



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

**DISEÑO DEL SISTEMA DE MEZCLADO PARA PRODUCCIÓN DE UNA  
SOLUCIÓN BIODEGRADABLE DESINFECTANTE PARA SUPERFICIES**

**Walter Armando Mansilla González**

Asesorado por la Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira

Guatemala, marzo de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA DE MEZCLADO PARA PRODUCCIÓN DE UNA  
SOLUCIÓN BIODEGRADABLE DESINFECTANTE PARA SUPERFICIES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**WALTER ARMANDO MANSILLA GONZÁLEZ**

ASESORADO POR LA INGA. DINNA LISSETTE ESTRADA MOREIRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MARZO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento 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 DEL SISTEMA DE MEZCLADO PARA PRODUCCIÓN DE UNA SOLUCIÓN BIODEGRADABLE DESINFECTANTE PARA SUPERFICIES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 21 de septiembre de 2012.



**Walter Armando Mansilla González**

*Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
A la atención de Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
Director  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Ciudad de Guatemala*

*Ciudad de Guatemala, 02 de noviembre de 2012*

Señor director:

Haciendo uso de este medio, comunico que he revisado el informe final de investigación de trabajo de graduación del estudiante Walter Armando Mansilla González, titulada: "Diseño del sistema de mezclado para producción de una solución biodegradable desinfectante para superficies"; reputando el cumplimiento de su contenido, con los requerimientos de un trabajo de graduación de ingeniería química.

Por tanto, en calidad de asesora, expreso mi aprobación del informe final de investigación de trabajo de graduación del estudiante Mansilla González.

Sin más que manifestar, me despido atentamente:

**DINNA LISSETTE ESTRADA MOREIRA**  
INGENIERA QUIMICA  
Colegiado Activo No 666

  
Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira  
Ingeniera química





Guatemala, 21 de noviembre de 2012  
Ref. EI.Q.TG-IF.058.2012

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-064-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Walter Armando Mansilla González**

Identificado con número de carné: **2007-15397**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

### DISEÑO DEL SISTEMA DE MEZCLADO PARA PRODUCCIÓN DE UNA SOLUCIÓN BIODEGRADABLE DESINFECTANTE PARA SUPERFICIES

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Dinna Lisette Estrada Moreira**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.075.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **WALTER ARMANDO MANSILLA GONZÁLEZ** titulado: "**DISEÑO DEL SISTEMA DE MEZCLADO PARA PRODUCCIÓN DE UNA SOLUCIÓN BIODEGRADABLE DESINFECTANTE PARA SUPERFICIES**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, marzo 2013



Cc: Archivo  
VMMV/ale

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 226 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE MEZCLADO PARA PRODUCCIÓN DE UNA SOLUCIÓN BIODEGRADABLE DESINFECTANTE PARA SUPERFICIES**, presentado por el estudiante universitario: **Walter Armando Mansilla González**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 20 de marzo de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Mi abuela</b>	Lidia Mejía. Usted ha sido una de mis más grandes motivaciones.
<b>Mi madre</b>	Lidia González. Porque recorrimos juntos el camino, el consecución es de ambos y junto a mi abuela, mi primera maestra.
<b>Mi padre</b>	Armando Mansilla. Por el cariño que le tengo y por su colaboración.
<b>Mis hermanos</b>	Karina, Glenda y Steve Mansilla González. Mis camaradas de la vida.
<b>Mis sobrinos</b>	Josué y Kevin Ramírez Mansilla. Porque deseo que cada etapa en su vida sea triunfante.
<b>Mis buenos amigos</b>	Rony Morales, Lester Pineda, Carlos Lacán, Herber Corado, Eleazar Méndez, Lester Luna, Karla Álvarez, Jesús López, Luis Castillo, Luis Chan. Porque me acompañaron, me apoyaron y compartimos experiencias de vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>El pueblo de Guatemala</b>	Porque financió mi formación académica, a él me debo.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Alma mater; donde se abrió mi mente, se transformó mi pensamiento y se forjaron mis más grandes visiones.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Porque en sus cátedras me formé académica e intelectualmente.
<b>Mi madre</b>	Lidia González Mejía. Por el apoyo sustancial e incondicional.
<b>Mi asesora</b>	Inga. Dinna Estrada Moreira. Por su inestimable colaboración y por brindarme su amistad.
<b>Mis catedráticos</b>	Por lo que me dejaron al compartirme sus conocimientos y experiencia. Especialmente a Ing. Jorge Estrada, Ing. Orlando Posadas e Ing. Erwin Ortiz.

**Mis amigos de la  
Escuela de Ingeniería  
Química**

Karen Morales, Fernanda Vásquez, Paula Boiton, Elidia Castillo, Dennis Sazo, David de los Santos, Héctor Chiroy, Rodolfo Rodríguez, Marvin Capriel, Rossmery Guzmán, Any Ortiz, Shený Guerra. Mis condiscípulos y camaradas, por todo lo que vivimos, los llevo en mi mente.

**Familia Contreras  
González**

Por el apoyo que obtuve siempre de su parte.

**Profesionales**

Ing. Oswin Melgar, Ing. Víctor Monzón, Lic. David Cabrera, Licda. Ana Rodas. Por la colaboración que me proporcionaron en la realización de mi trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Desinfección .....	3
2.1.1. Antecedentes históricos.....	3
2.1.2. Clasificación de los desinfectantes .....	5
2.1.3. Desinfectantes de uso común.....	5
2.1.3.1. Desinfectantes inorgánicos.....	6
2.1.3.2. Desinfectantes orgánicos .....	7
2.1.4. Mecanismos de acción de los agentes desinfectantes.....	7
2.1.5. Factores relacionados con la actividad de soluciones desinfectantes.....	9
2.1.6. Características del desinfectante de superficies ideal .....	10
2.1.7. Composición básica de un desinfectante de superficies.....	11
2.1.7.1. Agente activo .....	12



2.1.7.2.	Vehículo .....	12
2.1.7.3.	Humectante .....	12
2.1.7.4.	Secuestrante .....	14
2.1.7.5.	Agentes organolépticos .....	14
2.1.8.	Propiedades fisicoquímicas importantes de una solución desinfectante .....	15
2.1.8.1.	pH.....	15
2.1.8.2.	Densidad .....	15
2.1.8.3.	Viscosidad .....	16
2.1.9.	Microorganismos de estudio para ensayos de actividad microbica de desinfectantes .....	17
2.2.	Concepto de biodegradabilidad y su evaluación en líquidos .....	19
2.3.	La ingeniería química en el desarrollo de productos desinfectantes .....	21
2.4.	Fenómenos de flujo de fluidos .....	21
2.5.	Transporte de fluidos.....	24
2.5.1.	Selección del tamaño de tubería .....	24
2.5.2.	Caídas de presión .....	25
2.6.	Agitación y mezclado de fluidos .....	27
2.6.1.	Agitadores para tanques de mezclado .....	29
2.6.1.1.	Agitador propulsor de tres aspas.....	29
2.6.1.2.	Agitadores de paletas.....	30
2.6.1.3.	Agitadores de turbina .....	31
2.6.1.4.	Agitadores de banda helicoidal .....	32
2.6.2.	Selección del agitador .....	32
2.6.3.	Diseño típico de un sistema de agitación .....	33
2.6.4.	Consumo de potencia en sistemas de agitación .....	34
2.6.5.	Tiempo de mezclado para líquidos miscibles .....	36

3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	39
3.1.	Variables .....	39
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	40
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	40
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	41
3.4.1.	Espacio físico.....	42
3.4.2.	Equipo .....	42
3.4.3.	Cristalería .....	42
3.4.4.	Microorganismos .....	43
3.5.	Técnica cuantitativa.....	44
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	45
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	46
3.7.1.	Datos sobre ensayos aplicados .....	46
3.7.2.	Datos preliminares.....	48
3.8.	Análisis estadístico .....	48
3.8.1.	Medida de la tendencia central.....	49
3.8.2.	Medidas de dispersión.....	49
3.8.3.	Distribución normal y nivel de significación .....	50
3.8.4.	Determinación del número de observaciones para variables de respuesta .....	52
3.8.5.	Análisis estadístico de variables de respuesta .....	56
4.	RESULTADOS .....	59
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	63

CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES .....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	73
APÉNDICES.....	79
ANEXOS.....	97

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ángulos de contacto entre un líquido y una superficie sólida.....	13
2.	Factor de corrección de energía cinética en función del número de Reynolds en tuberías .....	23
3.	Sistema de agitación con flujo axial: a) vista lateral, b) vista desde el fondo .....	29
4.	Agitadores de paletas: a) de cuatro aspas, b) de compuerta .....	30
5.	Agitadores de turbina: a) abierta de seis aspas, b) de aspas inclinadas a 45° .....	31
6.	Dimensiones de un sistema de agitación .....	33
7.	Curvas de relación entre número de potencia y número de Reynolds, para diferentes tipos de agitadores .....	35
8.	Curva de relación entre factor adimensional de mezcla y número de Reynolds, para sistemas con agitadores de turbina.....	37
9.	Procedimiento de recolección de la información .....	45
10.	Curva de distribución normal.....	50
11.	Curvas características de operaciones para pruebas unilaterales y bilaterales.....	52
12.	Curvas CO para valores de n de la distribución normal unilateral para $\alpha=0,05$ .....	54
13.	Curvas CO para valores de n de la distribución normal bilateral para $\alpha=0,05$ .....	55
14.	Modelo de límites de confianza para densidad .....	57
15.	Modelo de límites de confianza para viscosidad absoluta.....	57

16.	Modelo de límites de confianza para índice de biodegradabilidad.....	58
-----	--	----

## TABLAS

I.	Desinfectantes y sus mecanismos de acción .....	8
II.	Factores de conversión para viscosidad absoluta .....	16
III.	Índice de biodegradabilidad .....	20
IV.	Velocidad de fluidos en tuberías .....	25
V.	Pérdidas por fricción en accesorios y válvulas .....	27
VI.	Tipo de agitador según viscosidad del líquido .....	32
VII.	Proporciones típicas de un sistema de agitación.....	34
VIII.	Variables del sistema.....	39
IX.	Variables cuantitativas de estudio .....	44
X.	Resultados de ensayo de densidad.....	46
XI.	Resultados de ensayo de viscosidad absoluta .....	47
XII.	Resultados de ensayo de índice de biodegradabilidad.....	47
XIII.	Datos preliminares .....	48
XIV.	Datos de análisis estadístico de densidad.....	56
XV.	Datos de análisis estadístico de viscosidad absoluta .....	56
XVI.	Datos de análisis estadístico de índice de biodegradabilidad.....	57
XVII.	Resultados de densidad .....	59
XVIII.	Resultados de viscosidad absoluta.....	59
XIX.	Resultados de ensayo microbiológico .....	60
XX.	Resultados de índice de biodegradabilidad .....	60
XXI.	Resultados de dimensionamiento del tanque de agitación.....	61

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>g</b>	Aceleración debida a la gravedad
<b>Z<sub>b</sub></b>	Altura a la que descarga la bomba
<b>H</b>	Altura de líquido
<b>C</b>	Altura del rodete sobre el fondo
<b>J</b>	Anchura de deflectores
<b>W</b>	Anchura de rodete
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b>C<sub>T</sub></b>	Capacidad del tanque
<b>h<sub>f</sub></b>	Carga de fricción total
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cúbico
<b>cP</b>	Centipoise
<b>x<sub>n</sub></b>	Dato de n observación
<b>ρ</b>	Densidad
<b>E, e</b>	Desviación o error entre media muestral y de población
<b>s</b>	Desviación típica o estándar, segundo
<b>D<sub>t</sub></b>	Diámetro de tubería
<b>D<sub>a</sub></b>	Diámetro del agitador
<b>D<sub>T</sub></b>	Diámetro del tanque
<b>D</b>	Dilución eficaz máxima
<b>η</b>	Eficiencia de la bomba
<b>f<sub>t</sub></b>	Factor adimensional de mezcla
<b>α<sub>b</sub></b>	Factor de corrección de la energía cinética

<b>f</b>	Factor de fricción
<b>g<sub>c</sub></b>	Factor de gravedad masa-fuerza
<b>K<sub>f</sub></b>	Factor de pérdida para los accesorios
<b>Q̇</b>	Flujo volumétrico
<b>g</b>	Gramo
<b>IB</b>	Índice de biodegradabilidad
<b>IC</b>	Intervalo de confianza
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>lb</b>	Libra masa
<b>LCI</b>	Límite de confianza inferior
<b>LCS</b>	Límite de confianza superior
<b>L</b>	Litro, longitud
<b><math>\bar{x}</math></b>	Media aritmética
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mgO<sub>2</sub></b>	Miligramos de oxígeno
<b>mL</b>	Mililitro
<b>N</b>	Newton
<b>α</b>	Nivel de significancia
<b>n</b>	Número de observaciones
<b>N<sub>p</sub></b>	Número de potencia
<b>Re</b>	Número de Reynolds
<b>d</b>	Parámetro error-desviación
<b>P</b>	Potencia
<b>β</b>	Probabilidad de error del tipo II
<b>N</b>	Rapidez de rotación
<b>u<sub>t</sub></b>	Rapidez del flujo en tubería
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto

<b>rps</b>	Revoluciones por segundo
<b>t<sub>T</sub></b>	Tiempo de llenado del tanque
<b>t<sub>t</sub></b>	Tiempo óptimo de agitación
<b>W<sub>p</sub></b>	Trabajo de bomba por unidad de masa
<b>Z<sub>α/2</sub></b>	Variable aleatoria normal estándar
<b>s<sup>2</sup></b>	Varianza
<b>μ</b>	Viscosidad





## GLOSARIO

<b>Acción residual</b>	Efecto de un microbicida de permanecer activo y con capacidad de matar o inhibir el crecimiento de microorganismos, tiempo después de aplicarlo.
<b>Actividad biocida</b>	Acción de algunas sustancias químicas de destruir, contrarrestar o ejercer un control de otro tipo sobre microorganismos patógenos.
<b>Actividad biostática</b>	Acción de algunas sustancias químicas de impedir la acción de microorganismos patógenos.
<b>Agitador</b>	Equipo mecánico, en una sistema de agitación, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico que crea un flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente.
<b>Amplio espectro</b>	Hace referencia a la capacidad de un agente para actuar efectivamente contra una variedad amplia de microorganismos.
<b>Biodegradabilidad</b>	Cualidad de una sustancia de poder descomponerse en los elementos químicos que la conforman, debido a la acción de agentes biológicos, bajo condiciones ambientales naturales.

