de la luz ultravioleta ha demostrado ser una opción adecuada para la desinfección, aunque tiene varias desventajas como la de no penetrar en los alimentos, es decir, la descontaminación se realiza de forma superficial [67]. Cuando los alimentos pasan por un proceso de descontaminación, hay zonas de sombra, es decir, la irradiación no entra en contacto con todos los flancos del producto, lo que se considera un reto para el diseño y desarrollo de nuevos sistemas de desinfección. Una propuesta de [68], fue un sistema de desinfección por UV para alimentos granulados o en polvo (nueces de Brasil, trozos de merengue, cacao en polvo, avellanas pequeñas molidas, avellanas grandes molidas y una mezcla de avellanas y gofres), la irradiación se estableció con UV a 254 nm (2.88 mW/cm^2) durante una hora y mostró resultados superiores al 90% en dos de los seis alimentos irradiados. Los autores no indicaron el área de irradiación, ni la altura de las lámparas. [69], desarrollaron un sistema UV rotativo para la descontaminación de pistachos utilizando lámparas de mercurio. La irradiación se emite a 2.1 kJ/m^2 y 4.5 kJ/m^2 durante 7 y 15 minutos mientras el producto recibía los rayos en todos los flancos, obteniendo efectos germicidas superiores al 99.9%. Los desarrollos actuales de UV-LEDs tienen ventajas sobre las lámparas de mercurio convencionales como una mayor vida útil, mejor control de la temperatura, mayor eficiencia energética, mejor voltaje de accionamiento, flexibilidad en el diseño, sin riesgo de

liberación de mercurio y versatilidad para generar diferentes longitudes de [70,71], utilizaron el efecto germicida de los UV-LED (A, B y C) a 259 nm, 268 nm, 275 nm, 289 nm y 370 nm frente a una lámpara de mercurio a 253.7 nm. Los resultados obtenidos mostraron que los LEDs UV a 259 nm y 268 nm eran los mejores. Además, los autores combinaron los LEDs UV a 259 nm, y 289 nm con dosis a 7 mJ/cm^2 y fueron potentes para *Escherichia Coli*, y *Listeria*. Los experimentos se realizaron en agar. [72], utilizaron la luz UV-A en la esterilización para la inactivación de *E. coli* con una dosis de 54 J/cm^2 y de *Vibrio parahaemolyticus* con 27 J/cm^2 , logrando un efecto germicida del 100% y del 85% durante 30 min y 10 min, respectivamente. La reducción de bacterias se determinó en función de las que aparecieron en el agar. [73] aplicaron un tratamiento UV-A a *E. coli* (ATCC 11229) con una dosis de 57.6 J/cm^2 . Los resultados germicidas fueron del 99.9%. Aunque el efecto germicida es alto, el experimento se realizó en agar. Los alimentos en condiciones reales están totalmente contaminados y no en agar, por lo que la información de estas investigaciones es sólo orientativa.

III. METODOLOGÍA

La integración del sistema de desinfección se detalla en la Figura 30, observando el diseño, desarrollo e implementación.

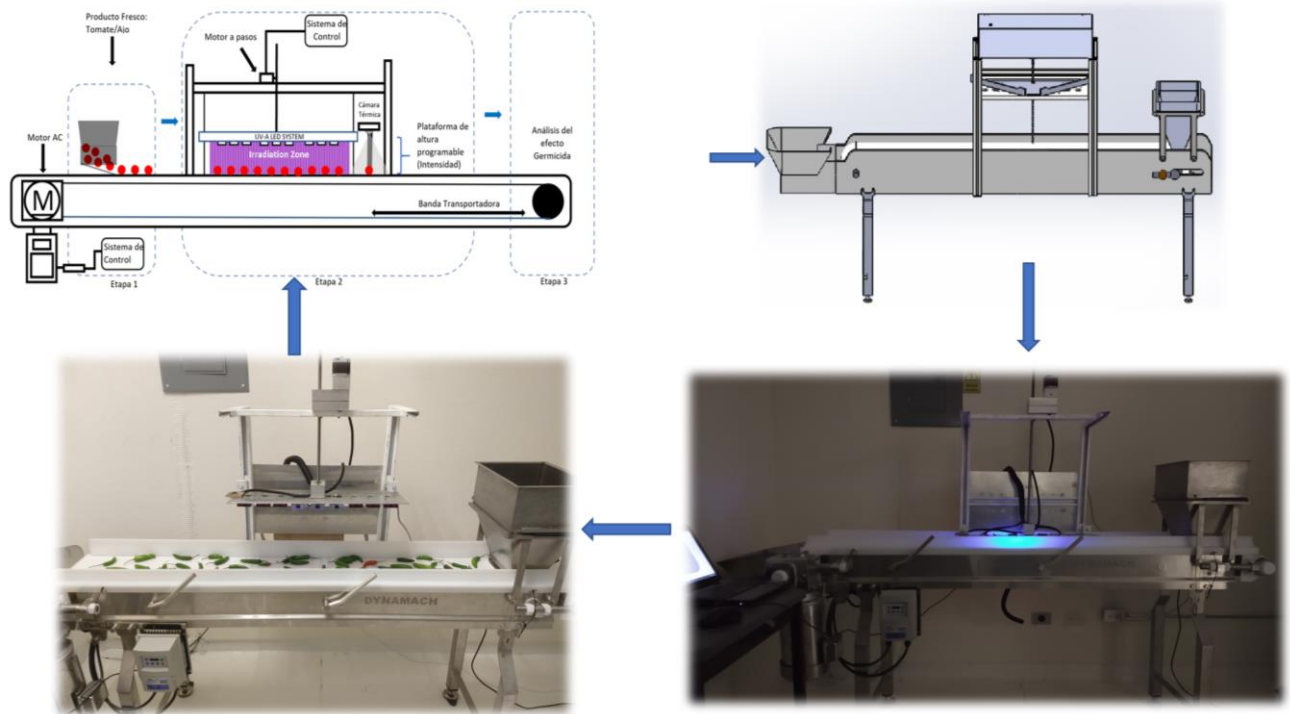


Figura 30.- Esquema general del sistema mecatrónico.

3.1.- Diseño y construcción del Sistema de desinfección con luz ultravioleta A tipo LED.

3.1.1.- Diseño en SolidWorks.

Se realizó un dibujo en software SolidWorks para visualizar la composición del sistema de desinfección considerando la integración de la elevación de las lámparas, el acoplamiento del motor a pasos, el tornillo sin fin que atraviesa la caja de transmisión para obtener un recorrido con tolerancia de 45 cm hacia arriba y 6 cm después de encontrarse de forma aproximada de la banda transportadora. Posteriormente se continuó con la creación de los plantos y diferentes vistas considerando las medidas exactas (ver Figura 31) de la banda transportadora de tipo industrial.

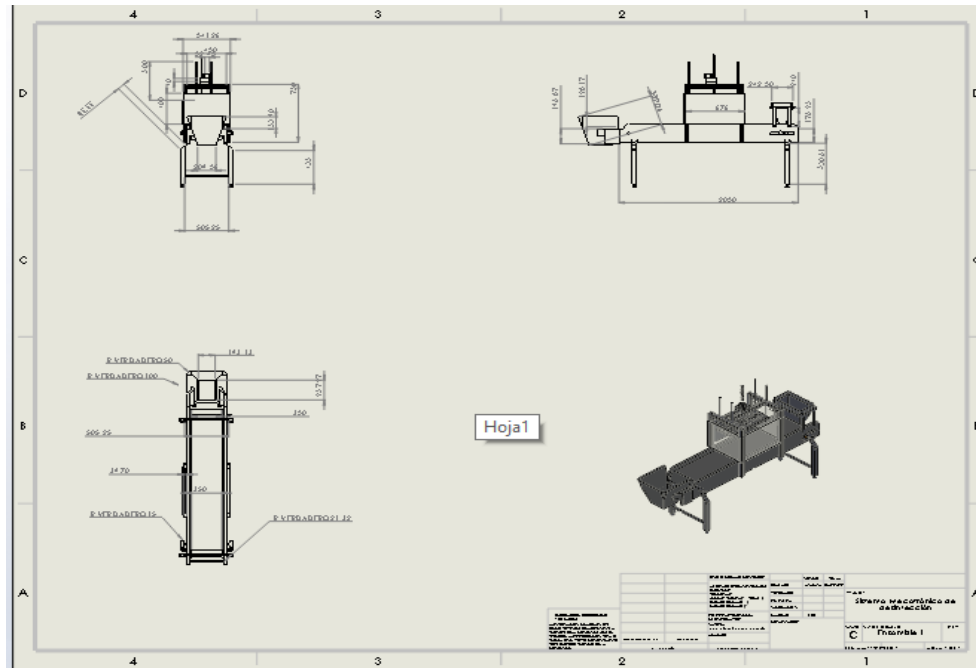


Figura 31.- Croquis o hoja de cálculo del sistema mecatrónico.

Además, la utilización del software permitió generar diversas vistas del sistema y poder evaluar la factibilidad de la colocación del sistema de irradiación, de acuerdo a la Figura 32.

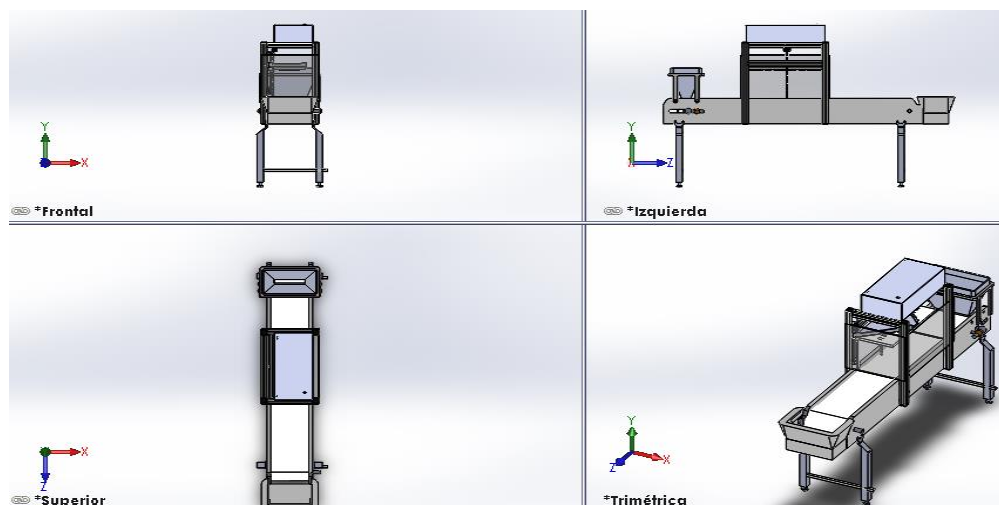


Figura 32.- Diferentes vistas del Sistema Mecatrónico.

