



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química**

**DISEÑO DE EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN DE RADIACIÓN
ULTRAVIOLETA DE POLVOS FINOS NO COHESIVOS EN LA INDUSTRIA
DE COSMÉTICOS**

Alexander Antonio Pivaral Alvarez

Asesorado por Ing. Eric Javier Maldonado Velásquez

Guatemala, Octubre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN DE RADIACIÓN
ULTRAVIOLETA DE POLVOS FINOS NO COHESIVOS EN LA INDUSTRIA
DE COSMÉTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ALEXANDER ANTONIO PIVARAL ALVAREZ

ASESORADO POR ING. ERIC JAVIER MALDONADO VELÁSQUEZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Victor Herbert de León Morales
EXAMINADOR	Ing. Edwin Manuel Ortiz Castillo
SECRETARIO	Inga. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE POLVOS FINOS NO COHESIVOS EN LA INDUSTRIA DE COSMÉTICOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 11 de abril de 2005.

Alexander Antonio Pivaral Alvarez

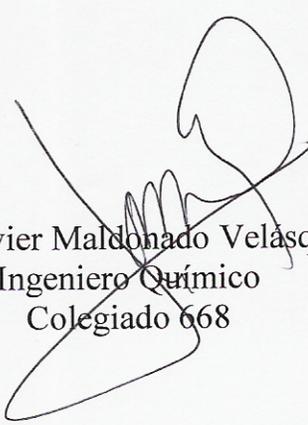
Guatemala, 12 de Agosto de 2005

Señor Director
Escuela de Ingeniería Química
Ing. Federico Salazar
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Salazar:

Por medio de la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he tenido a la vista el informe final del trabajo de graduación del estudiante Alexander Antonio Pivaral Alvarez, titulado "DISEÑO DE EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN DE POLVOS FINOS NO COHESIVOS EN LA INDUSTRIA DE COSMÉTICOS", el cual cumple con los requisitos para su aprobación final.

Sin otro particular, atentamente



Eric Javier Maldonado Velásquez
Ingeniero Químico
Colegiado 668



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 12 de octubre de 2,005.

Ingeniero
Federico Salazar Rodríguez
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Salazar.

El motivo de la presente es para darle a conocer que he revisado el trabajo de Graduación, del estudiante Alexander Antonio Pivaral Alvarez, titulado: "DISEÑO DE EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE POLVOS FINOS NO COHESIVOS EN LA INDUSTRIA DE COSMÉTICOS" lo he encontrado satisfactorio y por lo tanto le otorgo mi aprobación.

Agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente lo saluda.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Orlando Posadas Valdez
REVISOR



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento al trabajo de Graduación del estudiante ALEXANDER ANTONIO PIVARAL ALVAREZ titulado: **"DISEÑO DE EQUIPO DE ESTERILIZACIÓN DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE POLVOS FINOS NO COHESIVOS EN LA INDUSTRIA DE COSMÉTICOS"** procede a la autorización del mismo.

Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, octubre de 2005.

DEDICATORIA

A:

DIOS Y JESUCRISTO

Por haberme concedido la vida y llenarme de bendiciones.

MIS PADRES

Idalio Antonio y Lilian Nineth, por su amor y apoyo incondicional así como su gran ejemplo.

MIS ABUELOS

José María Pivaral (Q.E.P.D.), María Emilia de Pivaral (Q.E.P.D.), Rodolfo Alvarez (Q.E.P.D.) y Carmen Paez de Alvarez.

MIS HERMANOS Y CUÑADOS

Rodolfo, Mayra, Velveth y Silvio por su amor y apoyo.

MIS SOBRINOS

Gabriel, Jefferson y Rodolfo.

MIS FAMILIARES

En especial a mi Madrina Margoth de Samayoa.

MIS AMIGOS

Victor, José, Andrea, Javier, Pablo, Xavier, Alicia, Rodrigo, Marisol, Luis, Lenin, Rocka, Evelyn, Ana, Gustavo, Roberto, Juan Carlos, Mesala, Aldo, Aixa, Mónica, Marco, Emmett, a mis amigos de la Lic. en Física, a mis amigos cercanos de mi casa, con mucho cariño a Flor y en especial a Nielsen (Q.E.P.D.).

AGRADECIMIENTOS

A:

La Universidad De San Carlos De Guatemala

La Escuela De Ingeniería Química

El Colegio Liceo Javier

Por darme el conocimiento para desempeñarme como profesional y transmitirme los valores morales que me han hecho la persona que soy.

Laboratorios Darosa, S.A.

En especial a la Licda. Karina Singer, Lic. Leandro Sánchez, Ing. Tomás Argueta, Sra. Antonieta Rodríguez, Sr. Efrain Mazariegos, Sr. Mario García, Sr. Gustavo Lam, Sr. Otto Galindo y Sra. Claudia García por su apoyo y ejemplo.

Mi Asesor

Ing. Eric Maldonado por su ayuda, amistad y guía.

Mis Padrinos

Dr. Gustavo Adolfo Samayoa Alvarez

Lic. José María Pivaral Rodríguez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. RADIACIÓN.....	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Radiación ultravioleta	2
1.3. Mecanismo de reacción.....	4
1.4. Reactivación por excisión (reactivación oscura).....	5
2. PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA A TRATAR.....	11
2.1. Propiedades de masas de partículas	11
2.2. Mezclado de sólidos	12
2.3. Mezclado para sólidos no cohesivos	13
3. SEGURIDAD INDUSTRIAL	15
3.1. Efectos biológicos de la radiación.....	15
3.2. Trastornos graves	15
3.3. Efectos retardados	16
3.4. Cáncer de piel.....	17

4.	BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS	19
4.1.	Exposición a radiación ultravioleta	19
4.1.1.	Lámparas de radiación ultravioleta	21
4.1.2.	Mantenimiento mínimo requerido.....	21
4.1.3.	Rendimiento	22
4.1.4.	Dosis UV	23
4.1.5.	Instalación de un equipo UV	24
4.2.	Alternativas tecnológicas	24
4.2.1.	Por medio de autoclave	24
4.2.2.	Por medio de un agente químico (formaldehído).....	26
5.	DISEÑO DE EQUIPO.....	27
5.1.	Macroanálisis.....	27
5.1.1.	Caja negra.....	27
5.2.	Microanálisis	28
5.3.	Desarrollo del modelo	29
5.3.1.	Materia prima a tratar.....	29
5.3.2.	Potencia requerida	30
5.3.3.	Buenas prácticas de manufactura	30
5.3.4.	Material de construcción	30
5.3.5.	Lámparas ultravioletas	31
5.3.6.	Cintas helicoidales	32
5.3.7.	Operación del equipo	32
5.3.8.	Dimensiones del equipo	32
5.4.	Evaluación preliminar	35
5.4.1.	Exposición a radiación ultravioleta.....	35
5.4.2.	Por medio de autoclave	36
5.4.3.	Por medio de un agente químico (formaldehído).....	36

5.5.	Evaluación económica	37
5.6.	Vista frontal y lateral.....	38
5.7.	Vista superior e isométrico aspas y eje	39
5.8.	Plano isométrico.....	40
6.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	41
	CONCLUSIONES	43
	RECOMENDACIONES	44
	BIBLIOGRAFÍA	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Longitud de onda de Radiación Ultravioleta	3
2.	Eficacia microbicida de la Radiación Ultravioleta	3
3.	Daños al DNA de una bacteria por Radiación Ultravioleta.....	6
4.	Opción Tecnológica.....	20
5.	Autoclave.....	25

TABLAS

I.	Dosis de radiación UV a 254 nm requerida para destruir hasta en un 99.99% de diferentes microorganismos.....	7
----	--	---

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Å	$1 * 10^{-10}$ m
seg	segundo
nm	$1 * 10^{-9}$ m
ADN	Ácido desoxirribonucleico
%	Porcentaje
Q	Quetzal Guatemalteco
cm	Centímetro
W	Watt
Gy	Gray
RPM	Revoluciones por minuto
HP	Caballo de Fuerza
Kg	Kilogramo
mm	Milímetro
UV	Ultravioleta
FDA	<i>Food & Drug Administration</i>

GLOSARIO

Autoclave	Equipo utilizado para esterilizar cristalería de laboratorio; opera a 20 psi y 121°C.
Bacterias	Nombre que reciben los organismos unicelulares y microscópicos, que carecen de núcleo diferenciado y se reproducen por división celular sencilla.
Caja de Petri	Objeto de cristal de forma circular utilizado como recipiente contenedor de medios de cultivo o agentes químicos.
Cohesión	Es la fuerza de atracción entre partículas adyacentes dentro de un mismo cuerpo que mantiene unidas las partículas de una sustancia.
Espora	Célula reproductora asexual que forman numerosos hongos, plantas y algunos protozoos. Las esporas son resistentes al calor, desecamiento y otras condiciones adversas y se mantienen en estado de reposo hasta que encuentran un medio favorable al desarrollo o germinación.
Esterilización	Destrucción de todo organismo vivo en cualquier objeto o material por medios físicos o por procedimientos químicos.

Formaldehído	Compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno de fórmula HCHO o CH ₂ O también conocido como Metanal. Es utilizado como desinfectante e insecticida. Estudios recientes han revelado su naturaleza cancerígena.
Hongo	Grupo diverso de organismos unicelulares o pluricelulares que se alimentan mediante la absorción directa de nutrientes. Los hongos son los causantes de la putrefacción y descomposición de la materia orgánica.
Levadura	Cualquiera de los diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la fermentación de hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias.
Microorganismo	Ser vivo que puede ser observado únicamente por microscopio. Su presencia puede ser detectado por el uso de algún medio de cultivo.
Radiación Ultravioleta	Tipo de radiación electromagnética cuyas longitudes de onda van, aproximadamente, desde los 400 nm hasta los 15 nm.
UFC/g	Siglas que significa Unidades Formadoras de Colonia por gramo, es la forma de representar la cantidad de microorganismo detectados en un medio de cultivo utilizado para el crecimiento de estos.
Virus	Entidades orgánicas compuestas tan sólo de material genético, rodeado por una envuelta o envoltura protectora.

RESUMEN

Este trabajo de graduación fue realizado con el objetivo de encontrar un proceso alternativo a los utilizados en la industria de cosméticos en la esterilización de polvos finos no cohesivos que se encuentran contaminados de diversos microorganismos. Actualmente, las empresas cuentan con diversos métodos de esterilización, utilizando calor húmedo o agentes químicos, tales como: el formaldehído, los cuales no son, totalmente, eficaces, producen altos costos de operación y/o son muy lentos para los propósitos de la empresa.

El método para eliminar los microorganismos empleado con mayor eficiencia para la esterilización de materias primas es la radiación ultravioleta, que elimina el 99.99% de los microorganismos, por lo cual para poder utilizar este método se utilizó los pasos de Diseño de Equipo, estableciendo dimensiones de equipo, parámetros óptimos de funcionamiento y normas de seguridad industrial necesarias para llevar a cabo el proceso de esterilización, mostrando, así, las ventajas de este método contra las diversas opciones utilizadas actualmente.