<b>Carcinógeno</b>	Agente tanto físico, químico o biológico que actúa sobre los tejidos vivos de tal forma que produce cáncer.
<b>Cepa</b>	Variante fenotípica de una especie o taxón inferior, usualmente propagada clonalmente, debido al interés en la conservación de sus cualidades definitorias.
<b>Dilución</b>	Disminución de la concentración de soluto, mediante la adición de una cantidad de solvente.
<b>Endosporas</b>	Células especializadas, no reproductivas, producidas por algunas bacterias, su función primaria es asegurar la supervivencia bajo tensión ambiental, son extraordinariamente resistentes a la radiación, desecación, calor, desinfectantes químicos y trituración mecánica.
<b>EPA</b>	(Environmental protection agency), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, dirige las ciencias ambientales, así como los esfuerzos investigativos, educativos y de evaluación.
<b>FDA</b>	(Food and Drug Administration), instituto estadounidense que garantiza que alimentos, fármacos y cosméticos cumplen requisitos de seguridad, envasado y etiquetado.

<b>Lisis</b>	Destrucción de una célula, normalmente por rotura de la membrana celular mediante un agente específico o un proceso físico.
<b>Microbicida</b>	Calificativo de las sustancias con facultad para matar microorganismos.
<b>Número de Reynolds</b>	Número adimensional utilizado en mecánica de fluidos y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido, da una medida de la relación entre fuerzas de inercia y fuerzas viscosas.
<b>Organoléptico</b>	Descripción de las características físicas de los materiales, según se percibe sensorialmente, por ejemplo sabor, textura, olor, color.
<b>Patógeno</b>	Microorganismo que que origina y desarrolla las enfermedades.
<b>ppm</b>	Partes por millón, medida de concentración que expresa la cantidad de unidades de una sustancia en un total que equivale a un millón de unidades.
<b>Procariota</b>	Células sin núcleo celular diferenciado, cuyo material genético se encuentra disperso en el citoplasma.
<b>Solubilidad</b>	Medida de la capacidad de disolverse de una determinada sustancia (solute) en un determinado medio (solvente).

<b>Toxicidad</b>	Medida usada para medir el grado tóxico o venenoso de las sustancias.
<b>Ubicuo</b>	Que está presente en muchas partes, organismo que ocupa todas las áreas geográficas del planeta.
<b>Volatilidad</b>	Medida de la facilidad con que una sustancia se evapora.
<b>Vórtice</b>	Flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas.

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se diseñó un sistema de mezclado para la producción de una solución desinfectante para superficies, la solución en cuestión se elaboró previo a determinar propiedades fisicoquímicas y aplicarle ensayos de eficacia microbiciada y de índice de biodegradabilidad.

Se elaboró el producto a nivel laboratorio, al cual se le evaluó la acción microbiciada mediante un ensayo frente a diferentes microorganismos de estudio, donde se dedujo que es eficaz contra bacterias; se evaluaron sus cualidades ecológicas mediante el ensayo de índice de biodegradabilidad, concluyendo que la solución desinfectante elaborada es biodegradable.

Se determinaron valores de densidad de 1 011 kilogramos por metro cúbico y viscosidad de 1,064 centipoises. Se empleó la metodología de cálculo descrita en las páginas de este documento en la sección respectiva para calcular y determinar los parámetros del sistema de mezclado; se calcularon las dimensiones del sistema de agitación, requerimientos de potencia de la bomba de alimentación de agua y del motor del agitador y tiempo óptimo de mezclado.



# OBJETIVOS

## General

Diseñar un sistema de mezclado para producción de una solución biodegradable desinfectante para superficies.

## Específicos

1. Determinar la densidad y viscosidad absoluta de la solución desinfectante.
2. Evaluar la eficacia microbica del producto mediante ensayo microbiológico y sus cualidades ecológicas mediante la determinación del índice de biodegradabilidad.
3. Definir para un sistema de mezclado para elaboración del producto: las dimensiones de un tanque agitado mecánicamente, diámetro de las tuberías y tipo de agitador.
4. Calcular los requerimientos teóricos de potencia de la bomba y del motor del agitador, así como definir el tiempo óptimo para la operación de mezclado en un proceso de elaboración del producto.





## INTRODUCCIÓN

Desde la edad antigua hasta la fecha actual, las actividades de desinfección han desempeñado un rol trascendente en la vida cotidiana de la especie humana, específicamente en la lucha contra las infecciones y las enfermedades de origen microbiológico; se ha hecho uso de diversas clases de agentes físicos y químicos, atendiendo a la naturaleza y requerimientos del lugar y actividad en que se aplique.

Estudios previamente realizados en la Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente en la Escuela de Ingeniería Química y la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, han abordado el tema de las soluciones desinfectantes en investigaciones con enfoques de análisis comparativo de diferentes soluciones desinfectantes o restringiéndose a la evaluación de la actividad antimicrobiana, tales estudios han sido fundamento para el presente estudio.

Para la desinfección de superficies, se han empleado diferentes clases de agentes químicos, como la sales de amonio cuaternario, compuestos halogenados, compuestos fenólicos, incluso el mismo fenol; la demanda y la producción masiva los han posicionado firmemente en el mercado, sin embargo, poco se ha mencionado sobre el potencial impacto negativo que representan sobre el ambiente y los ecosistemas, considerando que, estas sustancias en su mayoría son ecotóxicas, difícilmente biodegradables y algunas hasta cancerígenas.

La industria de productos de limpieza en Guatemala proporciona al mercado una variedad amplia de soluciones desinfectantes, de las cuales, el mayor porcentaje, quizás la totalidad de ellas, tienen características de ecotoxicidad, no biodegradabilidad, amenazas potenciales a la salud humana, entre otras.

Ante la necesidad de minimizar el impacto negativo que causan las actividades de consumo masivo, principalmente en distritos urbanos, la consideración de alternativas ecológicas y menos contaminantes en los diferentes tipos de actividades humanas ha manifestado en Guatemala, un repunte considerable en los últimos años y con tendencia al aumento, lo que representa un campo de aplicación para la ciencia y la tecnología que debe trabajarse.

Considerando los factores planteados previamente, los altos índices de crecimiento poblacional que también hacen aumentar la demanda de los productos y la obligación de la industria de solventar los requerimientos cambiantes de la demanda, es función de la ingeniería química, la propuesta de alternativas que representen cambios favorables en función de los elementos manifiestos; es por eso, que en este trabajo de investigación se desarrolló una solución desinfectante de superficies ecológicamente inocua y se determinaron parámetros para el diseño de un sistema de mezclado para su producción.

## 1. ANTECEDENTES

Los estudios sobre desinfección del siglo pasado y los actuales se apoyan en los trabajos fundamentales de Luis Pasteur y Robert Koch, se demostró la implicación de microbios en la causa de enfermedades epidémicas, Koch y sus colaboradores aislaron la mayoría de gérmenes infecciosos para obtener cultivos puros, así fue posible estudiar sus propiedades vitales para ensayar los métodos y agentes capaces de destruirlos.

En 1998, Brenda Buezo, en su trabajo de graduación: “Comparación de los desinfectantes de amonio cuaternario con los de origen fenólico y halogenados”, evalúa comparativamente dos agentes activos desinfectantes comunes, encontró que el cloruro de benzalconio y el hipoclorito de sodio son activos a concentraciones bajas tanto como 0,1% (1 000 partes por millón).

Ana Canahuí Guevara, en su trabajo de graduación: “Comparación de la capacidad bactericida del alcohol etílico 95%, amonio cuaternario y PVP *iodine* como ingredientes activos de los desinfectantes por el método del coeficiente fenólico”, de 2009, siguió la metodología del coeficiente fenólico para evaluar la capacidad bactericida de los desinfectantes en cuestión y señaló a los amonios cuaternarios como desinfectantes eficientes y desarrolló una formulación para este desinfectante.

En enero de 2012, Heydy Godínez Bautista, publicó su trabajo: “Evaluación de cetrimida, clorhexidina y cloruro de benzalconio como ingredientes activos para la formulación de un detergente desinfectante de superficies y descripción del proceso de producción para una planta de productos químicos”, en el trabajo, evaluó la aplicación de los principios activos referidos fisicoquímica y microbiológicamente, describió el proceso de producción estableciendo la secuencia de pasos y distribución de equipo.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Desinfección**

Se conoce como desinfección al proceso físico o químico por medio del cual se eliminan microorganismos patógenos de objetos inertes; según FDA y EPA, un desinfectante es un agente químico que elimina microorganismos indeseables de superficies inanimadas, destruyéndolos o inactivándolos de forma irreversible, aunque no necesariamente a sus esporas. En ambientes domésticos, se emplean desinfectantes de superficies, soluciones líquidas con poder antimicrobiano que se aplican sobre diversos tipos de superficies, tales como muebles, vidrios, metales, plásticos, entre otros. Las superficies pueden ser lisas o rugosas, estas últimas son las que poseen surcos o irregularidades.

#### **2.1.1. Antecedentes históricos**

Desde la antigüedad, en alguna vetusta civilización, aparece la tendencia a preservarse de enfermedades infecciosas, se conoció que personas y animales enfermos, y lo que estaba en contacto con ellos, representaban potenciales focos de propagación de enfermedades y epidemias, desde entonces, y a lo largo de la historia, para atender el problema, el género humano ha implementado el uso de diferentes técnicas y materiales.

Se tiene conocimiento que desde 7000 años a. de J.C. poseían en Babilonia alcantarillas cubiertas, en las que desembocaban los desagües de las viviendas; sistemas similares se utilizaban en Jerusalén y Atenas.

En Mesopotamia, hace 4000 años, la primera farmacopea de Sumer refería una mezcla antimicrobiana compuesta por vino, enebro y ciruelas. En el antiguo Egipto, los embalsamadores conocían las propiedades antisépticas de sales como carbonato y bicarbonato de sodio potenciadas con resinas aromáticas como mirra e incienso, también emplearon la cebolla; el papiro de Smith (3500 años), señala una mezcla antiséptica a base de miel; también se sabe que emplearon sales de metales pesados.

La medicina tradicional china descubrió el uso del té verde en epidemias de cólera, los árabes le adicionaron hierbabuena para potenciar el efecto antimicrobiano. En India, los médicos vedas emplearon vendajes de miel y mantequilla fermentada para el tratamiento de heridas infectadas. En Grecia, Hipócrates recomendaba el uso de miel, tomillo, canela, sal, vino y vinagre para diversos tipos de infecciones.

En la Edad Media, con la propagación de la lepra y la peste bubónica, se volvió a ver la necesidad de adoptar serias medidas preventivas contra las infecciones. En 1399 se creó por primera vez en Piacenza un precepto legal de desinfección, que ordenaba, después de un fallecimiento, la ventilación y fumigación de su casa, el lavado de ropa y enseres de cama.

Cuando en el siglo XIX, Europa se vio invadida por brotes de cólera, se celebraron conferencias sanitarias internacionales como el protocolo de Constantinopla en 1866, donde se emitió el siguiente dictamen: “En el sentir de la Conferencia, consiste la desinfección en aplicar diferentes medios apropiados para sanear los lugares y objetos infectados. Estos medios son: aire, agua, en ciertos casos el fuego, y también substancias químicas aconsejadas por la ciencia...”.

### **2.1.2. Clasificación de los desinfectantes**

Dependiendo de la capacidad del agente desinfectante para destruir microorganismos se definen tres niveles de desinfección:

- Desinfectantes de alto nivel: se caracterizan por actuar inclusive sobre las esporas, produciendo una esterilización química si el tiempo de acción es el adecuado. Dentro de este grupo se encuentran óxido de etileno, formaldehído al 8% en alcohol al 70%, glutaraldehído al 2%, peróxido de hidrógeno.
- Desinfectantes de mediano nivel: no destruyen esporas, sí lo hacen con gérmenes tipo *M. tuberculosis*, hongos y virus no lipídicos. Algunos agentes son compuestos clorados, compuestos iodados, compuestos fenólicos, alcoholes, clorhexidina.
- Desinfectantes de bajo nivel: son aquellos que, actuando durante un tiempo razonable, no destruyen esporas, ni *Mycobacterium*, ni virus no lipídicos. Se incluyen compuestos de amonio cuaternario y compuestos mercuriales.

