



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
FUNCIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE CARGA
BACTERIANA MEDIANTE IRRADIACIÓN
ULTRAVIOLETA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERÍA MECÁNICA**

P R E S E N T A :

**FRANCISCO MANUEL LUIS RONALD
XICOTÉNCATL PAYNO Y ALEGRÍA**



**DIRECCIÓN DE TESIS:
DRA. MARIA SOLEDAD CÓRDOVA AGUILAR
MÉXICO, D.F. 2015**

RESUMEN

Comúnmente la esterilización de productos contenidos en bolsas poliméricas se lleva a cabo con altas temperaturas (UHT) para reducir la carga microbiana para que su consumo alimenticio sea seguro. Sin embargo, este proceso ocasiona algunos inconvenientes en los productos como la inestabilidad de las mezclas, separación de lípidos y, presencia de precipitados, degradación de carbohidratos y proteínas. Uno de los métodos de reducción de carga microbiana recientemente utilizado para la inactivación de microorganismos en la industria alimentaria, es el uso de radiación ultravioleta; Método que evita el uso de altas presiones y temperaturas. El objetivo de este trabajo es el diseño y construcción de un prototipo que permita realizar pruebas de irradiación ultravioleta como método de reducción de carga microbiana para líquidos de aplicación alimentaria. Se propone el diseño del prototipo, cuyos factores a considerar son: geometría, seguridad, durabilidad, tiempo de irradiación, ciclos o repeticiones y materiales. La prueba del concepto reporta que el prototipo es funcional y permite utilizarlo como banco de pruebas de reducción de carga microbiana con diferentes líquidos.

Este trabajo se desarrolló en el Centro de Ciencias Aplicadas
y Desarrollo Tecnológico (CCADET) en el laboratorio de
Ingeniería de Proceso bajo la asesoría de la Dra. María
Soledad Córdova Aguilar.

JURADO

Presidente : ING. MOISES MENDOZA LINARES

Secretario: DR. ADRIAN ESPINOSA BAUTISTA

Vocal: DRA. MARIA SOLEDAD CORDOVA AGUILAR

1er Suplente: M.I. HANNA LESLYE GARCIA GUERRA

2do Suplente: M.I. MIGUÉL ANGEL BAZAN RAMIREZ

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, a quienes les agradezco todo lo que soy y tengo en la vida. Por ser siempre modelos a seguir y enseñarme a tener un juicio propio. Gracias por nunca dejarme sentir solo o incomprendido, aún cuando en ocasiones no estuvieran de acuerdo con mis acciones o ideas. Muchas gracias por su incondicional amor y cariño.

Marisol y Miguel, muchas gracias por los consejos, el tiempo y la atención brindada en este proyecto. Pero sobre todo muchas gracias por su amistad y ayuda desde que nos conocimos.

En especial agradezco al personal del taller de manufactura del CCADET por su ayuda en la construcción del prototipo y los buenos momentos que pasamos bromeando y platicando.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
TERMINOLOGÍA.....	11
INTRODUCCIÓN	12
1. ANTECEDENTES.....	14
1.1. REDUCCIÓN DE CARGA MICROBIANA.....	14
1.1.2 <i>Métodos térmicos</i>	17
1.1.3 <i>Métodos no térmicos</i>	19
1.2. IRRADIACIÓN ULTRAVIOLETA	21
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
1.4. OBJETIVOS.....	29
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	29
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	29
2. PRUEBA PREELIMINAR.....	30
2.1. MARCO TEÓRICO	30
2.1.1. <i>Parámetros de irradiación</i>	32
2.2. DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	34
3. DISEÑO	36
3.1. PARAMETROS DE DISEÑO	36
3.1.1. <i>Parámetros Geométricos</i>	36
3.1.2. <i>Parámetros Físicoquímicos</i>	38
3.1.3. <i>Selección de Materiales</i>	40
3.2. NECESIDADES.....	44
3.3. ESPECIFICACIONES.....	46
3.4. GENERACION DE CONCEPTO	50
4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	53
4.1. DESCRIPCIÓN DE ENSAMBLE	53
4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS	54
4.2.1. <i>Cámara de irradiación</i>	54
4.2.2. <i>Sistema UV</i>	56
4.2.3. <i>Módulo para bolsas</i>	57
4.2.4. <i>Sistema de cierre</i>	59
4.2.5. <i>Módulo de electrónica</i>	60
4.3. ENSAMBLAJE DE LOS SISTEMAS.....	63
4.4. IMPLEMENTACIÓN	66
4.5. AJUSTES AL SISTEMA	67

4.6. RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	69
CONCLUSIONES.....	75
TRABAJO A FUTURO	77
REFERENCIAS.....	79
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dosis en kilo-Grays para la inactivación de bacterias patógenas	23
Tabla 2 Dosis en kilo-Grays para niveles de reducción de carga microbiana	24
Tabla 3 Desglose del dispositivo de pruebas	32
Tabla 4 UFC/mL para de las pruebas con jugo de manzana ®Bebere.	35
Tabla 5 Propiedades de acero inoxidable 304 (Matweb-Boyer, 1985).....	41
Tabla 6 Propiedades de aluminio 1100 – O (Matweb-Holt, 1997).....	42
Tabla 7 Necesidades y jerarquía.	44
Tabla 8 Criterios y Necesidades.	45
Tabla 9 Listado e importancia de métricas	48
Tabla 10 Lista de Conceptos.....	50
Tabla 11 UFC/ml de las pruebas de concepto con leche y suero dosificado en bolsas de polipropileno de 250 ml.	73
Tabla 12 UFC/ml de las pruebas de concepto con leche y suero dosificado en bolsas de polipropileno de 250 ml Almacenadas a 4° y 25°C por 7 días.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de conexiones y disposición de los elementos de las pruebas preliminares.....	31
Figura 2 Diagrama de flujo del procedimiento e la prueba	34
Figura 3 Equipo UV en proceso.....	34
Figura 4 Proceso de cuenta en placa en campana de flujo laminar.	35
Figura 5 Representación gráfica del arreglo geométrico bidimensional del campo de irradiación con gradiente de intensidad.	37
Figura 6 Representación gráfica bidimensional de la distribución de elementos.....	38
Figura 7 Diagrama explosivo de los subsistemas realizado en CAD.	53
Figura 8 Dibujo realizado en CAD de los soportes de la cámara de esterilización.	55
Figura 9 Imagen de cámara y tapa y sistema de cierre.	55
Figura 10 a) Dibujo realizado en CAD del módulo de sujeción de focos	57
Figura 11 a) Imagen de las bolsas sujetas al módulo antes de ser sometidas a irradiación UV.	58
Figura 12 Imagen del sistema de cierre frontal.....	60
Figura 13 a) Imagen de la caja para balastos con tapa	61
Figura 14 Imagen del equipo encendido mostrando el cableado antes de instalar las canaletas.....	62
Figura 15 a) Dibujo realizado en CAD del sistema UV con focos.....	63
Figura 16 a) Dibujo realizado en CAD mostrando el ensamble del sistema UV con focos y el módulo sujeción de bolsas.....	64
Figura 17 a) Dibujo realizado en CAD mostrando el explosivo de los sistemas de sujeción de focos, módulo para bolsas y la cámara de esterilización.	64
Figura 18 Imagen del sistema de cierre con cinturón de refuerzo.	68
Figura 19 Diagrama de secuencia de la prueba microbiológica.	70
Figura 20 Imagen de los matraces donde se creció E. coli en medio LB por 8 horas a 30°C.	70

Figura 21 Canastilla con las soluciones sometidas a irradiación UVC.71

TERMINOLOGÍA

<i>E. Coli,</i>	Escherichia Coli
<i>L. Monocytogenes</i>	Listeria Monocytogenes
<i>S. Typhimurium</i>	Salmonella Typhimurium
UFC	Unidades formadoras de colonias
HPP	High pressure processing
NTU	Nephelometric turbidity units
UHT	Ultra high temperature
HTST	High temperature short time pasteurization
LTLT	Low temperature long time pasteurization
NTP	Non thermal plasma
AISI	American Iron Steel Institute - Estándares de propiedades de metales
Brinell	Propiedad de la superficie de un material de resistir la deformación elástica y plástica en respuesta al contacto con un indentador.

INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad en la industria de explorar nuevos métodos de inactivación de microorganismos en frío, sin cambios drásticos de presión y temperatura, la irradiación UV es un método de reducción de carga microbiana que presenta las características buscadas para la esterilización, tanto en la industria como en el sector médico, por ejemplo, en el campo de las soluciones parenterales donde se busca reducir los efectos adversos producidos por el tratamiento, en las propiedades de los productos.

En el primer capítulo de esta tesis se dan a conocer los aspectos generales e información relevante de los procesos de reducción de carga microbiana existentes, así como las desventajas asociadas a los métodos térmicos y el uso de la irradiación UV para la esterilización de líquidos. Además se presentan los objetivos del proyecto.

En el segundo capítulo se presentan los parámetros de diseño obtenidos a partir de pruebas preliminares y estudios sobre los parámetros que influyen en el diseño del prototipo y primera aproximación al caso en desarrollo. Utilizando la información recabada, así como el tiempo y recursos disponibles, se procedió a analizar las posibles soluciones que se ajustaran a las necesidades encontradas, así como la importancia asignada a los distintos factores hacia los cuales se enfoca el proyecto.

En el tercer capítulo se describen las piezas del prototipo y el ensamblaje de los sistemas. Además, se describen los ajustes que se realizaron durante la construcción del prototipo y los efectos de éstos sobre el conjunto.

En el cuarto capítulo se encuentran los resultados de la prueba de concepto realizada para comprobar la funcionalidad del prototipo, así como observaciones sobre el prototipo y su operación. A partir de los resultados y observaciones se recabó la información necesaria para realizar las modificaciones que mejorarán el funcionamiento y la calidad del equipo.

1. ANTECEDENTES

1.1. REDUCCIÓN DE CARGA MICROBIANA

La carga microbiana es la cantidad de bacterias, virus, hongos o esporas que existen en medio. Dentro de la carga microbiana, los elementos dañinos son llamados patógenos. Se define como reducción de la carga microbiana al proceso de extraer o inactivar un determinado porcentaje de los elementos de vida microscópica que existan en un medio. Al reducir la carga microbiana mediante la inactivación de sus elementos, se reduce la tasa de descomposición de los productos perecederos.

La reducción de microorganismos en los alimentos se ha buscado desde antes que se tuviera el conocimiento de la existencia de los mismos y su efecto sobre los alimentos. A través de la historia, se han utilizado distintos métodos de tratamiento con el fin de retrasar la descomposición de los alimentos o en su caso, preservarlos en buen estado por mayor tiempo.

La pasteurización, descubierta por Louis Pasteur en el año 1863, logró la inactivación de microorganismos en alimentos utilizando altas temperaturas. Hoy en día, existen dos variantes generalizadas de la pasteurización, de alta temperatura y corto tiempo (HTST), que eleva la temperatura de los productos a 72°C por intervalos con duración de 15 segundos y de baja temperatura y tiempo prolongado (LTLT), que eleva la temperatura de los productos a 65°C por intervalos con duración de hasta 30 minutos. (Cazaux,2010). La pasteurización no logra la inactivación de las esporas de algunas bacterias y de hongos que se encuentran en las soluciones; lo que

eventualmente lleva a la descomposición de los alimentos o sustancias tratadas. (Raso, 2003) Debido a esto se utiliza la esterilización, la cuál refiere a cualquier proceso, químico o físico que remueva o inactive un determinado porcentaje de patógenos, incluyendo agentes transmisibles (hongos, bacterias, virus, esporas, etc.) contenidos en un producto para consumo humano, haciendo que este proceso provea un mayor porcentaje de reducción de carga microbiana que la pasteurización (Laboratory of Industrial Research Journal, 2000). Para algunos alimentos se sigue utilizando la pasteurización, debido a los efectos colaterales que la esterilización puede causar sobre ciertos productos.

En vista de que la inactivación absoluta de los microorganismos no puede ser comprobada, el grado de esterilización de una preparación farmacéutica debe ser definido, en términos de probabilidades. Los métodos mencionados en este capítulo, han demostrado reducir la probabilidad de infección en mayor medida que los demás métodos usados a través de la historia. Sin embargo, la eficacia de los métodos de reducción de carga microbiana depende de la combinación de, propiedades físicas y químicas del medio que se requiera esterilizar, condiciones ambientales, cantidad de tipo de bacterias, y condiciones de preparación o procesamiento del líquido (Raso, 2003). Algunos de estos parámetros de reducción se explican con mayor detalle en la prueba de concepto.

Es recomendable que el método de reducción de carga microbiana elegido sea validado con estudios del material y de la sustancia utilizada, respecto al nivel de esterilización requerido y cualquier efecto adverso que pueda ejercerse sobre el producto final (World Health Organization, 2013). Por lo anterior, la introducción de

nuevos métodos de reducción de carga microbiana ha permitido el estudio del tratamiento de líquidos, sobre los cuales se generan efectos adversos o los métodos de reducción de carga microbiana comúnmente usados no logran la esterilización.

Comunmente la reducción de carga microbiana para líquidos contenidos en bolsas poliméricas se lleva a cabo mediante la aplicación de una combinación de temperatura, agentes químicos, presión y filtrado (Laboratory of Industrial Research Journal, 2000). De acuerdo con las publicaciones de la “Organización Mundial de la Salud” realizadas en el 2013, los métodos de reducción de carga microbiana con resultados más confiables para la esterilización de soluciones dosificadas previamente al proceso, se encuentran: el uso de vapor saturado o aire a alta temperatura.

1.1.2 Métodos térmicos

El sistema de reducción que mas se utiliza actualmente, es el sistema de alta temperatura por sus siglas en inglés *UHT*. En el cual los líquidos son pasteurizadas al elevar su temperatura por un corto periodo de tiempo de entre 1 y 2 segundos hasta temperaturas superiores a los 135 °C. En caso de que se requiera la esterilización del líquido, se incluyen altos niveles de presión en el proceso. Este proceso permite la esterilización continua, cumpliendo con las necesidades de una línea de producción.

La autoclave es la máquina de esterilización *UHT* más comercialmente usada, debido a su versatilidad. La autoclave utiliza vapor saturado para alcanzar la presión y temperatura necesarias para la esterilización. La exposición de bacterias y enzimas a altas presiones y temperaturas logra la desnaturalización de las proteínas y enzimas, así inactivando los bacterias y esporas expuestas. La esterilización en una autoclave generalmente se lleva a cabo en un periodo de 30 minutos a una temperatura de 130 °C y una presión de 200 kPa (World Health Organization, 2013).

La mayoría de los métodos de preservación de productos que no utilizan altas temperaturas carecen de la efectividad necesaria o afectan las propiedades inherentes al fluido en estudio. No obstante, si el producto en estudio tiene un alto contenido graso, elevarlo a altas temperaturas puede afectar la composición del mismo, disociando los elementos y volviéndolo una disolución heterogénea (Raso, 2003).

Sin embargo, en algunos productos la tolerancia térmica de ciertas enzimas y microorganismos, en específico esporas, genera la necesidad de métodos de reducción que la composición nutricional y propiedades organolépticas de los productos. La

degradación de proteínas, generación de sedimentos y disociación de las grasas son efectos colaterales generados por este tratamiento. Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar alternativas a los métodos de reducción de carga microbiana que utilizan altas temperaturas (Mckinnon, 1996).

Este trabajo se enfoca en el diseño de un prototipo para la reducción de carga microbiana en líquidos a través de la irradiación UV para estudios a futuro como método de esterilización.

1.1.3 Métodos no térmicos

La demanda de productos de alta calidad con altos estándares de seguridad microbiológica y estabilidad, ha incrementado el interés en nuevos métodos de esterilización no térmica, capaces de inactivar microorganismos, esporas y enzimas (Mertens, 1992; Barbosa-Cánovas, 1998) Durante el procesado no térmico, se evita elevar la temperatura de los alimentos, minimizando así, la degradación de la calidad de los mismos.

Se ha tratado de sustituir el UHT por un método de inactivación más eficiente y que no genere efectos adversos sobre los productos. La radiación Gamma ha comprobado ser efectiva y no generar cambios en la composición de los productos, como se ha demostrado en el estudio de H.J. Koornhof sobre esterilización de soluciones parenterales y el de T. Grünewald, sobre la esterilización de alimentos. Sin embargo, el equipo necesita un área extensa y altos estándares de seguridad, debido a los riesgos de exposición; lo que se traduce en altos costos de producción (Koornhof,1994). A pesar de ser un método sumamente efectivo, solo es utilizado cuando es indispensable (Grünewald,1994). De igual manera, al no conocerse los efectos a largo plazo de productos irradiados con rayos gamma, los productos tratados de esta manera deben llevar advertencias indicando que se utilizó radiación gamma para la preservación de los mismos (Anon,1975).