3.1.2.- Manufactura y evaluación de los elementos a integrar en el sistema de desinfección.

Dentro de la selección de los materiales para la construcción del sistema de desinfección se cuidó la inocuidad seleccionando acero inoxidable y aluminio. La tornillería requerida para el sistema fue de acero inoxidable utilizada en la sujeción de lámparas, cajas de transmisión y motor a pasos. Para proceder con la construcción del sistema de desinfección se integraron cada uno de los elementos el motor a pasos con características de 200 pasos de 1.8° , contiene un torque de 28 kg/cm, con medidas de 57mm y 97 mm, contienen una placa de fijación que permitirá con exactitud la integración con los demás elementos. La hoja de especificaciones dimensionales de las bases y baleros fueron determinados a 5cm, para evitar conflictos de interferencia con las guías y la elevación del sistema, cabe mencionar que las bases y baleros fueron maquinados en el Laboratorio de Manufactura Avanzada y el diseño fue propuesto por el autor, de igual forma se adecuo la tornillería (diámetro de tornillos de 5/32") para la conformación de las piezas finales, como se observa en la Figura 33. La base para la fijación de guías incluye un alojamiento de hierro fundido suministrado en diversas formas. La superficie exterior de la base se constituye por un barrenado para fijarlo al perfil Bosh, adicionalmente la superficie interior tiene una profundidad de 1 cm para alojar las guías. Los cubos (bases) fueron fabricadas en una fresadora CNC, servirán como referencia para montar las guías de elevación de lámparas UV-LEDs, los cubos se pueden observar en la Figura 33. Diversos coples fueron incluidos para dar la flexibilidad de tolerar vibraciones o movimientos en el eje sin dañar el motor y de igual forma, a que ayude a preservar su precisión.



Figura 33.- Elementos para el movimiento y elementos de sujeción.

La construcción de la estructura (Figura 34) fue realizada con perfil Bosch de 45 × 45 cm de ancho, el material utilizado fue aluminio con una longitud de 6 m para mejorar la apariencia y facilitar la fijación a la banda transportadora industrial, se efectuó un ensamble haciendo uso de escuadras de aluminio, tornillería y tuercas de cabeza de martillo.



Figura 34.- Elementos para integrar y evaluar en la banda transportadora.

3.1.2.1.- Extensión de la tolva.

Para dar inicio al ensamble de la extensión de la tolva, primeramente, se simuló en SolidWorks, después a través del software Torchmate CAD/CAE se obtuvieron los códigos Gy M utilizados para realizar el proceso de mecanizado, de acuerdo a la Figura 35. En esta parte se inserta el tornillo sin fin que tiene una longitud de 1m y un diámetro de 19 mm. Su función es unir de manera fija la plataforma mediante la chumacera. Fue creada para colocar los productos y que no sufran derrames.



Figura 35.-Base de sujeción para tolva para suministro.

3.2.- Diseño y desarrollo del circuito electrónico como base del sistema de control.

De acuerdo al análisis de espacio del prototipo comparado con el tamaño real se efectuaron pruebas en Proteus para establecer la estructura de la circuitería para hacer más eficiente el funcionamiento. Se determinó que la mejor conexión fue un circuito en paralelo donde los bornes o terminales de entrada del dispositivo conectado coincidan entre sí, al igual que las terminales de salidas considerando que las lámparas requieren de una alimentación de 120 V y se pueda garantizar que llegue la misma corriente, es decir, para que alcancen una irradiación del 100%, una representación del circuito en paralelo se muestra en la Figura 36.

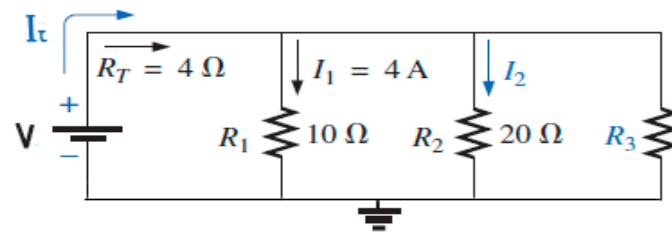


Figura 36.- Arreglo de conexión en paralelo de cada una de las lámparas tipo UV.

El software Fritzing proporciona el diseño técnico y concede visualización más adecuada sobre la integración de todo el circuito, de acuerdo a la Figura 37.

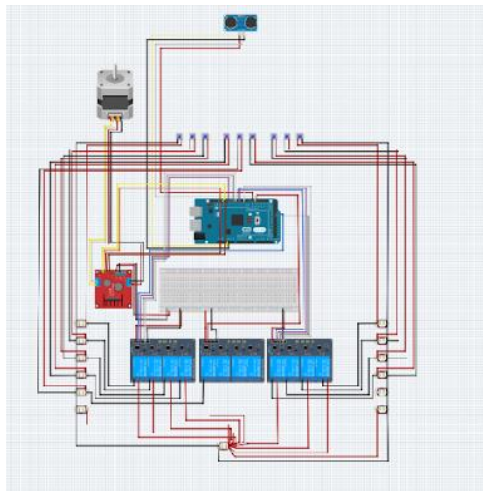


Figura 37.- Diseño en fritzing de sistema mecatrónico.

La Figura 38, muestra como fue adaptado el módulo de relevadores para 120 V y a su vez sea activado por el Arduino que tiene entradas de señales de 5 y 3 V, a través de esta logística se evitará que las lámparas y conexiones sufran algún tipo de fricción y puedan dañarse los componentes. La caja donde se colocó la circuitería fue manufacturada dentro del laboratorio de Manufactura, para garantizar la seguridad y durabilidad.

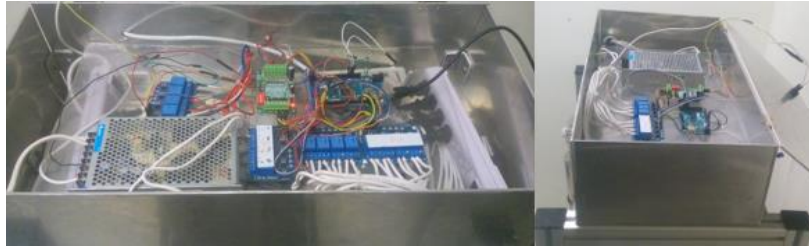


Figura 38.- Caja de conexiones y adaptación para las señales de diferentes voltajes.

Se adaptó el motor para la transmisión de potencia, además se seleccionó la tornillería para ensamblar la caja que contiene el circuito electrónico, así como el módulo de elevación, como se despliega en la Figura 39.



Figura 39.- Ensamble en el sistema mecatrónico.

3.3.- Desarrollo del sistema de control.

El sistema de control fue desarrollado con el software LabVIEW, Arduino, y la plataforma Arduino Mega Físico, además de la utilización del circuito electrónico armado anteriormente. La programación de la interfaz para establecer la comunicación con el Arduino fue haciendo uso de LabVIEW para incluir la automatización del sistema Mecatrónico. El sistema de control se creó para establecer las rutinas del motor PAP que mueve de forma vertical la plataforma que sujeta a las lámparas, una característica muy importante es que se pueden establecer una gran

variedad de alturas, en conjunto con la activación del sensor ultrasónico, además de programar el tiempo y las dosis que serán aplicadas a los productos colocados sobre la banda transportadora para el proceso de desinfección. En la Figura 40, se muestra el panel de control, es decir, la ventana principal. La estructura lógica que sigue el sistema de control es a través de sentencias condicionales.

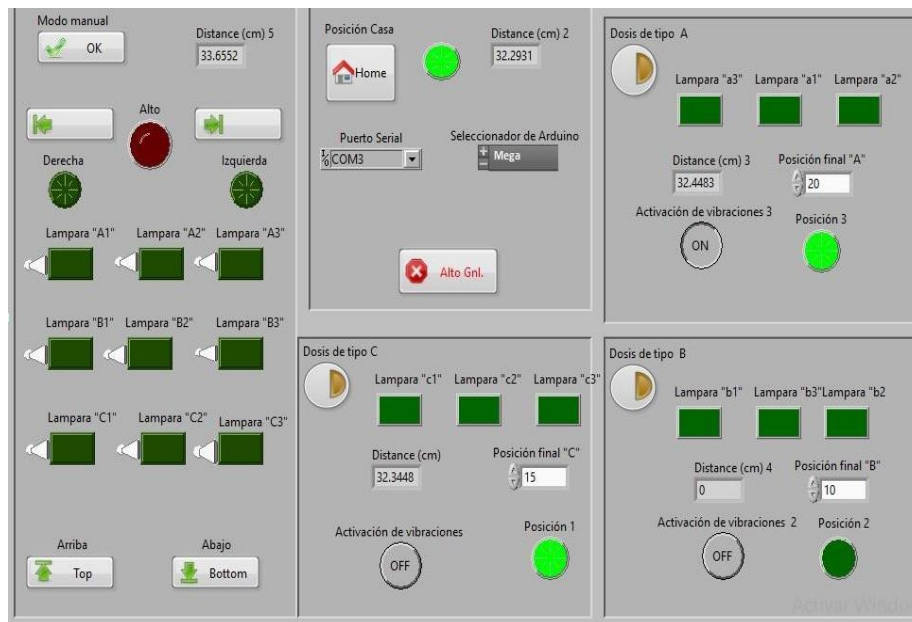


Figura 40.- Pantalla principal del sistema de control.

3.3.1.- Módulo I. Modo manual del sistema (Primera parte del panel de control).

La primera parte del panel frontal sirve para configurar cada una de las rutinas manualmente a través la selección de los tres tipos de irradiación, a continuación, se encuentran los botones que configuran el movimiento de la banda. Al iniciar el programa se identifica que la banda transportadora está apagada mostrando un LED en color rojo, al posicionar a cualquier dirección se enciende un indicador en color verde donde la banda transportadora iniciará un movimiento con velocidad constante para que el producto a irradiar tenga un tiempo de exposición, en el sistema el movimiento de elevación también se configura en este panel mostrando diferente

alturas para la colocación de las lámparas al irradiar el producto, al igual en este apartado se establece movimiento real de censado del sensor ultrasónico como se observa en la Figura 41.