### **2.1.3. Desinfectantes de uso común**

Existen desinfectantes de varios tipos que difieren en sus propiedades y naturaleza, a continuación se refieren algunos, clasificándolos según su naturaleza y química.



### 2.1.3.1. Desinfectantes inorgánicos

- Compuestos mercuriales: desactivan las proteínas y alteran los grupos funcionales de ácidos nucleicos, componentes de la pared y la membrana celular. Pueden ser tóxicos y/o carcinógenos. Entre este grupo de desinfectantes se puede citar: cloruro de mercurio ( $\text{HgCl}_2$ ), timerosal ( $\text{C}_9\text{H}_9\text{HgNaO}_2\text{S}$ ), Mercuriocromo ( $\text{C}_{20}\text{H}_8\text{Br}_2\text{HgNa}_2\text{O}_6$ ).
- Ácidos y álcalis: destacan ácido peracético ( $\text{CH}_3\text{COOOH}$ ), ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y de potasio ( $\text{KOH}$ ); poseen acción bactericida, fungicida, virucida y esporicida, alteran la permeabilidad de la membrana celular. Son corrosivos.
- Peróxido de hidrógeno: conocido como agua oxigenada ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (normalmente 6% en volumen), oxida los componentes de la membrana y las enzimas.
- Halógenos y compuestos halogenados: sustancias altamente oxidantes, reactivos y destructivos para los componentes vitales de los microorganismos; pertenecen a este grupo, el cloro, el yodo y sus derivados como dicloroisocianurato de sodio ( $\text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{Cl}_2\text{Na}$ ), hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) o de calcio ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) y la clorhexidina ( $\text{C}_{22}\text{H}_{30}\text{Cl}_2\text{N}_{10}$ ). Son altamente tóxicos.

### 2.1.3.2. Desinfectantes orgánicos

- Alcoholes: solubilizan la membrana celular y desnaturalizan proteínas, poseen baja actividad residual debido a su volatilidad, su acción bactericida aumenta con la longitud de la cadena carbonada, sin embargo si la cadena es muy grande su solubilidad en agua disminuye. En este grupo pueden ser citados el alcohol etílico ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), isopropílico ( $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ ), butílico ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$ ) e isobutílico ( $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{OH}$ ).
- Compuestos fenólicos: el fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) fue el primer desinfectante usado como referencia, en la actualidad no se usa como desinfectante a causa de su toxicidad, debido a esto, se reemplazó por sustancias derivadas de él, pero con mayor poder biocida y menor toxicidad. Entre éstos están: cresoles ( $\text{C}_7\text{H}_7\text{OH}$ ) y hexaclorofenol ( $\text{C}_{13}\text{H}_4\text{Cl}_6(\text{OH})_2$ ).
- Amonios cuaternarios: efectivos para inhibir el crecimiento de bacterias Gram + y Gram -, aunque estas en menor proporción, además funcionan como fungicidas y virucidas, tiene actividad en medios ácidos, mejor en alcalinos. Algunos desinfectantes de este tipo son: cloruros y bromuros de benzalconio ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2\text{RX}$ ), bencetonio ( $\text{C}_{27}\text{H}_{42}\text{XNO}_2$ ) y lauralconio ( $\text{C}_{21}\text{H}_{38}\text{XN}$ ).

### 2.1.4. Mecanismos de acción de los agentes desinfectantes

Los desinfectantes intervienen en algunas etapas de la vida microbiana. Los mecanismos de acción desinfectante son complejos, la acción puede ejercerse principalmente sobre una función comprometiendo otra, algunas veces reversible y otras, irreversible. Los principales mecanismos de acción de los desinfectantes se refieren en la siguiente lista.

- Daños a la pared celular, llevando a los microorganismos a la lisis.
- Alteración de la permeabilidad de la membrana citoplasmática, impidiendo el transporte selectivo de nutrientes al interior de la célula.
- Alteración de la naturaleza coloidal del citoplasma, desnaturalizándola o coagulándola.
- Inhibición de la acción enzimática.
- Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos.

En la siguiente tabla se presentan algunos desinfectantes y sus mecanismos de acción correspondientes.

Tabla I. **Desinfectantes y sus mecanismos de acción**

Agente	Pared celular	Membrana celular	Proteínas	Ácidos nucleicos	Enzimas con grupos -SH	Aminoácidos
Ácidos inorgánicos		+	+		+	
Alcoholes		+	+		+	
Álcalis		+	+		+	
Agentes alquilantes		+		+	+	+
Biguanidas		+				
Colorantes (acridina)				+		
Halógenos		+			+	+
Metales pesados			+		+	
Fenoles	+	+	+			

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.5. Factores relacionados con la actividad de soluciones desinfectantes**

Son varios los factores que determinan la capacidad microbicida de los desinfectantes, los más relevantes son:

- Inactivación debida a la suciedad y materia orgánica: la presencia de suciedad, materia orgánica u otros materiales extraños reducen la eficacia de los desinfectantes químicos, pudiendo llegar a inactivarlos, por lo tanto, la desinfección deberá estar precedida de un proceso de limpieza.
- Temperatura de la solución: por lo general, cuanto más alta sea la temperatura, más eficaz es la desinfección, aunque debe considerarse la naturaleza del desinfectante y la practicidad de aplicarlo a temperatura ambiente.
- Tiempo: existe un tiempo mínimo de contacto para que los desinfectantes sean eficaces, este tiempo puede variar de acuerdo con la actividad del desinfectante.
- Concentración: varía de acuerdo con la naturaleza del desinfectante, su concentración inicial y las condiciones de uso, se dosifica según la finalidad y el medio en que se empleará, en soluciones desinfectantes, la concentración se mide en partes por millón o porcentaje de masa.
- pH: afecta tanto a la carga superficial neta de la bacteria como al grado de ionización del agente, cuando es el caso.

- Estabilidad: el mantenimiento prolongado de soluciones diluidas, puede reducir su eficacia o convertirse en depósito de microorganismos resistentes; si el desinfectante no tiene buena estabilidad, reduce su tiempo de vida útil; una forma de observar la estabilidad en soluciones desinfectantes, es verificar la permanencia de una sola fase.
- Naturaleza del microorganismo y otros factores asociados a la población microbiana: especie empleada, la presencia de esporas, número inicial de microorganismos.
- Otros factores:
  - Condiciones de las superficies a desinfectar
  - Energía mecánica
  - Materiales de las superficies a desinfectar

#### **2.1.6. Características del desinfectante de superficies ideal**

En los agentes químicos desinfectantes se demandan determinadas características, cada una está relacionada con la capacidad de acción del desinfectante, algunas más determinantes que otras, pese a eso, es difícil reunir las todas, el desinfectante ideal debería cumplir con:

- Soluble en agua
- Amplio espectro de actividad

- Estable: tiempo prolongado de vida útil.
- No debe reaccionar con materia orgánica ni inactivarse en presencia de ella.
- Escasa o nula toxicidad
- Acción rápida
- Buena capacidad de penetración en superficies rugosas
- Acción residual
- Compatible con todos los materiales sobre los que se aplique
- No debe afectar al medio ambiente
- Económico
- No irritante y no corrosivo

#### **2.1.7. Composición básica de un desinfectante de superficies**

En una solución desinfectante, existe un agente activo, al cual lo complementan sustancias que cumplen como agentes para diversas funciones, tales como medio portador, distribución sobre la superficie, potenciación de la actividad microbicida, estabilidad, características organolépticas, o las que sean requeridas en función del caso. Las concentraciones de los componentes de una solución desinfectante se miden porcentaje de masa o en partes por millón.

### **2.1.7.1. Agente activo**

Es el componente principal de una solución desinfectante, el que efectúa la actividad biostática o biocida. Con base en el agente activo se determina la formulación de la solución desinfectante, para la selección de cada uno de los componentes debe tomarse en consideración la sinergia y especialmente la afinidad con el agente activo y también entre sí.

### **2.1.7.2. Vehículo**

El agente que sirve como medio portador o de disolución, también puede referirse como: solvente. Debe ser seleccionado apoyándose también en consideraciones como costos y solubilidad del resto de los componentes de la preparación desinfectante. Por todos los aspectos descritos, los vehículos mayormente empleados son el agua y algunos alcoholes como el etílico y el isopropílico.

### **2.1.7.3. Humectante**

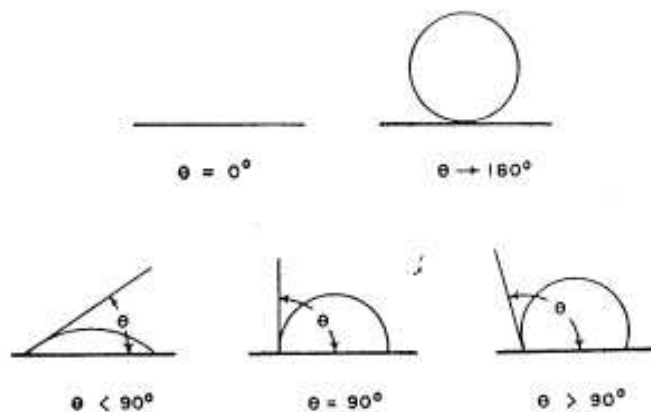
Los agentes tensoactivos son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases, poseen grupos hidrófilos (afines al agua) o polares, y grupos lipófilos (afines a aceites) o no polares.

Algunos de los grupos hidrófilos, los cuales se orientan hacia la fase polar, son:  $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-SO_4H$ , y como ejemplos de grupos lipófilos pueden citarse los hidrocarburos alifáticos y cíclicos. Como consecuencia de esta orientación en la interfase agua-aceite, las moléculas del agente superficial forman una especie de puente entre las fases polar y no polar.

Un agente humectante es un tensoactivo que cuando se disuelve en agua, hace disminuir el ángulo de contacto y ayuda a desplazar la fase aérea de la superficie, reemplazándola por otra líquida. La acción más importante de un humectante es disminuir el ángulo de contacto entre el líquido y la superficie en que se apoya, entendiendo por ángulo de contacto el existente entre la superficie de una gotita líquida y la superficie sobre la cual se encuentran.

Como se observa en la figura 1, el ángulo de contacto entre un líquido y un sólido puede variar desde  $0^\circ$ , señal de que el líquido moja completamente al sólido, hasta aproximarse a  $180^\circ$ , cuando la acción mojante es nula; pudiendo presentar cualquier valor intermedio entre estos límites, cuando el ángulo es menor de  $90^\circ$  la acción mojante es buena.

Figura 1. **Ángulos de contacto entre un líquido y una superficie sólida**



Fuente: Agentes tensoactivos. [www.itescan.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r23857](http://www.itescan.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r23857).

DOC. Consulta: 16 de febrero de 2012.

Si al agua se le añade un agente humectante apropiado, la disolución se extenderá espontáneamente sobre una superficie, aunque esté engrasada.



#### **2.1.7.4. Secuestrante**

La quelatación es la propiedad de un compuesto químico para formar complejos solubles de iones metálicos en presencia de agentes químicos que normalmente producirían precipitados en soluciones acuosas. Los compuestos capaces de ejercer esta acción se conocen como secuestrantes.

En muchos procesos industriales, la presencia de iones metálicos extraños causa problemas debido a que pueden tener efectos adversos en la calidad del producto. Existen tres tipos de agentes secuestrantes que se usan ampliamente en la industria: polifosfatos, ácidos aminopolicarboxílicos y ácidos hidroxicarboxílicos.

#### **2.1.7.5. Agentes organolépticos**

Se le llaman propiedades organolépticas a aquellas que son perceptibles sensorialmente, como lo son el color y el olor, en las preparaciones desinfectantes se consideran para brindar buena apariencia y reafirmar la percepción de la limpieza a través de un aroma agradable impregnado al ambiente.

Las sustancias empleadas pueden ser sintéticas como naturales, no deben alterar la actividad del agente activo. Es importante mencionar que en el caso del colorante, debe otorgar color al preparado y no a las superficies en las que se aplique, resistir a deterioros debido a almacenaje o radiación ultravioleta. Las propiedades organolépticas solamente son consideradas en preparaciones desinfectantes para ambientes domésticos.

### **2.1.8. Propiedades fisicoquímicas importantes de una solución desinfectante**

Se describen las propiedades fisicoquímicas que comúnmente representan interés o requieren control para la elaboración de soluciones desinfectantes.

#### **2.1.8.1. pH**

Es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes. La sigla significa "peso de hidrógeno o potencial de hidrógeno" (*pondus Hydrogenii* o *potentia Hydrogenii*). El término es utilizado universalmente por lo práctico que resulta para evitar el manejo de cifras largas y complejas. Se define como el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones hidrógeno.

La escala de pH típicamente va de 0 a 14 en solución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (cuando el disolvente es agua).