Como alternativa, se han utilizado bajas temperaturas y bajos niveles de pH, para incrementar el tiempo de vida de los productos al inhibir o disminuir la velocidad de la tasa de reproducción de los organismos no deseados. En general, estas

tecnologías son incapaces de alcanzar los niveles de seguridad requeridos en los productos, ya que el recalentamiento, la rehidratación o el cambio de pH en éstos, podría favorecer el crecimiento de patógenos.

En general, la mayoría de los métodos no térmicos de inactivación no logran la inactivación de las esporas bacterianas y las enzimas. Debido a esto, su uso queda restringido a los alimentos donde las reacciones enzimáticas no afectan la calidad de la comida o donde la germinación de esporas es evitada por otras condiciones como bajo pH (Block,1983).

El uso de altas presiones es un método efectivo para la inactivación de microorganismos. No obstante, sus aplicaciones se ven limitadas ya que se requieren presiones mayores a los 1000 MPa para inactivar esporas y a esta presión, se obtiene la degradación de proteínas que forma sedimentos. Alimentos o sustancias que contienen calcio, sodio o ciertas vitaminas, protegen a las bacterias contra este método de inactivación (Cheftel, 1995; Wouters, 1997; Smelt, 1998).

Otro método emergente de esterilización en frío, es el uso de plasma de gas (NTP), para el cual se utiliza un arco estable de alto voltaje y nitrógeno puro para generar plasma que contiene radiación UV y radicales OH que logran inactivar microorganismos y esporas sin aumentar la temperatura ni la presión del producto. El arco de alto voltaje y el nitrógeno utilizados elevan los costos de este método y el plasma es difícil de dirigir, por lo que a pesar de ser efectivo, es un método poco utilizado (Akishev, 2008).

1.2. IRRADIACIÓN ULTRAVIOLETA

El proceso con radiación ionizante de algunos productos alimenticios se define como irradiación (Codex Alimentarius Commission, 2003). Este proceso tiene como fin reducir la carga microbiana para extender la vida útil de productos perecederos. Los métodos más utilizados son:

- Rayos gamma, producidos por radioisótopos como Cobalto 60 y Cesio 137
- Rayos X (nivel máximo: 5 MeV)
- Electrones acelerados (nivel máximo: 10 MeV).

Como efectos de la irradiación pueden citarse la alteración de la estructura de la membrana celular, la reducción de la actividad enzimática y fundamentalmente de la síntesis de ácidos nucleicos (Grandison, 2006).

El parámetro más importante en la irradiación es la dosis o cantidad de energía absorbida por el producto, la cual se mide en Grays (Gy), siendo un gray igual a un joule por kilogramo de masa y equivalente a 100 rad. La cantidad de calor emitida es despreciable y por esta razón, la irradiación se considera dentro de los tratamientos no térmicos (Rodríguez et al, 2003). Según la dosis, la irradiación se ha clasificado de la siguiente manera (Wilkinson y Gould, 1996):

- Redurización (dosis por debajo de 10 kGy): equivale a la pasteurización térmica y se utiliza para reducir el número de microorganismos patógenos.
- Radicación (dosis 2.5 a 10 kGy): reducir el número de microorganismos patógenos no productores de esporas.

- Radappertización (entre 10 y 50 kGy) Equivalente a la esterilización térmica para inactivar bacterias patógenas o toxigénicas formadoras de esporas.

La luz ultravioleta se sitúa en el espectro electromagnético de radiación entre las bandas de rayos X y la luz visible, con longitudes de onda desde 100 hasta 400 nanómetros (nm). La luz ultravioleta es emitida en tres diferentes bandas:

- UV-A.- Banda de los 320 a los 400 nm
- UV-B.- Banda de los 280 a los 320 nm
- UV-C.- Banda de las radiaciones UV menores de 280 nm

La longitud de onda de 254 - 265 nm es la de mayor efectividad de inactivación microbiana. Algunos focos de baja presión de mercurio utilizadas en la industria entre 185 y 254 nm, consiguen cambios en el ADN de casi los microorganismos, en segundos. De hecho, no pueden mantener su metabolismo ni multiplicarse. La dosis letal es función de la estructura de la membrana, por ejemplo, bacterias como *Salmonella*, *Listeria* y *E. coli*, se destruyen con mayor facilidad mientras que las esporas se protegen de la radiación por una membrana más gruesa, y necesitan una dosis entre 10 y 100 veces superior a la de *E. coli*.

Una amplia aplicación de la irradiación UVC es en la desinfección del agua potable y residual fundamentalmente de bacterias y virus (Hosseini, et. al 2011). En el agua potable, se consigue reducir la carga microbiana a un 99,99%, obteniéndose un agua de alta calidad microbiológica sin cambios en el color, olor, sabor y pH. Actualmente, existen más de 2000 instalaciones de obtención de agua potable con luz UVC en Europa y 1000 en USA. También se emplea para higienizar las salmueras de recirculación en sistemas de enfriamiento de alimentos procesados y para desinfectar

el agua recirculante de los acuarios. No obstante, la aplicación de UVC para desinfección en otros líquidos ha sido menos estudiada, ya que un factor determinante en la penetración de la irradiación ultravioleta es el índice de turbidez. Algunos autores reportan que existe dificultad para irradiar con luz ultravioleta por las propiedades coloradas de algunos líquidos o la presencia de impurezas y sedimentos sólidos (Hosseini, 2011). Por ejemplo, algunos autores encontraron que la irradiación UVC resultó ineficiente como método de esterilización para líquidos con una turbidez mayor a 11.0 NTU (Guillan, 2011). Sin embargo, la irradiación UVC resultó eficaz para esterilizar algunos productos fermentados clarificados como la cerveza (Soohuyn et al 2013). Se realizaron pruebas en reactores tubulares de acero inoxidable de 3.5 l con una radiación de 254 nm por 90 s, con un foco de 36mm de diámetro y 570mm de largo, inoculados con *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. typhimurium*. Así mismo, en la literatura se encontró que 26.4 mW/cm² es la irradiación necesaria para inactivar en agua el 90% de 40 tipos de microorganismos causantes de enfermedades.

Valores y Dosis

El valor de la dosis de reducción decimal o dosis requerida para destruir 90% de los microorganismos presentes, se representa como **D** y varía según el microorganismo en estudio y los valores dependen del líquido en uso. De forma similar a los procesos térmicos, en el caso de las esporas, los valores de **D** son mayores que en el caso de células vegetativas e incluso, las dosis más altas son las más letales. A continuación se muestra una tabla con algunos ejemplos:

Tabla 1 Dosis en kilo-Grays para la inactivación de bacterias patógenas

Microorganismo	KGy
-----------------------	------------

<i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Salmonella</i> spp	0.36- 0.38
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.45
<i>Escherichia coli</i> 0157:H7:	0.31 - 0.36
Células no adaptadas a medios ácidos	0.12 – 0.21
Células adaptadas a medios ácidos	0.22 – 0.31
Esporas de <i>Clostridium botulinum</i>	3.56

Aún cuando la irradiación es un tratamiento no térmico, debe tenerse en cuenta que en ciertos casos puede ocasionar cambios de sabor, aroma y color. en carne y derivados, donde se ha observado que si están congelados o el proceso se realiza en atmósferas reducidas en oxígeno, estos cambios son mínimos (Olson, 1998). En la siguiente tabla se detallan la dosis de irradiación en kGy para lograr los diferentes efectos de inhibición, destrucción o esterilización.

Tabla 2 Dosis en kilo-Grays para niveles de reducción de carga microbiana

Efecto	Dosis (kGy)
Inhibición de germinación	0.04 – 0.10
Reducción de carga microbiana	1 - 4
Destrucción de patógenos /pasteurización	1 - 6
Esterilización	15 - 50

En alimentos, se ha evaluado el utilizar la irradiación UVC como alternativa al proceso de pasteurización de la leche. Es un proceso no térmico que permite reducir la flora patógena sin incrementar la temperatura y preservar las características organolépticas del producto. De hecho se ha demostrado que esta técnica es capaz de

reducir significativamente los niveles de *Listeria monocytogenes* en la leche de cabra y de vaca, logrando ampliar la vida útil del alimento hasta en un 30% más. Sin embargo, aún son necesarios estudios para conocer exactamente la dosis de irradiación necesaria, que garantice una pasteurización completa y efectiva pero considerando el volumen de leche cruda y el contenido en grasas del producto ya que la luz UVC puede catalizar reacciones de oxidación de los lípidos y ocasionar rancidez o alterar sus propiedades organolépticas de aroma y sabor. No obstante, es una técnica segura y está aprobada por numerosos laboratorios e instituciones nacionales e internacionales. Actualmente, los alimentos irradiados están aprobados en más de 40 países.

Otras aplicaciones de la UVC en alimentos son:

- Pasteurización del huevo líquido ya que el proceso térmico afecta a las propiedades de coagulación.
- Jugos de zanahoria, jugos de frutas y otras bebidas como el té donde industrialmente se utiliza ya que esta técnica es capaz de reducir de forma importante los niveles de distintas cepas de *Salmonella* y *E. coli* sin detrimento de las propiedades funcionales del jugo. En la industria láctea, la desinfección con UV se usa especialmente para el envasado de los productos de la leche fresca, como el yogur o los quesos cremosos, que se conservan en la cadena de frío para aumentar su vida útil en los estantes.
- En el procesado de la carne, la luz UV se utiliza para descontaminar continuamente superficies como las cintas transportadoras de la carne y se reducen los lavados completos del proceso.

- En panadería, la instalación de un túnel con UVC en la línea de producción es una solución eficiente para eliminar las esporas de hongos, disminuir la aparición de desechos y aumentar la vida útil en estante
- Las verduras y frutas frescas envasadas también se pueden tratar y exponer el envase a luz UV disminuye la incidencia de una posible contaminación.
- Se puede aplicar sobre superficies de alimentos como pescado fresco, carne fresca, huevos, frutas cortadas y en el envasado aséptico de productos tratados térmicamente.
- Se ha conseguido alargar la vida útil de la sandía cortada y envasada, lista para el consumo, sin alterar la textura propia de este producto.

Por otra parte, el efecto de reducción de carga microbiana de la luz UVC también se utiliza para la esterilización de aire y superficies, a pesar de la baja permeabilidad de la irradiación ultravioleta en sólidos. Es frecuente encontrar focos UV en hospitales, quirófanos, laboratorios y cafeterías para reducir la carga microbiana del aire. Este proceso es usado inclusive en las plantas incubadoras de huevos o de utilidad para destruir los olores y los depósitos de grasa que se forman en la cocina o en el equipo de procesado de alimentos. La eficacia de la esterilización para superficies requiere de superficies lisas y una buena limpieza antes de su aplicación, ya que el polvo absorbe la luz y protege a los microorganismos del efecto germicida de la UVC.

En el área de medicina humana se ha investigado la posibilidad de utilizar la luz UVC para tratar plasma de donantes sanguíneos y evitar la transmisión de algunas enfermedades virales como el *Erytrovirus* (B18).

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La esterilización de líquidos se realiza mediante el método UHT (altas temperaturas). Este tratamiento puede ocasionar la inestabilidad de las mezclas con alto contenido graso, provocando problemas como la separación de la fase oleosa, presencia de precipitados y/o degradación de carbohidratos y proteínas. Recientemente se han realizados nuevos estudios para reemplazar el método UHT para líquidos con irradiación UV. Con base en los resultados obtenidos en los estudios realizados en agua y algunos productos fermentados como la cerveza (Soohuyn et. al 2013 y Hosseini, et. al 2011), resultó eficaz la irradiación UV para esterilizar, en este trabajo se propone utilizar este tipo de irradiación para la reducción de carga microbiana en líquidos de aplicación terapéutica.

En la producción de soluciones terapéuticas, se requieren muy altos estándares de seguridad establecidos por normas sanitarias internacionales. Así mismo, los altos costos de mantenimiento para lograr una sección de empaqueo en condiciones de esterilización completa recomiendan realizar la irradiación de los productos por lotes contenidos en bolsas poliméricas.

En el proceso de investigación que se realizado sobre la maquinaria y prototipos para inactivación de microorganismos mediante irradiación UV, no hay registro alguno de equipos para pruebas con líquidos envasados en bolsas poliméricas.

Por tanto se propone la construcción de un prototipo para utilizarlo como banco de pruebas para evaluar la reducción de la carga microbiana en diferentes líquidos mediante irradiación UV como una alternativa a los métodos térmicos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Diseño y construcción de un prototipo funcional para la reducción de la carga microbiana en líquidos contenidos en bolsas poliméricas utilizando irradiación UV.

1.4.2. Objetivos específicos

- 1) Definición de parámetros y especificaciones de diseño.
- 2) Fabricación y ensamblaje de los módulos y componentes del prototipo.
- 3) Caracterización de la operación del equipo.
- 4) Funcionalidad del prototipo manufacturado para realizar pruebas con líquidos en bolsas poliméricas sometidos a irradiación UV.

2. PRUEBA PREELIMINAR

El objetivo de la prueba preliminar fue determinar los parámetros que afectan la efectividad de la irradiación UV como método de reducción de carga microbiana para la toma de decisiones en el diseño del prototipo.

2.1. MARCO TEÓRICO

Con base en los trabajos de irradiación con UV en agua y cerveza (Soohuyn,2013 y Hosseini, 2011), en primera instancia, se propone probar la efectividad de la irradiación UV como método de reducción de carga microbiológica con un líquido clarificado. De igual forma se busca obtener tiempos de irradiación efectiva.

Para llevar a cabo la prueba se utiliza un tubo de vidrio de doble cavidad con camisa para enfriamiento con recirculación de agua. En la parte central se colocó un foco UVC *Phillips®* TUV – T8, de 15 W de potencia de salida emitida a 254 nm de longitud de onda con una irradiación promedio de 48 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (*Anexo I*). De acuerdo a la literatura de *Phillips®*, se reporta que los focos TUV incluyen un filtro insertado en el vidrio de empaque, que logra filtrar la longitud de onda UV que forma ozono, el cual debe evitarse debido a la toxicidad del compuesto y que puede causar la degradación de los compuestos del fluido irradiado o contaminar las soluciones.

En la *Figura 2.2* se muestran los elementos utilizados para la prueba preliminar. Las especificaciones están en la *Tabla 2.1*.

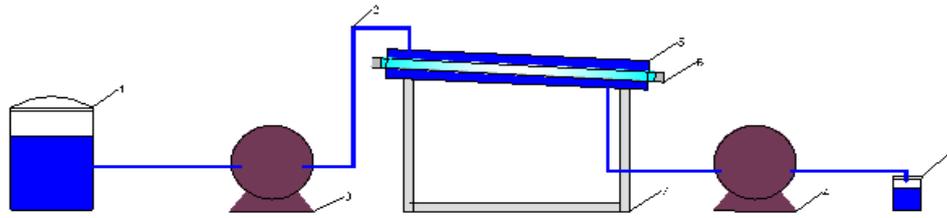


Figura 1 Diagrama de conexiones y disposición de los elementos de las pruebas preliminares.

El proceso de inoculación, las conexiones de la tubería y la toma de las muestras fueron realizados manteniendo la esterilidad del área de trabajo. Se utilizaron dos bombas peristálticas para bombeo de agua de enfriamiento, entrada y salida del fluido a irradiar. Los muestreos y el proceso microbiológico para conteo de UFC/mL se realizaron dentro de una campana de flujo laminar para evitar contaminación.

Tabla 3 Desglose del dispositivo de pruebas

Parte del diagrama	Funcion	
1 Vaso de precipitado	Contener los fluidos inoculados	Vaso Matraz graduado con tapa y boquilla de vaciado en la parte inferior. Capacidad de 1 litro
2 Tubería de latex	Transporte de los fluidos	Látex grado médico
3 Bomba peristáltica de llenado	Llenado del reactor	
4 Bomba peristáltica de vaciado	Vaciado del reactor	
5 Reactor de vidrio con dos cámaras	Sujeción del foco y funge como cámara de esterilización	
6 Foco UVC	Irradiación UV	<i>Anexo 1</i>
7 Base de aluminio	Sujetar el reactor con una inclinación que propicie el flujo por gravedad del fluido para que el reactor pueda ser vaciado por completo	Manufacturada a partir de una placa de ½" de aluminio serie 200, Corte en agua y sujetado con tornillos de 1/8"
8 Frasco de muestreo	Recolección de las muestras después del proceso.	Frascos con 50 ml de capacidad

2.1.1. Parámetros de irradiación

La tasa de supervivencia de la carga microbiana después de la exposición a la irradiación UV, se determina con la siguiente aproximación:

$$\ln\left(\frac{N_0}{N(t)}\right) = -kE_{eff} t$$

Ecuación 1, Tasa de supervivencia de microorganismos expuestos.

donde:

$N(t)$: número de microorganismos en el tiempo t_0 ,

N_0 : número de microorganismos después de la exposición,

k : constante de absorción UV dependiendo del microorganismo

E_{eff} : irradiación efectiva medida en W/cm^2 .