El equipo diseñado para la esterilización por medio de radiación ultravioleta provee de un método de alta eficiencia en la eliminación de microorganismos, bajo costo de implementación, así como de mantenimiento sin presentar riesgos altos para el personal ni para el medio ambiente.

OBJETIVOS

- **General**

Diseño del equipo correcto a utilizar para esterilizar polvos finos mediante el uso de radiación ultravioleta.

- **Específicos**

1. Establecer el tiempo óptimo de exposición a radiación ultravioleta para la esterilización de polvos finos, utilizando una longitud de radiación constante (254 nm) en un equipo trabajado por lotes.
2. Establecer medidas de seguridad para la utilización de radiación ultravioleta como agente físico esterilizante.
3. Determinar las dimensiones del equipo a utilizar para la esterilización de polvos finos

HIPÓTESIS

Es factible el diseño de un equipo adecuado para esterilización de polvos finos que maximice el volumen másico de polvos finos y optimice el tiempo de esterilización, mediante el uso de radiación ultravioleta a una longitud de onda constante (254 nm).

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversos métodos para la esterilización de polvos, como talcos y otros productos, así como materias primas, siendo muchas veces, procesos lentos y con un alto consumo de energía, elevando los costos de operación, además de un atraso debido al tiempo que toman por no ser los adecuados para este propósito.

El trabajo de graduación, que aquí se presenta, muestra el diseño del equipo adecuado para la esterilización de polvos finos, mediante luz ultravioleta como agente físico; optimizando, así, los recursos de las empresas destinados a este fin, disminuyendo costos, reduciendo tiempos y estableciendo la metodología adecuada para este propósito siguiendo las normas de seguridad industrial respectivas. El equipo que se diseñado tiene como propósito aportar a la industria cosmética un equipo óptimo en rendimiento y esterilizar polvos finos que se utilizan en la elaboración de productos cosméticos.

1. RADIACIÓN

1.1 Generalidades

Es un proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio; el término también se emplea para las propias ondas o partículas. Las ondas y las partículas tienen muchas características comunes; no obstante, la radiación suele producirse predominantemente en una de las dos formas. La radiación mecánica corresponde a ondas que sólo se transmiten a través de la materia, como las ondas de sonido. La radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación; sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia. Esta radiación abarca una gran variedad de energías. La radiación electromagnética con energía suficiente para provocar cambios en los átomos sobre los que incide se denomina radiación ionizante.

La radiación como mecanismo de transferencia de calor presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío.

La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo. Como puede demostrarse a partir de la ley de Planck, el poder emisor de una superficie es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla.

Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizan la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

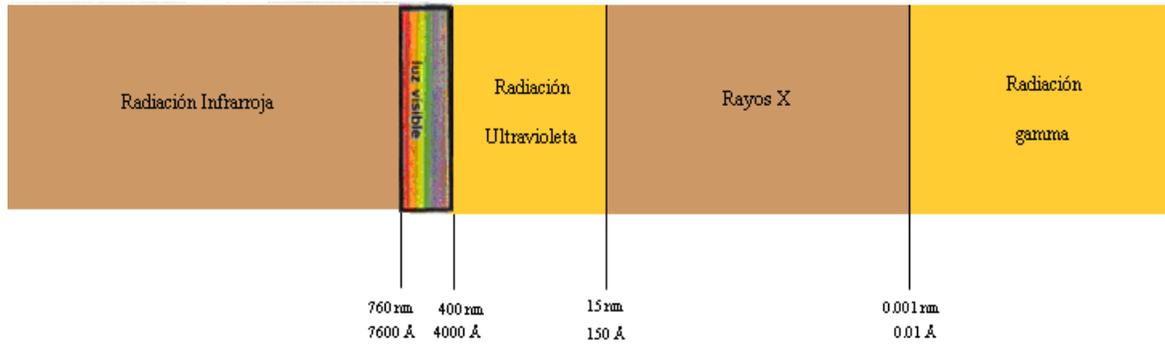
Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos, y el cuarzo es transparente a toda la gama de rayos ultravioleta naturales.

1.2 Radiación ultravioleta

La porción ultravioleta del espectro incluye todas las radiaciones desde 15 nm a 400 nm, como se puede observar en la siguiente figura, así como se muestra también otros rangos de radiación.

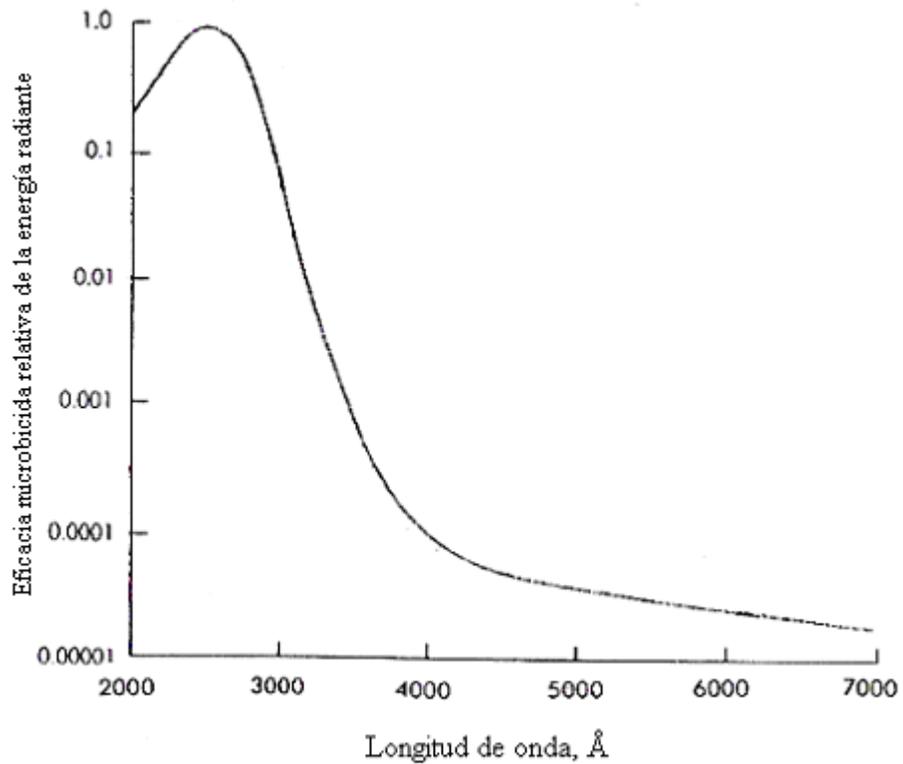
Las siguiente gráfica nos muestra las longitudes de onda en la cuál la energía radiante tiene mayor eficacia como microbicida, la cuál se obtiene a una longitud de onda de 254 nm (2540 Å) .

Figura 1. Longitud de onda de Radiación Ultravioleta



Fuente: José Monreal. Enciclopedia Autodidactica Océano. Pág. 977

Figura 2. Eficacia microbicida de la energía radiante entre 2000 Å y 7000 Å
(200 nm – 700 nm)



Fuente: Michael Pelczar. Microbiología. Pág. 381

Aunque la energía radiante de la luz del sol está parcialmente compuesta por luz ultravioleta, la mayoría de las longitudes de ondas cortas de este tipo son filtradas por la atmósfera terrestre (ozono, nubes y humo). En consecuencia, las radiaciones ultravioletas en la superficie de la tierra están restringidas a una amplitud de 287 a 390 nm. De esto se puede concluir que la luz del sol, bajo ciertas condiciones, tiene capacidad microbicida, pero de un grado limitado.

Se pueden obtener muchas lámparas que emiten concentraciones elevadas de luz ultravioleta en su región más efectiva, 250 a 270 nm, estas lámparas microbidas se usan profusamente para reducir la población microbiana en, por ejemplo, cuartos de llenado asépticos en la industria farmacéutica, donde se tienen que pipetear productos estériles para ponerlos en pequeños recipientes o ampollas, así como en la industria de alimentos y leche para tratar superficies contaminadas. Una consideración práctica e importante en el uso de estos métodos para destruir microorganismos es que la luz ultravioleta tiene muy poca capacidad para penetrar la materia. Aún una pequeña capa de filtro de vidrio quita gran cantidad de luz. Así, sólo los microorganismos que se encuentran en la superficie de los objetos que se exponen directamente a la acción de la luz ultravioleta son susceptibles de ser destruidos.

1.3 Mecanismo de reacción

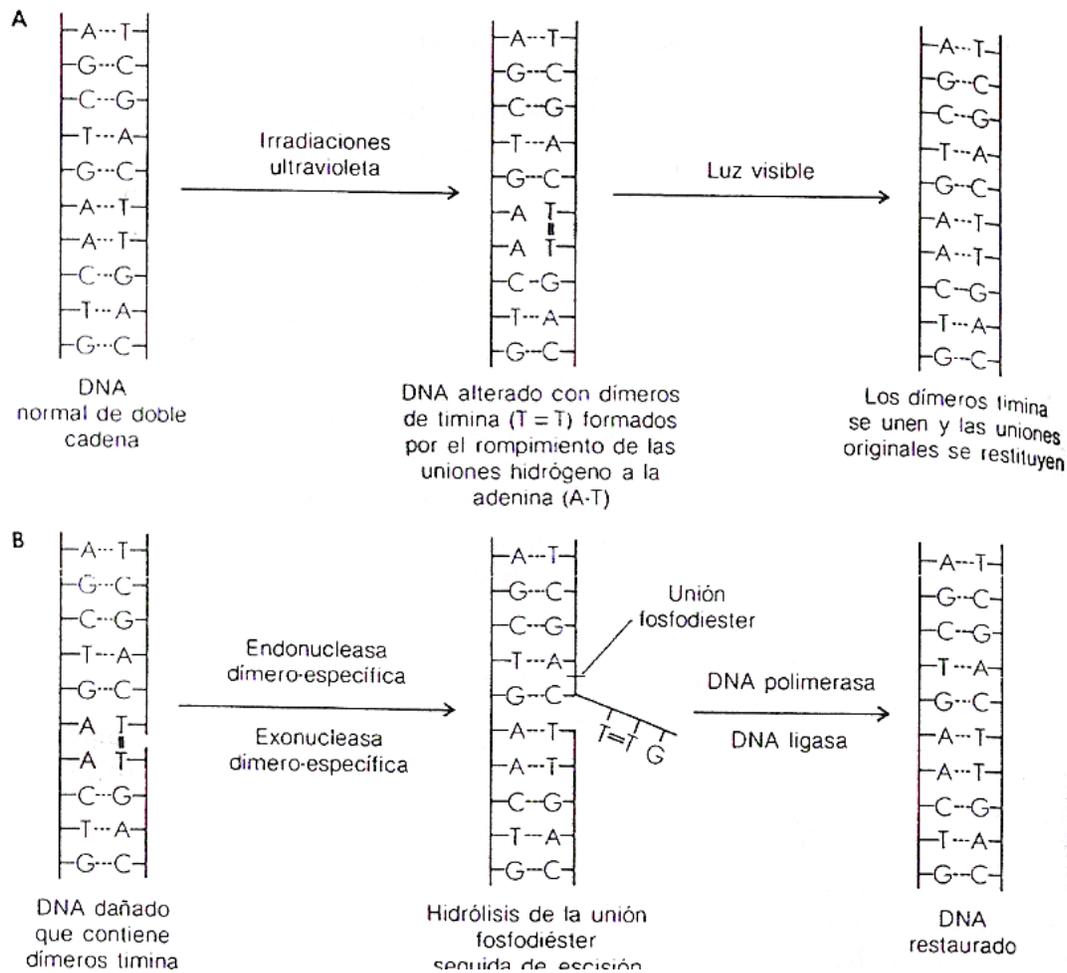
La luz ultravioleta es absorbida por muchos materiales celulares pero más por los ácidos nucleicos, a los cuales causa gran daño. Considerando el espectro de absorción de las bases del ácido nucleico y de ADN, destaca la marcada absorción máxima de 250 – 260 nm. Bacterias como la *escherichia coli* muestran también esta característica curva de absorción. La absorción y las reacciones subsecuentes se efectúan predominantemente en las pirimidinas del ácido nucleico. Los daños producidos por los rayos ultravioletas sobre el ADN son múltiples:

- Una alteración importante es la formación de un dímero de la pirimidina del ácido nucleico frecuentemente en la timina, en el cual dos pirimidinas adyacentes se enlazan. A menos que los dímeros sean separados por enzimas intracelulares específicas, se inhibe la replicación del ADN y puede haber mutaciones.
- Formación de hidratos: Causante de la modificación del código genético mediante desaminación
- Desnaturalizaciones de la doble cadena del ADN.
- Se impide la división celular.
- Esta radiación es la responsable de la formación de especies químicas altamente reactivas, tales como el peróxido de hidrógeno o agua oxigenada (H_2O_2), radicales hidroxilos (HO^\cdot), superóxidos (O_2^\cdot), etc., que provocan daños en la estructura de las células y alteraciones de la fisiología celular.

1.4 Reactivación por excisión (reactivación oscura)

Algunos microorganismos poseen un segundo mecanismo para reparar el daño producido en el ADN por las radiaciones ultravioletas. Este mecanismo no es luz-dependiente y necesita una secuencia de reacciones enzimáticas como se observa en la figura 3. Dos enzimas, una endonucleasa dímero-específica, sujetan a los dímeros con varios de los nucleótidos vecinos. La pieza omitida de la cadena del ADN como resultado de la escisión, se repara por la inserción enzimática de nucleótidos complementarios al cordón bueno. Dos enzimas realizan esto: una polimerasa sintetiza el segmento necesario y una ligasa reestablece su localización en el cordón. Este mecanismo es el que se presenta en la siguiente ilustración.

Figura 3. Daño al ADN por radiaciones ultravioletas y mecanismos de restauración



Fuente: Michael Pelczar. Microbiología. Pág. 382

En la figura 3 se muestra el daño al ADN por radiaciones ultravioletas y sus mecanismos de restauración. En el inciso A el ADN normal expuesto a las radiaciones ultravioleta se vuelve defectuoso como resultado de la formación de dímeros – timina. La reparación de estos defectos ocurre (en la luz) por medio de una enzima que se une al dímero, restaurando los residuos de la pirimidina original. En el inciso B se muestra la reparación por escisión (reactivación oscura). Una serie de enzimas, como se muestra en la ilustración, son capaces de quitar la porción defectuosa de la cadena de ADN y reemplazarla por segmentos complementarios, restaurando la estructura original.

En la tabla que se presenta a continuación se presentan la dosis de radiación en mW/cm^3 con la que se destruyen los distintos tipos de microorganismos, con una longitud de onda de 254 nm se obtiene una energía de $25,000 \text{ mW/cm}^3$ consiguiendo así destruir un 99.99% de estos.

Tabla I Dosis de radiación UV a 254 nm. (mJ/cm^2) requerida para destruir hasta en un 99.99% de diferentes microorganismos BACTERIAS
DOSIS($\text{mJ/cm}^2=\text{mW/cm}^3$)

BACTERIA ENERGIA		OTROS ORGANISMOS ENERGIA	
$\text{mJ/cm}^2=\text{mW/cm}^3$		$\text{mJ/cm}^2=\text{mW/cm}^3$	
BACTERIA	DOSIS	BACTERIA	DOSIS
<i>Bacillus anthracis</i>	8700	<u>LEVADURA</u>	
<i>S. enteritidis</i>	7600		
<i>B. Megatherium sp.(veg)</i>	2500	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	13200
<i>B. Megatherium sp.(sporas)</i>	5200	<i>Saccharomyces sp.</i>	1600
<i>B. peratyphosus</i>	6100	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13200
<i>B. subtilis</i>	11000	<i>Levadura de cerveza</i>	660
<i>B. subtilis spores</i>	22000	<i>Levadura del panadero</i>	800
<i>Clostridium tetani</i>	22000	<i>Levadura del pastelero</i>	13200
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6500		
<i>Eberthella typosa</i>	4100	<u>ESPORAS</u>	

<i>Escherichia coli</i>	6600		
<i>Micrococcus candidus</i>	12300	<i>Penicillium roqueforti</i>	26400
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10000	<i>Penicillium expansum</i>	22000
<i>Neisseria catarrhalis</i>	8500	<i>Mucor racemosus A</i>	35200
<i>Phytomonas tumefaciens</i>	500	<i>Mucor racemosus B</i>	5200
<i>Proteus vulgaris</i>	6600	<i>Oospora lactis</i>	1100
<i>Pseudomonas aeryginosa</i>	10500		
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	6600	<u>VIRUS</u>	
<i>S. typhimurium</i>	15200		
<i>Salmonella</i>	10000	<i>Bacteriophage (E. coli)</i>	6600
<i>Sarcina lutea</i>	26400	<i>Influenza virus</i>	6600
<i>Serratia marcescens</i>	6160	<i>Hepatitis virus</i>	8000
<i>Dysentery bacilli</i>	4200	<i>Poliovirus(Poliomyelitis)</i>	1000
<i>Shigella paradysenteriae</i>	3400	<i>Rotavirus</i>	24000
<i>Spirillum rubrum</i>	6160		
<i>Staphylococcus alous</i>	5720		
<i>Staphylococcus aureus</i>	6600		

<i>Streptococcus hemolyticus</i>	5500
<i>Streptococcus lactis</i>	8800
<i>Streptococcus viridans</i>	3800
<i>Vibrio colera</i>	6500

<u>ALGAS</u>	
<i>Chlorella vulgaris</i> (Alga)	2000

Fuente: <http://www.aguatec.com.mx>

2. PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA A TRATAR

2.1 Propiedades de masas de partículas

Las masas de partículas sólidas, en especial cuando están secas y no se pegan, poseen muchas de las propiedades de un fluido. Ejercen presión sobre las paredes de un contenedor, fluyen a través de un orificio o descienden por una tolva. Sin embargo, se diferencian de los líquidos y gases en varios aspectos, ya que las partículas se entrecruzan y adhieren por efecto de la presión y no pueden deslizarse unas sobre otras sino hasta que la fuerza aplicada alcanza una magnitud apreciable. De manera contraria a lo que ocurre con la mayor parte de los fluidos, los sólidos granulares y las masas sólidas resisten permanentemente la distorsión cuando se someten a una fuerza distorsionante moderada. Cuando la fuerza es suficientemente grande se produce la ruptura y una capa de partículas se desliza sobre otra, pero entre las capas situadas a ambos lados de la fisura hay una considerable fricción.

En estos sólidos la presión no es la misma en todas las direcciones. En una masa homogénea, la relación de la presión normal a la presión aplicada es una constante K' , que es característica del material. Depende de la forma y las tendencias de entrecruzamiento de las partículas, de la rigidez de la superficie granulada, y de qué tan apretado se empaque el material. Es casi independiente del tamaño de la partícula hasta que los granos se vuelven muy pequeños y el material no fluye con más libertad.

Un esfuerzo cortante aplicado en la superficie de una masa se transmite a través de toda una masa estática de partículas mientras no se produzca rotura.

La densidad de la masa puede variar, dependiendo del grado de empaque de los granos. La densidad de un fluido es una función exclusiva de la temperatura y la presión, como lo es cada una de las partículas individuales de un sólido, pero, en cambio, no ocurre lo mismo con la densidad global o aparente. La densidad global es mínima cuando la masa está “floja”. Alcanza un máximo cuando la masa se somete a una vibración o apisonamiento.

Antes de que una masa de partículas empacadas de forma apretada pueda fluir, se debe aumentar en volumen a fin de permitir el entrecruzamiento de granos para moverlas entre sí. Sin tal dilatación el flujo es imposible.

Cuando los sólidos granulares están apilados arriba sobre una superficie plana, los lados de la pila están a un ángulo reproducible definido con la horizontal. Este ángulo α , se llama ángulo de reposo del material. Para sólidos granulares que fluyen libremente, α está con frecuencia entre 15° y 30° .

2.2 Mezclado de sólidos

El mezclado de sólidos, ya sea flujo libre o cohesivo, se parece en cierto grado al mezclado de líquidos con baja viscosidad. En ambos procesos intervienen dos o más componentes separados para formar un producto más o menos uniforme. Algunos de los equipos utilizados normalmente para mezclar líquidos en ocasiones se emplean para mezclar sólidos.

También hay diferencias significativas entre los dos procesos. El mezclado de líquidos depende de la creación de corrientes de flujo, las cuales transportan material que no se mezcla a la zona de mezclado adyacente al impulsor. En pastas o masa pesadas de partículas sólidas no es posible obtener dichas corrientes, y el mezclado se completa por otros medios. En consecuencia, se requiere mucho más poder en las pastas mezcladas y los sólidos secos que en el mezclado de líquidos.

2.3 Mezclado para sólidos no cohesivos

Los mezcladores para polvos secos incluyen algunas máquinas que también puede utilizarse para pastas pesadas y algunas máquinas que están restringidas a los polvos de libre flujo. El mezclado es por agitación a baja velocidad de la masa con un agitador, por tamboreo o por frotación e impacto centrífugo. En algunos mezcladores, el contenedor es el que se mueve, mientras que en otras un dispositivo rota dentro de un contenedor que permanece estacionario. En algunos casos hay una combinación de dispositivo rotatorio con un contenedor en movimiento. Estos mezcladores son de una construcción muy ligera y su consumo de energía por unidad de masa de material mezclado es moderado.