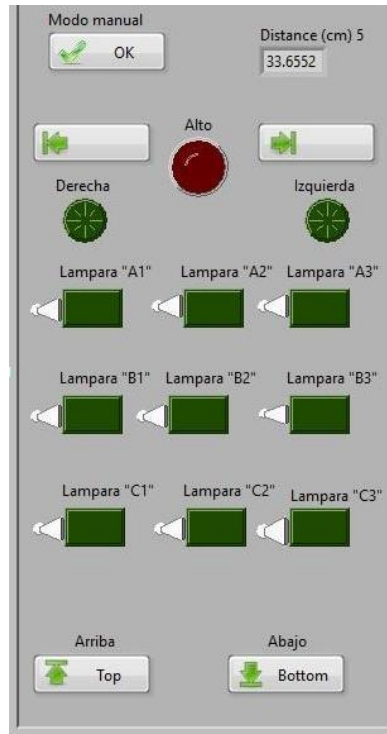


Figura 41.- Modo manual del sistema mecatrónico.

3.3.2.- MÓDULO II. Posición de la casa y configuración del COM.

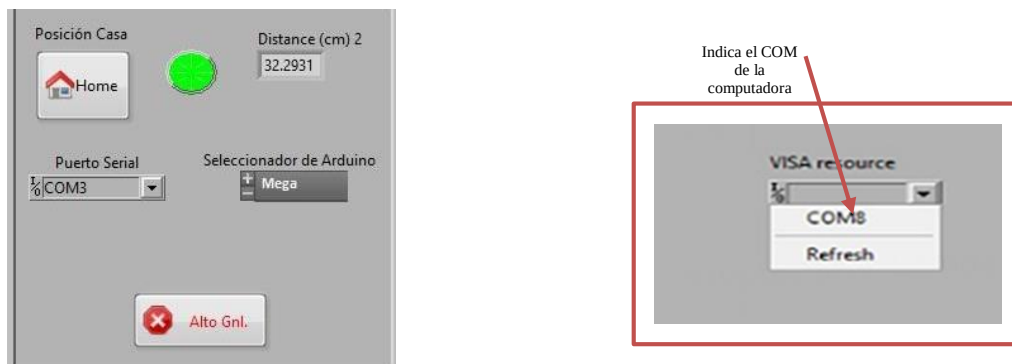


Figura 42.- Posición del sistema, entrada USB de la computadora para la comunicación de Arduino para vincular.

La Figura 42 muestra las pantallas para las configuraciones iniciales para el arranque del sistema de desinfección.

3.3.3.- Módulo III Radiación UV-A Semiautomático.

En esta sección se configuran las dosis para la luz UV-A LED recordando que se tiene un arreglo de tres lámparas tipo ultravioleta A, al momento en que se activa ya se realizó el proceso de censado, así como la activación de la banda transportadora. En este apartado, se establece el tiempo de irradiación para los productos en fresco. La banda también se encuentra en movimiento para lograr irradiar todas las caras del producto, como se observa en la Figura 43.



Figura 43.- Configuración de la irradiación tipo A.

3.3.4.- Módulo IV. Radiación UV-B Semiautomático.

En este apartado podemos observar dos botones de inicio con el primero que se identifica por el nombre Dosis de tipo “B” y aparecen tres lámparas que son de irradiación de tipo B para que al momento que se activa ya se cuenta con el proceso de censado así como la activación de la banda transportadora, además el sistema de elevación se activa hasta donde el operario indique que se detenga y un led que se activa en el proceso, además cuenta con otro botón para que este active el tiempo que se va irradiar el producto y nuestra banda transportadora tenga un movimiento de avance y retroceso durante el mismo tiempo y nuestro producto tenga una mayor irradiación como se muestra en la Figura 44.



Figura 44.- Irradiación tipo B Semi-automático.

3.3.5.- Módulo V. Irradiación UV-C Semi automático.

Por último en este apartado podemos observar dos botones de inicio con el primero que se identifica por el nombre Dosis de tipo “C” y aparecen tres lámparas que son de irradiación de tipo C para que al momento que se activa ya se cuenta con el proceso de censado así como la activación de la banda transportadora, además el sistema de elevación se activa hasta donde el operario indique que se detenga y un led que se activa en el proceso, además cuenta con otro botón para que este active el tiempo que se va irradiar el producto y nuestra banda transportadora tenga un movimiento de avance y retroceso durante el mismo tiempo y nuestro producto tenga una mayor irradiación como se muestra en la Figura 45.



Figura 45.- Irradiación tipo “C” Semi automático.

El panel de control automático se divide en cinco módulos que ayudan a configurar el sistema como en la primera parte son entradas y salidas de nuestra interface, segunda es el primer tratamiento denominado UV-C (**longitud de onda de 100 a 280 nm**), tercero es el tratamiento UV-B (**longitud de onda de 280 a 315 nm**) y por último tenemos el tratamiento UV-A (**longitud de onda de 315 a 400 nm**) como se muestra en la Figura 46.

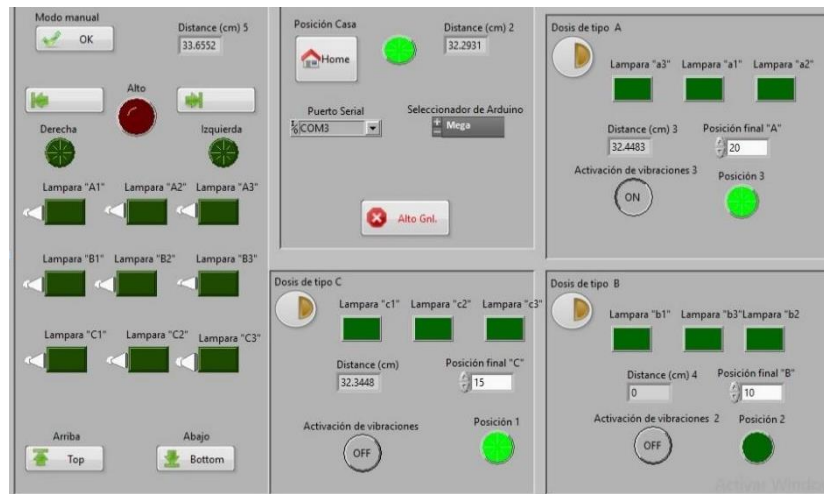


Figura 46.- Panel general del sistema mecatrónico.

La configuración del COM y del panel de control, tiene la función de detectar el puerto del Arduino haciendo interfaz entre el sistema y la computadora, debido a que si no se encuentra no podrá establecer comunicación y realizar acciones. Cada usuario determina la posición del motor PAP debe estar dentro del rango (100 a 1000) en sus dos direcciones (elevar/bajar plataforma). La velocidad del motor se establece en 300 para ambos sentidos generando movimientos más suaves y firmes. Además, se retroalimenta el funcionamiento del sensor de movimientos.

3.4.- Integración del Sistema de Desinfección.

El siguiente paso, fue establecer la sincronización de la banda transportadora y del sistema mecatrónico para la regulación de velocidad de cada uno de los motores que conforman el sistema (ver Figura 47).



Figura 47.- Pruebas para la integración del sistema de desinfección.

En este proceso se llevó a cabo la manipulación y sincronía de la banda transportadora para que tuviera las mismas funciones que las del control que se tiene adaptado, además, fue considerado como primera instancia la comunicación con Arduino y la pantalla de LabVIEW, además se colocó un potenciómetro para regular la velocidad y las

entradas/salidas que se colocaron en el arreglo de relevadores para adaptar la señal del microcontrolador, ver Figura 48.



Figura 48.- Adaptación de diferencia de voltaje de sincronía de 120 a 5v en el sistema.

Después del ensamble del sistema se procede a evaluar la configuración y movimientos en la banda transportadora para que se tenga la funcionalidad esperada, en caso contrario, se procede a realizar ajustes. Se efectuaron pruebas en el encendido y apagado de lámparas, la elevación del eje que sujeta las lámparas, así como los movimientos horizontales de la banda todo con el fin de realizar ajustes si algo no funciona de manera adecuada. En la Figura 49, se visualiza el funcionamiento de las lámparas total mediante el panel de control inicial o pantalla donde se visualiza cada uno de los procesos insertados por el usuario.

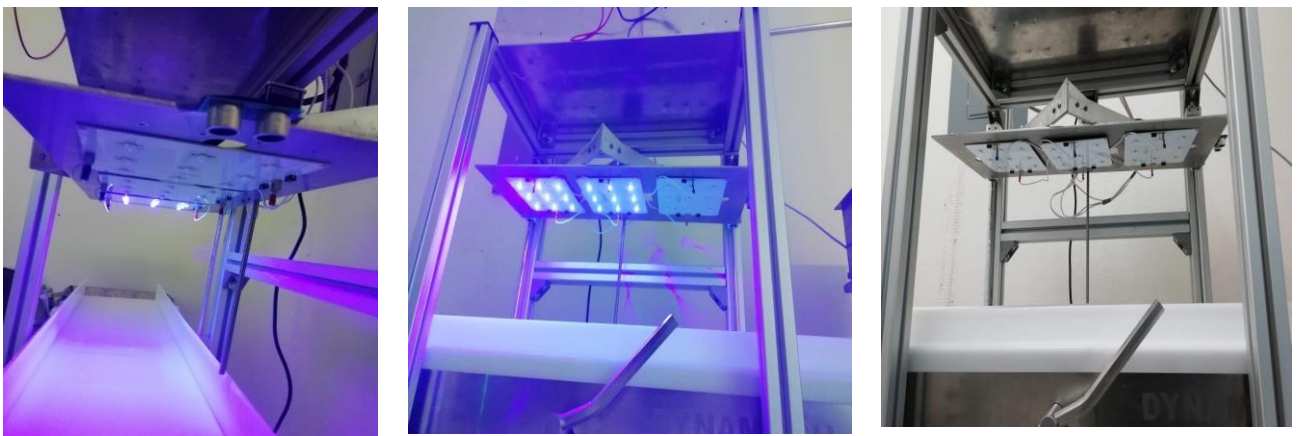


Figura 49.- Verificación de lámparas en el Sistema de Desinfección.

A partir de este punto se empieza a considerar la realización de pruebas piloto aplicando radiación artificial UV-A LED a productos del sector agroindustrial, de acuerdo a la Figura 50.

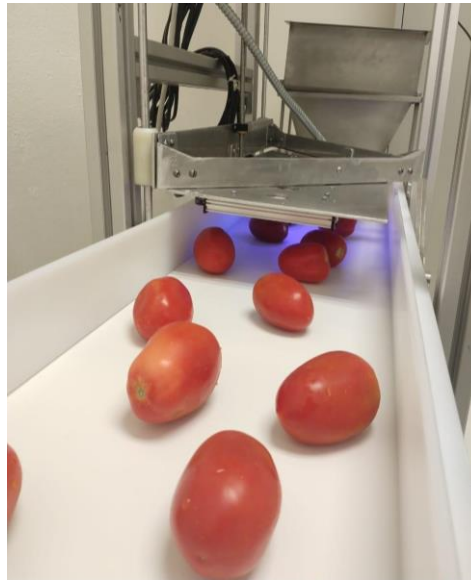


Figura 50.- Simulación del funcionamiento con jitomate.