El producto de la irradiación efectiva por el tiempo transcurrido se llama dosis efectiva $Heff$.

$$H_{eff} = E_{eff} t \quad \text{Ecuación 2}$$

Resolviendo la **Ecuación 1** para un porcentaje de esterilización de 90%, y utilizando la constante k para *E. coli* se obtiene la siguiente condición:

$$\ln\left(\frac{1}{10}\right) = -kE_{eff} t \quad \text{Ecuación 3}$$

donde: $k = 0.077 \text{ m}^2/\text{J}$

Sustituyendo el valor de k:

$$-0.10536 = -0.077 H_{eff} \quad \text{Ecuación 4}$$

A partir de la **Ecuación 4** se obtiene el valor de la dosis efectiva para reducir la carga microbiana de *E. coli* en un 90%.

$$H_{eff} = 0.137 \text{ J/m}^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

2.2. DESARROLLO DE LA PRUEBA

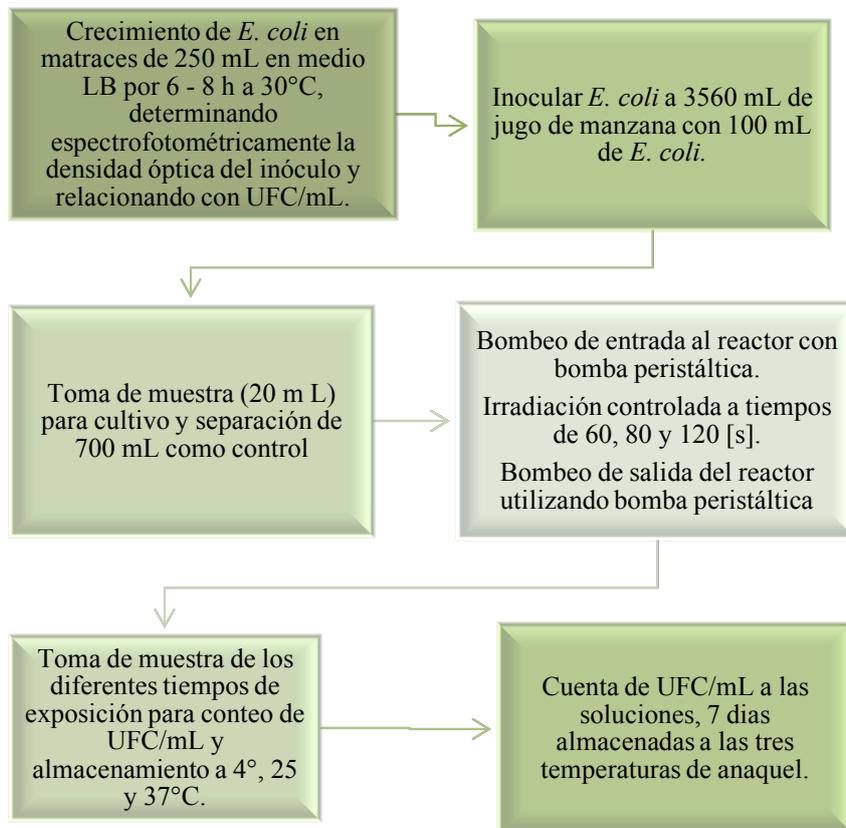


Figura 2 Diagrama de flujo del procedimiento e la prueba



Figura 3 Equipo UV en proceso.



Figura 4 Proceso de cuenta en placa en campana de flujo laminar.

Las UFC/mL obtenidas se observan en la tabla 2.

Tabla 4 UFC/mL para de las pruebas con jugo de manzana ®Bebere.

Prueba con jugo de manzana ®Bebere						
Tiempo de exposición [segundos]	t_o	60	80	100	120	140
UFC/mL (10^7)	4.6	3.1	1.0	0.4	0.01	0.006

La irradiación por 120 segundos, administrando una dosis de 57.6 J/m^2 en contacto directo con los focos UV, se logró disminuir en dos órdenes de magnitud la carga microbiana mientras que con 140 s, la reducción es de 3 órdenes de magnitud.

Con estos resultados se propone el diseño de un prototipo funcional para hacer pruebas con bolsas poliméricas y soluciones dosificadas.

3. DISEÑO

3.1. PARAMETROS DE DISEÑO

3.1.1. *Parámetros Geométricos*

Los factores geométricos son los principales parámetros de diseño para asegurar que la irradiación UV sea homogénea a través de las bolsas. Por lo tanto, la configuración de los focos UV y las bolsas es determinante para la efectividad del prototipo.

La distancia entre las bolsas y el foco determinan el tiempo de exposición. Se considera la absorción de radiación por las propias paredes de la bolsa como factor que incrementa el tiempo de exposición, sin embargo debido a que el espesor es homogéneo, se considera una constante. Debido a esto, el diseño del prototipo debe mantener las menores distancias posibles entre los elementos para lograr una configuración compacta que incremente la energía transmitida por irradiación y reduzca el tiempo necesario de exposición. La radiación ultravioleta en el aire pierde gradualmente su intensidad, mientras más lejos se encuentre de su epicentro, siguiendo la siguiente relación (Incropera,1999):

$$i = \frac{1}{r^2} \qquad \text{Ecuación 6}$$

donde: r es la distancia en metros desde el epicentro de emisión.

i es la irradiación recibida.

La geometría cilíndrica de los focos UV determina directamente el diseño general del prototipo y su configuración de los elementos para asegurar un campo de

radiación UV homogéneo en el interior de la cámara de esterilización. Partiendo de la geometría de las bolsas que asemejan prismas rectangulares se determina que para lograr una irradiación homogénea de las bolsas, éstas deben ser irradiadas desde dos epicentros. En la **Figura 3.2** se observa el gradiente de irradiación emitido por dos focos sobre una bolsa ubicada entre ellos.

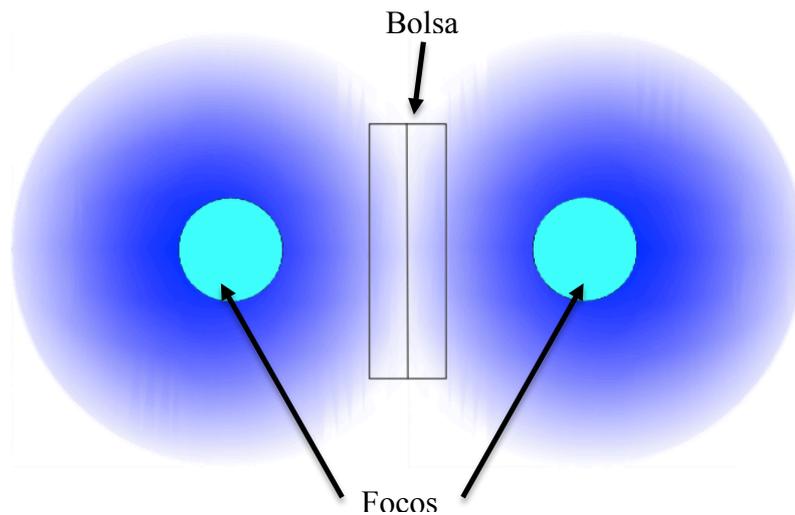


Figura 5 Representación gráfica del arreglo geométrico bidimensional del campo de irradiación con gradiente de intensidad.

El diseño elegido involucra la intercalación de focos y bolsas, de manera que cada elemento se posiciona de forma periférica a un centro general. Utilizando dos focos de forma lineal el arreglo permite la exposición de una sola bolsa, mientras que al utilizar un arreglo periférica de tres focos se pueden irradiar tres bolsas. (**Figura 3.3**)

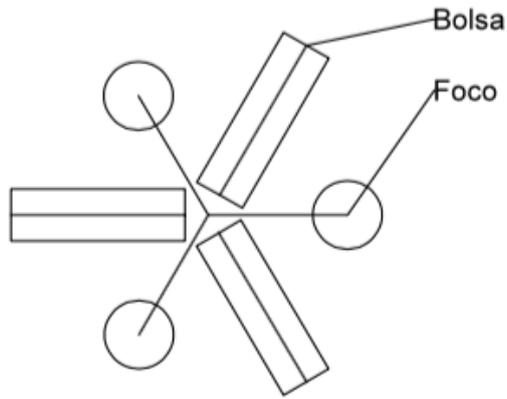


Figura 6 Representación gráfica bidimensional de la distribución de elementos

Tras comparar las longitudes de elementos de emisión del prototipo y las bolsas de suero, se nota que la longitud de los focos utilizados permite posicionar dos bolsas una sobre la otra de forma vertical y aún así, mantener una distancia lo suficientemente significativa como para simplificar los cálculos del sistema a dos dimensiones al volver despreciable la disminución de la radiación en los extremos de los focos.

El proceso de diseño fue restringido en gran medida por los tamaños y medidas estándar de los elementos mecánicos y materiales. Por su uso generalizado las medidas y cálculos se realizaron en el sistema métrico internacional. Sin embargo por su uso en México se utiliza el sistema métrico inglés en el proceso de selección de espesores de placas y tornillería.

3.1.2. Parámetros Físicoquímicos

Parámetros de uso

El diseño del prototipo se vio influenciado por los tiempos requeridos para realizar las pruebas. Incluso cuando las bolsas se encuentran selladas al momento de la

esterilización, el riesgo de contaminación es incrementado a mayor sea el tiempo en el que las bolsas no se encuentren en un ambiente estéril. Debido al tamaño de los elementos del prototipo, se descarta que éste pueda ser lo suficientemente compacto como para que sea operado dentro de una campana de flujo laminar. Para minimizar el tiempo en el que las bolsas se encuentran en un ambiente que pudiera interferir con las pruebas; se utiliza un sistema modular para la inserción de las bolsas al prototipo. De esta manera, una canastilla puede ser rápidamente removido del prototipo y trasladado a una campana estéril para realizar las pruebas posteriores.

Para facilidad de limpieza y disminuir el riesgo de daño a los componentes, se determinó que el sistema de sujeción de los focos debería ser de igual manera fácilmente removible de la carcasa como un módulo independiente. De esta manera se llegó a la decisión de utilizar conexiones no permanentes que pudieran ser fácilmente conectadas.

Debido a los requerimientos de seguridad estipulados para utilizar irradiación UV, el prototipo debe encontrarse completamente sellado al momento de su funcionamiento. Se decidió utilizar un sistema que permita el acceso rápido a la cámara de esterilización donde se encuentren las bolsas y que al mismo tiempo mantuviera sellada la cámara de forma efectiva.

Parámetros de Seguridad

Para evitar accidentes de exposición UV, se consideró necesario que el prototipo proporcionara información al usuario sobre su estado. Se decidió que la manera más

sencilla para realizar esto sería un interruptor de encendido - apagado con un sistema indicador notoriamente visible.

Debido a que la mayoría de los elementos utilizados se construirían de materiales conductores, se determinó que los cables deberían ser aislados de forma permanente, erradicando así, la posibilidad de un corto circuito al entrar alguna conexión en contacto con algún elemento de otro sistema.

Tomando en cuenta la alta corriente eléctrica requerida por los focos, se tuvo extremo cuidado en la planeación del cableado. Se determinó que éste no debería de entrar nunca en contacto o cercanía con las partes móviles del prototipo para evitar posibles accidentes. De igual manera se planeó usar dos capas de aislante termofit en cada una de las uniones previamente soldadas.

3.1.3. Selección de Materiales

Acero inoxidable

Debido a que los líquidos que se planean utilizar no poseen niveles de pH menores a 6 ni mayores a 9, cualquier acero inoxidable debería resistir la oxidación. Sin embargo, se utiliza acero inoxidable austenítico serie 304 para la manufactura, por su uso generalizado para contenedores en la industria alimenticia y farmacéutica. El uso de este acero se ha popularizado debido a su baja porosidad y propiedades antibacterianas (Mangonon, 1999). Un indicador generalmente usado para determinar la capacidad de absorción de radiación de un material es su densidad. Debido a la alta densidad del acero inoxidable auténtico 304 (*Tabla 3.1*), su absorción de radiación UV será considerablemente menor que la de otros elementos (Matweb-Boyer, 1985).

El acero inoxidable austenítico serie 304 presenta la dureza y propiedades antibacterianas necesarias para la construcción de la cámara de esterilización.

Tabla 5 Propiedades de acero inoxidable 304 (Matweb-Boyer, 1985)

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	8	g/c ³
Dureza Brinell	123	N/A
Cedencia a tracción	215	MPa
Esfuerzo máximo a tracción	505	MPa
Módulo de elasticidad	193	GPa
Módulo de Poisson	0.29	N/A

Aluminio

Las partes de aluminio del prototipo no se encuentran bajo presión alguna o esfuerzos considerables, por lo que se buscan propiedades anticorrosivas y facilidad de maquinado como características principales. Los aluminios serie 1100-O y 1100-H14 son válidos para la manufactura del prototipo debido a sus características de alta resistencia a la corrosión y ataques químicos, facilidad de maquinado y de soldado en comparación con otras aleaciones de aluminio. Dependiendo del acabado, este aluminio presenta una superficie no porosa, necesaria para la esterilidad de la cámara de irradiación (Mangonon, 1999). De igual manera se presenta un muy bajo índice de absorción de radiación, propiedad determinante debido a la exposición continua a la

irradiación UV. El coeficiente de absorción de energía del aluminio es de 1.650 E-2 por cada MeV recibido; a pesar de su baja densidad. (Matweb-Holt, 1997). Los aluminios serie 1100-O y 1100-H14 poseen una baja densidad, ideal para las partes removibles del prototipo (**Tabla 3.2**).

Tabla 6 Propiedades de aluminio 1100 – O (Matweb-Holt, 1997)

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	2.71	g/cm^3
Dureza Brinell	23	N/A
Cedencia a tracción	20	MPa
Esfuerzo máximo a tracción	89.6	MPa
Módulo de elasticidad	68.9	GPa
Módulo de Poisson	0.33	N/A

Polímeros

Debido a los efectos de degradación que produce la luz ultravioleta sobre ciertos enlaces atómicos presentes en diversos polímeros (Gugumus, 1993); se descarta el uso de poli olefinas, polietilenos y polipropilenos en el diseño del prototipo.

Los grupos moleculares que contienen enlaces entre dos átomos de carbono (C=C) o los carbonilos (C=O) son comunes en una gama extensa de polímeros, no solo como parte de su composición molecular, sino que también se encuentran presentes en las impurezas generadas al ser procesados. Estos enlaces son capaces de absorber la energía de la radiación UV produciendo un deterioro en su estructura

interna que se ve claramente reflejado en el decremento de las propiedades mecánicas de los materiales en cuestión (Marston, 2005). Como se demuestra en el trabajo de Marston, la dureza mecánica de los polietilenos puede reducirse a través de la formación de micro fracturas, hasta en un 65% a lo largo de un periodo de un año al ser expuestos a una dosis de radiación UV solar estándar a la intemperie. Se demuestra que la resistencia al impacto en el PVC (cloruro de polivinilo) y polímeros similares sufre de igual manera un deterioro rápido cuando éstos se encuentran expuestos a radiación UV. (Decker, 1985)

La irradiación necesaria para el objetivo del proyecto (48 microW/cm^2) es varias veces mayor a la irradiación solar a la intemperie, por lo tanto, no se puede utilizar cualquier tipo de polímero para la construcción del prototipo. Aún cuando ciertos polímeros reaccionan de manera diferente a la irradiación UV, dependiendo del índice de absorción, el uso de polímeros en el prototipo es inadecuado.

3.2. NECESIDADES

Las necesidades primarias del producto diseñado se obtuvieron a partir de los objetivos y la justificación de la construcción de un prototipo con este fin, así como los resultados de las pruebas preliminares. Sin embargo las necesidades secundarias se obtuvieron de una lluvia de ideas después de analizar los factores determinantes, parámetros de uso y medidas de seguridad necesarias para el proyecto.

En la **Tabla 3.3**, se pueden observar las necesidades encontradas y la jerarquización que les fue asignada, siendo 1 la mayor jerarquía; es decir, la de mayor importancia de cada necesidad al proyecto.

Tabla 7 Necesidades y jerarquía.

<i>Núm. de Necesidad</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Jerarquización</i>
1	Rapidez al retirar las bolsas	1
2	Estabilidad del prototipo	5
3	Indicador de encendido	2
4	Protección de los focos UV	3
5	Repetidos ciclos de uso	4
6	Mínima distancia entre elementos	1
7	Metales en la cámara de esterilización	2
8	Compartimento separado para electrónica	4
9	Arreglo radial de los elementos	1
10	Sellado de la cámara de esterilización	2
11	Limpieza fácil	5
12	Fácil de instalar	5
13	Arnés de sujeción de bolsas ligero	3
14	Uso de tres focos	1
15	Cableado organizado	5
16	Protección contra descargas eléctricas	3
17	Bordes redondeados	4
18	Sujeción firme de los elementos	5
19	Cables aislados	4

20	Esterilidad en la cámara	I
21	Irradiación óptima	I

Las necesidades encontradas fueron entonces organizadas en 3 diferentes criterios para determinar claramente las prioridades del proyecto. No se utilizaron los costos como un criterio, ya que la disponibilidad de materiales y maquinaria dio por resultado que el presupuesto fuera mayor que el necesario.

Tabla 8 Criterios y Necesidades.