3. SEGURIDAD INDUSTRIAL

La radiación ultravioleta puede ser dañina para los seres vivos, sobre todo cuando su longitud de onda es baja. La radiación ultravioleta con longitudes de onda inferiores a 300 nm se emplea para esterilizar superficies porque mata a las bacterias y los virus. En los seres humanos, la exposición a radiación ultravioleta de longitudes de onda inferiores a los 310 nm puede producir quemaduras; una exposición prolongada durante varios años puede provocar cáncer de piel.

3.1 Efectos biológicos de la radiación

La acción de una radiación ionizante sobre los tejidos de los organismos vivos causa daños al mismo debido a que la radiación transfiere energía a las moléculas de las células de estos tejidos. Como resultado de esta interacción las funciones de las células pueden deteriorarse de forma temporal o permanente y ocasionar incluso la muerte de las mismas. La gravedad de la lesión depende del tipo de radiación, de la dosis absorbida, de la velocidad de absorción y de la sensibilidad del tejido frente a la radiación.

3.2 Trastornos graves

Dosis altas de radiación sobre todo el cuerpo, producen lesiones características. La radiación absorbida se mide en rad (dosis de radiaciones absorbidas) o en grays (1 gray equivale a 1 julio de energía absorbido por kilogramo de material; su símbolo es Gy) un rad es igual 10^{-2} Gy. Una cantidad de radiación superior a 40 Gy produce un deterioro severo en el sistema vascular humano, que desemboca en edema cerebral, trastornos neurológicos y coma profundo. El individuo muere en las 48 horas siguientes.

Cuando el organismo absorbe entre 10 y 40 Gy de radiación, los trastornos vasculares son menos serios, pero se produce la pérdida de fluidos y electrolitos que pasan a los espacios intercelulares y al tracto gastrointestinal. El individuo muere en los diez días siguientes a consecuencia del desequilibrio osmótico, del deterioro de la médula ósea y de la infección terminal. Si la cantidad absorbida oscila entre 1,5 y 10 Gy, se destruye la médula ósea provocando infección y hemorragia. La persona puede morir cuatro o cinco semanas después de la exposición. Los efectos de estas radiaciones poco intensas, son los que pueden tratarse de forma eficaz. La mitad de las personas que han recibido una radiación de 3 a 3,25 Gy y que no hayan recibido tratamiento, pierden la médula ósea.

La irradiación de zonas concretas del cuerpo (radiaciones accidentales) produce daños locales en los tejidos. Se lesionan los vasos sanguíneos de las zonas expuestas alterando las funciones de los órganos. Cantidades más elevadas, desembocan en necrosis (zonas de tejido muerto) y gangrena.

3.3 Efectos retardados

Las consecuencias menos graves de una radiación ionizante se manifiestan en muchos órganos, en concreto en la médula ósea, riñones, pulmones y el cristalino de los ojos, debido al deterioro de los vasos sanguíneos. Como consecuencias secundarias aparecen cambios degenerativos y funciones alteradas. No obstante, el efecto retardado más importante comparándolo con personas no irradiadas, es el aumento de la incidencia de casos de cáncer y leucemia. El aumento estadístico de leucemia y cáncer de tiroides, pulmón y mama, es significativo en poblaciones expuestas a cantidades de radiación relativamente altas (más de 1 Gy).

3.4 Cáncer de piel

Es una enfermedad en la que se encuentran células cancerosas (malignas) en las capas exteriores de la piel. La piel está compuesta por dos capas principales y distintas clases de células. Existe mucha evidencia que permite relacionar al cáncer de piel con la acción que ejerce la radiación UV-B sobre el ADN. Los tipos de cáncer más comunes ocurren en las células basales y escamosas, son invasivos en el ámbito local y responden a tratamiento.

4. BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS

Los requerimientos a tomar en cuenta para la búsqueda de alternativas es:

- Eliminación de microorganismos en un 99.99%.
- Fácil de Limpiar
- Bajo consumo de energía
- Alta eficiencia

Cumpla con la capacidad de tratar materia prima requerida.

4.1 Exposición a radiación ultravioleta

Para que la esterilización funcione se debe producir una rotación con un movimiento continuo y aleatorio de la materia prima para que toda este en exposición de la radiación ultravioleta durante el tiempo adecuado. Para lograrlo se tiene previsto una cubeta horizontal provista de un semidomo en la parte inferior, que contará con un eje central y agitador de cintas helicoidales con dos cintas contraactantes que se montan sobre el mismo eje: una mueve el sólido muy lento en una dirección, el otro lo mueve muy rápido en la otra. La exposición resulta como consecuencia de la turbulencia inducida por los agitadores contraactantes, y no del simple movimiento de los sólidos a través de la canaleta. Se analizará el proceso en forma discontinua con sólidos que se cargan y mezclan hasta lo deseado.

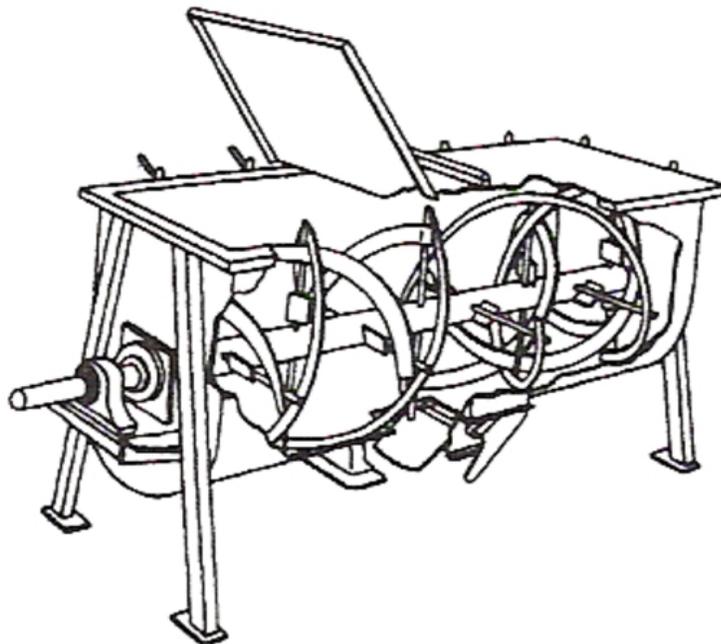
El equipo se debe encontrar libre de contaminación de partículas, para esterilizar el equipo de microorganismos basta con conectar las lámparas durante cinco minutos antes de introducir la materia prima. La alimentación del producto se hará por la parte superior del equipo, esta operación toma un tiempo de 10 minutos, después de ser mezclado e irradiado por una hora, la materia prima se descarga por la parte inferior del mismo, esta debe de ser recibida en costales de tela desinfectados con anterioridad y ser depositados

en contenedores cilíndricos de polipropileno. El tiempo de descarga y contención toma un tiempo de 30 minutos.

El equipo debe ser colocado en un cuarto cerrado, en el cual el operario debe utilizar lentes de protección anti-radiación ya que los ojos sufren daños severos si se exponen durante 3 segundos a esta radiación. El operario debe cerciorarse que las lámparas se encuentren apagadas siempre que vaya a abrir el equipo, ya sea para la carga o la descarga de la materia prima.

La cintas helicoidales giran a 153.5 RPM por medio de un motoreductor de 220 V trifásico que cuenta con una potencia de 1.5 HP y un amperaje de 15.6 A. Con este movimiento el tiempo de mezclado que se debe proporcionar a la materia prima es de 1 hora para que todo el producto sea expuesto a la radiación ultravioleta.

Figura 4. Opción Tecnológica



Fuente: Green Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III. Pág. 19-15

4.1.1 Lámparas de radiación ultravioleta

Para que pueda producirse una radiación en la célula bacteriana, ésta debe exponerse a una fuente irradiadora adecuada. Se ha mostrado ya que es posible producir, de múltiples formas, la radiación entre 240 y 270 nm; la dificultad está, sin embargo, en proveer de la radiación deseada durante un largo periodo de tiempo y con un gasto mínimo de energía.

Es sorprendente que la lámpara de mercurio de baja presión emita casi solamente radiación monocromática a 253,7 nm. Este tipo de lámpara se monta también en la mayoría de las plantas de desinfección UV instaladas en la actualidad. En la descarga de gas a baja presión, la corriente eléctrica fluye entre dos electrodos a través de gas inerte, que contiene una pequeña carga de mercurio. Los iones de mercurio serán excitados por acción de la Electricidad y producirán su radiación características. La densidad de radiación por cm. de longitud de baja presión es aquí menor que la de una lámpara de alta presión, por ejemplo: En compensación, el rendimiento relativo de radiación (en la lámpara de baja presión) es de 2 ó 3 veces mayor.

Una diferencia fundamental es también la diferencia de temperatura. Una lámpara de baja presión puede funcionar sin necesidad de refrigeración. La temperatura óptima en la lámpara de baja presión es de 40° C a 50° C, frente a una temperatura de la lámpara de alta presión de más de 500° C.

4.1.2 Mantenimiento mínimo requerido

Reemplazar la lámpara ultravioleta después de 8,500 horas de trabajo (un año de uso continuo) o cuando se funda, lo que ocurra primero.

Inspeccionar el tubo de cuarzo y lente del sensor con regularidad para asegurarse que estén libres de impurezas, depósitos minerales, etc., ya que estos defectos en el tubo de cuarzo pueden ocasionar un desvío en la dirección de la onda de radiación así como alterar su longitud.

Cada tres meses se debe limpiar con suavidad las incrustaciones que pueda presentar el tubo de cristal de cuarzo. Esta operación se debe hacer utilizando productos detergentes poco agresivos que no rayen la superficie del tubo ya que esto alteraría la longitud de onda emitida por la lámpara.

4.1.3 Rendimiento

La lámpara de descarga de gas mercurio a baja presión está sometido a un natural envejecimiento, a causa de la merma por combustión del material de los electrodos.

El mercurio emite, en estado de excitación, una línea de resonancia de 180 nm. Esta línea puede ionizar el oxígeno del aire y con ello producir ozono y monóxido de nitrógeno que no se desean. Mediante el empleo de clases especiales de cristal de cuarzo, podrá detenerse toda la radiación por debajo de 200 nm.

Con la lámpara de mercurio de baja presión se consiguen rendimientos de radiación de hasta el 40% de energía eléctrica consumida. Esto vale para una absorción de corriente de 0,5 W por centímetro de longitud de la lámpara, un valor que hoy es usual para las lámparas UV con potencia eléctrica entre 30 y 40 W. Así, por ejemplo, a un aumento de absorción de energía de 1,2 a 1,5 W por cm. correspondería una disminución al 30%.

4.1.4 Dosis UV

La dosis UV que debe ser aplicada a una bacteria viene definida por la energía (emitida en la longitud de onda de 240 a 280 nm. aplicada por una unidad de superficie para un período de tiempo dado).