3.5.- Configuración de experimentos del Sistema mecatrónico de desinfección de alimentos basado en UV-A LED.

De forma más específica, se describe el sistema mecatrónico para la desinfección de alimentos que cuenta con una cinta transportadora donde el producto fresco se desplaza a las diferentes etapas del proceso. En la primera etapa hay una tolva donde se selecciona el producto (ajo, chile serrano y tomate). En la segunda etapa, el producto fresco se traslada a la zona de irradiación donde se encuentran colocadas tres lámparas ultravioletas A de 374 nm de 25 watts cada una y se encuentran montadas sobre una plataforma de altura variable. El control de la altura de la plataforma nos permite tener un mejor control sobre la dosis de irradiación a la que se expone el producto fresco. La zona de irradiación se muestra en la Figura 51b y tiene un área de irradiación efectiva de 800 cm² (aproximadamente 50 x 16 cm). La cinta transportadora está controlada por un sistema externo que permite programar la velocidad de avance del producto y así controlar el tiempo de exposición en la zona de irradiación del producto fresco. Inmediatamente después de que el producto salga de la zona de irradiación, una cámara térmica

toma la imagen para controlar la temperatura. En la tercera etapa, se realiza un recuento de bacterias para analizar el efecto germicida. Todo el material del sistema es de grado sanitario.

3.5.1.- Caracterización de la zona de irradiación.

Se utilizaron LEDs UV tipo A instalados en una lámpara de aluminio con ventiladores para disipar el calor. Los LEDs UV-A alcanzaron una potencia máxima de $0,544 \text{ mW/cm}^2$ a una longitud de onda de 374 nm . El arreglo de Aplicamos una configuración con tres lámparas en el sistema. La zona irradiada y la caracterización se determinaron con un espectroradiómetro ILT950 de International Light Technologies, Inc, como puede verse en la Figura 51a.

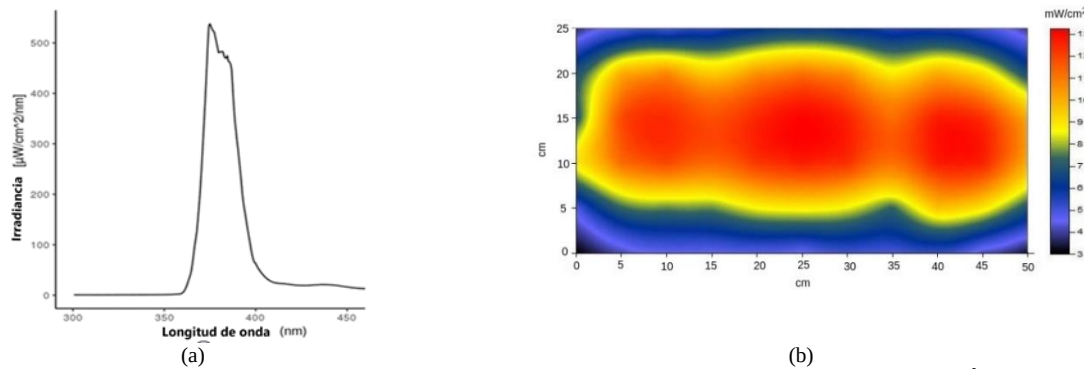


Figura 51.- Irradiación de los UV-A LEDS. (a) Máxima irradiación emitida por las lámparas. (b) Área de irradiación

3.5.2.- Configuración experimental de las dosis.

La programación de las dosis incluye los valores del tiempo y la altura de las lámparas.

Las dosis se determinan mediante la ecuación (3):

$$D = I \times t \quad (3)$$

donde:

D se refiere a las dosis aplicadas expresadas en J/cm^2 .

I es la Irradiancia en mW/cm^2 .

t es el tiempo en segundos (s).

Se establecieron cuatro dosis: 7,9, 23,7, 47,4 y 71,1 J/cm².

3.5.3.- Diseño experimental para validar el sistema.

Se utilizaron tres tipos de productos frescos (ajo, chile serrano y tomate) para validar el sistema mecatrónico. Los productos frescos eran de la misma cosecha y se compraron en un mercado local de minoristas o granjas. De los productos frescos se determinó la cantidad inicial de microorganismos antes del proceso de irradiación. Después del proceso de irradiación, se seleccionaron 10g de ajo, chile serrano y tomate individualmente para evaluar el efecto germicida. El experimento para evaluar el efecto del peso en los productos frescos causado por los tratamientos de irradiación se realizó con tres réplicas por duplicado.

3.5.4.- Organismos y método de conteo.

Los microorganismos analizados para la experimentación fueron aerobios mesófilos (MA) para verificar la calidad sanitaria de los alimentos, las condiciones de manipulación y las condiciones higiénicas (ICMSF, 1988). Se utilizó el mismo procedimiento para los tres productos frescos. Se analizaron seis muestras de cada tratamiento. Se transfirieron asépticamente 10 gramos de producto a un frasco estéril con 90 ml de Peptona y se homogeneizaron las muestras durante dos minutos. Posteriormente, se vertieron 15 ml de Agar para Métodos Estándar en placas de Petri por duplicado, y se inoculó un ml de la dilución por duplicado. Las muestras se dejaron 48 horas en una estufa a 35 ° C. Se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC) por placa. Un esquema del proceso de conteo se muestra en la Figura 52.

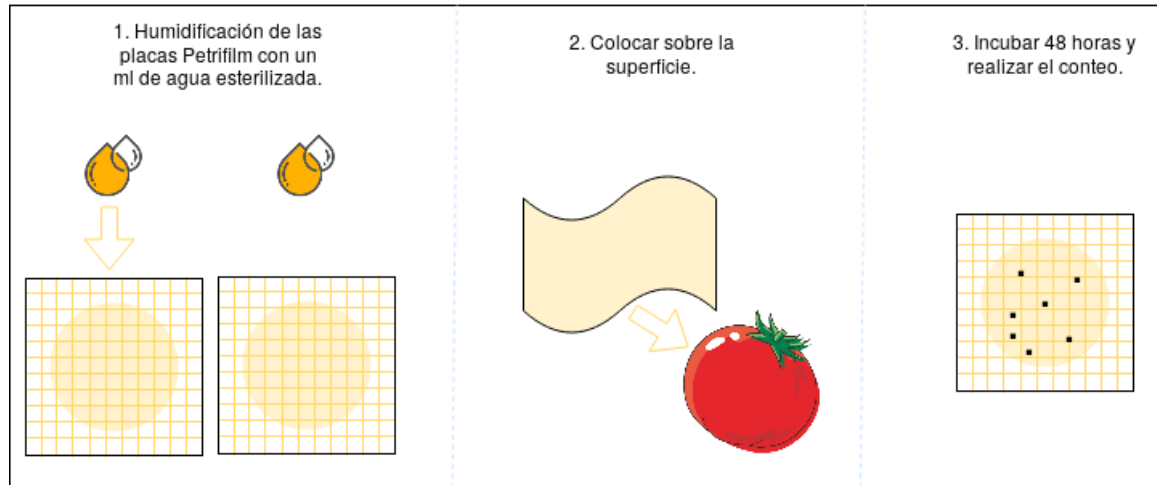


Figura 52.- Procedimiento utilizado para el conteo de microorganismos.

3.5.5.-Monitoreo de la Temperatura de los Productos en Fresco.

Se utilizó una cámara de infrarrojos FLIR One Pro LT (FLIR® Systems, Inc.) para controlar la temperatura del producto fresco. La cámara se montó en el sistema y las mediciones se realizaron en el mismo punto del producto cada 10 minutos durante 90 minutos.

3.5.6.- Análisis Estadístico.

Los experimentos se basaron en un diseño completamente aleatorio, y los resultados se expresan como media $\pm$ desviación estándar o $\pm$ error estándar. Se realizaron dos repeticiones, cada una con tres réplicas (seis muestras para cada tratamiento). Se realizó una prueba de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos. Posteriormente, para la validación del efecto germicida y del peso producido debido a los tratamientos, se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA) ($P < 0.05$). Las pruebas estadísticas se realizaron en el software R.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el LIA se llevó a cabo el proceso de desinfección con irradiación LED UV-A. El sistema se probó con tres productos frescos diferentes: ajo, chile serrano y tomate individualmente, y se configuró y programó para irradiar cada uno de los productos en las mismas condiciones. Con dosis de 7.9 J/cm², 23.7 J/cm², 47.4 J/cm², y 71.1 J/cm² durante 10 min, 30 min, 60 min, y 90 min, calculados correspondientemente en la sección de metodología. Los datos obtenidos de la experimentación se presentan en esta sección. Aproximadamente el 95% del efecto germicida se logró durante el proceso de irradiación. Además, nuestro sistema presenta ventajas como que se puede irradiar con diferentes productos, las variables como el rango de tratamientos, las dosis, el tiempo de encendido y apagado, la velocidad de la cinta transportadora, la altura de las lámparas se controla a través de una rutina automática. Puede ser incorporado a una línea de producción; además deberá ser escalable; es decir, mayor producción, capacidad, área de irradiación, entre otros (como se puede observar en la Figura 30). En comparación con otros reportados en la literatura, por ejemplo, el sistema rotativo propuesto por [68], trae diferentes desventajas esto incluye que la altura del producto no se cambia, la zona de irradiación, y la dosis no se especifican. El diseño del sistema no es adecuado para ser integrado en una línea de producción. La altura no es ajustable, no indica la zona de irradiación, y la velocidad de rotación es constante, así como el sistema sólo está diseñado para productos equivalentes [69].