<i>Criterio</i>	<i>Necesidades</i>
Seguridad	Esterilidad en la cámara Indicador de encendido Estabilidad del prototipo Sellado de la cámara de esterilización Cableado organizado Protección contra descargas eléctricas Cables aislados Bordes redondeados
Funcionalidad	Irradiación óptima Rapidez al retirar las bolsas Mínima distancia entre elementos Limpieza fácil Arnés de sujeción de bolsas ligero Uso de tres focos Cableado organizado Sujeción firme de los elementos

	Arreglo radial de los elementos Compartimento separado para electrónica Fácil de instalar Esterilidad en la cámara
Resistencia	Esterilidad en la cámara Estabilidad del prototipo Protección de los focos UV Metales en la cámara de esterilización Compartimento separado para electrónica Limpieza fácil Cableado organizado Protección contra descargas eléctricas Bordes redondeados Sujeción firme de los elementos Cables aislados

3.3. ESPECIFICACIONES

Las necesidades se ajustan a una lista de métricas que permite evaluar el grado en el cual el prototipo se ajusta a las necesidades del proyecto. A partir de la lista de métricas se reconoce que el peso del prototipo no es un parámetro determinante en el diseño como lo es utilizar los materiales requeridos y asegurar la mínima distancia entre los elementos.

Los valores para el tiempo de vida útil se obtuvieron utilizando un factor de seguridad de 0.8 sobre el tiempo de vida estándar de los focos UV. De forma similar, el valor mínimo de la altura de la cámara de esterilizado se estima utilizando la altura de los focos (444.5 mm, *Anexo I*) agregando 50 mm para acomodar las pastillas conectoras de 20 mm de altura cada una.

El radio de la base se estimó utilizando un factor de seguridad de 1.5 a la longitud estándar de las bolsas de suero a utilizar, así obteniendo un valor mínimo de 150 mm. Como valor marginal se utilizó la longitud estándar de las bolsas de suero. Se comprobó que éste valor fuera mayor a 1/6 de la altura marginal de la cámara de esterilizado para que éste se mantuviera estable.

El valor máximo de la distancia entre los elementos fue establecido utilizando la relación empírica encontrada en la sección “6.2.2 Factores Geométricos” encontrando que la intensidad disminuye por debajo de los niveles deseados después de los 5 cm de distancia.

Para resistir la corriente de 0.34 A a 54 V utilizada por los balastos de los focos UVC se decidió utilizar como valor marginal cable calibre 18. Para aumentar la seguridad y el tiempo de vida se usó como valor ideal el cable calibre 14.

El espesor de los tubos utilizados para la manufactura del arnés de sujeción se obtiene utilizando el peso promedio de las bolsas de suero y la distancia al punto de unión de los tubos; la cual es la mitad de la longitud de la bolsa (50 mm). Se utiliza el momento generado ya que la soldadura en tubos de pequeño espesor es el punto más

débil. Se utilizan entonces tubos de 1/6” de diámetro que son capaces de soportar el momento generado por las bolsas de aproximadamente 1 kg.

El número de ciclos sin mantenimiento se obtiene a partir de un aproximado del número de pruebas posteriores que se realizan con el prototipo utilizando 4 tipos de bolsas diferentes, 3 tiempos de exposición, 3 temperaturas de almacenamiento, 3 sustancias y 2 tipos de bacterias. Sumando un total de 324 pruebas; ésta se redondeó a 350 pruebas.

Las partículas de tamaño mayor a 20 nanómetros son capaces de albergar bacterias en su interior, así evitando su inactivación con irradiación UV. Debido a esto se decidió utilizar materiales cuya porosidad mínima no excediera los 19 nanómetros.

Tabla 9 Listado e importancia de métricas

Métrica	Número de Necesidad	Importancia	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal
Tiempo para retirar los empaques	1,10,20	2	s	10	5
Tiempo para colocar los empaques	10,11,12	3	s	15	10
Distancia entre elementos	6,9,14,21	1	cm	5	2
Espesor de sistema de sujeción	9,14	2	pulgadas	1/8	1/4
Tiempo de desensamble (para limpieza)	1,15,17	5	s	120	min
Masa total	2,7	5	kg	20	15
Rádío de la base	2,9,14	1	mm	100	150
Tiempo de vida útil	4,5,7,12,18,19	3	horas	7200	max
Ciclos de esterilización sin mantenimiento	11,18	4	#	350	max
Espesor de Cableado	15,18,19	3	calibre	14	12
Altura de la cámara de esterilizado	2,11,18	1	mm	495	550
Voltaje de toma de corriente	16	3	Volts	max 130	120
Voltaje máximo en balastos	16	4	Volts	60	54
Corriente máxima en cada foco	16	3	Amps	0.37	0.34
Porosidad máxima de materiales	7,20	2	nm	19	min

Finalmente los valores se enlistan en la **Tabla 3.5** de métricas donde se relacionan a un valor de importancia. De esta manera, la toma de decisiones entre opciones mutuamente excluyentes se realiza con base en importancia de las métricas.

3.4. GENERACION DE CONCEPTO

El concepto final se genera a partir de la combinación de los conceptos que se eligen a partir de las necesidades. (*Tabla 3.6*)

Tabla 10 Lista de Conceptos

<i>Necesidades</i>	<i>Conceptos</i>
Facilidad de mantenimiento	Sistema modular de tres partes
Facilidad de acceso	Acceso vertical Cierre tipo escotilla
Cercanía de elementos	Arreglo radial de los elementos
Indicador de encendido	Interruptor con foco indicador
Estabilidad	Peso elevado y amplio diámetro de base
Protección de los cables	Canaletas para cableado Caja para circuitos Conectores tipo jumpers para fácil cambio de cableado.
Aislamiento de cables	Canaletas flexibles Termofit en las uniones de cables
Optimización de irradiación UV	Alineación de los ejes de simetría de los elementos
Protección a focos	Sistema de sujeción de los módulos
Módulo para bolsas de suero	Construcción de barras de aluminio

con poco peso	
Sellado de la cámara de irradiación	Cierre borde a borde y excedente en tamaño de tapa

Se elige un sistema modular de tres partes que embonan entre si de forma sencilla, para restringir la libertad de movimiento de forma horizontal en todo momento y de forma vertical cuando éste se encuentre cerrado. De esta manera se protegen los focos. Se utiliza un acceso vertical para aprovechar los ejes de simetría de las bolsas de suero e irradiarlas de forma homogénea. Como se menciona en el estudio de factores geométricos, se utiliza un diseño radial para irradiar tres bolsas por ambos lados simultáneamente, utilizando tres focos.

Debido a que el uso de polímeros en el interior de la cámara de esterilización resulta en la degradación de éstos; no se usan empaques para el sellado de la cámara. El sellado borde a borde entre las paredes de la cámara y la tapa de acero inoxidable evita que se filtre la radiación al exterior de la cámara. Como medida de seguridad, se usa una tapa de mayor tamaño donde el excedente en los bordes de 2 cm evita que se filtre la radiación. El sellado se garantiza al utilizar un sistema de cierre tipo escotilla que presiona los bordes hacia la tapa. De esta manera se identifican indentaciones donde el cierre no sea borde a borde para posteriormente lijar las superficies en contacto.

Se utiliza un diseño de cámara cilíndrica para mantener el espacio radial sobre el cual se dispondrían los distintos elementos. Éste diseño distribuye el peso de forma simétrica y provee mejor estabilidad. Además elimina la posibilidad de que las piezas

se suelden a ángulos distintos a 90 grados. De igual manera, el material utilizado se optimiza al minimizar el área de la carcasa y se requiere tan solo un cordón de soldadura para unir las paredes. La forma cilíndrica de la cámara se asegura al utilizar la base circular como plantilla para el rolado de las paredes..

4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

4.1. DESCRIPCIÓN DE ENSAMBLE

El prototipo se conforma de 5 subsistemas: cámara de irradiación, sistema UV, módulo de bolsas, sistema de cierre y módulo de electrónica (*Figura 7*).

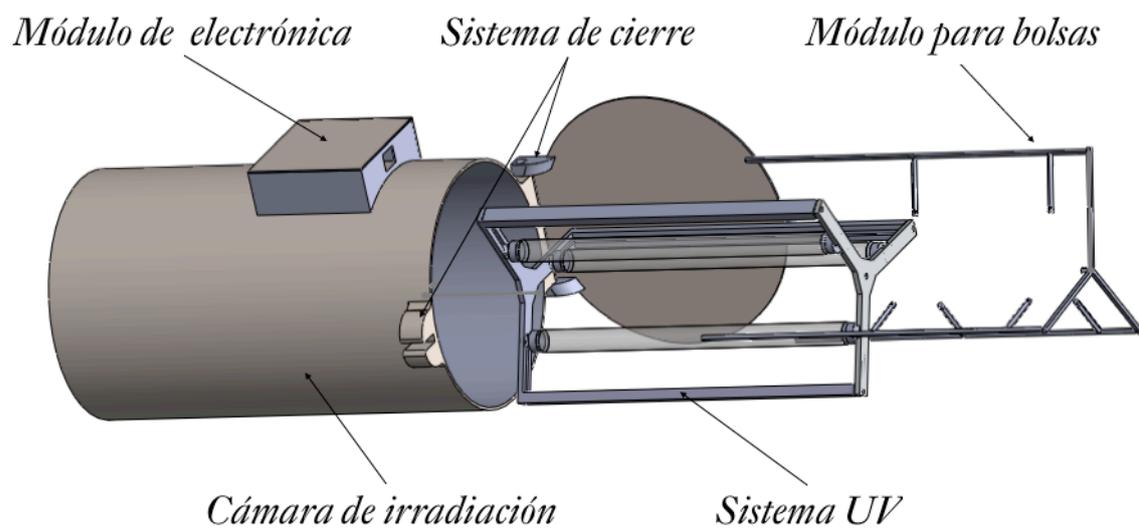


Figura 7 Diagrama explosivo de los subsistemas realizado en CAD.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS

4.2.1. Cámara de irradiación

Elemento principal del prototipo, base para los demás subsistemas, y protección para mantener la radiación UV en el volumen designado. La cámara de irradiación tiene una geometría cilíndrica con una altura de 506.35 mm fabricada en lámina de acero inoxidable AISI 304 calibre 16 (1.52 mm). El fondo de la cámara de irradiación está fabricada en acero inoxidable AISI 304 de ¼” y tiene un diámetro de 300 mm.

En la parte superior de la cámara se encuentra el soporte para la bisagra de la tapa. El soporte tiene una 141.36 mm de longitud que sigue el contorno radial del exterior de la pared del tanque (*Figura 8, Figura 13,a*). En la parte superior del soporte se encuentran dos pestañas cuadradas de 20.63 mm, una en cada extremo del soporte. Las pestañas tienen con un barreno de ½” (*Figura 9*). En el lado opuesto del tanque se encuentra una guía para el sistema de cierre. En el interior de la cámara hay tres soportes de 30·20 mm en ángulos de 60 grados para acomodar el sistema UV (*Figura 8*). Las pestañas, el soporte y la guía son fabricados en acero AISI 304 de ½” de espesor.

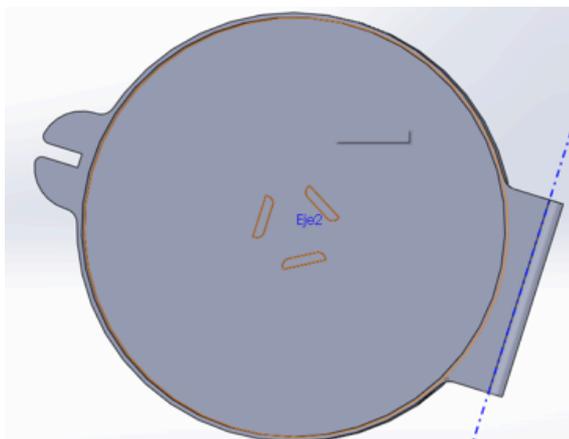


Figura 8 Dibujo realizado en CAD de los soportes de la cámara de esterilización.

La tapa de la cámara tiene una geometría circular con una sección plana donde se encuentran dos soportes cuadrados de 20.63 mm de longitud con barrenos de 1/2"; mismos que sirven como bisagra para permitir el movimiento de la tapa. Los soportes y la tapa son fabricados en acero inoxidable AISI 304 (**Figura 9**).

En el extremo opuesto de la tapa hay dos soportes de 10·30 mm con un barreno de 1/8" ambos fabricados en acero inoxidable AISI 304 de 1/4" (**Figura 12**). La curvatura de la lamina se obtiene con una roladora manual ajustable. Se sueldan las partes con una máquina tipo TIG de marca Lincoln Electric (Square Wave TIG 35) usando argón como medio inerte y alambre de acero calibre 14 como material de aporte. Los soportes se redondean en un esmeril para evitar su interferencia con el cierre y apertura de la cámara.



Figura 9 Imagen de cámara y tapa y sistema de cierre.

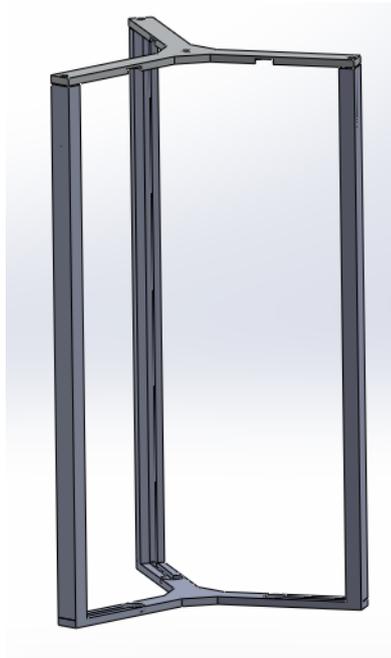
4.2.2. Sistema UV

Sistema central del prototipo que protege a los focos UV, mantiene en posición el módulo para las bolsas y acomoda el cableado de forma ordenada dentro del prototipo. El sistema esta fabricado en aluminio serie 200 de ½”.

El sistema UV está constituido por tre prismas rectangulares de 446.35 mm de longitud y 20 mm de ancho, así como dos piezas de forma triangular mostradas en la figura **10,a**. Las piezas triangulares tienen ángulos de 120 grados entre si, así formando equidistancia radial. Los prismas están unidos a una de las bases con soldadura y a la otra con tornillos de 1” de rosca fina diámetro 3/16”. La pieza triangular superior tiene un barreno de 1/8” en su centro, que sirve como guía para el módulo de sujeción de bolsas.

En el lado interior de cada una de las piezas que forman el sistema UV, hay canaletas de 4 mm de profundidad y de ¼” de ancho; como se muestra en la **Figura 9**. En las bases se hicieron hendiduras de 6 mm de profundidad y 1” de diámetro para acomodar las pastillas de conexión a los focos (**Figura 10,b**).

Se usa soldadura autógena de soplete y barra de 1/8” de aluminio serie 200 como material de aporte. Tanto las barras como las bases triangulares se maquinan con una fresadora vertical convencional con diferentes cortadores y brocas de acero de alta velocidad (**Anexo 3**). Los bordes afilados y rebabas resultantes se esmerilaron y lijaron para mantener un buen acabado. (**Figura 10, Anexo 2**)



a)



b)

Figura 10 a) Dibujo realizado en CAD del módulo de sujeción de focos

4.2.3. Módulo de sujeción de bolsas

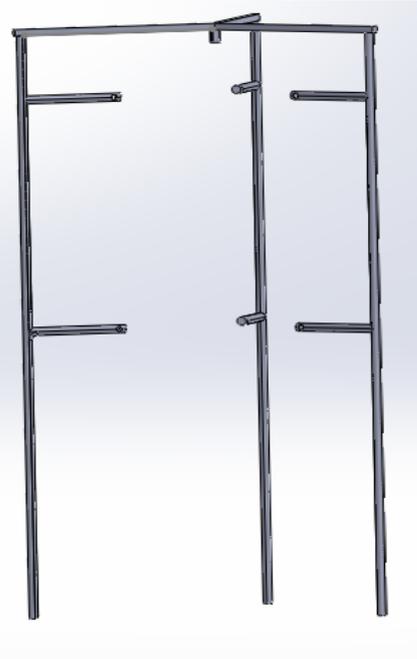
Parte del sistema cuya función es mantener las bolsas en la posición ideal para que la irradiación sea homogénea a lo largo de éstas. De igual manera permite remover y transportar las bolsas de forma sencilla (**Figura 11,a**). El módulo está fabricado de aluminio serie 200; el soporte principal se obtuvo de una placa de $\frac{1}{4}$ " y las demás partes se obtienen de una barra de sección circular de $\frac{1}{8}$ ".

Las medidas de las barras principales son 420 mm mientras que las barras de sujeción de bolsas tienen una longitud de 71 mm, como se observa en el **Anexo 2**. Los barrenos en los extremos de éstas tienen un diámetro de $\frac{1}{32}$ " (**Figura 11,b**).