Fórmula: $H = E * t$ (mJ / cm²)

H = Dosis UV.

E = Intensidad.

t = Tiempo de exposición. (seg)

Intensidad (E). La intensidad es el resultado del espesor de la capa entre la lámpara UV de baja presión y la pared exterior de la cámara de irradiación y se puede reducir por la resistencia a la presión del tubo protector de cristal de cuarzo, que acusa una absorción de UV entre el 5% y el 7%, así como por el envejecimiento de la lámpara.

Con una emisión de 254 nm, los parásitos mayores serán eliminados a una dosis equivalente de 1 vatio por segundo. La décima parte de esta radiación será necesaria para destruir protozoos pequeños y esporas de hongos resistentes. Si dividimos entre 70 esta emisión será suficiente para eliminar esporas normales y bacterias.

4.1.5 Instalación de un equipo UV

La unidad de radiación UV normalmente se trata de un fluorescente UV microbicida que se dispone dentro de un tubo de cristal de cuarzo, se debe colocar en un sitio que permita un fácil acceso para realizar funciones de mantenimiento, tenga una buena circulación del aire para evitar un incremento innecesario de temperatura de los componentes del propio aparato. Se suele utilizar cristal de cuarzo porque permite el paso de la radiación UV al contrario que el vidrio que realiza una filtración de estas longitudes de onda del espectro.

Normalmente las conexiones a la unidad suelen ser de un plástico semitransparente que nos permite apreciar sin ningún tipo de riesgo (la luz UV es peligrosa para los ojos) el funcionamiento de la misma.

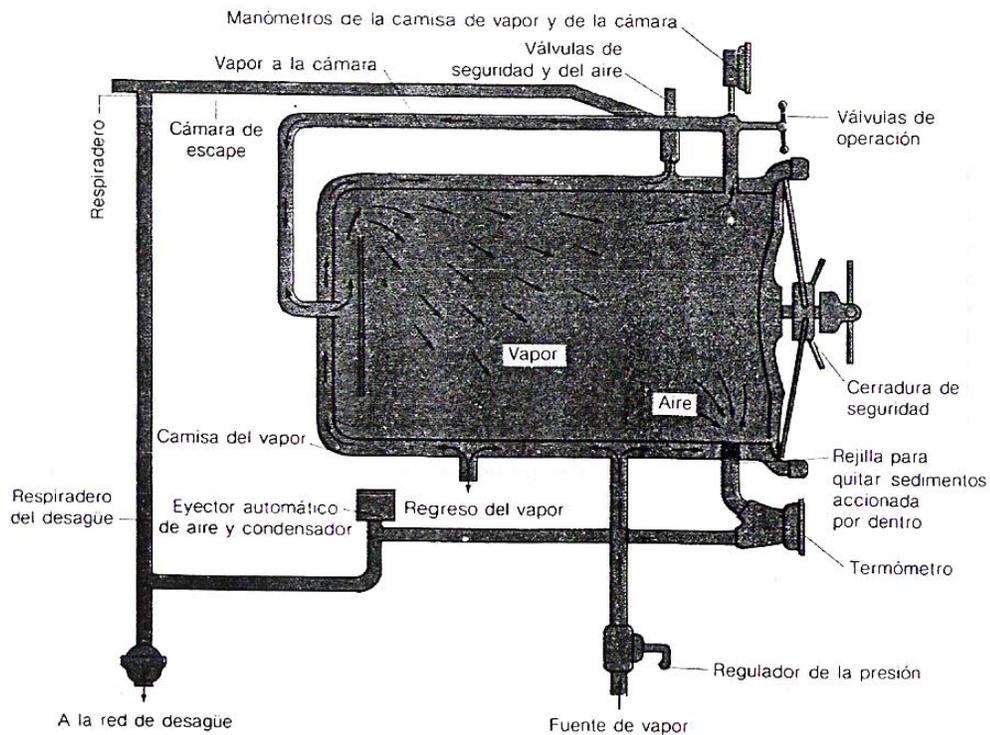
4.2 Alternativas tecnológicas

4.2.1 Por medio de autoclave

El calor en la forma de vapor a saturación y a presión, es el agente más práctico y confiable para esterilizar. El vapor a presión proporciona temperaturas superiores a las que se obtienen por la ebullición. Además tiene varias ventajas, calentamiento rápido, penetración y humedad en abundancia, que facilitan la coagulación de las proteínas.

El equipo diseñado para usar vapor a presión regulada se llama autoclave. Esencialmente es una cámara de vapor de doble pared equipada con dispositivos que permiten que la cámara se llene a saturación de vapor y se mantenga a la temperatura y presión deseadas durante cualquier período. Al manejar el autoclave es esencial que el aire de la cámara sea reemplazado completamente por vapor. Si queda aire dentro, la temperatura en la cámara se reducirá mucho más que sólo si hubiese vapor a la misma presión. No es la presión lo que mata a los microorganismos sino la temperatura elevada del vapor. Se opera a una presión de 15 lb/pulg² a 121 °C durante 15 min.

Figura 5. Autoclave



Fuente: Michael Pelczar. Microbiología. Pág. 376

4.2.2 Por medio de un agente químico (formaldehído)

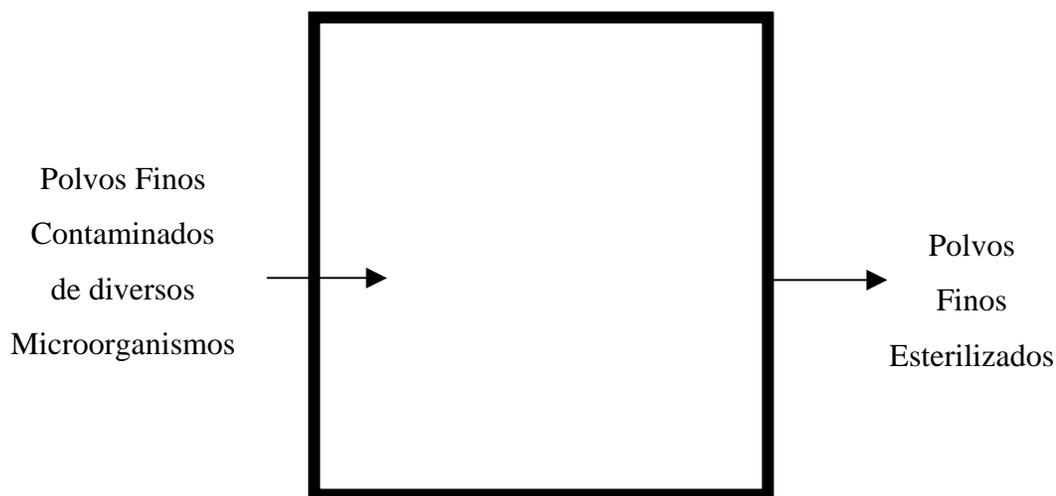
La esterilización por medio de un agente químico es un método empleado ampliamente en la industria debido a que no se necesita la instalación de equipo, por lo mismo se obtiene la ausencia de un costo de mantenimiento.

Este método se basa en la colocación de materia prima en una cámara cerrada en la cual se introduce una solución de formaldehído (solución al 37% – 44%) contenida en un recipiente abierto, debido a que es un líquido muy volátil se distribuye en toda la cámara para lograr la esterilización gaseosa. La vaporización de formaldehído en un recinto cerrado y durante cierto tiempo produce esterilización, a las células vegetativas las mata más rápidamente que a las esporas. La humedad y la temperatura ejercen efectos pronunciados sobre la acción microbicida del formaldehído. Para esterilizar un recinto, la temperatura debe ser la ambiente (22° C) y la humedad relativa entre 60 y 80%. Una de las desventajas de este procedimiento es la limitada capacidad de los vapores de formaldehído de penetrar hasta los objetos cubiertos. Al formaldehído se le agrega también 1% de metanol libre o 7-8% de metanol inhibido para prevenir su polimerización a paraformaldehído. El equipo debe ser colocado en un área cerrada para evitar cualquier fuga de formaldehído.

5. DISEÑO DE EQUIPO

5.1. Macroanálisis

5.1.1. Caja Negra



En la industria de cosméticos se utilizan diversos polvos como materias primas, estas pueden presentar contaminación por bacterias u hongos. La *U.S. Food & Drug Administration* (FDA) establece que el límite de aceptación de hongos y bacterias no dañinas para el ser humano es de 500 unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) y para bacterias coliformes debe de ser menor a 1 UFC/g. En busca de mejorar la calidad de los productos para el consumidor final las empresas cosméticas de Guatemala tienen un límite de aceptación de hongos y bacterias menor a 100 UFC/g. Por lo cual al tener polvos finos contaminados de diversos microorganismos puedan ser sometidos a un proceso adecuado para llegar a obtener polvos finos. Lo que se desea obtener es un producto que al ser detectado con una contaminación superior a lo aceptado sea procesado para llegar a obtener con un polvo fino esterilizado.

5.2. Microanálisis

VARIABLES DE ENTRADA	ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA
No. de UFC/g Humedad Masa	100 – 1000 UFC/g 0.15% - 1.20% 300 Kg.
VARIABLES DE SALIDA	ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE SALIDA
No. de UFC/g Humedad Masa	< 1 UFC/g 0.15% - 1.20% 300 Kg.
VARIABLES DE PROCESO	ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO
Consumo de Energía Longitud de Onda Masa Procesada Tiempo de exposición	3.496 kW/hr 254 nm 300 Kg. 1 hora
CRITERIOS DE DISEÑO	RESTRICCIONES
Técnicos operativos Capacidad Costo Operación Curvas Sanitarias	Una persona 300 Kg < Q.50,000.00 < Q.100.00/hora
EXPECTATIVA DE USO	UNIDADES A PRODUCIR
Mezcladora (15 años) Lampara Ultravioleta (8500 hrs un año de uso continuo)	1 unidad

La materia prima a tratar son polvos finos no cohesivos que presentan contaminación microbiana en cantidades que pueden ser perjudiciales para la presentación del producto final así como al consumidor, se tiene una variable de entrada con un rango de 100 – 1000 UFC/g ya que si el producto presenta un nivel mayor de contaminación el producto ha sido afectado irreversiblemente en su apariencia así como en su olor las cuales no se recuperan aunque se eliminen los microorganismos siendo esta la variable clave. Con el equipo diseñado se obtendrá un conteo microbiano de <1 UFC/g. Estos polvos presentan humedad en un rango de 0.15% – 1.20% , propiedad la cual no se debe perder para no alterar la presentación del producto.