#### **2.1.8.2. Densidad**

La densidad de una sustancia es su masa por unidad de volumen. La unidad de densidad en el sistema internacional es kilogramos por metro cúbico ( $kg/m^3$ ) y se denota por "ρ". Otras unidades métricas que también se usan son: gramos por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ ), kilogramos por mililitro (g/ml). Las variaciones de la temperatura en los fluidos, generan variaciones en la densidad y otras propiedades.

### 2.1.8.3. Viscosidad

La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. Se puede predecir la viscosidad de la mayor parte de los fluidos; en algunos la viscosidad depende del trabajo que se haya realizado sobre ellos.

Viscosidad absoluta o dinámica: La unidad de viscosidad dinámica en el sistema internacional (SI) es el pascal segundo (Pa\*s) o sea kilogramo por metro segundo (kg/m-s). El poise (P) es la unidad correspondiente en el sistema CGS de unidades y tiene dimensiones de dina segundo por centímetro cuadrado o de gramos por centímetro segundo. El submúltiplo centipoise (cP), es la unidad más utilizada para expresar la viscosidad dinámica. En la tabla II, se dan los factores de conversión entre diferentes unidades de viscosidad.

Tabla II. Factores de conversión para viscosidad absoluta

Pa-s	P	cP	lb/pies-s	lb/pies-h
1	10	1 000	0,672	2 420
0,1	1	100	0,0672	242
$10^{-3}$	0.01	1	$6,72 * 10^4$	2,42

Fuente: McCABE, Warren L.; et al. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 45.

### **2.1.9. Microorganismos de estudio para ensayos de actividad microbica de desinfectantes**

La calidad de las soluciones desinfectantes puede medirse por medio de ensayos que dan un índice de su poder microbica, si es eficaz a bajas concentraciones (altas diluciones) y contra cuáles tipos de microorganismos; el ensayo en cuestión consiste en evaluar la acción microbica de la solución desinfectante a diferentes diluciones en tubo contra cuatro microorganismos diferentes, descritos a continuación.

- *Escherichia coli*: es quizá el organismo procariota más estudiado. Se encuentra generalmente en los intestinos animales, consecuentemente en las aguas negras, aunque se lo puede encontrar en muchos lugares, dado que es un microorganismo ubicuo. Es un bacilo gramnegativo, anaerobio facultativo, móvil por flagelos peritricos, no esporoformadora, fermentadora de glucosa y lactosa. Es una bacteria necesaria para el normal funcionamiento del proceso digestivo, donde actúa como comensal formando parte de la flora intestinal y ayudando a la absorción de nutrientes.
- *Staphylococcus aureus*: se estima que una de cada tres personas se hallan colonizadas por ella. Puede producir una amplia gama de enfermedades, que van desde infecciones cutáneas y de las mucosas relativamente benignas, hasta enfermedades de alto riesgo, como abscesos profundos, osteomielitis, meningitis, sepsis y neumonía; puede afectar al aparato gastrointestinal, ya sea por presencia física del microorganismo o por ingesta de la enterotoxina estafilocócica secretada por la bacteria.

En la actualidad, este microorganismo se encuentra como el principal causante de las infecciones nosocomiales, situación que se ve favorecida por el hecho de que habita tanto en las mucosas como en la piel de los humanos, lo que le permite penetrar en el torrente sanguíneo a través de heridas. Las cepas habituales de *Staphylococcus aureus* son resistentes a la penicilina, dejando como los antibióticos más eficaces para combatirlos a los aminoglucósidos, las cefalosporinas, la oxacilina o la nafcilina.

- *Pseudomonas aeruginosa*: es una bacteria Gram -, aeróbica, con motilidad unipolar. Es un patógeno oportunista en humanos y plantas, infecta el tracto pulmonar, el urinario, tejidos, heridas, y causa infecciones en la sangre. Es naturalmente resistente a cantidad de diferentes familias de antibióticos y desinfectantes, se toma como microorganismo para ensayos desinfectantes, por ser la bacteria más resistente a éstas soluciones.
- *Candida albicans*: un hongo diploide asexual (forma de levadura). Normalmente se encuentra en la cavidad oral, en el tracto gastrointestinal y en la vagina, desempeña un papel relevante en la digestión de los azúcares mediante proceso de fermentación; puede asumir patogenicidad provocando candidiasis, se presenta como infección vaginal, de la cavidad oral, del intestino o la piel. En un organismo debilitado, inmunodeprimido o convaleciente de un cura antibiótica, se multiplica en modo anómalo y, atraviesa el intestino, para entrar al torrente sanguíneo, donde libera sus propias toxinas provocando candidemia.

## **2.2. Concepto de biodegradabilidad y su evaluación en líquidos**

Biodegradabilidad es la capacidad de un producto o sustancia de descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, bajo condiciones ambientales naturales. La velocidad de biodegradación depende de factores como la estabilidad de la molécula y el medio en el que se encuentran que les permite estar biodisponibles para los agentes biológicos y de las enzimas de dichos agentes.

La biodegradación es la característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para producir energía (por respiración celular) y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos.

Al consumo de oxígeno realizado por organismos aerobios se le llama demanda bioquímica de oxígeno (DBO), las pruebas de DBO constituyen una estimación semicuantitativa de la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable que contiene una muestra de agua. No existen formas directas para medir la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable, los métodos de medición se fundamentan en una ponderación indirecta basada en la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar biológicamente la materia orgánica presente.

Dicho de otra forma; los métodos de medición de DBO se fundamentan en la hipótesis de que la cantidad de materia orgánica en la muestra, es directamente proporcional a la cantidad de oxígeno que requiere una población bacteriana para digerirla. Por tanto, el descenso en la concentración de oxígeno disuelto en la muestra, es directamente proporcional a su concentración en materia orgánica. La magnitud de este descenso es la DBO.

La cantidad de oxígeno necesario para oxidar por vía química el material orgánico en el agua se denomina demanda química de oxígeno (DQO). Como la DBO, también representa una medida aproximada del contenido de materia orgánica en una muestra de agua, esta materia orgánica en condiciones naturales puede ser biodegradada lentamente en un proceso lento, que puede tardar desde días hasta millones de años; en las pruebas de DQO, este proceso se acelera artificialmente mediante oxidación forzada con oxidantes químicos.

Tanto la DBO como la DQO, se expresan en miligramos de oxígeno por litro ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ). A la relación DBO/DQO, se le conoce como índice de biodegradabilidad, se evalúa como lo indica la tabla III.

Tabla III. **Índice de biodegradabilidad**

<b>Relación DBO/DQO</b>	<b>Conclusión</b>
< 0,2	Poco biodegradable
0,2 - 0,4	Biodegradable
> 0,4	Altamente biodegradable

Fuente: MARTÍNEZ SOZA, Lucero. Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa. p. 22.

### **2.3. La ingeniería química en el desarrollo de productos desinfectantes**

La formación académica del ingeniero químico incluye materias como química, fisicoquímica, microbiología, balances de energía mecánica, flujo de fluidos y diseño de equipo; que proporcionan herramientas fundamentales para el desarrollo de productos desinfectantes, con respecto a su composición, ensayos a realizar y aspectos técnicos de operación como el dimensionamiento de los equipos y requerimientos de potencia para el funcionamiento adecuado de la operación.

### **2.4. Fenómenos de flujo de fluidos**

Se sabe que un fluido puede circular por una tubería u otra conducción de dos formas diferentes. A velocidades bajas los fluidos tienden a moverse sin mezcla lateral, y las capas contiguas se deslizan unas sobre otras, no existen corrientes transversales ni torbellinos. Este régimen se llama flujo laminar. A velocidades superiores aparece turbulencia, formándose torbellinos que dan lugar a mezcla lateral, se le llama flujo turbulento. La distinción entre estos dos tipos de flujo fue inicialmente demostrada por Osborne Reynolds en 1883.

Reynolds encontró que la velocidad crítica, para la que el flujo pasa de laminar a turbulento, depende de cuatro variables: el diámetro del tubo (D), la viscosidad ( $\mu$ ), la densidad ( $\rho$ ) y la velocidad lineal media del líquido (V); estos cuatro factores pueden combinarse formando un grupo y el cambio del tipo de flujo ocurre para un valor definido del mismo. La citada agrupación de variables se conoce como Número de Reynolds (Re).

$$Re = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} \quad [\text{Ecuación 1, Ref. 21}]$$



Para números de Reynolds inferiores a 2 100 se encuentra siempre flujo laminar; entre 2 100 y 4 000 existe una región de transición, donde el tipo de flujo puede ser tanto laminar como turbulento, dependiendo de las condiciones de entrada del tubo y de la distancia a dicha entrada; En condiciones ordinarias de flujo, es turbulento para números de Reynolds superiores 4 000. Una importante relación, denominada ecuación de Bernoulli sin fricción, puede deducirse aplicando un balance de cantidad de movimiento para el flujo estacionario de un fluido con flujo potencial. Entre dos puntos a y b:

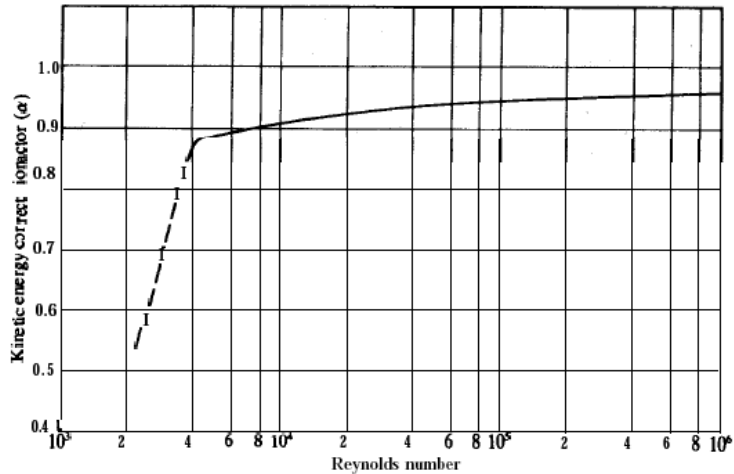
$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{g Z_a}{g_c} + \frac{u_a^2}{2g_c} = \frac{P_b}{\rho} + \frac{g Z_b}{g_c} + \frac{u_b^2}{2g_c} \quad [\text{Ecuación 2, Ref. 21}]$$

Los componentes son: presión (P), densidad ( $\rho$ ), gravedad (g), altura (Z), factor de proporcionalidad de la Ley de Newton ( $g_c$ ), velocidad (u). La ecuación muestra que, en ausencia de fricción, cuando se reduce la velocidad, la altura o la presión, o ambas, tienen que aumentar. Si se modifica la altura tiene que haber una compensación mediante una variación de la presión o la velocidad.

Para fluidos no compresibles, la ecuación de Bernoulli se corrige para tener en cuenta la fricción, mediante  $h_f$ , añadiendo un término al segundo miembro de la ecuación; introduciendo también factores de corrección de la energía cinética ( $\alpha$ ), el cual puede determinarse con base en una relación con el número de Reynolds, que se muestra en la figura 2; la ecuación 2 se convierte en la ecuación 3.

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{g Z_a}{g_c} + \frac{\alpha_a u_a^2}{2g_c} = \frac{P_b}{\rho} + \frac{g Z_b}{g_c} + \frac{\alpha_b u_b^2}{2g_c} + h_f \quad [\text{Ecuación 3, Ref. 21}]$$

Figura 2. **Factor de corrección de energía cinética en función del número de Reynolds en tuberías**



Fuente: BRODKEY, Robert S.; HERSHEY, Harry C. Transport phenomena, a unified approach. p. 292.

El término  $h_f$  representa toda la fricción que se produce por unidad de masa de fluido (y por consiguiente, toda la conversión de energía mecánica en calor) que tiene lugar en un fluido entre las posiciones a y b.

Se utiliza una bomba en un sistema de flujo para aumentar la energía de un fluido en movimiento, utilizando dicho aumento para mantener el flujo,  $W_p$  es el trabajo realizado por la bomba por unidad de masa del fluido. Como la ecuación de Bernoulli es solo un balance de energía mecánica, hay que tener en cuenta la fricción que tiene lugar en la bomba.  $h_{fp}$  es la fricción total en la bomba por unidad de masa del fluido. En la práctica, en lugar de  $h_{fp}$  se utiliza la eficacia de bomba que se representa por  $\eta$ , finalmente queda:

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{g Z_a}{g_c} + \frac{\alpha_a u_a^2}{2g_c} + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + \frac{g Z_b}{g_c} + \frac{\alpha_b u_b^2}{2g_c} + h_f \quad [\text{Ecuación 4, Ref. 21}]$$

## **2.5. Transporte de fluidos**

Una de las aplicaciones más importantes del flujo de fluidos es en conductos circulares, tuberías y caños. El espesor de pared de una tubería lo da el número de catálogo o cédula, que aumenta con el espesor. Se utilizan los diez números 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160.

La tubería de acero de cédula 40 es lo más usual, la de cédula 80 tiene una pared más gruesa y se usa para operar a altas presiones, ambas tienen el mismo diámetro externo, las tuberías de otros metales tienen el mismo diámetro externo. Los tamaños de las tuberías se especifican por medio del diámetro exterior y el espesor de pared. En el anexo 1 se incluyen tablas de diversos tipos de tubería.