Se usa soldadura autógena de soplete sin material de aporte. La parte superior del módulo de bolsas se corta con la maquina Mach 4. Por otra parte, se utiliza una segueta para cortar el resto de los componentes. Los bordes afilados y puntas de barras se esmerilan y lijan para mantener un buen acabado. (*Figura 11, Anexo 3*)



a)



b)

Figura 11 a)Imagen de las bolsas sujetas al módulo antes de ser sometidas a irradiación UV.

b)Dibujo realizado en CAD de el módulo de sujeción de bolsas

4.2.4. Sistema de cierre

Sistema cuya función es mantener cerrada la cámara de esterilización, así evitando que se filtre la radiación UV hacia el exterior. De igual manera este sistema asegura que los elementos permanezcan en posición durante el traslado del equipo. Este sistema está compuesto por la bisagra de la tapa mencionada anteriormente y el sistema de cierre frontal compuesto por los soportes de la tapa y la guía al frente del tanque (*Anexo 6*). La bisagra está unida por un tornillo de 8" de longitud y 3/8" de diámetro el cual solo tiene 1" de rosca en su extremo. Se insertan 2 rondanas de 1/2" a cada lado del tornillo para ajustar el movimiento (*Figura 9*).

El sistema de cierre frontal se compone por un tornillo de 2" de longitud y 3/16" de diámetro con tuerca de seguridad el cual se inserta en los soportes de la tapa y aloja a su vez una armella de 2.5" de longitud y 3/16" de diámetro. La armella contiene una rondana de 1/2" y una tuerca de mariposa. Ajustando la mariposa, es posible sellar la tapa al empujar la rondana hacia la guía fija en la cámara de irradiación. (*Figura 12*)



Figura 12 Imagen del sistema de cierre frontal.

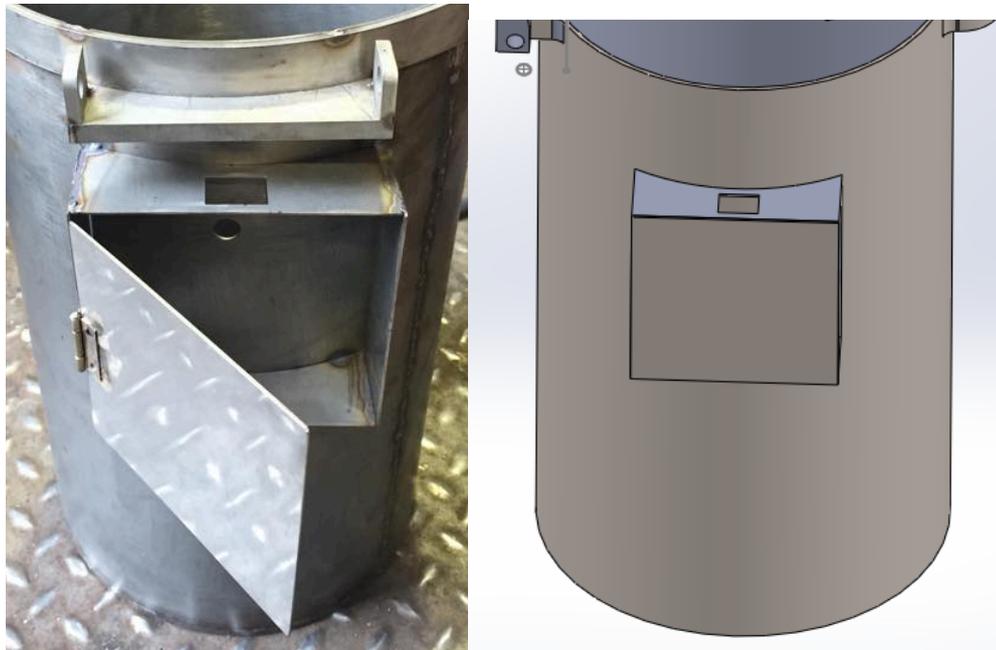
4.2.5. Módulo de electrónica

Elemento del sistema que aloja los balastros, cableado e interruptor de encendido de manera ordenada fuera de la cámara de esterilizado para su protección de la irradiación (*Anexo 8*).

La caja consta de 5 piezas de lámina de acero inoxidable AISI 304 calibre 20. Cuatro de éstas piezas siguen el radio de la cámara de irradiación, formando una caja de 150·150 mm con 55.1 mm de capacidad en su parte más ancha (*Figura 13*). Del mismo material y espesor, una tapa se une con una bisagra. La tapa se mantiene cerrada al embonar a presión (*Anexo 5*).

Se usa corte con chorro de agua para obtener las piezas. Se sueldan las partes a la cámara de esterilizado con una máquina tipo TIG Lincoln Electric usando argón

como medio inerte y alambre de acero calibre 14 como material de aporte. Se utiliza soldadura eléctrica de punto para unir la bisagra de gabinete a ambas partes (**Figura 13**).



a)

b)

Figura 13 a) Imagen de la caja para balastros con tapa

b) Dibujo realizado en CAD donde se observa la caja para balastros cerrada.

Las conexiones permanentes del cableado se realizan con soldadura de estaño utilizando un cautín de 127 V. Los extremos expuestos son después aislados utilizando cinta termofit la cual se fija en su posición final utilizando el mismo cautín. Los cables son cortados y sus extremos expuestos utilizando pinzas de punta para electrónica (**Figura 14**).



Figura 14 Imagen del equipo encendido mostrando el cableado antes de instalar las canaletas.

4.3. ENSAMBLAJE DE LOS SISTEMAS

Se utiliza un sistema de sujeción vertical para los focos que sujeta las pastillas G13 que alimentan los focos. Para evitar que las conexiones se dañen o desconecten accidentalmente al introducir o retirar el módulo de sujeción de bolsas, se utiliza sistema de canaletas en el interior del sistema UV para alojar y mantener el cableado ordenado. (*Anexo 2, Anexo 3, Figura 4.8*)

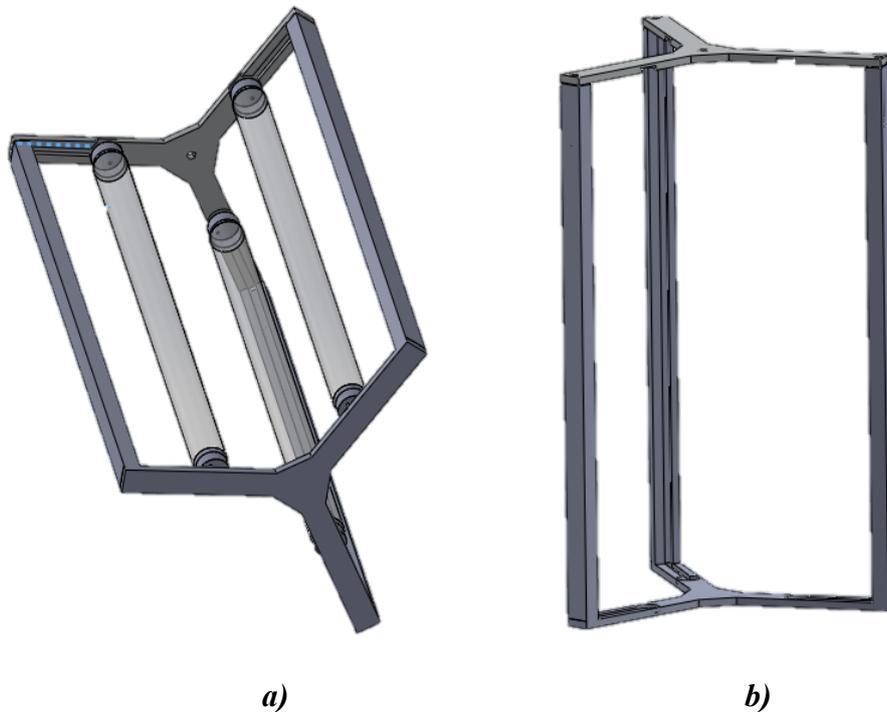


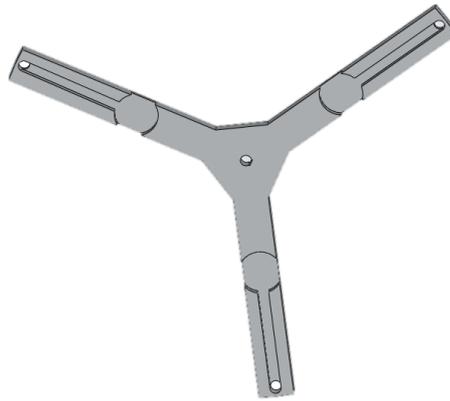
Figura 15 a) Dibujo realizado en CAD del sistema UV con focos.

b) Dibujo realizado en CAD del módulo del sistema UV donde se muestran las canaletas para cableado.

Para asegurar que la canastilla de bolsas permaneciera en su lugar y que las bolsas mantengan su posición para su esterilización, se utiliza un sistema macho-hembra donde la canastilla embona encima sistema UV. El diámetro del ajuste es de 1/8" (*Figura 4.9*).



a)

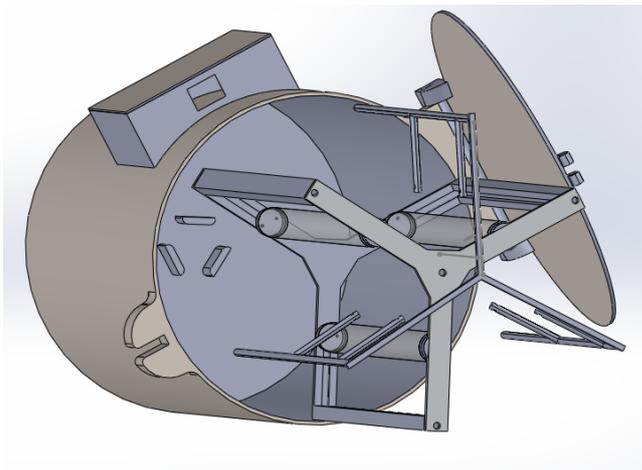


b)

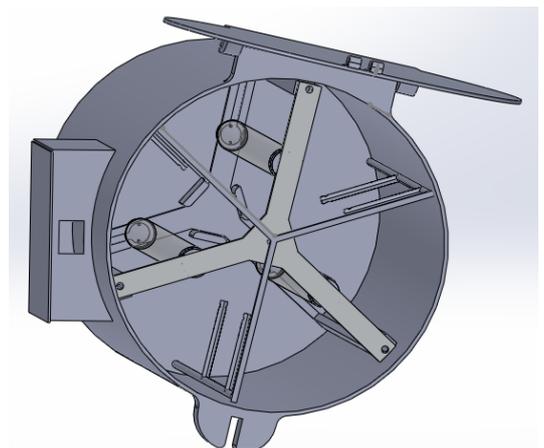
Figura 16 a) Dibujo realizado en CAD mostrando el ensamble del sistema UV con focos y el módulo sujeción de bolsas.

b) Dibujo realizado en CAD mostrando el interior de la parte superior del sistema UV.

Para restringir el movimiento del sistema UV, se utilizan guías en la parte interior de la cámara de esterilización, así evitando el movimiento indeseado de los sistemas durante su transporte (**Figura 17**).



a)



b)

Figura 17 a) Dibujo realizado en CAD mostrando el explosivo de los sistemas de sujeción de focos, módulo para bolsas y la cámara de esterilización.

b) Dibujo realizado en CAD mostrando el ensamblado final de los sistemas de sujeción de focos, módulo de sujeción para bolsas y la cámara de esterilización.

El ensamble en posición final de los 3 módulos, incluyendo el sistema de cierre y la caja exterior para electrónicos, se puede apreciar en la *Figura 7* y el *Anexo 8*. El orificio que encuentra sobre ésta es el espacio designado para el interruptor de encendido/apagado. Para evitar errores de diseño y modelar de forma precisa el ensamblaje de las piezas y elementos, se usa dibujo en CAD en tercera dimensión de los focos.

4.4. IMPLEMENTACIÓN

Las primeras pruebas consisten en ensamblar las partes mecánicas del equipo y de forma empírica observar errores de diseño.

- Tras la construcción de la cámara de esterilización fue evidente que la estabilidad y forma cilíndrica de la carcasa del prototipo se encontraba comprometida por el espesor de 1.52 mm de la lámina utilizada.
- Se asumió erróneamente que las pastillas de conexión G13 utilizadas por los focos Philips TUV 15 W / 1SL (*Anexo I*) mantenían un estándar de dimensiones homogéneas estricto. Cuando en realidad las tolerancias de éstas piezas resultaron variar hasta en 3mm.
- Se produjo un error al embonar las piezas ya que no se tomaron en cuenta las tolerancias utilizadas por la maquina de corte en agua (+/- 0.5mm) por lo que la tornillería adquirida no embonó dentro de los barrenos realizados por este medio.
- Se asumió que las canaletas realizadas en el aluminio serían suficientes para mantener el cableado organizado y en su lugar, sin embargo esto resultó ser incierto y algunos tramos de cableado se encontraban peligrosamente cerca del módulo para bolsas. Al insertar o remover el módulo para bolsas, claramente existía la posibilidad de desconectar un cable.

4.5. AJUSTES AL SISTEMA

A continuación se describe detalladamente de forma comparativa, el proceso de construcción y modificaciones realizadas. De igual forma se describen las implicaciones de cada modificación realizada a posteriori del ensamble de los módulos.

Cámara de irradiación

Para reforzar la estructura, se corta una solera de 2.5x97.4 cm que posteriormente se rola para ajustar un diámetro de 31 cm y se suelda en la parte superior de la carcaza a manera de cinturón de soporte. El acabado final puede ser observado en la **Figura 18**. El sistema de cierre frontal se desplaza 2.5 cm hacia abajo sobre el eje vertical. Se utiliza una armella con una longitud agregada de 1". Debido a que la armella de mayor tamaño presenta un radio mayor en su parte cóncava, se esmerila aproximadamente 1 mm de su borde exterior para que el sistema cierre sin atorarse.



Figura 18 Imagen del sistema de cierre con cinturón de refuerzo.

Sistema UV

Debido a que las pastillas G13 varían en dimensiones, se incrementa la longitud de los tornillos que fijan el sistema de sujeción a 1.5" y se agregan hasta 6 rondanas planas de 1/8" entre el soporte inferior y el superior para alojar los focos sin que estos sufrieran esfuerzos de compresión.

Módulo de electrónica

Las canaletas del Módulo UV mantienen los cables organizados y fuera del espacio designado para las bolsas. Sin embargo, los cables aun se encontraban desprotegidos entre el módulo de electrónica y el módulo UV por lo que se utilizó un organizador de cables se dos túneles para mantener los cables separados y asegurar que estos no causaran interferencia alguna al insertar o extraer el módulo de bolsas.

4.6. RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN

Se realizaron pruebas de montaje y desmontaje del sistema con varias repeticiones por parte de un usuario para asegurar la facilidad de uso y durabilidad. La retroalimentación del usuario reporta que el prototipo es estable y no presenta balanceo alguno durante su operación. La tapa de la cámara de irradiación, en conjunto con el sistema de cierre tipo escotilla permiten cerrar la cámara por completo sin fugas. Los módulos embonan de forma sencilla y no presentan interferencia entre ellos ni con el funcionamiento de los demás sistemas. El prototipo sellado se activa durante intervalos de tiempo mayores a 5 minutos con todos los módulos en su interior sin presentar problemas en su funcionamiento.

Para evaluar la reducción de la carga microbiana, se realizó la irradiación de suero intravenoso, leche y jugo de manzana clarificado contenidos en bolsas poliméricas de 250 ml. Siguiendo la secuencia de la prueba microbiológica (**Figura 19**), se realiza un conteo en una caja de Petri de unidades formadoras de colonias por ml (UFC/ml). Para evaluar la carga microbiana se realiza conteo de las muestras tomadas antes y después del tratamiento.

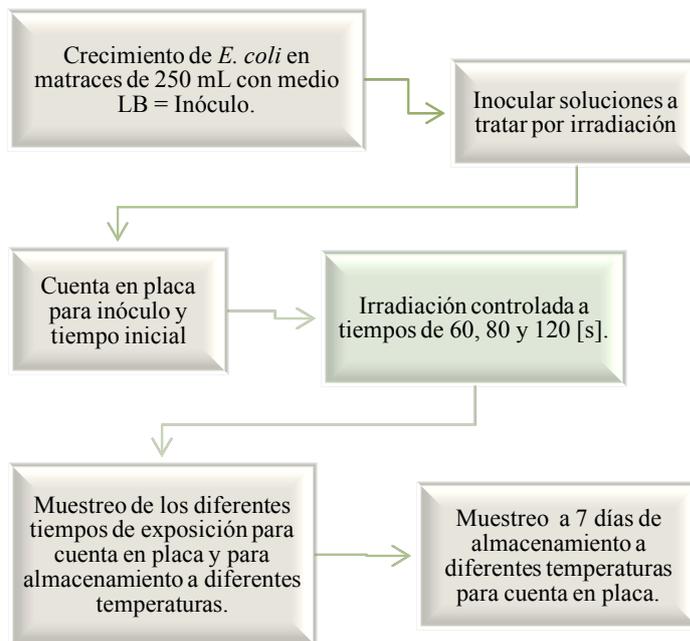


Figura 19 Diagrama de secuencia de la prueba microbiológica.