5.3. Desarrollo del modelo

5.3.1. Materia prima a tratar

La materia prima que se empleará consta de polvos finos no cohesivos, esto nos indica que sus índices de humedad son bajos y no tienden a formar grumos por lo cual no se tiene el problema de ejercer una fuerza para separar la materia a tratar, además que no tienen la propiedad de formar aglomeraciones que dificulten la exposición a la radiación ultravioleta por ocultamiento con las otras partículas. Esta materia prima estará contaminada de microorganismos los cuales resultan dañinos para las personas en cantidades de 100 – 1000 UFC/g, mediante este equipo se reducirá la cantidad de microorganismos a niveles de calidad óptimos para estas materia primas.

5.3.2. Potencia requerida

Debe aplicarse suficiente potencia para soportar los momentos de máximo requerimiento, como pueden ser los cambios durante las operaciones de mezclado. Igualmente, cuando se requieren mezclas diferentes, la potencia debe ser suficiente para los materiales más densos. Si el mezclador, cargado, debe arrancar desde cero, debe tener suficiente potencia para hacerlo. Para este tipo de mezclador se debe contar con un motor con una potencia de 1.5 HP.

5.3.3. Buenas prácticas de manufactura

Se deben tener en cuenta un correcto manejo del equipo así como las condiciones que este demuestre deben de ser optimas para la esterilización, por lo cuál se debe tomar en cuenta las curvas sanitarias en el equipo, esto indica que no debe de existir ángulos de 90 grados en los lugares con contacto con la materia prima ya que estos son los lugares en donde se concentran con mayor facilidad las bacterias así como además pueden ser lugares en donde se aglomere la materia prima dificultando así su esterilización.

5.3.4. Material de construcción

Debido a que se debe contar con un equipo con curvas sanitarias se utilizará acero inoxidable ferrítico ya que son fáciles de maquinarse. Este material contiene de un 15 a un 30 por 100 de Cr con un bajo contenido de carbono (0.1 por 100). Su alto contenido de cromo mejora su resistencia a la corrosión lo cual provee una mayor vida útil del producto así como menor contaminación del producto debida a partículas ajenas. La resistencia mecánica de los aceros inoxidables ferríticos puede aumentar mediante el trabajado en frío, pero no por tratamiento térmico. La soldadura no constituye un problema, aunque requiere operarios especializados. La resistencia a la corrosión se considera buena, aun cuando no son buenos contra ácidos reductores, como el HCl. Pero

las soluciones ligeramente corrosivas y los medios oxidantes no les atacan. Es muy resistente a la oxidación a altas temperaturas. Se utilizará acero inoxidable con un grosor de 6.3 mm, este grosor resiste la carga a utilizar y evita el escape de la radiación la cual no traspasa cuerpos rígidos. Este material será utilizado ya que es un material liso, no poroso, de esta manera se evita la acumulación de bacterias así como se garantiza la exposición del producto ya que no existiran lugares de ocultación o almacenamiento en el equipo.

5.3.5. Lámparas ultravioletas

Se instalará una lámpara de mercurio de baja presión. En la descarga de gas a baja presión, la corriente eléctrica fluye entre dos electrodos a través de gas inerte, que contiene una pequeña carga de mercurio. Los iones de mercurio serán excitados por acción de la electricidad y producirán su radiación características de una onda monocromática de 253.7 nm la cual destruye el 99.99% de los microorganismos. Está radiación no causa ningún daño al medio ambiente ya que es una radiación que se emite directamente del sol, cuya parte llega a la tierra y no causa daño alguno al entorno. Se utilizará una ventana de cuarzo para recubrir las lámparas ultravioletas con el fin de que los polvos no afecten la conecciones eléctricas de las mismas, el cuarzo será el material empleado ya que este material no altera la longitud de onda emitida por la lámpara.

5.3.6. Cintas helicoidales

La materia prima colocada en el equipo será expuesta a la radiación como consecuencia de la turbulencia inducida por dos agitadores contraactantes que se montan sobre un mismo eje, uno mueve el sólido muy lento en una dirección, el otro lo mueve muy rápido en la otra debido a que poseen diámetros distintos cada uno de ellos, ambos cuentan con un grosor de 6.3 mm y un ancho de 76.2 mm para proporcionar el empuje a la materia prima contenida en el equipo, serán de acero inoxidable igual que el equipo ya que proporcionar una resistencia adecuada para el proceso.

5.3.7. Operación del equipo

Para la operación del equipo solo es necesario un técnico operario ya que el equipo presenta una fácil operabilidad, además de un leve riesgo para la salud del mismo, siendo el factor primordial el cuidado de los ojos ya que esta radiación produce serios daños a la retina si se exponen por un tiempo mayor a 3 segundos, para lo cual contará con lentes antirradiación para evitar todo posible riesgo.

5.3.8. Dimensiones del equipo

El equipo debe producir un movimiento continuo y aleatorio a fin de que exponga las partículas contenidas en este a una exposición de radiación ultravioleta con el fin de esterilizar su contenido microbiológico. Estará formado por paredes lisas de acero inoxidable para evitar la acumulación de bacterias, su parte inferior tendrá la forma de un semidomo evitando así los ángulos de 90°.

Densidad promedio de polvos finos no cohesivos: $0.60257 \text{ g/ml} = 602.57 \text{ Kg/m}^3$.

Se utilizará un proceso por batch de 300.00 Kg lo que nos muestra un volumen másico de 0.498 m³. Para tener una exposición adecuada se requiere una hélice de 600 mm de diámetro, lo cual nos proporciona la medida del fondo del equipo ya que estas son equivalentes. La altura de materia prima no debe exceder el tamaño de la hélice para que exista una fuerza correcta de empuje en todos los puntos de la materia prima, por lo cual se determina una altura a partir de la parte rectangular del equipo de 300 mm. Con estas medidas establecidas procedemos a determinar el frente del equipo utilizando para esto el volumen de materia a esterilizar.

Volumen de semidomo inferior del equipo:

$$V_d = (\pi * r^2 * y) / 2 \quad \text{siendo } r = \text{radio} = 300 \text{ mm} = 0.30 \text{ m} \quad y = \text{frente}$$

Volumen de rectángulo superior del equipo:

$$V_r = x * y * z \quad \text{siendo} \quad \begin{aligned} x &= \text{fondo} = 600 \text{ mm} = 0.60 \text{ m} \\ y &= \text{frente} = ? \\ z &= \text{altura} = 300 \text{ mm} = 0.30 \text{ m} \end{aligned}$$

Volumen Total:

$$V_t = V_d + V_r = (\pi * r^2 * y) / 2 + x * y * z \quad V_t = 0.498 \text{ m}^3$$

$$0.498 = (\pi * 0.30^2 * y) / 2 + 0.60 * y * 0.30 \quad \text{despejando y de la}$$

ecuación

$$\mathbf{y = 1.55 \text{ m} = 1550 \text{ mm}}$$

La altura del rectángulo superior del equipo será de 600 mm de tal manera que la radiación de las lámparas ultravioletas, colocadas en parte superior del equipo, lleguen a todos los puntos de la superficie de la materia prima.

Acero Inoxidable a utilizar

Para calcular la cantidad de acero inoxidable a utilizar sumaremos el área del frente, la parte trasera, los lados, la tapa, el área del domo, el área circular a los lados del domo y material para las bases y las cintas helicoidales.

$$\begin{aligned} \text{Área frontal (Af)} &= && 1.55 \text{ m de ancho por } 0.60 \text{ m de alto} \\ \text{Af} &= 1.55 \text{ m} * 0.60 \text{ m} = \mathbf{0.93 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área de la parte trasera (At)} &= && 1.55 \text{ m de ancho por } 0.60 \text{ m de alto} \\ \text{At} &= 1.55 \text{ m} * 0.60 \text{ m} = \mathbf{0.93 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área de la tapa del equipo (Ata)} &= && 1.55 \text{ m de ancho por } 0.60 \text{ m de alto} \\ \text{Ata} &= 1.55 \text{ m} * 0.60 \text{ m} = \mathbf{0.93 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área lateral izquierda (Ali)} &= && 0.60 \text{ m de ancho por } 0.60 \text{ m de alto} \\ \text{Ali} &= 0.60 \text{ m} * 0.60 \text{ m} = \mathbf{0.36 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área lateral derecha (Ald)} &= && 0.60 \text{ m de ancho por } 0.60 \text{ m de alto} \\ \text{Ald} &= 0.60 \text{ m} * 0.60 \text{ m} = \mathbf{0.36 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área semicírculo izquierdo (Asi)} &= && 0.30 \text{ m de radio} \\ \text{Asi} &= \pi * r^2/2 = \pi * 0.30\text{m}^2/2 = \mathbf{0.141 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Área semicírculo derecho (Asd) = 0.30 m de radio

$$Asd = \pi * r^2/2 = \pi * 0.30m^2/2 = \mathbf{0.141 m^2}$$

Área semidomo inferior (As) = 1.55 m de largo y 0.30 m de radio.

$$As = (2*\pi * r)/2 * 1.55m = (2*\pi * 0.3)/2 * 1.55m = \mathbf{1.46 m^2}$$

Área Total (AT) = Suma total de las áreas.

$$AT = Af + At + Ata + Ali + Ald + Asi + Asd + As$$

$$AT = 0.93 m^2 + 0.93 m^2 + 0.93 m^2 + 0.36 m^2 + 0.36 m^2 + 0.141 m^2 + 0.141 m^2 + 1.46 m^2$$

$$\mathbf{AT = 5.252 m^2}$$

Se usara 1 m² para realizar las cintas helicoidales así como las bases del equipo.

$$\mathbf{A=5.252 + 1 = 6.252 m^2}$$

5.4. Evaluación Preliminar

5.4.1. Exposición a radiación ultravioleta

Ventajas	Desventajas
Bajo consumo de energía Eliminación del 99.99% de microorganismos. Alto rendimiento De fácil operación Bajo costo de mantenimiento preventivo	Radiación dañina si el personal es expuesto a la radiación sin protección adecuada.

5.4.2. Por medio de autoclave

Ventajas	Desventajas
Eliminación del 99% de microorganismos Método ampliamente conocido en el ambiente industrial. Costo bajo de seguridad industrial para el operario.	Costos y tiempos de proceso altos. Exposición al producto de aumento de humedad. Altos Costos de implementación de equipo y mantenimiento. Volumen pequeños de materia esterilizada.

5.4.3. Por medio de un agente químico (formaldehído)

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de implementación de equipo y mantenimiento	Agente químico altamente nocivo para el personal operativo aumentando así los costos de seguridad industrial. Dificultad de esterilización completa de la materia debido a su limitada capacidad de penetrar en todo el producto. Posible reacción o absorción del gas por la materia prima a esterilizar. Debido a la aireación del producto se corre el riesgo de contaminar el producto ya que este debe ser un aire puro.