### **2.5.1. Selección del tamaño de tubería**

El tamaño óptimo de tubería, lo determinan factores como costos de instalación, potencia y mantenimiento. En instalaciones pequeñas basta con una estimación según criterio. En la tabla IV, se indican intervalos representativos de velocidad en tuberías, que son los más corrientes en la práctica ordinaria. Las velocidades pequeñas han de ser las más utilizadas, especialmente cuando el flujo es por gravedad desde tanques elevados. La relación entre tamaño de tubería, velocidad volumétrica de flujo y velocidad, se indica en el anexo 1.

Tabla IV. **Velocidad de fluidos en tuberías**

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		pies/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,50 - 1	0,15 – 0,30
	Entrada de bomba	1 - 3	0,30 – 0,90
	Salida de bomba	4 - 10	1,20 - 3
	Línea de conducción	4 - 8	1,20 – 2,40
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,20 – 0,50	0,06 – 0,15
	Salida de bomba	0,5 - 2	0,15 – 0,60
Vapor de agua		30 - 50	9 - 15
Aire o gas		30 - 100	9 - 30

Fuente: McCABE, Warren L.; et al. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 190.

### 2.5.2. Caídas de presión

Para determinar pérdidas de presión por fricción se hace uso de un parámetro muy común en flujo laminar, y especialmente en turbulento, es el factor de fricción de Fanning, (f); que para flujos laminares puede determinarse con la ecuación 5:

$$f = \frac{16}{Re_t} \quad [\text{Ecuación 5, Ref. 12}]$$

En flujos turbulentos, el factor de fricción también depende del número de Reynolds; pero no depende sólo del número de Reynolds sino también de la rugosidad ( $\epsilon$ ) de la superficie de la tubería. “La tubería más común, el acero comercial, tiene una rugosidad de  $4,57 \times 10^{-5}$  m ( $1,5 \times 10^{-4}$  pie)”<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. p. 101.

La determinación del factor de fricción puede realizarse a partir del diagrama de Moody, en el anexo 2.

Con fines de diseño, se puede usar la gráfica de factor de fricción del anexo 2, para determinar el factor de fricción de Darcy ( $f_D$ ), que es  $f_D = 4f$ . A partir de este factor adimensional, se determina las pérdidas por fricción, representadas por  $h_f$ , el que se considera en la ecuación de Bernoulli.

En la ecuación 6, se determinan las caídas de presión para tuberías: L representa longitud, D diámetro interno y v velocidad.

$$h_{ft} = 4f \frac{L v^2}{2D} \quad [\text{Ecuación 6, Ref. 12}]$$

Las válvulas y accesorios distorsionan las líneas normales de flujo y dan lugar a pérdidas de presión por fricción, las pérdidas por fricción debidas a los accesorios ( $h_{fa}$ ), se calculan a partir de la ecuación 7:

$$h_{fa} = K_f \frac{v^2}{2} \quad [\text{Ecuación 7, Ref. 12}]$$

Donde  $K_f$  es el factor de pérdida para el accesorio, la tabla V muestra los valores del factor para diversos accesorios y válvulas.

Tabla V. **Pérdidas por fricción en accesorios y válvulas**

<b>Accesorio o válvula</b>	<b><math>K_f</math></b>
Codo 45°	0,35
Codo 90°	0,75
Te	1
Retorno en U	1,5
Válvula de compuerta	
Abierta	0,17
Semiabierta	4,50
Válvula de globo	
Abierta	6
Semiabierta	9,50
Válvula de ángulo abierta	2
Válvula de retención	
De bola	70
De bisagra	2

Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 107.

## **2.6. Agitación y mezclado de fluidos**

La agitación se refiere al movimiento inducido de un material en una forma específica, generalmente movimiento circulatorio dentro de un contenedor. La mezcla es la distribución al azar de dos o más fases inicialmente separadas.

Generalmente, si se quiere agitar líquidos, se hace en un recipiente cilíndrico cerrado o abierto; se suministra la energía mecánica por medio de un motor eléctrico unido a un eje que integra un agitador.

Según McCabe, Smith y Harriot: “La altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque”<sup>2</sup>. Para lograr agitación vigorosa con agitadores verticales, se usan deflectores para reducir el tamaño del remolino y obtener buen mezclado, normalmente se usan cuatro deflectores, con anchura de cerca de 1/12 del diámetro del tanque para turbinas y propulsores. Para viscosidades mayores de 5 pascales-segundo (5 000 centipoises), los deflectores no se necesitan porque hay poca turbulencia.

La trayectoria del flujo en un tanque de agitación depende de las propiedades del fluido, la geometría del tanque, el tipo de deflectores y del propio agitador. Si el agitador va montado verticalmente en el centro del tanque sin deflectores, normalmente se desarrollará una trayectoria tipo remolino, lo que es indeseable; se desarrolla un vórtice considerable y ocurren oleadas, en especial cuando las velocidades de operación son altas. Para evitar esto, puede usarse una posición angular desplazada del centro cuando se trata de propulsores de baja potencia.

En un sistema de agitación, el gasto volumétrico del fluido que mueve el impulsor (velocidad de circulación), es un factor muy importante para asegurarse de agitar la totalidad del volumen del mezclador en tiempo razonable. Algunos sistemas de agitación requieren una alta turbulencia con velocidades de circulación bajas; otros se basan en turbulencias bajas con altas velocidades de circulación. Esto depende de los tipos de fluidos que se mezclan y del grado de mezclado que se requiera.

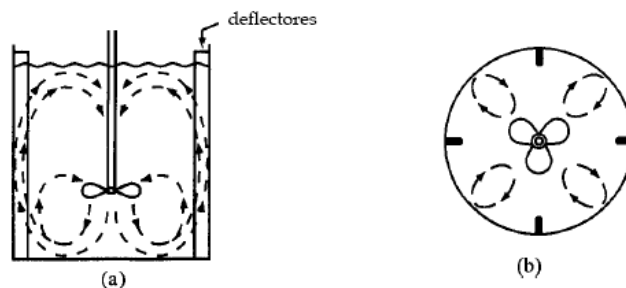
A bajas velocidades se consigue agitación suave en un recipiente sin deflectores, a velocidades altas se usan deflectores porque, sin ellos, el líquido simplemente hace remolinos y en realidad se mezcla poco.

---

<sup>2</sup> McCABE, Warren L.; et al. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 243.

La figura 3 muestra el patrón de flujo en un tanque con deflectores y con un propulsor colocado en el centro, este patrón de flujo se llama flujo axial, ya que el líquido fluye axialmente hacia abajo en el eje de la hélice y hacia arriba en las paredes del tanque.

Figura 3. **Sistema de agitación con flujo axial: a) vista lateral, b) vista desde el fondo**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 161.

### 2.6.1. **Agitadores para tanques de mezclado**

Para las diferentes demandas de las operaciones de mezclado en tanques, se dispone de diferentes tipos de agitadores, que combinando la forma de las aspas o paletas, disposición e inclinación; satisfacen los requerimientos para una operación de mezclado eficaz.

#### 2.6.1.1. **Agitador propulsor de tres aspas**

Similar a la hélice de un motor para lanchas, es uno de los más utilizados. El agitador puede ser móvil o estar montado en la pared de un tanque abierto, en posición desplazada del centro. Estos agitadores giran a velocidades entre 400 y 1 750 revoluciones por minuto, son para líquidos de baja viscosidad.

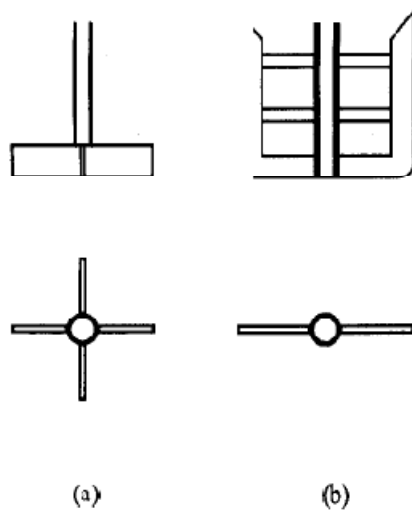


### 2.6.1.2. Agitadores de paletas

Son usados para velocidades de 20 a 200 revoluciones por minuto, la longitud mide de 60 a 80% del diámetro del tanque y la anchura de la paleta es de 1/6 a 1/10 de su longitud. En el agitador de paletas se da principalmente flujo radial y poco flujo axial o vertical.

La paleta de ancla o compuerta barre o raspa las paredes del tanque y a veces su fondo, se emplea para líquidos viscosos que pueden generar depósitos en las paredes y para mejorar la transferencia de calor hacia las mismas, pero no es buen mezclador. La figura 4, muestra los agitadores de paletas.

Figura 4. **Agitadores de paletas: a) de cuatro aspas, b) de compuerta**

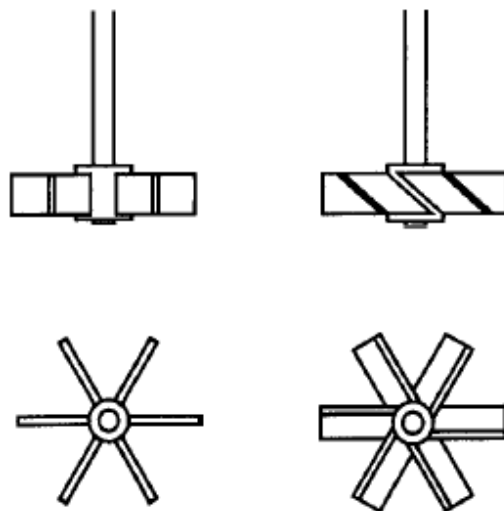


Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 162.

### 2.6.1.3. Agitadores de turbina

Cuando se procesan líquidos con amplia diversidad de viscosidades se usan turbinas semejantes a un agitador de paletas múltiples con aspas más cortas. El diámetro de una turbina mide entre 30% y 50% del diámetro del tanque. Normalmente las turbinas tienen cuatro o seis aspas. Las turbinas con aspas planas producen un flujo radial. En la turbina de hojas inclinadas con las aspas a  $45^\circ$ , se obtiene una combinación de flujos radial y axial. La figura 5, muestra dos tipos de agitadores de turbina.

Figura 5. **Agitadores de turbina: a) abierta de seis aspas, b) de aspas inclinadas a  $45^\circ$**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 162.

#### 2.6.1.4. Agitadores de banda helicoidal

Se usan para fluidos muy viscosos, opera a pocas rpm, en la región laminar; la banda se forma en trayectoria helicoidal y está unida a un eje central; el líquido se mueve en una trayectoria de flujo tortuosa hacia abajo en el centro y hacia arriba a los lados, con movimiento de giro, algunos tipos son: de banda helicoidal doble y de banda helicoidal con tornillo.

#### 2.6.2. Selección del agitador

La viscosidad del fluido es un factor que influye en la selección del tipo de agitador. En la tabla VI se dan indicaciones de los intervalos de viscosidad de los agitadores.

Tabla VI. Tipo de agitador según viscosidad del líquido

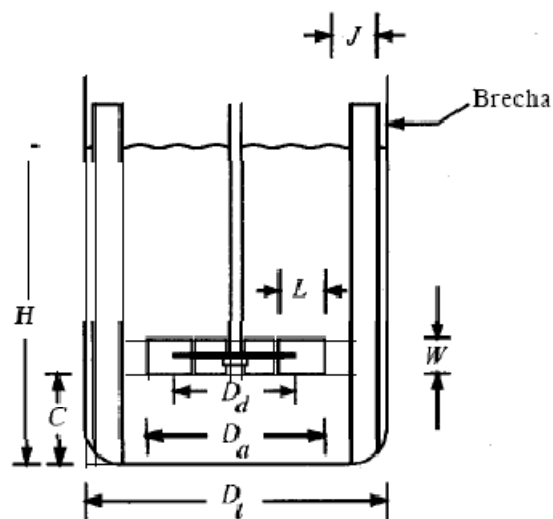
Viscosidad		Tipo de agitador
Pa-s	cP	
< 3	< 3 000	propulsor
< 100	< 100 000	turbinas
50 - 500	50 000 – 500 000	paletas modificadas (tipo compuerta)
> 500	> 500 000	banda helicoidal

Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 163.

### 2.6.3. Diseño típico de un sistema de agitación

El agitador de turbina es el más usado en las industrias de proceso, para diseñar un sistema de agitación ordinario, generalmente se usa este tipo de agitador en el diseño inicial. La figura 6, representa las dimensiones de la turbina y el tanque, la tabla VII indica las proporciones del sistema de agitación que se considera como diseño normal.

Figura 6. Dimensiones de un sistema de agitación



Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 163.

Tabla VII. **Proporciones típicas de un sistema de agitación**

Relación	Proporción
$D_a / D_T$	0,3 – 0,5
$W / D_a$	1/5
$D_d / D_a$	2/3
$H / D_T$	1
$L / D_a$	1/4
$C / D_T$	1/3
$J / D_T$	1/12

Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 165.