4.1 Monitoreo de la Temperatura en los Productos en Fresco.

La figura 3 muestra los resultados obtenidos en el monitoreo de temperatura durante 90 min de tratamiento para productos frescos (tomate, chile serrano y ajo). La figura 53a muestra los termogramas obtenidos con la cámara térmica, asumiendo el mismo punto de referencia para todos. Las temperaturas iniciales del tomate (a1), el chile serrano (a3) y el ajo (a5) fueron de 19,9 °C, 21,9 °C y 22,0 °C, respectivamente. Las figuras a2, a4 y a6 muestran las temperaturas finales 38.3 °C, 41.9 °C y 40 °C correspondientes a cada producto (tomate, chile serrano y ajo). De acuerdo con los datos obtenidos, el tiempo de irradiación y el calor generado por el sistema

LED UV-A son factores del aumento de la temperatura en el tomate, el chile serrano y el ajo. Los tratamientos de irradiación no causaron pérdida de peso. Se midió el peso de cada producto, obteniendo como resultados que no hay cambios significativos como otras investigaciones [74, 75]. Las investigaciones reportadas han hecho énfasis en la temperatura del producto cuando es sometido a un proceso de desinfección por lo que un aumento excesivo provocaría cambios en las propiedades físicas y químicas. Por esta razón, es fundamental el control durante el tratamiento. Los sistemas de desinfección desarrollados con lámparas de mercurio pueden provocar un sobrecalentamiento si la exposición es prolongada. También las técnicas de desinfección por UV que utilizan luz pulsada [76]. El calentamiento es uno de los principales retos para desarrollar nuevas estrategias de desinfección de productos frescos [77].

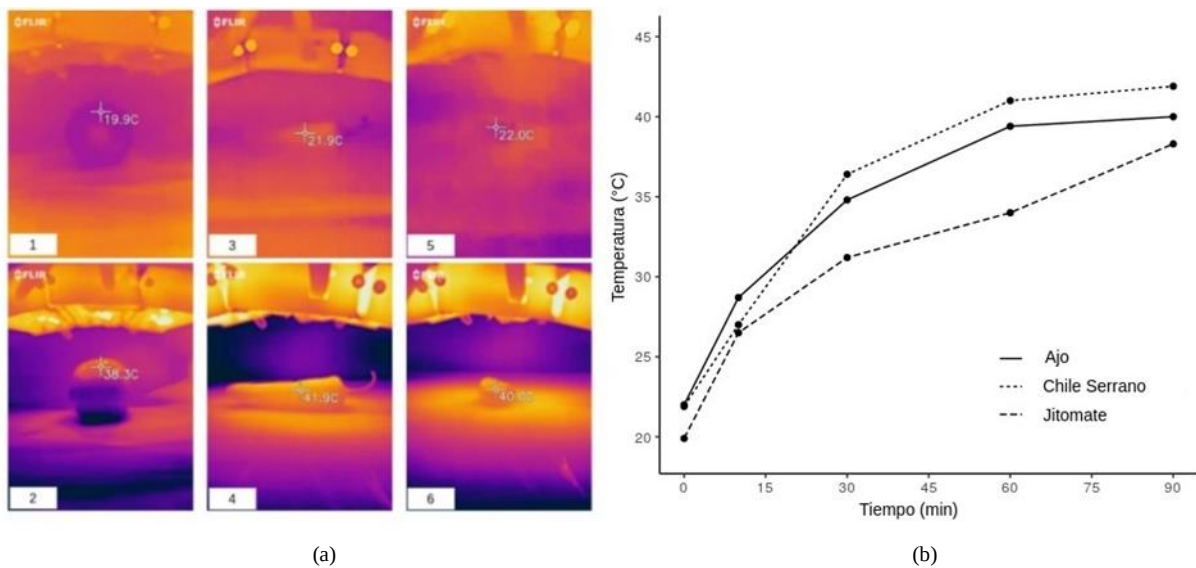


Figura 53.- Termografías de los productos en fresco al inicio de cada tratamiento en jitomate (a1), chile serrano (a3), y en ajo (a5), y al final del tratamiento en jitomate (a2), chile serrano (a4) y ajo (a6). (b) Comportamiento de la temperatura durante los tratamientos por cada producto en fresco.

4.2 Efecto Germicida.

Se realizó una primera cuantificación de MA en productos frescos para validar el efecto germicida. La Tabla 1 muestra la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) para cada producto (ajo, chile serrano y tomate), observando que en el chile serrano y el ajo hay un mayor número de UFC en comparación con el tomate. Los alimentos pueden contener diferentes fajos

microbianos y de acuerdo al poder germicida de los LEDs UV-A la destrucción de microorganismos fue casi la misma.

Tabla 1.- Conteo inicial de aerobios mesófilos en los productos en fresco.

Fresh Product	Conteo Inicial	
	cfu/g	Log N ₀ (N ₀ = cfu/g)
Ajo	10622000	7.03
Chile Serrano	39333	4.59
Jitomate	150	2.17

Para cada dosis propuesta, se obtuvieron los datos del efecto germicida por tratamiento, como se observa en la Tabla 2. La información reportada fue organizada por producto fresco, y las dosis aplicadas. El sistema de desinfección con LEDs UV-A fue programado con la irradiación, así como la altura de las lámparas. Los datos obtenidos se denotaron en porcentaje y log. A la dosis de 7.9 J/cm², el tomate tuvo el mayor efecto germicida con 41.0%, una diferencia menor en el chile serrano de 35.6%, y el valor más bajo en el ajo de 19.4%. El efecto germicida fue de 71.4, 67.2 y 23.7 en el tomate, el chile serrano y el ajo, respectivamente, con una dosis de 23.7 J/cm². En el tratamiento de 47.4 J/cm², la eficacia germicida aumentó para el ajo hasta el 92.7% y fue similar en el chile serrano (85.4%) y el tomate (83.2%). El efecto germicida de 94.4%, 90.6 y 93.8 en el ajo, el chile serrano y el tomate, respectivamente, a 71.1 J/cm² fue el mayor efecto germicida acumulativo (90 min).

Tabla 2.- Efecto germicida de la irradiación UV-A LEDs.

Producto en Fresco	Dosis (J/cm ²)	Efecto Germicida (%)	Log (N/N ₀)
Ajo	7.9	19.4 ± 5.6	0.09 ± 0.03
	23.7	67.6 ± 1.9	0.49 ± 0.03
	47.4	92.7 ± 0.4	1.13 ± 0.04
	71.1	94.4 ± 0.7	1.25 ± 0.05
Chile Serrano	7.9	35.6 ± 13.8	0.20 ± 0.09
	23.7	67.2 ± 4.0	0.47 ± 0.09
	47.4	85.4 ± 1.4	0.79 ± 0.10
	71.1	90.6 ± 2.9	1.05 ± 0.16
Jitomate	7.9	41.0 ± 9.9	0.23 ± 0.08

23.7	71.4 ± 12.4	0.58 ± 0.18
47.4	83.2 ± 5.2	0.79 ± 0.14
71.1	93.8 ± 2.0	1.24 ± 0.18

La Figura 54 muestra la comparación detallada de la eficacia de la irradiación germicida UV-A en cada uno de los productos frescos. Los datos están organizados por dosis. Con la primera dosis a 7,9 J/cm² el mejor resultado fue en el tomate, siguiendo el chile serrano, y el ajo. Asimismo, el tomate obtuvo el nivel más alto, mientras que los datos fueron casi equivalentes en el ajo y el chile serrano para el segundo tratamiento a 23,7 J/cm². El ajo presenta la mayor destrucción de gérmenes bajo una dosis de 47,4 J/cm², siguiendo el chile serrano y el to-mate. Por último, los tres productos frescos generan casi el mismo efecto germicida bajo 71,1 J/cm². Como se puede observar en la Figura 4, en las primeras dosis (7,9 J/cm² y 23,7 J/cm²), el tomate alcanza altos porcentajes de desinfección en comparación con el ajo y el chile serrano. El ajo y el chile serrano de la segunda dosis muestran una mayor eficacia germicida en las mechas de microorganismos.