Las soluciones fueron inoculadas con una concentración 6×10^8 UFC de *E.coli*, previo al tratamiento de irradiación UV (**Figura 20**).



Figura 20 Imagen de los matracas donde se creció *E. coli* en medio LB por 8 horas a 30°C.

El módulo de sujeción de bolsas se cargó con las bolsas inoculadas y se introdujo en la cámara (**Figura 21**), se cerró y activó la radiación UV por los tiempos de exposición obtenidos en la prueba preliminar (60, 80 y 120 segundos).

El diseño radial del prototipo mantuvo en su lugar las bolsas y focos durante el proceso de irradiación.



Figura 21 Canastilla con las soluciones sometidas a irradiación UVC.

El acceso a la cámara de irradiación predispone que el prototipo se encuentre posicionado a nivel del suelo, volviendo así la apertura de éste incómoda a causa de la posición del sistema de cierre de mariposa. No se encontró alguna otra dificultad de uso en el prototipo y ninguno de sus componentes fue dañado durante pruebas y transporte.

Una bolsa con cada solución tratada se almacenó 7 días a tres temperaturas de anaquel: 4°, 25° y 37°C. Después de este tiempo se realizó el de nuevo se hizo cuenta en placa para evaluar sobrevivencia de carga microbiana después del tratamiento. Por conteo se logra obtener los órdenes de magnitud de reducción y se compara con los recomendados para sanitación, pasteurización o esterilización. Los resultados del conteo de UFC/ml se muestran en la **Tabla 4.14**.

Tabla 11 UFC/ml de las pruebas de concepto con leche y suero dosificado en bolsas de polipropileno de 250 ml.

tiempo de irradiación [segundos]	t_o	60	80	120
UFC/ml				
Suero	3 (10 ⁸)	1.7 (10 ⁷)	2.0 (10 ⁶)	4.6 (10 ⁵)
Leche	3 (10 ⁸)	3 (10 ⁸)	1.4 (10 ⁷)	5 (10 ⁶)

*Inóculo: 6 (10⁸) UFC

La irradiación por 120 segundos, administrando una dosis de 57.6 J/m² en contacto directo con los focos UV, logra disminuir dos ordenes de magnitud. Los resultados del conteo de colonias en las cajas Petri de las muestras tomadas 7 días después de la irradiación UV muestran disminución considerable de las colonias de bacterias en las bolsas irradiadas. Con respecto al jugo de manzana, no se observó crecimiento de colonias. Se atribuye la inactivación del *E.coli* al nivel de pH del jugo de manzana (9-10) que no permitió la proliferación de *E.coli* mientras que las muestras de leche presentaron a los 7 días de almacenamiento no sólo crecimiento de *E. coli* sino también mostraron contaminación, debido al manejo durante la toma de muestra y a que la leche es un medio rico para su reproducción. En la **Tabla 11** se presentan resultados de UFC/mL a 4°C y 25°C. No se incluyeron los resultados de las muestras almacenadas a 37°C ya que a fue imposible realizar el conteo de las colonias de *E.coli* debido a la contaminación existente por el crecimiento de otras colonias de bacterias.

Las muestras irradiadas por 60 y 80 segundos que se almacenaron a una temperatura de 25°C, duplicaron su carga microbiana inicial en el periodo de 7 días. Mientras que las muestras irradiadas por 120 segundos no mostraron un incremento en el número de colonias después de 7 días de almacenamiento a 25°C. Como se puede observar en la **Tabla 12**. Las muestras irradiadas por 120 segundos que fueron almacenadas a 4°C mostraron una reducción de la carga microbiana de $3(10^8)$ a $1.5(10^7)$ en la muestra de suero intravenoso y de $3(10^8)$ a $8(10^7)$ en la muestra leche. En la muestra de suero intravenoso se alcanzó una reducción del 95% y en la muestra de leche del 73% en comparación con la carga microbiana de la muestra sin irradiar en el momento de su inoculación.

Tabla 12 UFC/ml de las pruebas de concepto con leche y suero dosificado en bolsas de polipropileno de 250 ml Almacenadas a 4° y 25°C por 7 días.

tiempo de irradiación [segundos]	60		80		120	
	4°C	25°C	4°C	25°C	4°C	25°C
Temperatura almacenamiento						
	UFC/ml					
Suero	$1.5(10^7)$	$1.7(10^7)$	$1.0(10^6)$	$2.1(10^7)$	$3.2(10^5)$	$4(10^6)$
Leche	$8(10^7)$	$6(10^7)$	$4.8(10^7)$	$1.8(10^7)$	$1(10^5)$	$3(10^7)$

CONCLUSIONES

Se probó la funcionalidad del prototipo como elemento para la realización de pruebas de irradiación UV; reduciendo la carga microbiana en la prueba de concepto, así como tener facilidad de uso y durabilidad.

El prototipo es muy estable para realizar las pruebas. Esto se logra con el peso de los materiales utilizados, en conjunto con el área de la base de la cámara de irradiación.

La tapa de la cámara de irradiación, en conjunto con el sistema de cierre tipo escotilla logran cerrar la cámara por completo. Los módulos embonan de forma sencilla y sin interferir con el funcionamiento de los demás sistemas.

Como resultado de las pruebas del concepto, se encontraron algunos inconvenientes tales como que el sistema de cierre debió haberse diseñado de forma invertida, posicionado la mariposa en la parte de arriba en vez de abajo, para facilitar el acceso a la cámara.

De igual manera, los sistemas del prototipo embonan de forma sencilla y no presentan interferencia alguna entre ellos.

El tratamiento con UV logra la reducción en la carga microbiológica en dos órdenes de magnitud en leche y tres órdenes de magnitud en suero, después de la exposición a 120 segundos a la luz ultravioleta, y mantiene esta población durante el almacenamiento a 4°C. Sin embargo, con los tiempos utilizados aún no se logra un nivel de esterilización, lo que requiere un estudio más detallado, considerando el empaque y los fluidos de trabajo y los tiempos de irradiación.

Se concluye que se requiere de un mayor tiempo de irradiación que el definido en la prueba preliminar ya que existe una distancia entre el foco y la bolsa que reduce la intensidad de la irradiación UV recibida. De la misma manera influye el grosor de las paredes del empaque.

El prototipo y las pruebas realizadas son escalables, sólo que hay que considerar que la distancia entre focos y bolsas sea constante. así como mantener el diseño radial donde cada bolsa es irradiada directamente por dos focos, uno de cada lado, se podrá incrementar la cantidad de bolsas a irradiar por tratamiento.

TRABAJO A FUTURO

Realizar pruebas con distintos tiempos de exposición a manera de modelar la relación dosis/reducción de carga microbiana modificando los parámetros:

- Material de bolsa
- Solución
- Carga microbiana inicial

Es necesario que los materiales utilizados con éstos métodos de esterilización cumplan con ciertos niveles de porosidad, impermeabilidad y acidez, entre otros. (Berry, 2012) Sin embargo, siendo la irradiación UV un método relativamente nuevo, la información sobre polímeros expuestos a éste tipo de esterilización es aún reducida. (Morton, 2014)

Debido a la falta de información sobre los efectos de la radiación UV con las especificaciones utilizadas para otros métodos de esterilización, incluyendo gama e irradiación de electrones, se deberán realizar pruebas post-irradiación en un espectrómetro de yodo. De esta manera sería posible medir la cantidad de cloruros desprendidos de los polímeros del empaque hacia los contenidos de las bolsas irradiadas. En las reglamentaciones de seguridad EN 868 se especifica que las medidas ISO 9197 y ISO 9198 pueden ser utilizadas para medir los cloruros y sulfatos solubles en agua.

Dependiendo de la composición polimérica de los materiales utilizados en las bolsas, podría ser necesario realizar otro tipo de pruebas para determinar si se liberó alguna composición nociva derivada del proceso de irradiación UV.

Los componentes del prototipo no se encuentran en contacto directo con los fluidos, por lo que no fue estrictamente necesario utilizar aceros inoxidable de grado alimenticio en su construcción y se consideró aceptable para las pruebas de concepto realizadas. Como los objetivos planteados fueron alcanzados, la construcción a futuro de un segundo prototipo con materiales grado alimenticio se tiene contemplada para la realización de pruebas con más parámetros. De igual manera, se debe tomar en cuenta la ergonomía como parámetro en la construcción de un nuevo prototipo para facilitar su uso; en específico agregando una manija al módulo de bolsas.

Debido a que se encontró que el módulo de sujeción de bolsas se comporta de manera endeble al estar cargado a su totalidad, será necesaria la construcción de uno nuevo utilizando las mismas medidas pero un material con mayor rigidez; se propone el uso de acero inoxidable.

REFERENCIAS

1. Anon (1975) Requirements for the irradiation of food on a commercial scale. STI/PUB/394. IAEA, Vienna
2. Akishev, Y., Grushin, M., Karalnik, V., Trushkin, N., Kholodenko, V., Chugunov, V., Kireev, G. (2008). Atmospheric-pressure, nonthermal plasma sterilization of microorganisms in liquids and on surfaces. *Pure and Applied Chemistry*, 80(9), 1953–1969.
3. Barbosa Canovas, G.V., Gongora-Nieto, M.M., Rodriguez, J.J. and Swanson, B.G. (2011) *Nonthermal processing of Foods and Emerging Technologies, Food Engineering – Vol. III*, ©Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
4. Barbosa-Cánovas, G.V. and D. Bermudez-Aguirre. 2010. Other milk preservation technologies: ultrasound, irradiation, microwave, radio frequency, ohmic heating, ultraviolet light and bacteriocins. In: *Improving the safety and quality of milk*, vol. 1, M. Griffiths, ed. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
5. Berry, C., & Harding, L. (2012). Validation of Test Methods for Characterizing and Specifying Materials Used in the Construction of Sterilization Packaging. *Packaging Technology and Science*, 26, 115-124.
6. Boyer, H., Gall, T., (1985). *Metals Handbook*, Materials Park, OH. Eds. American Society for Metals
(<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da>)

7. Block, S. (1983). Principles of Activity. In Disinfection, sterilization, and preservation (3rd ed., pp. 88-95). Philadelphia: Lea & Febiger.
8. Cazaux, G.(2010). "Standards and requirements for raw milk products set by the U.S., its major cheese importers and international bodies."
9. Cheftel, J.C. (1995) Review: high-pressure, microbial inactivation and food preservation. Food Science and Technology International, 1,75 90.
10. Codex Alimentarius Commission (2003) Recommended International Code of Practice for Irradiated Foods, CAC/RCP 19-1979, Rev. 2-2003.
11. Decker, C., (1985). Degradation and Stabilization of PVC (ed. E.D. Owen)
12. Grandison, A. S. (2006) Irradiation, in Food Processing Handbook (ed J. G. Brennan), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG.
13. Grünewald, T. (1994). Lebensmittelbestrahlung. Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung Und -Forschung, 357-368.
14. Guerrero, I, García, B., Wachter, C, Regalado, C. (2014) Microbiología de alimentos, Editorial: LIMUSA S.A. DE C.V., México.
15. Gugumus, F. (1993). "Re-evaluation of the stabilization mechanisms of various light stabilizer classes". Polymer Degradation and Stability 39: 117.
16. Guillan, M., Espinoza-Faller, F., Nuñez, A., & Lopez-Barahona, N. (2011). Effect of turbidity on the ultraviolet disinfection performance in recirculating aquaculture systems with low water exchange. Aquaculture Research, 43(4), 595-606.
17. Hosseini SM, Azar-Daryany MK, Massudi R, Elikaei A, Pulsed UV laser light on Escherichia coli and Saccharomyces cerevisiae suspended in non-alcoholic beer, Iranin Journal of Microbiology Volume 3 Number 1, March 2011,31-35.

18. Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). Radiación: Procesos y Propiedades. In Fundamentos de Transferencia de Calor (4th ed., pp. 634-640). México: Prentice-Hall.
19. Koornhof H. J., Isacson M., Saunders J., Van Wyk C. J., et al. (1994). Enhancement of microbiological safety levels of aseptically admixed total parenteral nutrition solutions through low-dose gamma irradiation. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*, 19:249–256
20. Kunz, C.(1971).Optical absorption of metals in the x-uv range. *Journal de Physique Colloques*, 32 (C4), pp.C4-180-C4-185. .
21. Laboratory of Industrial Research Journal (Art. N. 14 of ministerial decree n. 593).(2000, August, 8). Parama, MA: G.F. S.p.A.
22. Mangonon, P. (1999). The principles of materials selection for engineering design (2001 ed., pp. 500-560). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
23. Marston (2005). “Effects of UV Radiation on Building Materials”: 2
24. Mckinnon, B. (1996). FDA Safety Alert: Hazards of Pre- cipitation Associated With Parenteral Nutrition. *Nutrition in Clinical Practice*, 11:59–65.
25. Molins, RA, Motarjemi, Y, Kärferstein, FK. (2001) Irradiation: A critical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods, *Food control* 12:347-356.
26. Morton, P., & Conner, R. (2014). Implementing AORN Recommended Practices for Selection and Use of Packaging Systems for Sterilization. *AORN Journal*,99(4), 495-505.
27. Olson, DG (1998) Irradiation of Food, *Food Technology* 52:56-62.

28. Raso, J., & Barbosa Cánovas, G. (2003). Nonthermal Preservation of Foods Using Combined Processing Techniques. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(3), 265-285.
29. Rodríguez, J.J., Barbosa-Cánovas, G.V., Gutiérrez, G., Dorantes, L., Yeom, H.W., and Zhang, Q.H. 2003. An update on some key alternative food processing technologies: Microwave Heating, Pulsed Electric Fields, High Hydrostatic Pressure, Irradiation and Ultrasound. In: *Food Science and Food Biotechnology*, G. Gutierrez, and G.V. Barbosa-Cánovas, eds. Boca Raton, FL: CRC Press.
30. Smelt JPPM (1998) Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends Food Sci Technol* 9: 152–158.
31. Soohyun K., Kashif G., Lee J., et. al, (2013). Bacterial inactivation in water, DNA strand breaking, and membrane damage induced by ultraviolet-assisted titanium dioxide photocatalysis, *Water Research* 27, 4403-4411.
32. Holt, J. (1997). *Structural alloys handbook* (1996 ed.). West Lafayette, Ind.: CINDAS/Purdue University.
33. The Aluminum Association, Inc. from *Aluminum Standards and Data 2000 and/or International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys* (Revised 2001).

(<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=db0307742df14c8f817bd8d62207368e&ckck=1>)
34. Ulrich, K., & Eppinger, S. (2009). *Diseño y Desarrollo de Productos* (4a ed., pp. 37-158). México: McGraw-Hill/Interamericana.
35. Ultraviolet purification application information.

www.mealighting.philips.com/pwc_li/me_en/application_areas/assets/images/Purification/Philips%20UV%20Technology%20brochure.pdf.

36. Wilkinson V, Gould G, (1996) Food Irradiation: A Reference Guide, Boston: Butterworth-Heinemann, Oxford, U.K.
37. World Health Organization. (2013). Methods of sterilization. Retrieved September 19, 2014, from <http://apps.who.int/iphint/en/p/docf/>
38. Wouters, P.C., Glaasker, E., Smelt, J.P.P.M. (1998) Effects of high pressure on inactivation kinetics and events related to proton efflux in *Lactobacillus plantarum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 509-514.

Anexo 1 Hoja de Especificaciones de Foco UVC



TUV T8

TUV 15W 1SL

TUV T8 lamps are double-ended UVC (germicidal) lamps used in professional water and air disinfection units. TUV T8 lamps offer almost constant UV output over their complete lifetime, for maximum security of disinfection and high system efficacy. Moreover, they have a long and reliable lifetime, which allows maintenance to be planned for in advance.