En algunos casos, para las correlaciones del agitador,  $W/D_a = 1/8$ . El número de deflectores normalmente es 4. El claro o brecha entre los deflectores y la pared suele ser de 0,10 a 0,15 de  $J$  para asegurar que el líquido no forme bolsas estancadas cerca de esa zona. En algunas correlaciones la relación entre el deflector y el diámetro del tanque es  $J/D_t = 1/10$  en lugar de 1/12.

#### 2.6.4. Consumo de potencia en sistemas de agitación

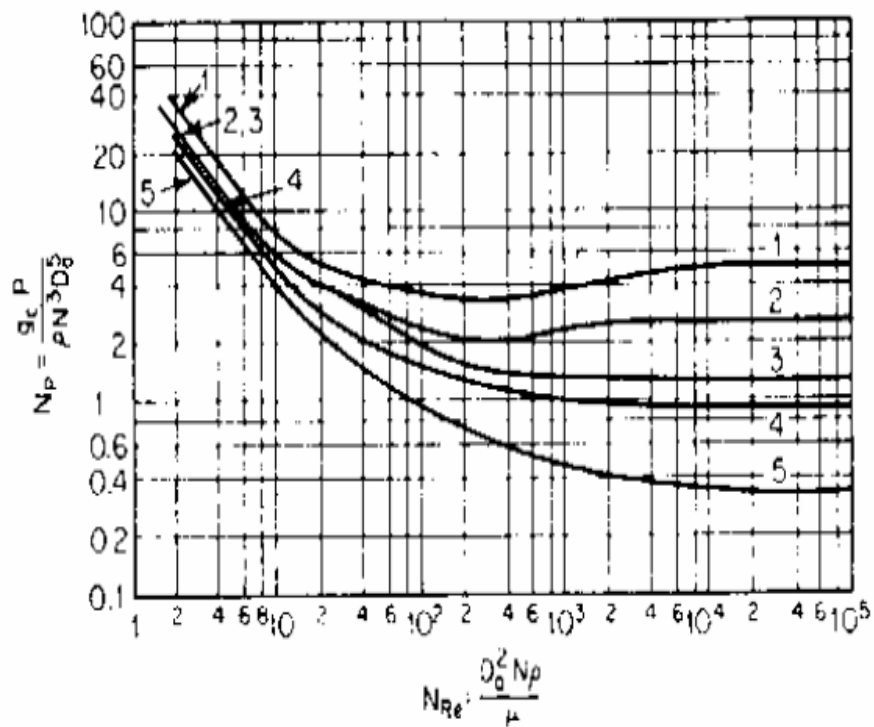
La potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, por lo que se hace uso de correlaciones empíricas para estimarla. El consumo de potencia ( $P$ ) se relaciona con la densidad del fluido ( $\rho$ ), su viscosidad ( $\mu$ ), la velocidad de rotación ( $N$ ) y el diámetro del impulsor ( $D_a$ ), por medio de gráficas de número de potencia ( $N_p$ ) en función del número de Reynolds del fluido en el tanque ( $Re_T$ ), el cual se determina en la forma que indica la ecuación 8.

$$Re_T = \frac{D_a N \rho}{\mu} \quad [\text{Ecuación 8, Ref. 21}]$$

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5} \quad [\text{Ecuación 9, Ref. 12}]$$

La figura 7, representa la relación entre el número de potencia y el número de Reynolds para diferentes tipos de agitadores recipientes cilíndricos con deflectores.

Figura 7. **Curvas de relación entre número de potencia y número de Reynolds, para diferentes tipos de agitadores**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 165.

Para figura 7:

- Curva 1: turbina de seis aspas planas, diseño típico.
- Curva 2: turbina abierta de seis aspas planas, diseño típico.
- Curva 3: turbina abierta de seis aspas a 45°, diseño típico.
- Curva 4: propulsor; inclinación  $2D_a$ , cuatro deflectores con  $J/D_t = 0,10$ ; también válida para el mismo propulsor en posición angular y desplazado del centro, sin deflectores.
- Curva 5: propulsor; inclinación  $= D_a$ , cuatro deflectores con  $J/D_t = 0,10$ ; también válida para el mismo propulsor en posición angular y desplazado del centro, sin deflectores.

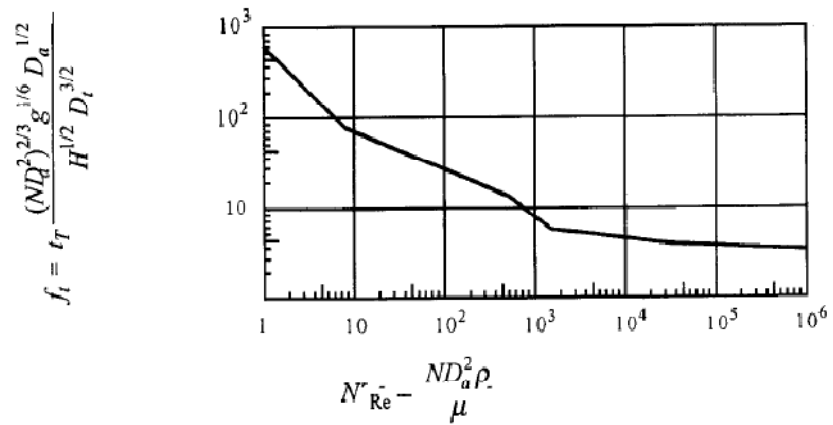
Estas curvas también son prácticas para tanques sin deflectores cuando  $N_{Re} \leq 300$ . Cuando  $N_{Re} > 300$ , el consumo de potencia en un recipiente sin deflectores es considerablemente menor que en uno con deflectores.

### 2.6.5. Tiempo de mezclado para líquidos miscibles

Para poder estimar el tiempo ( $t_T$ ) necesario para realizar una mezcla homogénea de líquidos en sistemas con agitadores de turbina se hace uso de un factor adimensional de mezcla ( $f_t$ ), el que se relaciona con el número de Reynolds como lo muestra la figura 8. El factor adimensional de mezcla; se define como, donde todos los factores son ya conocidos y  $g$  es la aceleración normal de la gravedad:

$$f_t = t_T \frac{(ND_a^2)^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}}{H^{1/2} D_t^{3/2}} \quad [\text{Ecuación 10, Ref. 12}]$$

Figura 8. **Curva de relación entre factor adimensional de mezcla y número de Reynolds, para sistemas con agitadores de turbina**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 171.





### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación realizada es de tipo cuantitativa, hace uso de datos cuantitativos; con alcance descriptivo, busca especificar propiedades y características del sistema de mezclado y de la solución desinfectante elaborada a nivel laboratorio; el diseño de investigación es no experimental transeccional, no hay cambio en las variables y se realiza una sola vez.

#### 3.1. Variables

Se presentan en la tabla VIII, las variables relacionadas en el procedimiento de investigación, en función de su naturaleza dependiente o independiente.

Tabla VIII. **Variables del sistema**

		Factores del diseño no experimental	
Variable	Unidad	Independiente	Dependiente
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	X	
Viscosidad absoluta	kg/m-s	X	
Índice de biodegradabilidad	Adimensional	X	
Eficacia microbicida (dilución eficaz máxima)	Adimensional	X	
Capacidad de tanque agitado	m <sup>3</sup>	X	
Dimensiones de sist. de agitación	m		X
Número de Reynolds en tanque	Adimensional		X

Continuación de la tabla VIII.

Flujo volumétrico de alimentación	m <sup>3</sup> /s		X
Diámetro de tubería	m		X
Número de Reynolds en tubería	Adimensional		X
Potencia de bomba	HP		X
Potencia de sistema de agitación	HP		X
Tiempo óptimo de mezcla	s		X

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

La elaboración de la muestra del producto se realizó a nivel laboratorio, a la muestra referida se realizaron ensayos fisicoquímicos de densidad y viscosidad absoluta, ensayo microbiológico para medir la acción desinfectante, índice de biodegradabilidad. En cuanto al diseño del sistema de mezclado, se determinó el dimensionamiento del equipo de agitación y los requerimientos de potencia para el impulsor y el sistema de alimentación.

### 3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador:
  - Walter Armando Mansilla González

- Asesor de investigación:
  - Dinna Lissette Estrada Moreira
    - Profesión: ingeniera química, catedrática de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
  
- Ensayos químicos, fisicoquímicos y microbiológicos:
  - Ana Rodas de García
    - Profesión: químico biólogo, jefe de Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos.
  
  - Claudia García
    - Profesión: químico biólogo, analista de Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos

#### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Se da la denominación de recursos materiales a los espacios, instrumentos, equipos y demás materiales; para la realización del trabajo de investigación.

### **3.4.1. Espacio físico**

- Laboratorio de Físicoquímica, Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **3.4.2. Equipo**

- Picnómetro
- Viscosímetro
- Balanzas analíticas digitales
- Incubadora
- Computadora

### **3.4.3. Cristalería**

- Balones aforados de 1 000, 100, 75 y 50 mililitros
- Probetas de 100, 50 y 10 mililitros
- Recipiente de vidrio

- Beakers de 250, 100, 50 y 10 mililitros
- Varillas de agitación
- Tubos de ensayo
- Frascos de vidrio
- Cajas de Petri
- Espátulas
- Vidrios de reloj
- Pipetas de 10, 2, 1 y 0,5 mililitros
- Succionadores

#### **3.4.4. Microorganismos**

- Cepas de *Escherichia coli*
- Cepas de *Staphylococcus aureus*
- Cepas de *Pseudomonas aeruginosa*
- Cepas de *Candida albicans*

### 3.5. Técnica cuantitativa

Las variables de análisis son medibles y cuantificables, por tanto la técnica es de tipo cuantitativa. En la Tabla IX se muestran las variables involucradas en la investigación. La composición de la solución desinfectante en sí, también representa un grupo de variables, se presenta en la tabla X.

Tabla IX. **Variables cuantitativas de estudio**

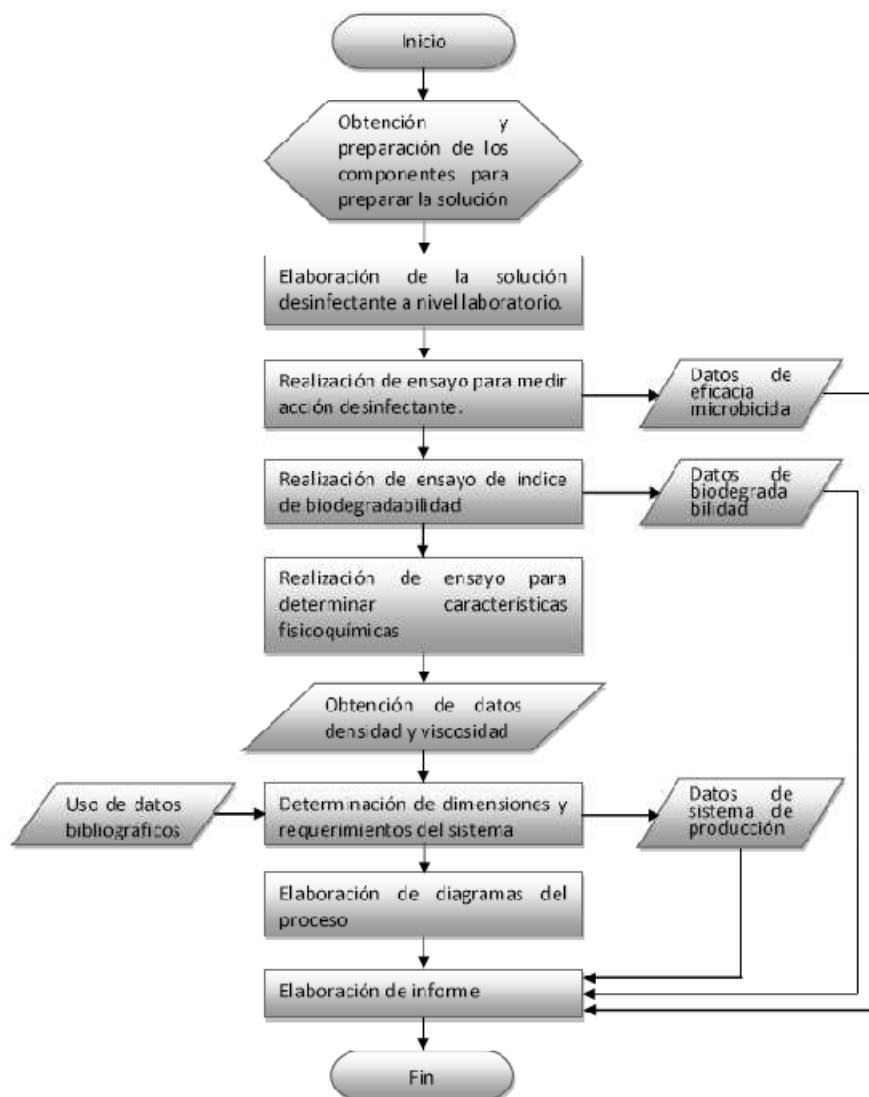
<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Tipo</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	De respuesta	Picnómetro
Viscosidad absoluta	kg/m-s	De respuesta	Viscosímetro
Índice de biodegradabilidad	Adimensional	De respuesta	N/A
Capacidad de tanque agitado	m <sup>3</sup>	Preliminar	N/A
Dimensiones de sistema de agitación	m	De cálculo	N/A
Número de Reynolds en tanque	Adimensional	De cálculo	N/A
Flujo volumétrico de alimentación	m <sup>3</sup> /s	De cálculo	N/A
Diámetro de tubería	m	De cálculo	N/A
Número de Reynolds en tubería	Adimensional	De cálculo	N/A
Potencia de bomba	HP	De cálculo	N/A
Potencia de sistema de agitación	HP	De cálculo	N/A
Tiempo óptimo de mezcla	s	De cálculo	N/A

Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

En la figura 9, se presenta en forma de diagrama de flujo, el procedimiento seguido para la recolección de información en la investigación.