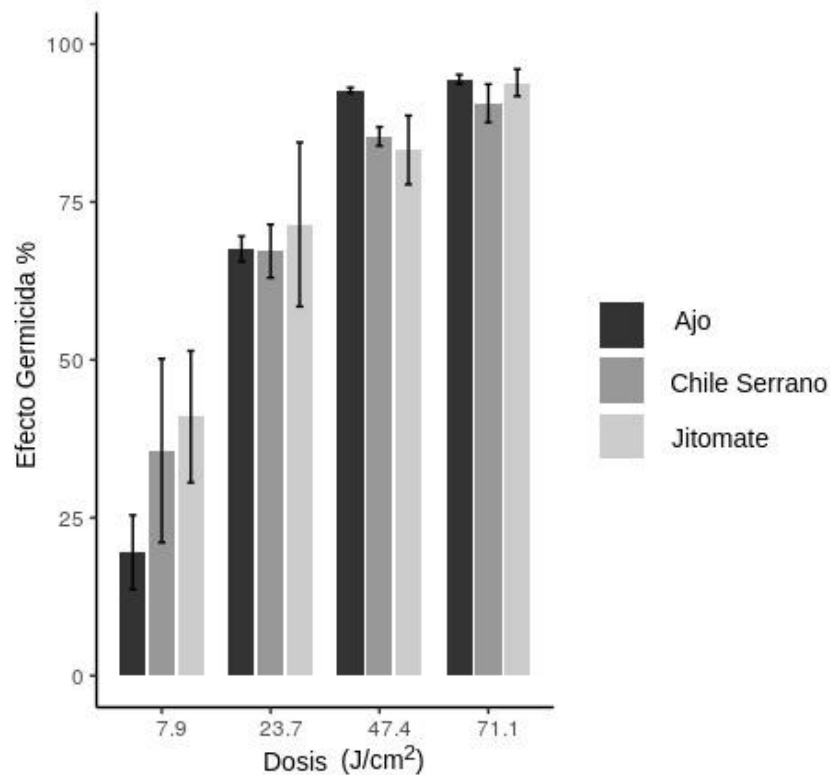


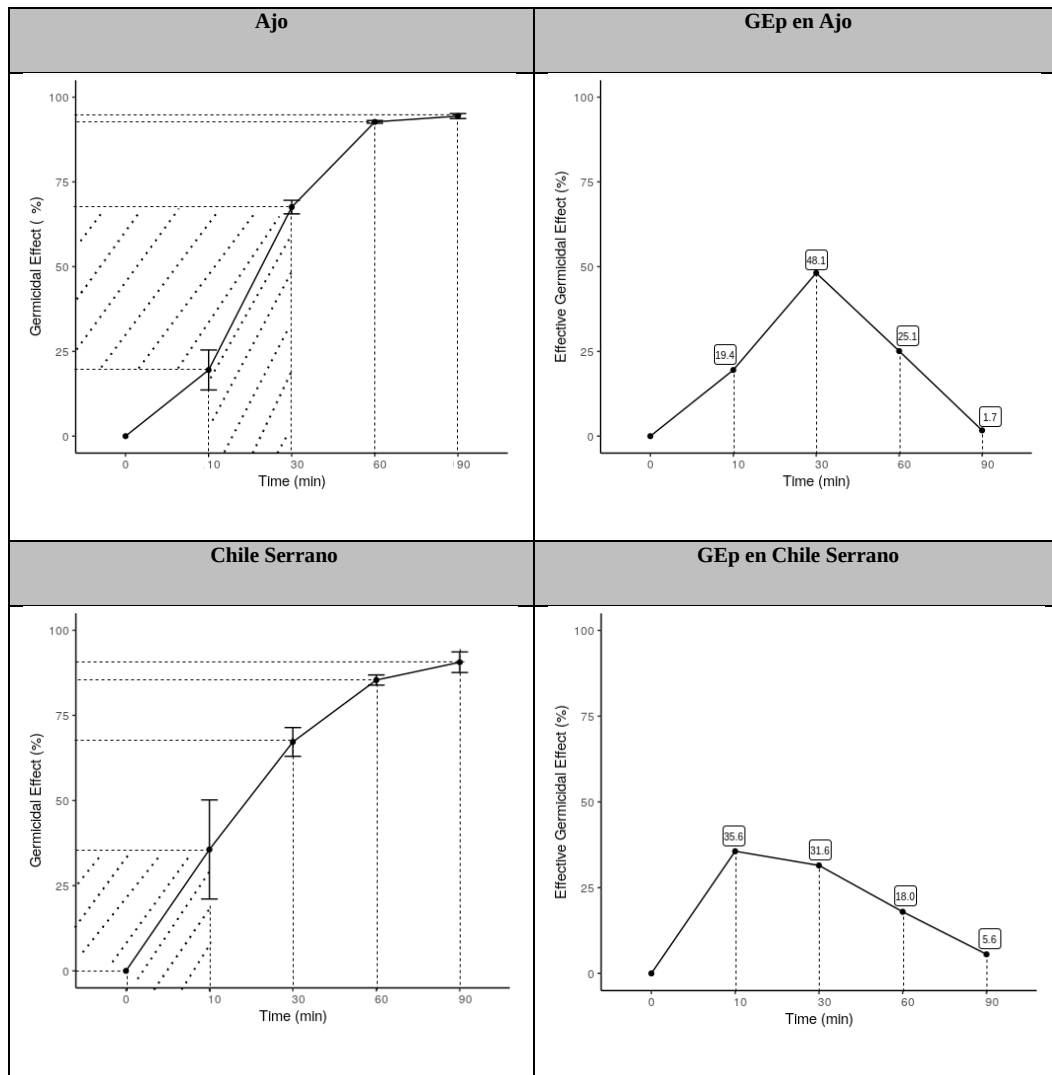
Figura 54.- Efecto Germicida por cada Tratamiento.

El desarrollo de los UV-LEDs permitió el estudio de diferentes longitudes de onda emergentes de los UV-C. Las propuestas con UV-A mencionadas en la literatura se realizaron en el laboratorio en agar inoculado con bacterias. En comparación con el experimento reportado en [72, 73] donde se obtuvieron índices germicidas del 100 y 99.9%, respectivamente. El mayor efecto germicida alcanzado en esta investigación fue del 94.4% en chile serrano. Diferentes factores pueden influir de ahí que el efecto germicida, los dos más importantes son las bacterias y el origen de la contaminación de las muestras. El AM contiene una amplia gama de microorganismos que tienen diferente resistencia a la luz UV. Esta diferente resistencia con la luz UV-A es demostrada por Yagi et al. [72], con las mismas dosis, lograron diferentes efectos germicidas en bacterias como Salmonella (20%) y Vibrio parahaemolyticus (100%). Birmpa et al. [74], alcanzaron reducciones de 1.75 y 1.27 Log en E. coli y L. innocua, respectivamente utilizando luz UV-C. Los productos fueron sometidos a tratamientos de hasta 60 minutos y no

se encontraron cambios significativos en las propiedades organolépticas. En comparación con nuestra propuesta, logramos un efecto germicida similar, pero con una dosis de UV-A más alta. Choi et al. [75] aplicaron dosis de 10 kJ/m^2 al tomate Cherry inoculado con *S. Typhimurium*. Los resultados mostraron reducciones de 1.28 Log.

El rendimiento del efecto germicida se define como la diferencia de eficacia germicida entre períodos, es decir, la diferencia de los porcentajes de efecto germicida en los tratamientos. La Figura 55 representa la Eficacia Germicida a través del tiempo por cada tratamiento, se indicó el comportamiento del efecto germicida en cada producto fresco, mostrando específicamente qué porcentaje se obtuvo por período (de 0 min a 90 min). La primera columna de la Figura 55 muestra los porcentajes obtenidos en cada periodo de los tratamientos. La zona sombreada refleja la máxima eficacia germicida en los intervalos de cada producto, es decir, en los que la irradiación de los LEDs UV-A fue potente y el intervalo. En la segunda columna, se muestran los valores porcentuales en cada periodo. Observando, si el efecto germicida aumenta o disminuye a través del tiempo. En el intervalo de 10 a 30 min, el mayor porcentaje germicida se produce en el ajo, alcanzando el 48.1%. A los 60 min de tratamiento, se reduce al 25.1%, y por último, a los 90 min es sólo del 1.7%. Para el chile serrano, durante los primeros 10 min, la mayor efectividad germicida (35.6%) se produce por la irradiación LED UV-A, luego el valor comienza a disminuir levemente hasta alcanzar el 5.6% en 90 min. El tomate alcanzó el 41.0% en los primeros 10 minutos de tratamiento, posteriormente disminuyó en 30 min al 30.4%, al 11.8% en 60 min, y en 90 min al 10.7%. El máximo efecto germicida entre intervalos se obtuvo en 30 min en el ajo, 10 min en el chile serrano y 10 min en el tomate; inactivando un gran número de microorganismos. El efecto germicida, aunque el tiempo puede representar un parámetro importante a la hora de establecer nuevas estrategias para la desinfección de alimentos, es decir, a qué tiempo existe la sinergia con las diferentes longitudes de onda, tratando de obtener los tratamientos de irradiación más efectivos en cuanto a la reducción de microorganismos y el consumo de energía. En comparación con el gran número de trabajos reportados con UV-C, hay muy pocos con UV-A para la desinfección.

En comparación con los trabajos de desinfección de alimentos con UV-C emitidos con lámparas de mercurio, el trabajo presentado muestra un menor efecto germicida, sin embargo, para aquellos productos que requieren una disminución de su carga microbiana puede ser una opción viable. Además, los LEDs UV-A tienen una mayor área de cobertura, una ventaja que puede reducir el coste de los sistemas de desinfección. No hubo cambios en el peso debido a los tratamientos ni cambio de color a simple vista, sin embargo, se puede realizar un análisis de los compuestos químicos para caracterizar las propiedades en el tomate.



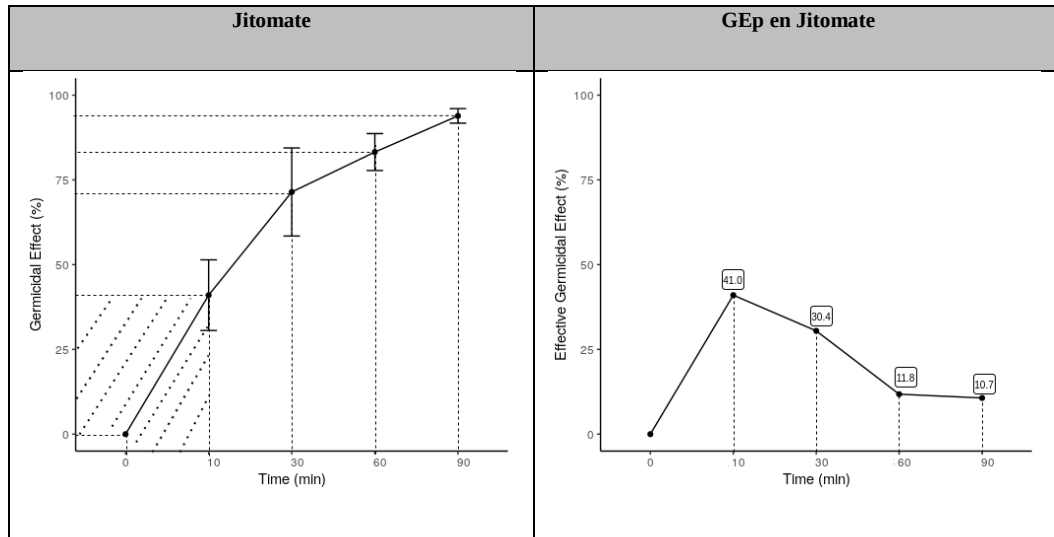


Figura 55.- La primera columna muestra el área donde se obtuvo el máximo efecto germicida en los tratamientos. La segunda columna muestra el desempeño del efecto germicida a través del tiempo.