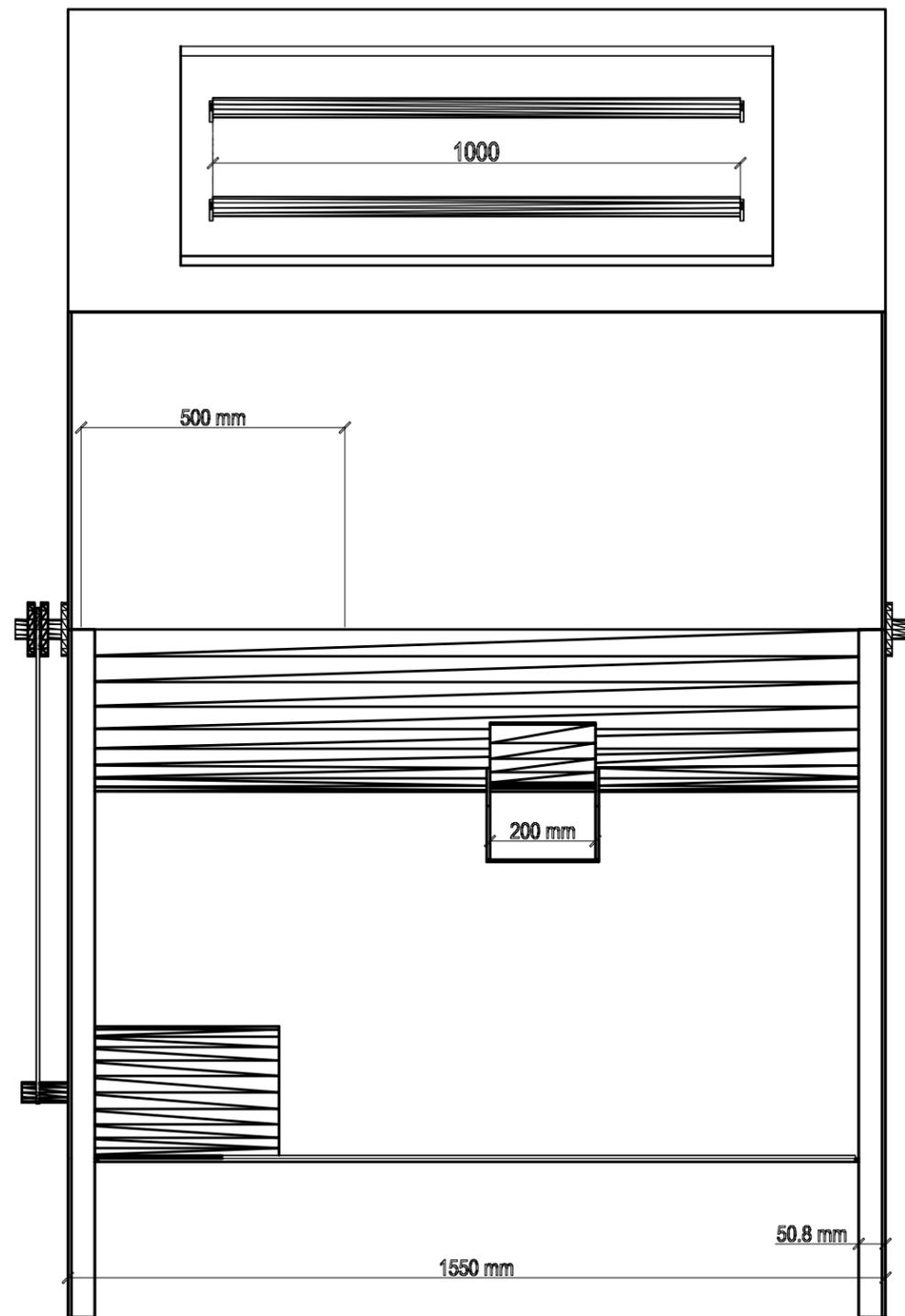
5.5. Evaluación económica

Utilizando el equipo mostrado anteriormente, representando costos de material y de mano de obra. Se usara 5.276 m² de acero inoxidable para la construcción de la mezcladora, a un precio de Q. 1500.00 / m².

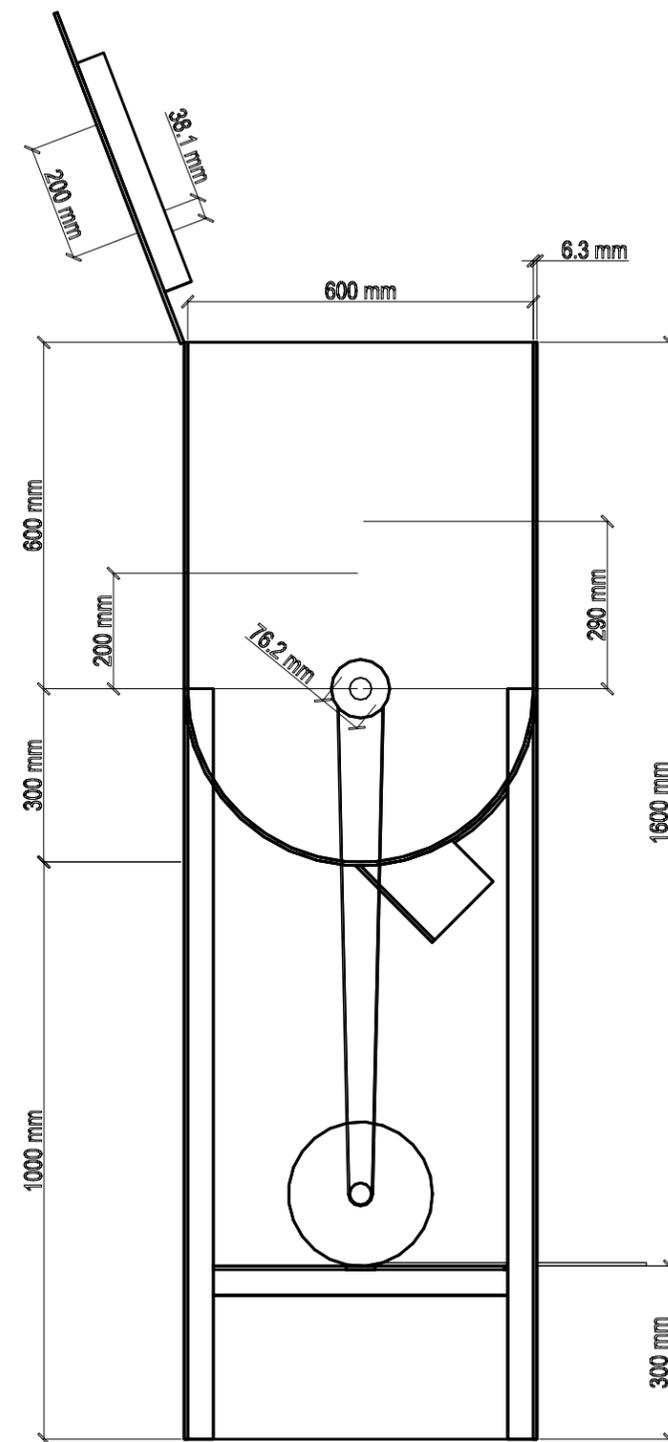
Instalación	Cantidades	Precio unitario	Precio total
Mezcladora	6.252 m ²	Q 1,200.00	Q 7,502.40
Mano de Obra	1	Q 15,000.00	Q 15,000.00
Motor (1.5 HP)	1	Q 5,000.00	Q 5,000.00
Lámparas ultravioleta	2	Q 1,500.00	Q 3,000.00
Anteojos protectores	2	Q 250.00	Q 500.00
Cubierta de cuarzo	1	Q 3,000.00	Q 3,000.00
Total			Q34,002.40

Operación	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Costo de KW/hora (lámparas)	0.064	Q 1.42	Q 0.09
Costo KW/hora (mezcladora)	3.432	Q 1.42	Q 4.88
Total			Q 4.97

Las lámparas ultravioletas consumen 0.032 watt/h cada una por lo cual consumen 0.064 KW/h ya que se colocaran dos en el equipo. El costo del KW/h es de Q. 1.42. La mezcladora consume 3.432 KW/h.