Figura 9. Procedimiento de recolección de la información



Fuente: elaboración propia.



### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para tabular, ordenar y procesar los datos utilizados y obtenidos en la investigación, que contribuyen al alcance de los objetivos planteados, se hace uso de tablas como las mostradas a continuación.

#### 3.7.1. Datos sobre ensayos aplicados

Para tabular, ordenar y procesar los datos obtenidos de ensayos químicos, fisicoquímicos y microbiológicos, se hace uso de las tablas X a XII, en los casos que aplica, se emplea el sistema internacional de unidades.

Tabla X. **Resultados de ensayo de densidad**

Observación	Dato obtenido [kg/m <sup>3</sup> ]	Promedio [kg/m <sup>3</sup> ]
1	1 011,2	1 011,0
2	1 011,0	
3	1 010,8	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resultados de ensayo de viscosidad absoluta**

<b>Observación</b>	<b>Dato obtenido [Pa*s]</b>	<b>Promedio [Pa*s]</b>
1	0,001054	0,001064
2	0,001059	
3	0,001060	
4	0,001059	
5	0,001069	
6	0,001065	
7	0,001067	
8	0,001072	
9	0,001073	
10	0,001064	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resultados de ensayo de índice de biodegradabilidad**

<b>Observación</b>	<b>Dato obtenido</b>	<b>Promedio</b>
1	0,30	0,31
2	0,32	
3	0,31	

Fuente: elaboración propia.

### 3.7.2. Datos preliminares

Se describen los datos que se determinaron preliminarmente, para tabularlos y ordenarlos, se hace uso de la tabla XIII, se usan unidades del sistema internacional.

Tabla XIII. Datos preliminares

Descripción	Magnitud	Unidades
Capacidad del tanque ( $C_T$ )	1 000	L
Rapidez de rotación del impulsor (N)	300	rpm
Tiempo de llenado del tanque ( $t_T$ )	30	min
Densidad de agua a 22 °C ( $\rho_{a22}$ )	997,77	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad de agua a 22 °C ( $\mu_{a22}$ )	0,001020	Pa*s

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

Ante la necesidad creciente de mejorar la calidad y productividad, los ingenieros hacen uso de herramientas estadísticas para realizar los trabajos de forma eficaz. La estadística trata la selección análisis y uso de los datos, la estadística propicia técnicas para describir la variabilidad.

### 3.8.1. Medida de tendencia central

La medida más común de tendencia central es la media aritmética ordinaria, si las observaciones de una muestra de tamaño  $n$  son  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ; la media de la muestra está dada por la ecuación 11.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad [\text{Ecuación 11, Ref. 16}]$$

### 3.8.2. Medidas de dispersión

La tendencia central no proporciona suficiente información que describa adecuadamente los datos de la muestra, las medidas de dispersión son útiles para indicar la variabilidad o desviaciones de los datos respecto a la media; son intervalos que indican la dispersión de los datos en la escala de medición, la medida de dispersión más importante es la varianza de la muestra, dada por:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad [\text{Ecuación 12, Ref. 16}]$$

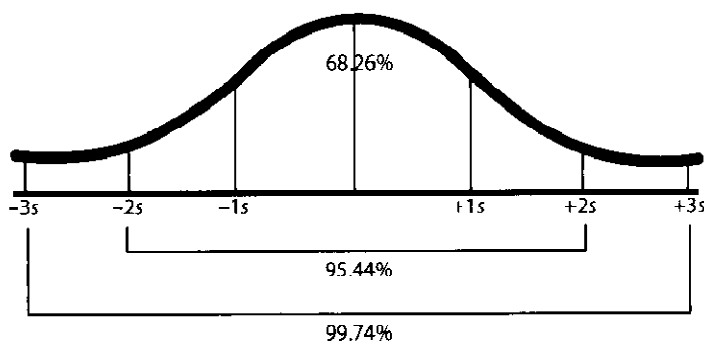
Un valor pequeño de varianza indica una pequeña variabilidad relativa en los datos, las unidades de medida de la varianza son el cuadrado de las unidades originales de la variable; en términos de dimensionalidad, es útil trabajar con la raíz cuadrada de la varianza, lo que se conoce como desviación típica de la muestra, sus unidades de medida son las mismas de la variable original, está dada por:

$$s = \sqrt{s^2} \quad \text{ó} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad [\text{Ecuación 13, Ref. 16}]$$

### 3.8.3. Distribución normal y nivel de significación

Una distribución muestral es un conjunto de valores sobre una estadística calculada de todas las muestras posibles de una población determinada, las distribuciones muestrales de medias son las más utilizadas, una distribución muestral en donde la mayoría de puntuaciones se concentran en el centro, y sólo algunas de las puntuaciones se localizan en los extremos, se conoce como distribución normal, la figura 10 la ilustra.

Figura 10. Curva de distribución normal



Fuente: HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; et al. Metodología de la investigación. p. 446.

Donde el 68,26% del área de la curva normal (puntuaciones) se cubre en un intervalo de  $\pm 1s$ ; 95,44% en el intervalo de  $\pm 2s$  y el 99,74% en  $\pm 3s$ . Esto representa un intervalo de confianza, que es el intervalo dentro del cual puede suponerse razonablemente que se ubica la media; los valores extremos de ese intervalo se denominan límites de confianza.

Si se aplica la probabilidad a la distribución muestral, se debe evaluar la probabilidad de que la media de la muestra esté cerca de la media de la distribución muestral (que es el valor de la población y es deseable); si la probabilidad es baja, genera duda en generalizar a la población; si es alta, pueden hacerse generalizaciones de los valores obtenidos a la población.

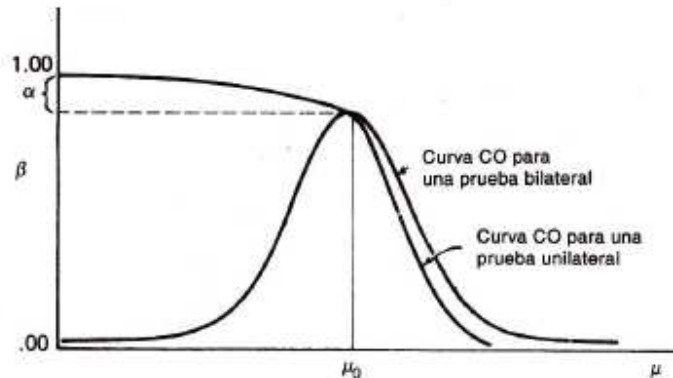
El nivel de significancia ( $\alpha$ ) representa la probabilidad rechazar erróneamente el supuesto de la proximidad de la media obtenida a la de la población o error del tipo I, la probabilidad de aceptar erróneamente el supuesto se conoce como  $\beta$  o error del tipo II. En diseño de investigaciones, se considera aceptable un nivel de significancia  $\alpha= 0,05$ , lo que representa un 95% de seguridad de generalizar sin equivocación. El nivel de significancia es un valor que se fija *a priori*.

Se define una variable aleatoria normal estándar ( $Z_{\alpha/2}$ ), la cual representa un múltiplo de la desviación típica ( $s$ ) que signifique un nivel de significancia particular; para  $\alpha=0,05$ ,  $Z_{\alpha/2}=1,96$ . El intervalo de confianza referido con anterioridad, están dados por:

$$IC = \bar{x} \pm Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad [\text{Ecuación 14, Ref. 16}]$$

Cuando en una distribución muestral, las puntuaciones pueden ser menores o mayores del valor de la media, es decir, estar a ambos lados del valor de la media en la curva, se habla de una prueba bilateral; si las puntuaciones observadas o requeridas tienden sólo a valores menores o mayores del de la media, es decir, a un solo lado de la curva, la prueba es unilateral, se ilustra en la página siguiente, en la figura 11.

Figura 11. **Curvas características de operaciones para pruebas unilaterales y bilaterales**



Fuente: HINES, William W.; MONTGOMERY, Douglas C. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración. p. 340.

### 3.8.4. **Determinación del número de observaciones para variables de respuesta**

Para obtener datos de los ensayos aplicados que puedan considerarse confiables y aceptables, se determinó un número de observaciones a realizar que puedan sustentar dicha confiabilidad, a partir de un intervalo de confianza establecido a priori con determinada precisión. La relación la describe la ecuación 15, donde E, representa el error o desviación entre la media muestral y la media de la población, la magnitud de este parámetro también puede establecerse *a priori* según el grado de exactitud que se requiera.

$$n = \left( \frac{Z_{\alpha/2} s}{E} \right)^2 \quad [\text{Ecuación 15, Ref. 16}]$$

Para emplear la relación anterior, es manifiesta la necesidad de conocer el dato de variabilidad (s); según Hines y Montgomery en “Probabilidad y estadística para ingeniería y administración”, puede estimarse con base en trabajos previos semejantes; en el caso de esta investigación, se toma como base los resultados del trabajo de Godínez Bautista sobre evaluación de desinfectantes. Lo anterior puede aplicarse para las variables densidad  $\rho$  y viscosidad  $\mu$ .

Para la determinación del número de observaciones de las variables citadas, se establece: nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , que determina  $Z_{\alpha/2} = 1,96$ ; error de 0,005 para densidad, 0,05 para viscosidad; y, con base en el trabajo de Godínez Bautista: desviación típica de 0,00387 para densidad y 0,0804 para viscosidad. Por tanto:

$$n_{\rho} = \left( \frac{1,96 * 0,00387}{0,005} \right)^2 = 2,30 \Rightarrow 3$$

$$n_{\mu} = \left( \frac{1,96 * 0,0804}{0,05} \right)^2 = 9,93 \Rightarrow 10$$

Se establecieron entonces, 3 observaciones para densidad y 10 para viscosidad. Para las variables índice de biodegradabilidad y eficacia microbiológica, no se cuenta con datos sobre variabilidad de investigaciones previas similares; en este caso, según Hines y Montgomery, puede obtenerse un número apropiado de muestras a partir de curvas características de operación (CO). Las curvas características de operación, grafican  $\beta$  contra un parámetro denominado d, que relaciona el error o desviación de la media de la población y el valor que se obtiene de una prueba o ensayo (se referirá como e), con la desviación típica, como lo indica la ecuación 16.

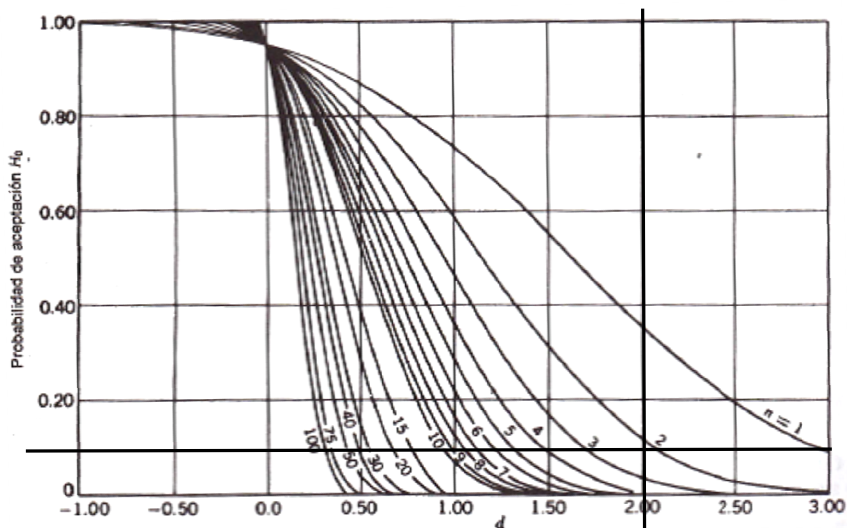


$$d = e/s \quad [\text{Ecuación 16, Ref. 16}]$$

Como no se tiene conocimiento ni trabajos previos para estimar  $s$ , los autores refieren que para detectar una diferencia moderada en la media, respecto a la desviación típica, puede asumirse un valor para  $d$ . Para este ensayo se fija  $d = 2$ . Se fija el error tipo I ( $\alpha$ ) en 0,05 y el error tipo II ( $\beta$ ) en 0,10.

Para el índice de biodegradabilidad (IB), se pretende que el valor sea igual o mayor que un valor específico (0,2), por tanto, se emplean curvas CO unilaterales, la determinación del número apropiado de observaciones para las condiciones descritas, se indica en la figura 12.