V. CONCLUSIONES

El sistema mecatrónico de desinfección de alimentos basado en LEDs UV-A demostró que es capaz de funcionar como una potente herramienta para la desinfección de alimentos frescos. Los resultados experimentales demuestran que la propuesta tiene un excelente rendimiento en la reducción de microorganismos. El sistema fue diseñado y desarrollado para el sector agroindustrial considerando que puede ser insertado como un proceso dentro de la línea de producción. Con el sistema propuesto es posible controlar las dosis y el tiempo de irradiación para cada producto. Según las necesidades, el área de irradiación se ampliará a lo largo de una cinta transportadora estableciendo más rayos de LEDs UV-A. En el experimento con los productos frescos irradiados, el efecto de la temperatura no causó efectos secundarios, pero es una variable que debe ser examinada como parte de la aplicación cuando se utiliza este tipo de tecnología. Para la desinfección de alimentos como el ajo, el chile serrano y el tomate, la irradiación con LEDs UV-A demostró ser un instrumento versátil, que además puede ser configurado para diferentes alimentos. La efectividad germicida puede ser influenciada por la resistencia de las bacterias debido a la gran variedad que existe en el AM, y el proceso de cómo se contamina el alimento (línea de producción, en el envasado, al tocar la superficie, entre otros). El sistema de irradiación basado en LEDs UV-A puede ser una solución alternativa para la desinfección teniendo en cuenta varios factores como el área de irradiación, el consumo de energía y el precio.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Duché-García, T. T., Bernal-Mendoza, H., Ocampo-Fletes, I., Juárez-Ramón, D., & Villarreal-Espino Barros, O. A. (2017). Agricultura de traspatio y agroecología en el proyecto estratégico de seguridad alimentaria (PESA-FAO) del estado de Puebla. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(2), 263-281.
2. Bárcenas-Santana, D., Guillén-Sánchez, D., Yazmín-Basaldúa, C., Ramos-García, M. D. L., & Valle-de la Paz, M. (2019). Etiología de la secadera de la fresa (*Fragaria* spp.) en Morelos, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 37(3), 454-463.
3. Bárcenas, E. A., Pimentel, J. G. R., Vega, E. M. M., Bernal, C. C. P., De la Cruz Tierrablanca, B. L., & Moreno, F. C. CALIDAD DE FRUTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) DE GENERACIONES S2 YF 4.
4. Maciel, R. L. (2020). Alternativas para a reprodução induzida, larvicultura e alevinagem do matrinxã, *Brycon amazonicus* (Spix e Agassiz, 1829).
5. Isler, M., Wissmann, R., Morach, M., Zurfluh, K., Stephan, R., & Nüesch-Inderbinnen, M. (2021). Animal petting zoos as sources of Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, *Salmonella* and extended-spectrum β -lactamase (ESBL)-producing *Enterobacteriaceae*. *Zoonoses and Public Health*, 68(2), 79-87.
6. de la Salud, O. M. (2019). OMS. Convenio Marco de la OMS para el Control del Tabaco. Ginebra, 21.
7. Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2019). Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods. *Food chemistry*, 285, 363-368.
8. Ahmad, I., Ashraf, M., Khan, Y., Khawaja, E. E., Ali, Z., Abbas, T. A., ... & Akhtar, S. M. J. (2020). Effects of preparation conditions on the optical properties of niobium oxide thin films. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 50(1), 22-27.
9. Kogid, M., Mulok, D., Beatrice, L. F. Y., & Mansur, K. (2010). Determinant factors of economic growth in Malaysia: Multivariate cointegration and causality analysis. *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, 24(24), 123-137.
10. Cardello, A. V., Schutz, H. G., & Leshner, L. L. (2007). Consumer perceptions of foods processed by innovative and emerging technologies: A conjoint analytic study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), 73-83.
11. Fan, D. P., Gong, C., Cao, Y., Ren, B., Cheng, M. M., & Borji, A. (2018). Enhanced-alignment measure for binary foreground map evaluation. *arXiv preprint arXiv:1805.10421*.
12. Kowalski, W. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
13. Koutchma, T. "Advances in Ultraviolet Light Technology for Non-thermal Processing of Liquid Foods," *Food Bioproc. Tech.* 2009, vol. 2, no. 2, pp. 138–155, doi: 10.1007/s11947-008-0178-3.

14. Villarreal-Gómez, L. J., Soria-Mercado, I. E., Guerra-Rivas, G., & Ayala-Sánchez, N. E. (2010). Antibacterial and anticancer activity of seaweeds and bacteria associated with their surface. *Revista de biología marina y oceanografía*, 45(2), 267-275.
15. Sarabia, L., & Munuce, M. J. (2011). Nuevos valores para el espermiograma OMS 2010. *Revista médica de Chile*, 139(4), 548-549.
16. Correa, M. L., Zubarew, T., Silva, P., & Romero, M. I. (2006). Prevalencia de riesgo de trastornos alimentarios en adolescentes mujeres escolares de la Región Metropolitana. *Revista chilena de pediatría*, 77(2), 153-160.
17. Madrid. (Miercoles de Mayo de 2020). Campos-electromagneticos. Obtenido de Comunidad.madrid: <https://www.comunidad.madrid/servicios/salud/campos-electromagneticos>
18. Cid Pedraza, C., & Prieto Toledo, L. (2012). El gasto de bolsillo en salud: el caso de Chile, 1997 y 2007. *Revista panamericana de salud pública*, 31, 310-316.
19. Holdsworth, C. (2009). 'Going away to uni': mobility, modernity, and independence of English higher education students. *Environment and Planning A*, 41(8), 1849-1864.
20. Casp, I. A. (2003). Influencia de la producción vitícola sobre la evolución de la maduración de uva de la variedad tempranillo (Doctoral dissertation, Universitat de Lleida).
21. Mack, J., & Bolton, J. R. (1999). Photochemistry of nitrite and nitrate in aqueous solution: a review. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 128(1-3), 1-13.
22. Domínguez, L., & Parzanese, M. (2011). Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. *Alimentos argentinos*, 52(2), 70-76.
23. Sastry, S. K., Datta, A. K., & Worobo, R. W. (2000). Ultraviolet light. *Journal of food science*, 65, 90-92.
24. Gardner, D. W. M., & Shama, G. (2000). Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of food Protection*, 63(1), 63-70.
25. Boyes, D. H., Evans, D. M., Fox, R., Parsons, M. S., & Pocock, M. J. (2021). Is light pollution driving moth population declines? A review of causal mechanisms across the life cycle. *Insect Conservation and Diversity*, 14(2), 167-187.
26. Wright, H. B., & Cairns, W. L. (1998). Luz ultravioleta. In Recuperado de [<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen10.pdf>].
27. Gutiérrez Cheres, J. A. (2012). Estrategias de enseñanza y resolución de problemas matemáticos según la percepción de estudiantes del cuarto grado de primaria de una institución educativa-Ventanilla.
28. Mejía, P. A. (2012). Aplicaciones biofísicas de la fotoacústica. Medigraphic.
29. Nick, K., Schöler, H. F., Mark, G., Söylemez, T., Akhlaq, M. S., Schuchmann, H. P., & Von Sonntag, C. (1992). Degradation of some triazine herbicides by UV radiation such as used in the UV disinfection of drinking water. *Aqua- Journal of Water Supply: Research and Technology*, 41(2), 82-87.

30. Pressman, B. C., Harris, E. J., Jagger, W. S., & Johnson, J. H. (1967). Antibiotic-mediated transport of alkali ions across lipid barriers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 58(5), 1949.
31. Castillo Garcés, D. S. (2015). Diseño e implementación de luces de Xenon e iluminación LED en faros de vehículos (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2015.).
32. Gil, A. M. C., Ojeda, Y. M., & Rodríguez, J. Á. (2016). Evolución histórica de las lámparas de fotopolimerización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 15(1), 8-16.
33. Douillet-Breuil, A. C., Jeandet, P., Adrian, M., & Bessis, R. (1999). Changes in the phytoalexin content of various *Vitis* spp. in response to ultraviolet C elicitation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 4456-4461.
34. Domínguez, L., & Parzanese, M. (2011). Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. *Alimentos argentinos*, 52(2), 70-76.
35. de Jesús Ornelas-Paz, J., Yahia, E. M., Ramírez-Bustamante, N., Pérez-Martínez, J. D., del Pilar Escalante-Minakata, M., Ibarra-Junquera, V., ... & Ochoa-Reyes, E. (2013). Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. *Food chemistry*, 138(1), 372-381.
36. Mahajan, R. (2013). Bedaquiline: first FDA-approved tuberculosis drug in 40 years. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, 3(1), 1.
37. Yaun, B. R. (2002). Efficacy of ultraviolet treatments for the inhibition of pathogens on the surface of fresh fruits and vegetables (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
38. Basaran, N., Quintero-Ramos, A., Moake, M. M., Churey, J. J., & Worobo, R. W. (2004). Influence of apple cultivars on inactivation of different strains of *Escherichia coli* O157: H7 in apple cider by UV irradiation. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(10), 6061-6065.
39. ICMSF, M. D. L. A. (2000). 1. Segunda edición. Técnicas de análisis microbiológico Vol. 1 Editorial Acribia. Zaragoza (España).
40. Moreno, D. C., Sierra, H. M., & Díaz Moreno, C. (2014). Evaluación de parámetros de calidad físico-química, microbiológica y sensorial en tomate deshidratado comercial (*Lycopersicum esculentum*).
41. Libre, M. (14 de marzo de 2019). Mercado libre. Obtenido de artículo. MercadoLibre: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-618104999-motor-paso-a-paso-nema-23-muy-alto-torque-cnc-3d-28-kgcm-_JM?quantity=1#reco_item_pos=1&reco_backend=machinalis-seller-items&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=cb109e76
42. González González, J. O. (2013). Desarrollo de un sistema tribológico con movimiento lineal reciprocante (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León). (Baleros lineales)
43. Suárez Quesada, J. (2004). Implantación de sistema transportador en proceso de producción de motores eléctricos. (guíade fijacion)

44. Wai, R. J. (2000). Adaptive sliding-mode control for induction servomotor drive. IEE Proceedings- Electric Power Applications, 147(6), 553-562. (servomotor)
45. Guano Quimbata, F. D., & Sandoval Amagua, W. E. (2019). Implementación de un sistema de acceso y seguridad para el Laboratorio de Tecnología Industrial (Bachelor's thesis, Quito, 2019.).
46. Bolaños-Mora, A., Colpes, K. M., Passos Filho, A. A., Bruscato, U., da Silva, T. L. K., & da Silva, R. P. (2015). Modelagem Paramétrica aplicada a projeto de produto de Tecnologia Assistiva. Blucher Design Proceedings, 2(3), 60-64.
47. Bacchiarello, R., Montanaro, M. I., & Rivas, I. (2014). Simulación Numérica de Tubos de Aluminio. Mecánica Computacional, 33(15), 943-954.
48. Artero, Ó. T. (2013). ARDUINO. Curso práctico de formación. RC Libros.
49. Ferdeghini, F., Brengi, D., & Lupi, D. (1998, August). Sistema de detección combinado para sensores ultrasónicos. In XVI Congreso Argentino de Control Automático, AAECA (Vol. 2, pp. 514-519).
50. Triana, M. A. P. (2018). Módulo inalámbrico de accionamiento con Arduino. Infometric@-Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas, 1(1).
51. Wei, B., Liu, Z. K., Qiu, M., Li, W. G., Gao, X. J., Gao, C., ... & Chen, P. P. (2014). A study of the composite insulation breakdown properties for wrapping cables in liquid nitrogen. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 25(1), 1-6.
52. GUZMÁN, L. E. M. (2016). Inversor de frecuencia variable con corrección de factor de potencia para motores de inducción monofásicos.
53. Balageas, D. L. (2007, October). Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END). In IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires.
54. Correal, D., & García, J. E. (2011). Calibración Radiométrica In-Situ De Sensores Satelitales De Observación De La Tierra Utilizando Un Espectroradiómetro. Revista Colombiana de Física, 43(1), 181.
55. Lombard, M. (2013). SolidWorks 2013 bible. John Wiley & Sons
56. Dangli, W., Shengke, N., & Baoji, M. (2010). Stepping Motor Driver Circuit Design Based on TB6560 [J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 1, 41-43.
57. Breijo, E. G. (2009). Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC. Marcombo.
58. Conway, J., & Watts, S. (2003). A software engineering approach to LabVIEW. Prentice Hall Professional.
59. Chambers, J. (2008). Software for data analysis: programming with R. Springer Science & Business Media.