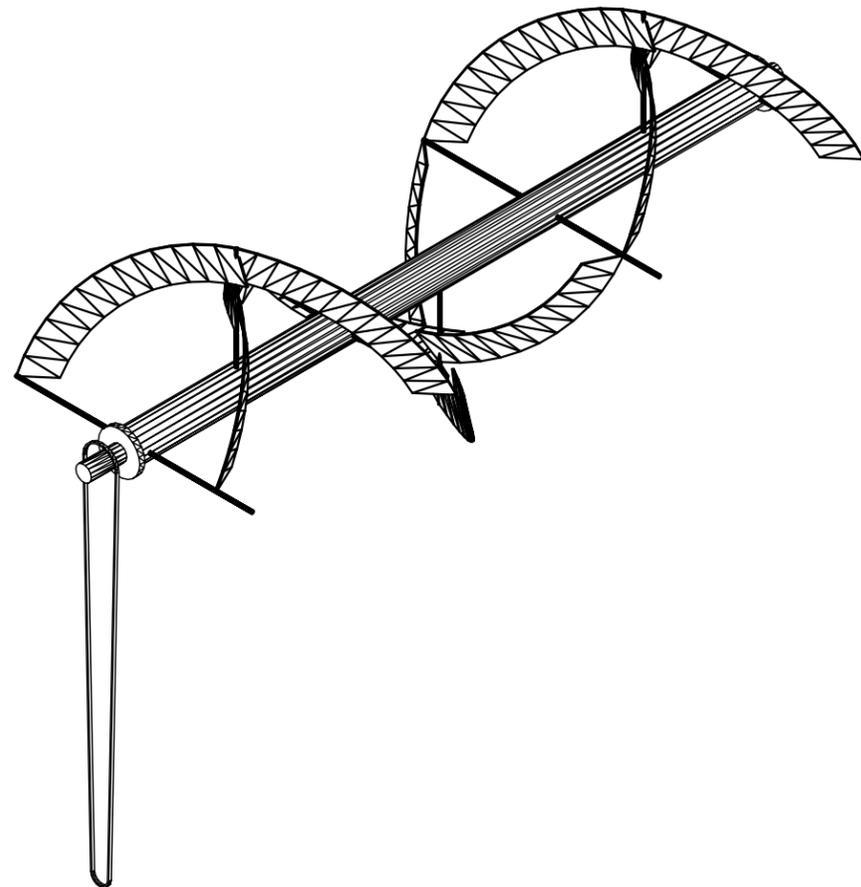


Desarrollo del Modelo
Vista Frontal
Escala 1:125

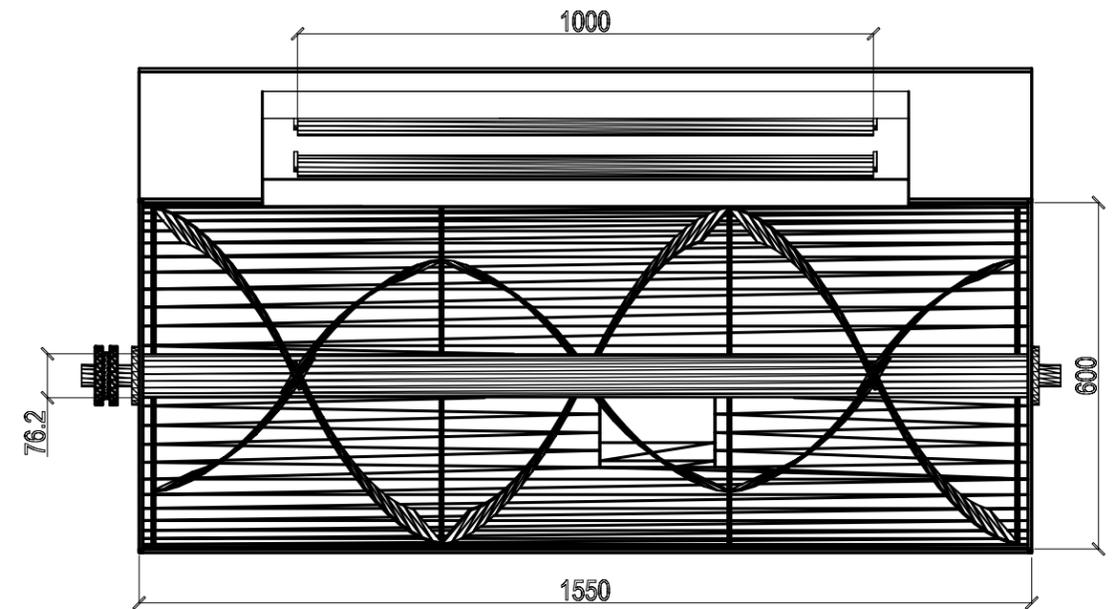


Vista Lateral
Escala 1:125

USAC / Escuela de Ingeniería Química	Octubre de 2005
Diseño de Equipo para Esterilización por Radiación Ultravioleta de Polvos Finos No Cohesivos en la Industria de Cosméticos	
Diseño: Alexander Antonio Pivaral Álvarez	1/3
Revisión: Ing. Eric Maldonado	
Escala: 1:125	



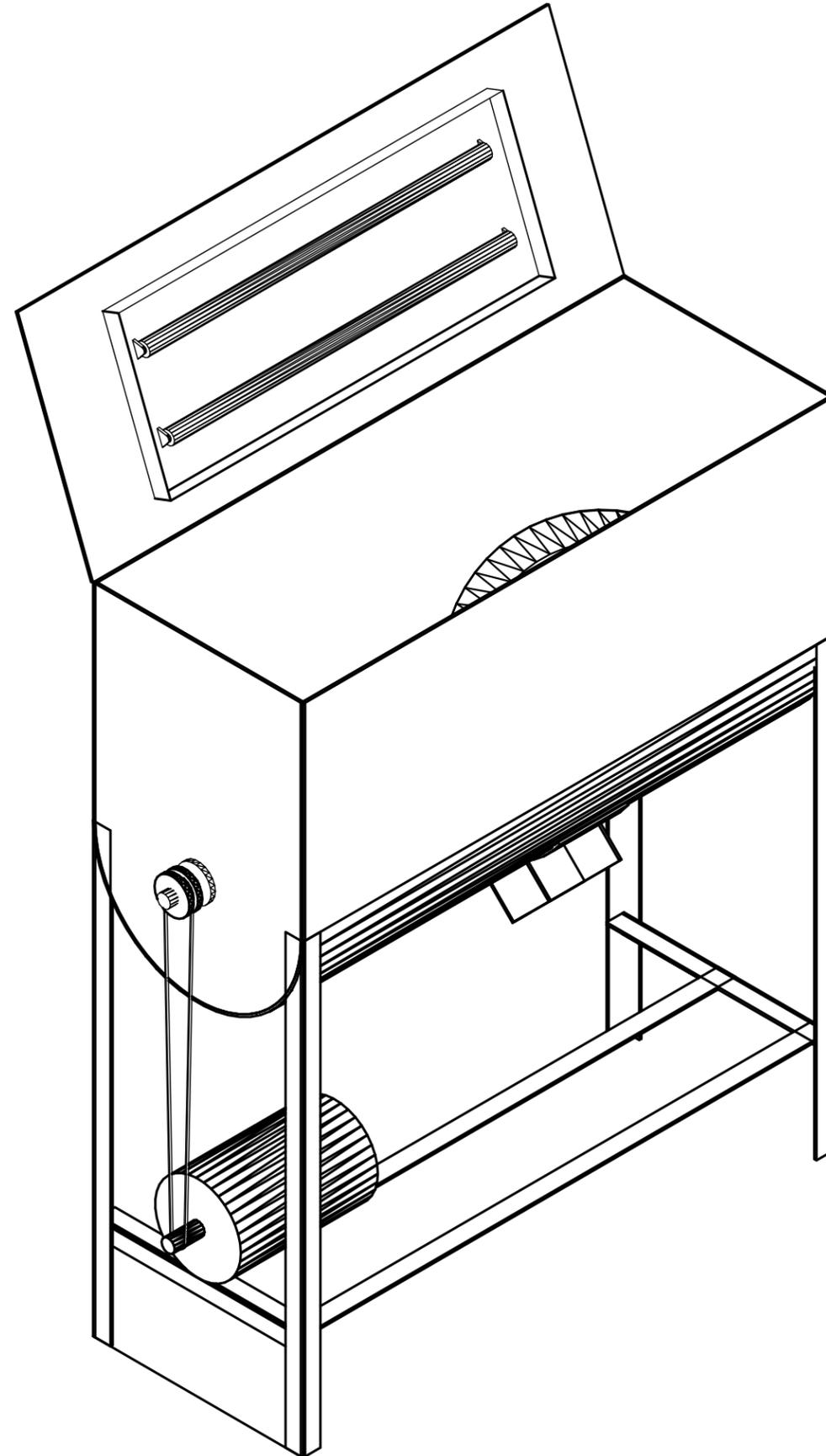
Isométrico Aspas y Eje
Escala 1:125



Desarrollo del Modelo
Vista Superior (planta)
Escala 1:125

USAC / Escuela de Ingeniería Química	Octubre de 2005
Diseño de Equipo para Esterilización por Radiación Ultravioleta de Polvos Finos No Cohesivos en la Industria de Cosméticos	
Diseño: Alexander Antonio Pivaral Álvarez Revisión: Ing. Eric Maldonado	Escala: 1:125 2/3

Desarrollo del Modelo
Isométrico
Escala 1:125



USAC / Escuela de Ingeniería Química	Octubre de 2005
Diseño de Equipo para Esterilización por Radiación Ultravioleta de Polvos Finos No Cohesivos en la Industria de Cosméticos	
Diseño: Alexander Antonio Pivaral Álvarez	Escala: 1:125
Revisión: Ing. Eric Maldonado	
	3/3

6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

La opción de sanitización por medio de autoclave es la de más amplio uso, pero como se observa en el análisis requiere de una alta inversión inicial además de que cuenta con un alto costo de operación. Además aumenta la humedad de la materia prima a sanitizar ocasionando que esta se agrupe formando grumos los cuales no son deseados. Esta opción no representa mayor peligro para el técnico operario por lo cual no se requiere mayor equipo de seguridad para el mismo, solamente la correcta operación del equipo a utilizar para evitar que se taponen las tuberías.

La opción de sanitización por medio de un agente químico es la de menor inversión inicial con un bajo costo de operación. El problema se encuentra en que son gases nocivos los cuáles deben ser extraídos o evacuados del área de trabajo sin dañar al operario ante lo cual se necesita una máscara antigases. Debido al bajo volumen que se utilizará no causa mayor problemas al medio ambiente ya que este se distribuye en el entorno siendo así imperceptible y al entrar en contacto con el agua se polimeriza a paraformaldehído sin causar daño al medio ambiente.

Este método presenta también el problema de que puede ser absorbido por la materia prima o que esta pueda atrapar su olor penetrante, además de que no alcanza a profundizar en lugares donde se acumula la materia prima en cantidades grandes, ocasionando una mala sanitización de la materia prima.

La opción de esterilización por medio de radiación ultravioleta presenta una inversión inicial intermedia entre las otras dos opciones, encontrándose con las ventajas de que el costo de operación es el menor de las opciones analizadas. En cuanto a la seguridad industrial requiere el cuidado de no exponerse a la radiación ultravioleta, esta solo debe conectarse cuando se cierre el equipo conteniendo la materia prima a sanitizar necesitando de pocos elementos de seguridad, ya que la exposición es dañina en períodos de exposición extensos, el equipo que se necesita son lentes antirradiación debido a que estos sufren quemaduras en las retinas a los 3 segundos de exposición directa sin el equipo correcto.

El equipo cuenta con la capacidad de sanitizar la masa necesaria, asegurándose que en una hora de movimiento continuo y aleatorio la materia prima se vera expuesta a la radiación ultravioleta destruyendo así el 99.99% de los microorganismos de los polvos finos, por lo cual esta la opción optima.

CONCLUSIONES

1. Ante este análisis de costo, así como de diseño de equipo, se concluye que la opción óptima a utilizar es el equipo diseñado para la esterilización por medio de radiación ultravioleta.
2. El equipo diseñado para la esterilización, por medio de radiación ultravioleta, muestra una baja inversión inicial, además de un bajo mantenimiento debido a su fácil operabilidad, sin afectar su eficiencia en la eliminación de microorganismos manteniendo un riesgo personal y ambiental mínimos.

RECOMENDACIONES

1. En el equipo diseñado se deben evitar los ángulos de 90°, donde se coloca la materia prima, ya que, en estos lugares es donde se dá el mayor crecimiento de microorganismos, además, de ser los lugares más difíciles de limpiar.
2. Señalizar, claramente, que el equipo emite radiación ultravioleta cuando está en proceso de esterilización y que este no debe ser abierto cuando se encuentre en funcionamiento, pues, es dañino sin el equipo de seguridad adecuado.
3. Limpiar el equipo y activar las lámparas ultravioletas por 5 minutos antes de colocar la materia prima para cerciorarse que el equipo se encuentre libre de contaminación microbiana.
4. Dar el mantenimiento, correctamente, así como asegurarse que, tanto las lámparas como la ventana de cuarzo que las cubren, se mantengan limpias, debido a que, la suciedad puede interferir con la irradiación de la materia prima.

BIBLIOGRAFIA

1. Pelczar, Michael J. y otros. **Microbiología**. México, 1982. Pg. 376 – 377, 380 – 383, 712 – 713.
2. McCabe, Warren.; Smith, J. **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química**. Cuarta edición, Editorial McGraw-Hill, México, 1991. Pg. 1030 – 1041.
3. Perry R. Green D. **Manual del Ingeniero Químico**. 7ª. Edición. Editorial McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.U. Madrid, España. Volumen III. Capítulo 19. Pg. 11 – 16