Product data

• General Characteristics

System Description	-
Cap-Base	G13
Bulb	T26
Main Application	Disinfection
Useful Life	9000 hr

• Light Technical Characteristics

Color Designation	-
(text)	

• Electrical Characteristics

Lamp Wattage	15 W
Lamp Wattage Technical	15.9 W
Lamp Voltage	54 V
Lamp Current	0.34 A

• Environmental Characteristics

Mercury (Hg) Content	2.0 mg
----------------------	--------

• UV-related Characteristics

UV-C Radiation	4.9 W
----------------	-------

• Product Dimensions

Base Face to Base Face A	437.4 (max) mm
Insertion Length B	442.1 (min), 444.5 (max) mm
Overall Length C	451.6 (max) mm
Diameter D	28 (max) mm

• Product Data

Order code	928039004005
Full product code	928039004005
Full product name	TUV 15W 1SL
Order product name	TUV 15W 1SL/25
Pieces per pack	1
Packing configuration	25
Packs per outerbox	25
Bar code on pack - EAN1	8711500726179
Bar code on outerbox - EAN3	8711500638618
Logistic code(s) - 12NC	928039004005
Net weight per piece	81.600 gr

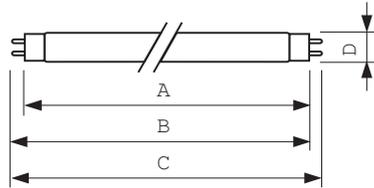
PHILIPS

TUV T8

Dimensional drawing

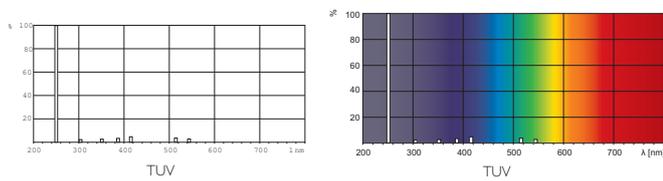
TUV 15W 1SL

Product	A (Max)	B (Min)	B (Max)	C (Max)	D (Max)
TUV TL-D 15W	437.4	442.1	444.5	451.6	28



G13

Photometric data



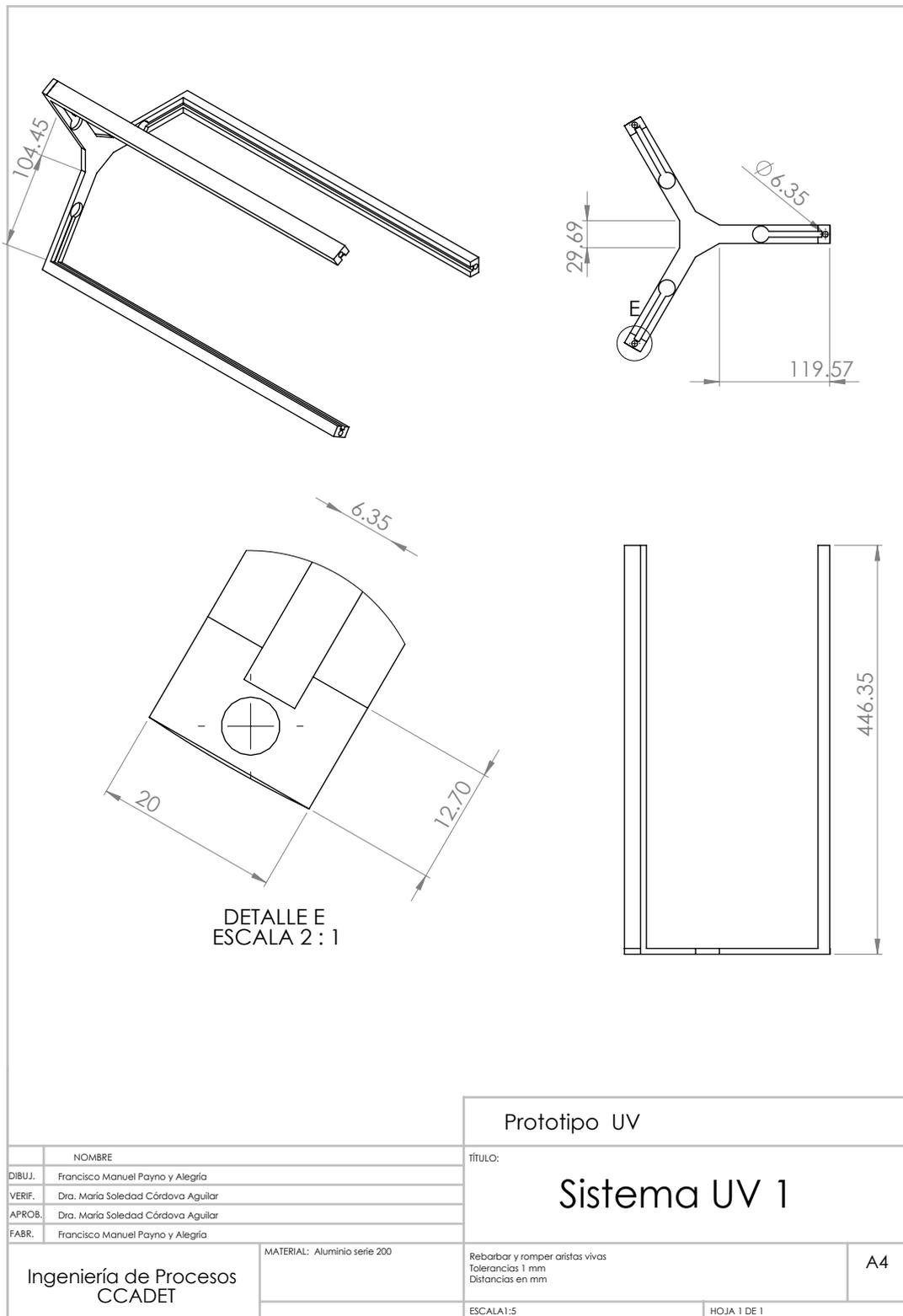
© 2014 Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips)
All rights reserved.

Specifications are subject to change without notice. Trademarks are the property of Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips) or their respective owners.

www.philips.com/lighting

2014, October 31
data subject to change

Anexo 2 Plano del sistema UV



Prototipo UV

TÍTULO:

Sistema UV 1

	NOMBRE
DIBUJ.	Francisco Manuel Payno y Alegria
VERIF.	Dra. María Soledad Córdoba Aguilar
APROB.	Dra. María Soledad Córdoba Aguilar
FABR.	Francisco Manuel Payno y Alegria

Ingeniería de Procesos
CCADET

MATERIAL: Aluminio serie 200

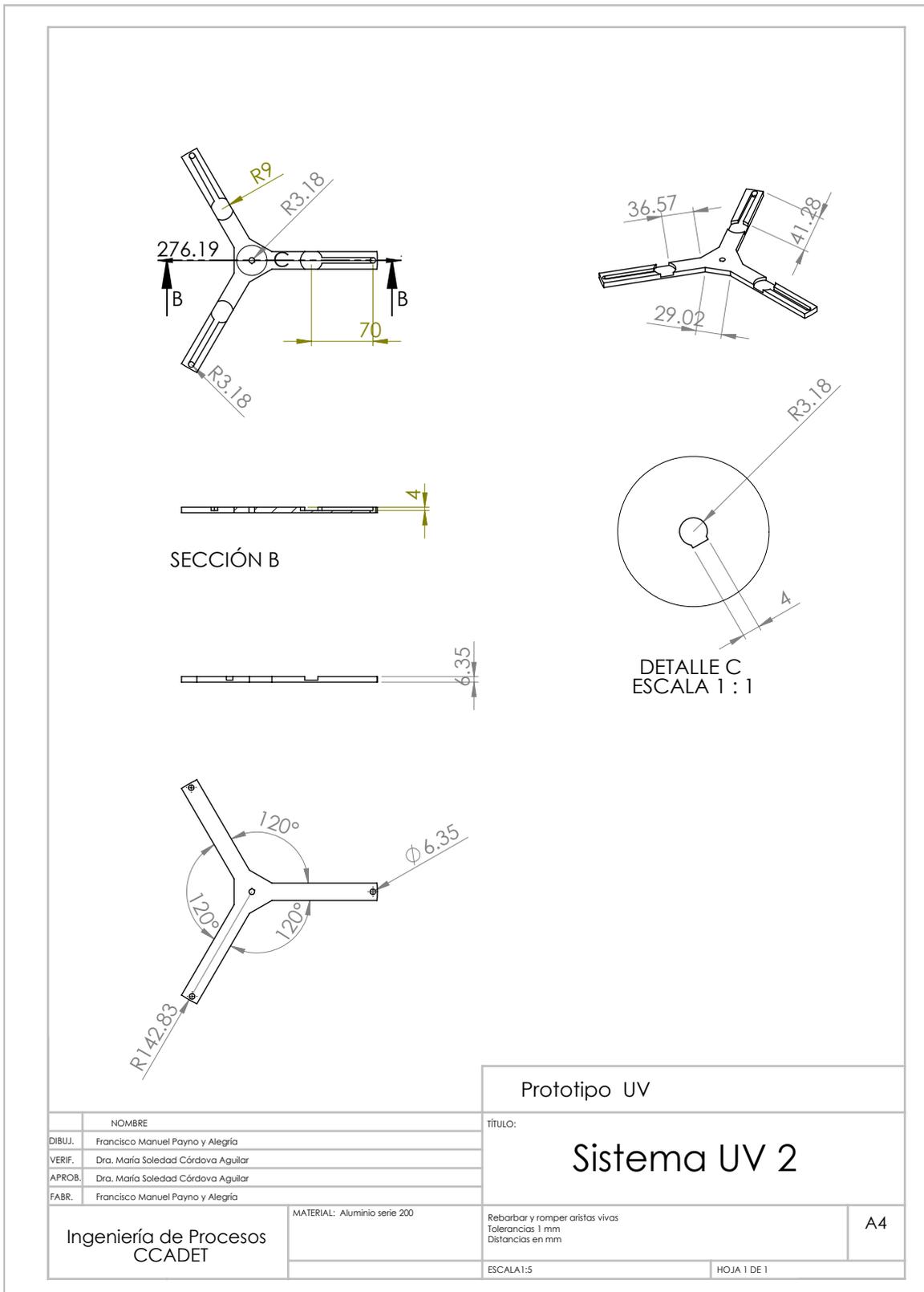
Rebarbar y romper aristas vivas
Tolerancias 1 mm
Distancias en mm

A4

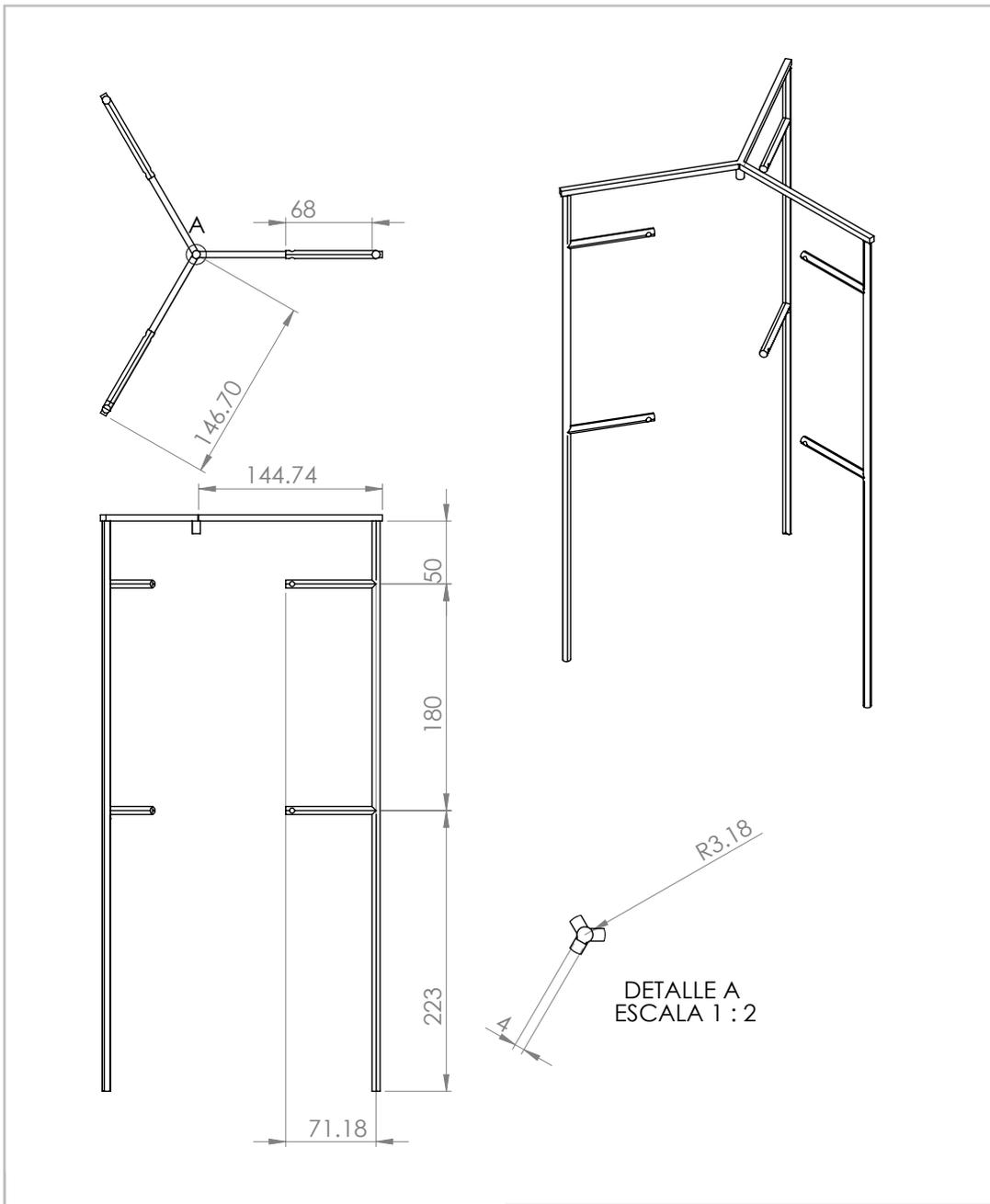
ESCALA 1:5

HOJA 1 DE 1

Anexo 3 Plano de la Tapa del Sistema UV

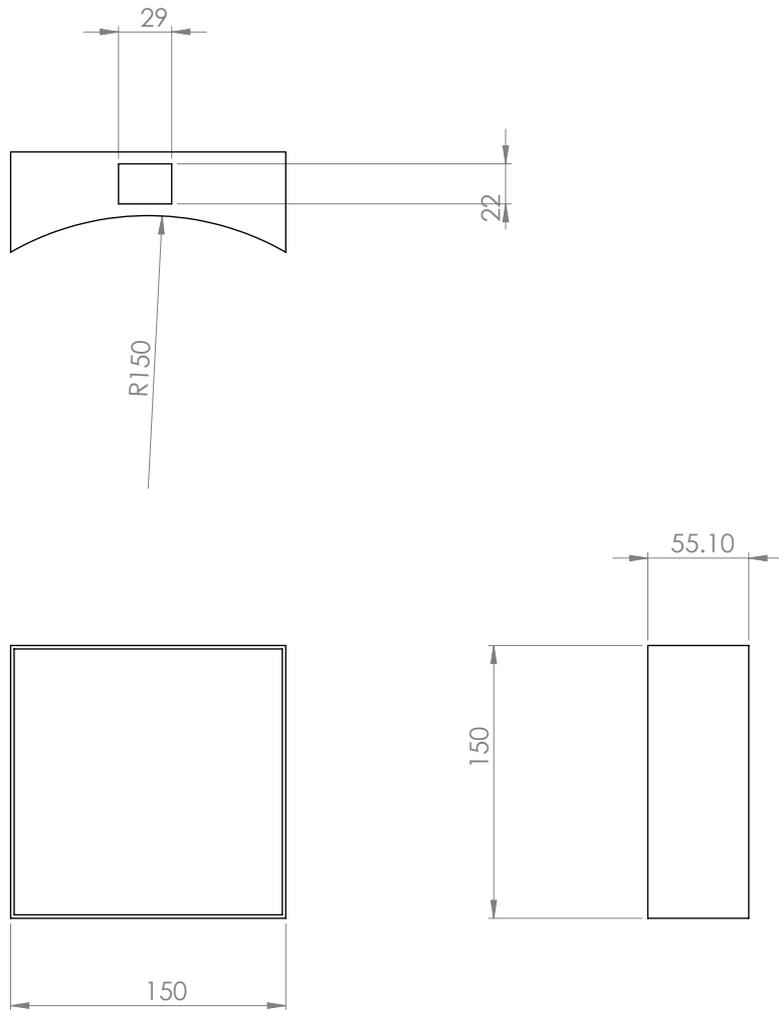


Anexo 4 Plano del Módulo de Sujeción de Bolsas

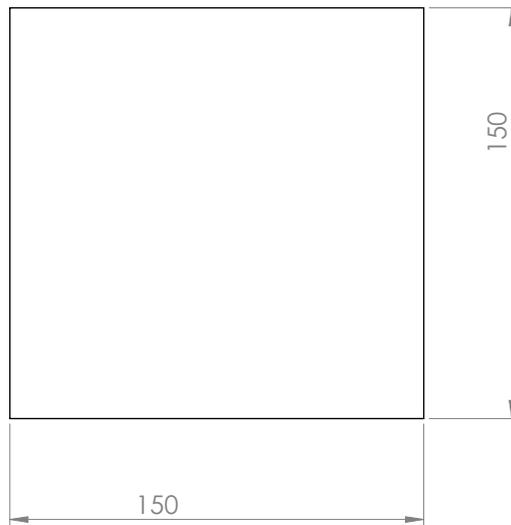


		Prototipo UV											
		TÍTULO:											
		Módulo de bolsas											
<table border="1"> <tr> <td>NOMBRE</td> <td>Francisco Manuel Payno y Alegría</td> </tr> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>Francisco Manuel Payno y Alegría</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td>Dra. María Soledad Córdova Aguilar</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td>Dra. María Soledad Córdova Aguilar</td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td>Francisco Manuel Payno y Alegría</td> </tr> </table>		NOMBRE	Francisco Manuel Payno y Alegría	DIBUJ.	Francisco Manuel Payno y Alegría	VERIF.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar	APROB.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar	FABR.	Francisco Manuel Payno y Alegría	MATERIAL: Aluminio serie 200	Rebarbar y romper aristas vivas Tolerancias 1 mm Distancias en mm
NOMBRE	Francisco Manuel Payno y Alegría												
DIBUJ.	Francisco Manuel Payno y Alegría												
VERIF.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar												
APROB.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar												
FABR.	Francisco Manuel Payno y Alegría												
Ingeniería de Procesos CCADET		ESCALA 1:5	A4 HOJA 1 DE 1										