60. Knörrig, A., Wettach, R., & Cohen, J. (2009, February). Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction* (pp. 351-358).
61. Gates, E. J. (1928). Don José Antonio de Areche: his own defense. *Hispanic American Historical Review*, 14-42.
62. Dolan, T. T., Teale, A. J., Stagg, D. A., Kemp, S. J., Cowan, K. M., Young, A. S., ... & Brown, C. G. D. (1984). A histocompatibility barrier to immunization against East Coast fever using *Theileria parva*-infected lymphoblastoid cell lines. *Parasite immunology*, 6(3), 243-250.
63. Chen, C. M., Chang, J. C., Cheung, Y. C., Lin, G., Hsieh, J. J., Hsu, T., & Huang, S. F. (2008). Computed tomography-guided core-needle biopsy specimens demonstrate epidermal growth factor receptor mutations in patients with non-small-cell lung cancer. *Acta Radiologica*, 49(9), 991-994.
64. López Gómez, A., & López Cánovas, D. A. (2015). Procedimiento de descontaminación superficial de alimentos sólidos envasados.
65. Kogid, M., Mulok, D., Beatrice, L. F. Y., & Mansur, K. (2010). Determinant factors of economic growth in Malaysia: Multivariate cointegration and causality analysis. *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, 24(24), 123-137.
66. Cardello, A. V., Schutz, H. G., & Lesher, L. L. (2007). Consumer perceptions of foods processed by innovative and emerging technologies: A conjoint analytic study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), 73-83.
67. Setikaite, I., Koutchma, T., Patazca, E., & Parisi, B. (2009). Effects of water activity in model systems on high-pressure inactivation of *Escherichia coli*. *Food and bioprocess technology*, 2(2), 213-221.
68. Stoops, J.; Jansen, M.; Claes, J.; and Van Campenhout, L.; "Decontamination of powdery and granular foods using Continuous Wave UV radiation in a dynamic process," *J. Food Eng.* 2013, vol. 119, no. 2, pp. 254–259, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.05.021.
69. Hosseini, F.; Akhavan, H.; Maghsoudi, H.; Hajimohammadi-Farimani, R.; and Balvardi, M. "Effects of a rotational UV-C irradiation system and packaging on the shelf life of fresh pistachio," *J. Sci. Food Agric.* 2019, vol. 99, no. 11, pp. 5229–5238. doi: 10.1002/jsfa.9763.
70. Muramoto, Y.; Kimura, M.; and Nouda, S. "Development and future of ultraviolet light-emitting diodes: UV-LED will replace the UV lamp" *Semicond. Sci. Technol.* 2014, vol. 29, no. 8, p. 084004. doi: 10.1088/0268-1242/29/8/084004.
71. Green, A.; Popović, V.; Pierscianowski, J.; Biancaniello, M.; Warriner, K.; and Koutchma, T. "Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria* and *Salmonella* by single and multiple wavelength ultraviolet-light emitting diodes," *Innov Food Sci Emerg Technol* 2018, vol. 47, pp. 353–361, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.ifset.2018.03.019.

72. Yagi, N.; Mori, M.; Hamamoto, A.; Kakano, M.; Akutagawa, M.; Tachibana, S.; Takahashi, A.; Ikehara, T.; Kinouchi, Y. “Sterilization Using 365 nm UV-LED”. Conference of the IEEE EMBS. Proceedings of the 29th Annual International. Lyon, France 2007, pp. 5841–5844, doi: 10.1109/IEMBS.2007.4353676.
73. Malik, S. A.; Swee, T. T.; and Nik, N. A. N. “Effects of Ultraviolet Light-Emitting Diodes (UVA-Leds) Irradiation on Escherichia Coli for Inactivation of Microorganisms”. International Medical Device and Technology Conference 2017. p. 4.
74. Birmpa, A., Sfika, V., & Vantarakis, A. (2013). Ultraviolet light and ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *International Journal of Food Microbiology*, 167(1), 96-102.
75. Choi, S., Park, Y. I., Lee, S. K., Kim, J. E., & Chung, M. H. (2002). Aloesin inhibits hyperpigmentation induced by UV radiation. *Clinical and experimental dermatology*, 27(6), 513-515.
76. Mandal et al., (2020). Manjunath, G., Pujari, S., Patil, D. R., & Mandal, S. (2020). A scalable screen-printed high performance ZnO-UV and Gas Sensor: Effect of solution combustion. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 107, 104828.
77. Fan et al., (2017). Fan, X., Huang, R., & Chen, H. (2017). Application of ultraviolet C technology for surface decontamination of fresh produce. *Trends in Food Science & Technology*, 70, 9-19.

ANEXO 1.

Reporte Técnico Del Sistema Mecatrónico para la desinfección de productos agroalimentarios con luz UV-A LED.



ANEXO 2.

Presentación Congreso

Revista Tecnológica CEA N° 7



SISTEMA MECATRÓNICO PARA DESINFECCIÓN DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES CON TECNOLOGÍA UV-LED

Juan Manuel Bernal-Medina¹, Eduardo Flores-Gallegos^{2*}, Julio Acevedo-Martínez³, Jose Alonso
Dena-Aguilar³, Jose Ernesto Olvera-Gonzalez¹

¹Laboratorio de Iluminación Artificial, Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga; Carretera a la Estación de Rincón KM 1, C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Ags., México. ²Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zacatecas 98000, México. ³Departamento de Ingenierías, Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga; Carretera a la Estación de Rincón KM 1, C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Ags., México. Autor de Correspondencia: efloresitpa@gmail.com

RESUMEN

Actualmente el uso de tecnologías no térmicas se está aplicando como una alternativa viable para la desinfección de alimentos debido a que no eleva la temperatura de los alimentos por lo que las vitaminas, nutrientes esenciales y sabores se someten a cambios mínimos o nulos. Una de estas técnicas no térmicas es la radiación ultravioleta, esta radiación se ha utilizado para desinfección de agua desde principios del siglo XX, no obstante, para la desinfección de alimentos no había sido apropiada por diversas desventajas que presentaban las lámparas emisoras de UV (Xenón y Mercurio). Sin embargo, una nueva fuente de luz UV emitida por diodos UV-LEDs surgió en la última década (2010 en adelante) con varias ventajas respecto a las tecnologías existentes (Mercurio y Xenón) con lo que el desarrollo de nuevos sistemas de desinfección es una alternativa para atender las necesidades de los productos agroindustriales. Este artículo presenta el desarrollo de un sistema mecatrónico para la desinfección de productos agroindustriales con el cual se controlan parámetros como la altura de los UV-LEDs, movimiento del producto y tiempo de tratamiento; además realiza monitoreo de la temperatura del producto y de la temperatura y humedad del área de irradiación. Con el sistema desarrollado podemos realizar diferentes tratamientos a diferentes productos y monitorear su temperatura para evitar daños por

ANEXO 3

Desarrollo tecnológico:

“Sistema Mecatrónico Semi-industrial para Desinfección de Productos Agroindustriales por medio de Radiación Ultravioleta A, B y C con Tecnología LED.”



Autores:

J. Ernesto Olvera-Gonzalez¹, Nivia Escalante-García, Eduardo Flores-Gallegos, Juan Manuel Bernal-Medina, Israel Álvarez-Ramírez.

¹Corresponding Author:

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga, Carretera a la estación de Rincón km1, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. C.P. 20670.

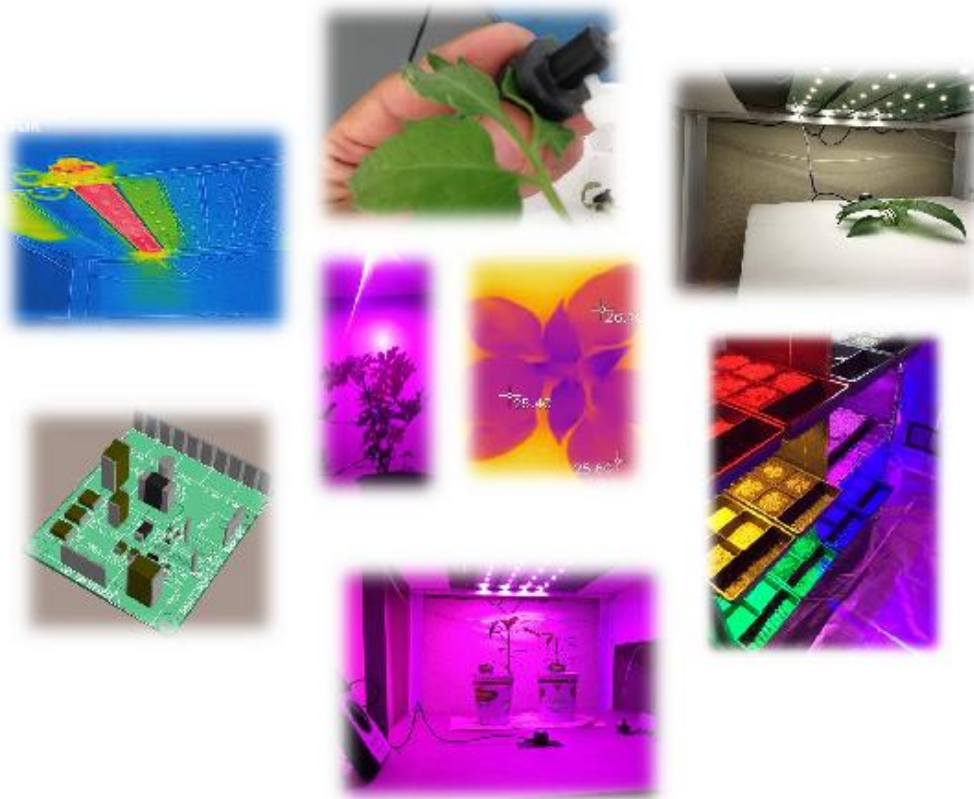
email: e.olvera.itp@gmail.com

Tel: +52 01 449-106-19-15

ANEXO 4

Desarrollo tecnológico:

Sistema de Radiación Artificial Adaptable y Multiespectral con Tecnología LED para Granjas Verticales (Vertical Farming) y fábrica de Plantas (Plant Factory).



Autores:

J. Ernesto Olvera-Gonzalez¹, Nivia Escalante-García, Israel Álvarez Ramirez, Juan Manuel Bernal Medina.

¹Corresponding Author:

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga, Carretera a la estación de Rincón km1, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. C.P. 20670.

email: e.olvera.itp@gmail.com

Tel: +52 01 449-106-19-15