Anexo 5 Planos del Módulo de Electrónica

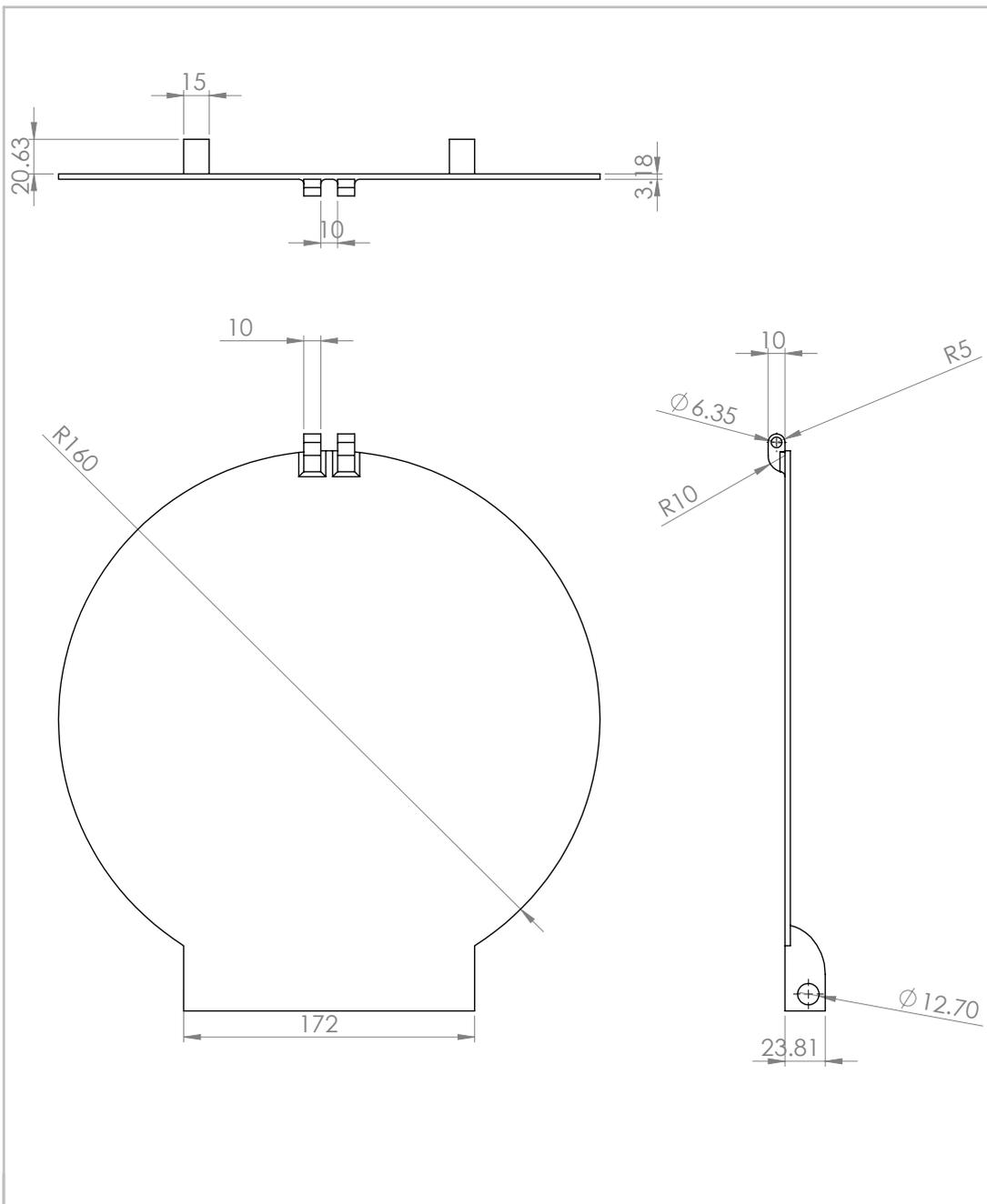


		Prototipo UV	
NOMBRE		TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Manuel Payno y Alegría	<h1>Módulo de electrónica</h1>	
VERIF.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar		
APROB.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar		
FABR.	Francisco Manuel Payno y Alegría		
Ingeniería de Procesos CCADET		MATERIAL: Acero Inoxidable 304	Rebarbar y romper aristas vivas Tolerancias 1 mm Distancias en mm
		ESCALA 1:2	
		A4	
		HOJA 1 DE 1	



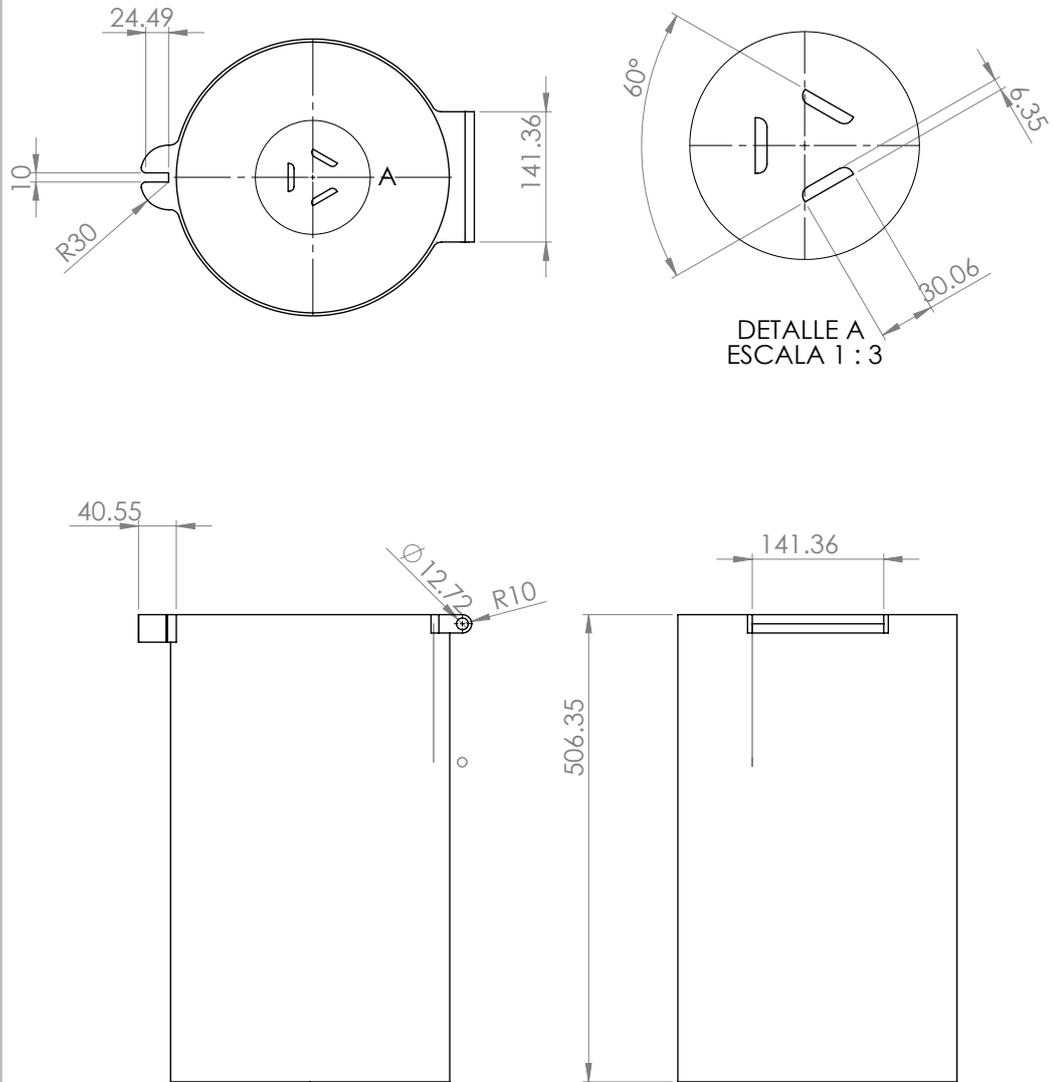
		Prototipo UV	
		TÍTULO:	
		Módulo de electrónica 2	
	NOMBRE		
DIBUJ.	Francisco Manuel Payno y Alegría		
VERIF.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar		
APROB.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar		
FABR.	Francisco Manuel Payno y Alegría		
Ingeniería de Procesos CCADET		MATERIAL: Acero Inoxidable 304	A4
		Rebarbar y romper aristas vivas Tolerancias 1 mm Distancias en mm	
		ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1

Anexo 6 Plano de la Tapa y Sistema de Cierre



NOMBRE		Prototipo UV	
DIBUJ.	Francisco Manuel Payno y Alegría	TÍTULO:	Cámara de irradiación 2
VERIF.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar		
APROB.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar		
FABR.	Francisco Manuel Payno y Alegría		
Ingeniería de Procesos CCADET		MATERIAL: Acero Inoxidable 304	Rebarbar y romper aristas vivas Tolerancias 1 mm Distancias en mm
		ESCALA:1:3	A4
		HOJA 1 DE 1	

Anexo 7 Plano de la Cámara de Irradiación



Prototipo UV

TÍTULO:

Cámara de irradiación

	NOMBRE
DIBUJ.	Francisco Manuel Payno y Alegría
VERIF.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar
APROB.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar
FABR.	Francisco Manuel Payno y Alegría

Ingeniería de Procesos
CCADET

MATERIAL: Acero Inoxidable 304

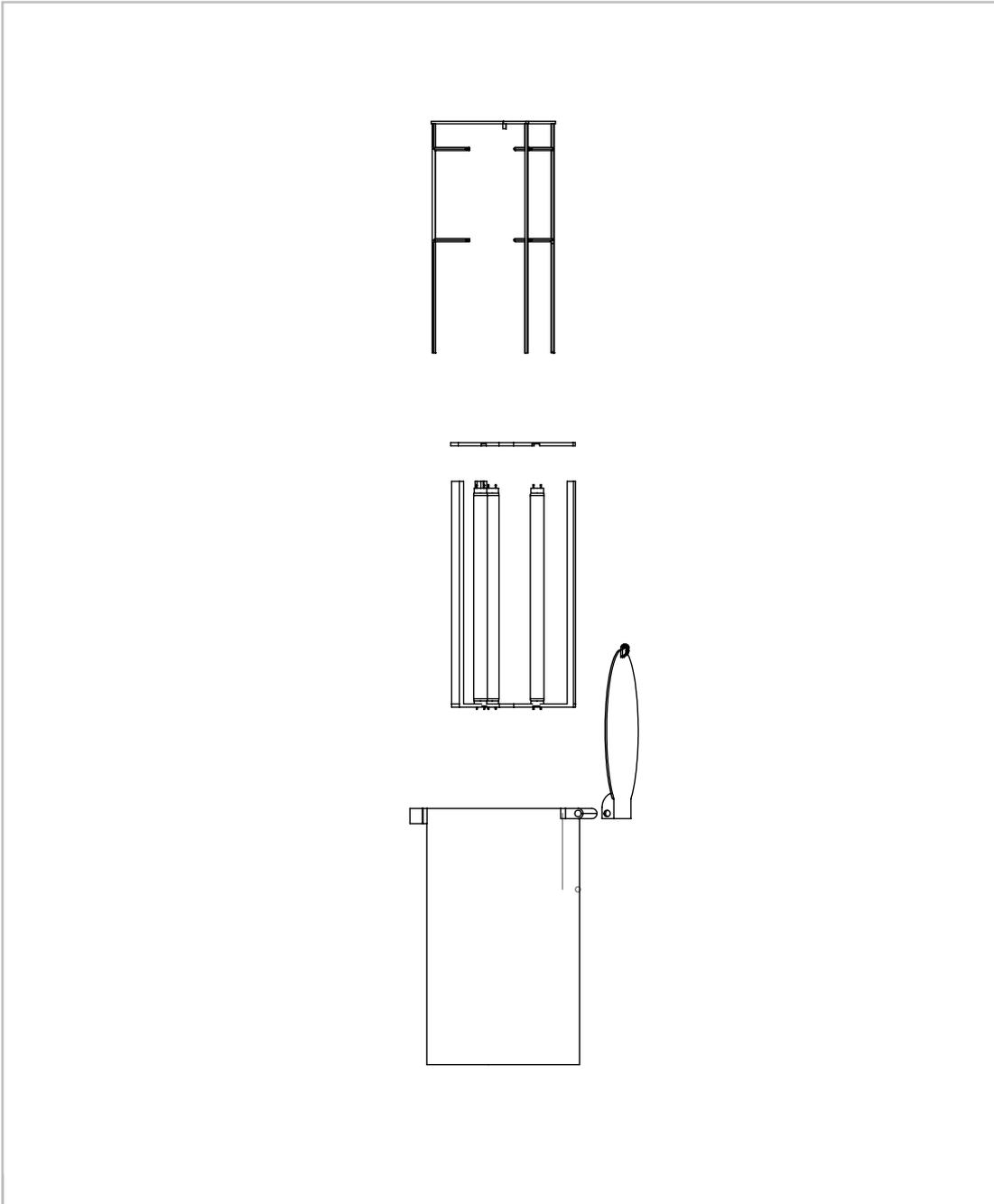
Rebarbar y romper aristas vivas
Tolerancias 1 mm
Distancias en mm

A4

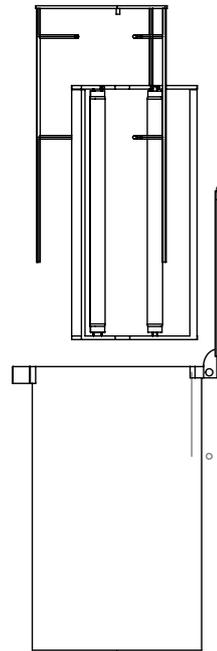
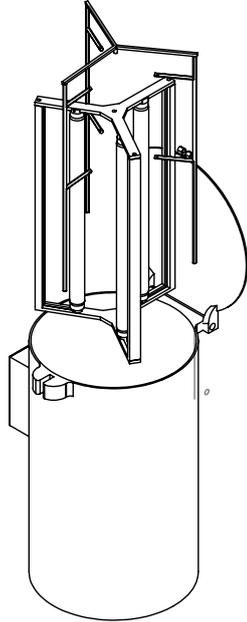
ESCALA 1:6

HOJA 1 DE 1

Anexo 8 Ensamblaje del prototipo



						Prototipo de Esterilizacion UV	
						TÍTULO:	
						ENSABLAJE	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			N.º DE DIBUJO	A4
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CAUID.				MATERIAL:			
				PESO:		ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1



		Prototipo UV	
		TÍTULO: Ensamble	
NOMBRE		MATERIAL: Varios	
DIBUJ.	Francisco Manuel Payno y Alegría	Rebarbar y romper aristas vivas Tolerancias 1 mm Distancias en mm	
VERIF.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar		
APROB.	Dra. María Soledad Córdova Aguilar		
FABR.	Francisco Manuel Payno y Alegría		
Ingeniería de Procesos CCADET		ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 1
		A4	

Anexo 9 Listado de materiales utilizados

MATERIAL	PIEZA	MEDIDAS [cm]	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES
Acero inoxidable 304 o 316	Placa de 1/4 "	70x30	1	Tapa y base de la carcasa
	Lámina calibre 16	100x60	1	Carcasa
	Placa de 1/2"	10x20	1	Sistema de cierre
	Lámina calibre 20	30x30	1	Caja y tapa para balastros
	Placa de 3/16"	7x90	1	Cinturón de carcasa
Aluminio serie 1100	Placa de 3/4"	40x60	1	Sujeción de focos y canastilla
	Barra de 1/4"	200	1	Canastilla

Anexo 10 Listado final de piezas utilizadas

ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	CANTIDAD
Foco	Philips TUV 15W/1SL	3
Balastro doble	Genéricos de 15 a 35 W	2
Pastillas	Para base estándar G13	6
Cable	Calibre 14 con aislante	8 m
Conectores	Jumpers Hembra-Hembra	12
Interruptor	Steren AC 120 V con LED	1
Sujeción Termofit	1 cm de diámetro	1 m
Clavija	Steren AC 120 V	1
Tornillos	1.5" x 3/32"	3
	8" x 3/8 "	1
	2" x 3/16"	1
Armella	2.5" x 3/16"	1
Rondanas	Plana 1/8"	14
	Plana 1/2"	5
Tuercas	Mariposa 3/16"	1
	De seguridad 3/8"	1
	De seguridad 3/16"	1