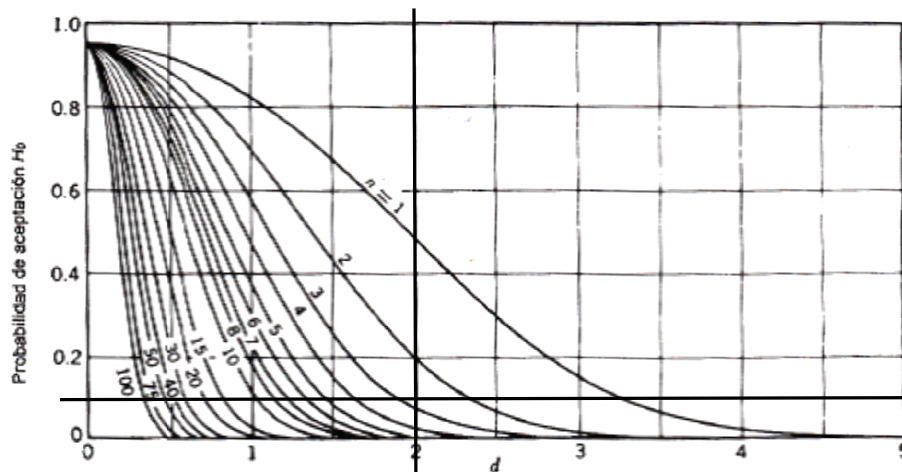
Figura 12. **Curvas CO para valores de  $n$  de la distribución normal unilateral para  $\alpha=0,05$**



Fuente: HINES, William W.; MONTGOMERY, Douglas C. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración. p. 786.

Para la determinación del número de observaciones del ensayo de eficacia microbicida, se emplearon curvas CO bilaterales y los valores fijados para  $\alpha = 0,05$ ;  $\beta = 0,10$  y  $d = 2,00$ . Se indica en la figura 13.

Figura 13. **Curvas CO para valores de n de la distribución normal bilateral para  $\alpha=0,05$**



Fuente: HINES, William W.; MONTGOMERY, Douglas C. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración. p. 786.

Entonces, se deduce de las figuras 14 y 15, valores estimados de  $n = 2,10$  para las observaciones del índice de biodegradabilidad, y de  $n = 2,80$  para las observaciones de eficacia microbicida, por tanto se estableció la cantidad de tres observaciones para ambas variables.

### 3.8.5. Análisis estadístico de variables de respuesta

Los datos del análisis estadístico aplicado a variables de respuesta, se presentan en tablas de datos y modelos de límites de confianza.

Tabla XIV. Datos de análisis estadístico de densidad

	Dato [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Media aritmética $\bar{x}$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Desviación típica $s$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Varianza [ $\text{kg}^2/\text{m}^6$ ]
$\rho_1$	1 011,2	1 011,0	0,2	0,04
$\rho_2$	1 011,0			
$\rho_3$	1 010,8			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Datos de análisis estadístico de viscosidad absoluta

	Dato [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]	Media aritmética $\bar{x}$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]	Desviación típica $s$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]	Varianza [ $\text{Pa}^2\cdot\text{s}^2$ ]
$\mu_1$	0,00105406	0,001064154	$6,18\text{E}^{-06}$	$3,82\text{E}^{-11}$
$\mu_2$	0,00105901			
$\mu_3$	0,00106003			
$\mu_4$	0,00105858			
$\mu_5$	0,00106906			
$\mu_6$	0,00106513			
$\mu_7$	0,00106688			
$\mu_8$	0,00107183			
$\mu_9$	0,00107285			
$\mu_{10}$	0,00106411			

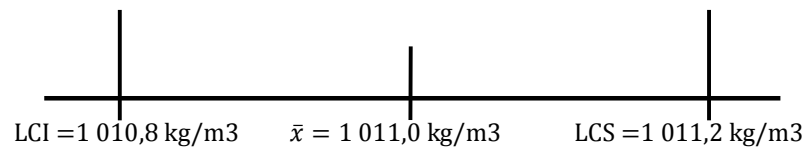
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Datos de análisis estadístico de índice de biodegradabilidad**

	<b>Dato</b>	<b>Media aritmética <math>\bar{x}</math></b>	<b>Desviación típica <math>s</math></b>	<b>Varianza</b>
<b>IB<sub>1</sub></b>	0,30000	0,30997	9,98E <sup>-03</sup>	9,96E <sup>-05</sup>
<b>IB<sub>2</sub></b>	0,31996			
<b>IB<sub>3</sub></b>	0,30996			

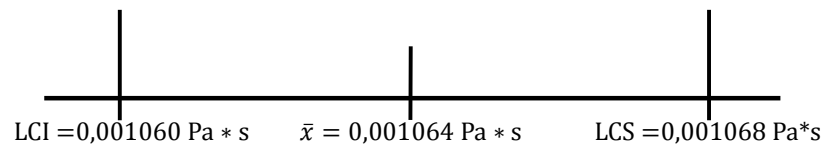
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Modelo de límites de confianza para densidad**



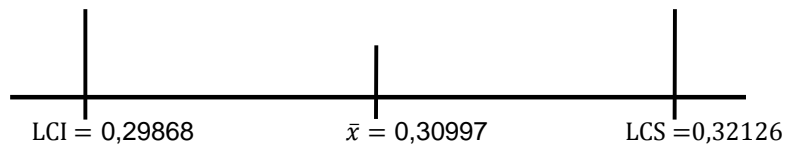
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Modelo de límites de confianza para viscosidad absoluta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Modelo de límites de confianza para índice de biodegradabilidad**



Fuente: elaboración propia.

## 4. RESULTADOS

Tabla XVII. **Resultados de densidad**

No. de observación	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad media (kg/m <sup>3</sup> )
1	1 011,20	1 011,00
2	1 011,00	
3	1 010,80	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resultados de viscosidad absoluta**

No. de observación	Viscosidad absoluta (cP)	Viscosidad absoluta media (cP)
1	1,054	1,064
2	1,059	
3	1,060	
4	1,059	
5	1,069	
6	1,065	
7	1,067	
8	1,072	
9	1,073	
10	1,064	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados de ensayo microbiológico**

Microorganismo	No. de muestra	Dilución					
		Puro	1:2	1:10	1:20	1:100	1:1000
<i>Escherichia coli</i>	1	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz
	2	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz
	3	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz
	2	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz	Ineficaz
	3	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz
<i>Candida albicans</i>	1	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz
	2	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz
	3	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz	Ineficaz
<i>Staphylococcus aureus</i>	1	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz
	2	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz
	3	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Ineficaz

Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos.

Tabla XX. **Resultados de índice de biodegradabilidad**

No. de muestra	DQO	DBO	IB
1	13 200,00	3 960,00	0,30
2	13 905,00	4 449,00	0,32
3	13 450,00	4 169,00	0,31

Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos.

Tabla XXI. **Resultados de dimensionamiento del tanque de agitación**

	<b>Dimensiones (m)</b>
Diámetro de tanque ( $D_T$ )	1,084
Altura (H)	1,084
Diámetro de agitador ( $D_a$ )	0,434
Anchura de rodete (W)	0,087
Longitud de palas del agitador (L)	0,108
Altura de rodete sobre el fondo (C)	0,361
Anchura de deflectores (J)	0,090

Fuente: elaboración propia.

En el apéndice 6 se muestra un esquema del tanque de agitación con las dimensiones representadas en la tabla XXI. Enlistados a continuación, se presentan los resultados calculados y definidos para tipo de agitador, diámetro de tubería, tiempo óptimo de mezclado, y requerimientos de potencia para bomba y motor del agitador, los cuales son:

- Tipo de agitador: de turbina a 45°
- Diámetro de tubería: 1 pulgada
- Tiempo óptimo de mezclado: 5,08 segundos
- Requerimiento de potencia de la bomba: 0,07 caballos de potencia
- Requerimiento de potencia de motor del agitador: 3,38 caballos de potencia





## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el estudio en cuestión, se desarrolló una solución desinfectante para superficies, la que se buscaba tuviera la característica de biodegradabilidad. Se preparó una muestra a nivel de laboratorio, a la cual se le aplicaron ensayos fisicoquímicos de densidad y viscosidad absoluta, mediante un picnómetro para la densidad y un viscosímetro tipo Cannon-Fenske para la viscosidad. A partir de los resultados de los ensayos fisicoquímicos se ejecutaron los cálculos para el diseño del sistema de mezclado. Además se realizó ensayo microbiológico para evaluar la eficacia microbicida y ensayo de índice de biodegradabilidad.

En la tabla XVII se muestran los resultados del ensayo de determinación de densidad, que da un valor medio de 1 011 kilogramos por metro cúbico, es coherente que su valor sea parecido al del agua que es 997,77 kilogramos por metro cúbico a la misma temperatura, considerando que el 93,90% de la composición de la solución elaborada corresponde al vehículo.

La tabla XVIII presenta los resultados del ensayo de viscosidad absoluta, el valor medio obtenido es 1,064 centipoises, valor similar a 1,02 centipoises que corresponde al valor de viscosidad absoluta del agua; al igual que en la densidad, el resultado es congruente, si se considera la composición de la solución elaborada.

Del ensayo microbiológico se obtienen los resultados de eficacia microbicida presentados en la tabla XIX. Los datos revelan que la solución desinfectante es eficaz contra las bacterias *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* hasta dilución 1:100, para *Pseudomonas aeruginosa* la eficacia se alcanzó hasta dilución 1:100, excepto en una de las observaciones, donde fue eficaz hasta dilución 1:20. La solución desinfectante no fue eficaz contra la levadura *Candida albicans*.

El agente activo desinfectante penetra la pared celular de los microorganismos, rompiéndola por presión; afecta la permeabilidad de la membrana celular, interfiriendo en la actividad enzimática; además de dañar y romper el citoplasma.

Estudios realizados sobre el agente activo desinfectante revelan que es eficaz combatiendo bacterias en un espectro amplio, sin embargo, el espectro de combate de hongos y levaduras es menor. También se indica que se requieren concentraciones más grandes respecto a las usadas contra la mayor parte de bacterias, para combatir la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*, la que debido a su mayor resistencia es uno de los microorganismos de estudio mayormente empleados en diversos tipos de ensayos. Por tanto, los resultados del ensayo microbiológico son congruentes con la expectativa que los estudios previos sugieren.

En cuanto a los resultados del ensayo de índice de biodegradabilidad que se presentan en la tabla XX, mediante el uso de la relación DBO/DQO, de acuerdo a la tabla III, el cociente obtenido debe caer dentro del rango 0,2 - 0,4 para que la solución que se estudia se considere biodegradable, el resultado del ensayo realizado a la solución desinfectante elaborada da un valor medio de índice de biodegradabilidad de 0,31; lo que indica que la solución elaborada es biodegradable, se conoce que el agente activo desinfectante es un extracto biogénico, este tipo de productos por su origen natural son biodegradables.

Partiendo de los resultados de los ensayos fisicoquímicos de densidad y de viscosidad absoluta y utilizando la metodología descrita en la sección de diseño metodológico, se realizaron los cálculos pertinentes para determinar los parámetros del diseño del sistema de mezclado.

Las dimensiones del tanque de agitación, se presentan en la tabla XXI; el diámetro al igual que la altura, es de 1,084 metros, éstas variables representan la base para estimar el resto de dimensiones en el sistema de agitación como las respectivas del agitador, del cual se estima un diámetro de 43,4 centímetros, anchura de rodete de 8,7 centímetros y longitud de sus palas de 10,8 centímetros; además se estimó una altura del rodete sobre el fondo del tanque de 36,1 centímetros. Todos los valores anteriores son dependientes de la capacidad del tanque de mezclado.

Considerando flujo dentro del tanque de tipo turbulento y la consecuente formación de vórtice debido al flujo circular alrededor del eje del agitador, se estima la colocación de deflectores de 9 centímetros de ancho en las paredes del tanque. Al igual que las dimensiones especificadas en el párrafo anterior, las de los deflectores también son dependientes de la capacidad del tanque.

El tipo de agitador seleccionado es de turbina a 45°, los criterios para la selección del agitador son: el valor de la viscosidad de la solución desinfectante, que con un valor de 1,064 centipoises, es relativamente bajo; y el tipo de flujo deseado dentro del tanque, una combinación de flujo axial y radial, que representa mejor calidad de mezclado debido a la mayor turbulencia que se forma.

El diámetro para la tubería de alimentación de agua, se determina de 1 pulgada, basándose en la capacidad del tanque, el tiempo requerido para su llenado y la rapidez del flujo en la tubería, esta última tiene una relación proporcional inversa con el diámetro mismo de la tubería cuando el flujo volumétrico se mantiene constante.

También se estima el tiempo óptimo de mezclado de 5,08 segundos a partir de la turbulencia dentro del tanque representada por el número de Reynolds y las dimensiones del tanque de agitación, el tiempo de mezclado obtenido es considerablemente corto, lo que es congruente, si se toma en cuenta la elevada turbulencia que en teoría se desarrollaría dentro del tanque de agitación y la rapidez de rotación del impulsor, además de la viscosidad relativamente baja ya citada.

Se estimaron también requerimientos de potencia de la bomba y del motor del agitador para el sistema de mezclado. El requerimiento estimado para la bomba es de 0,07 caballos de potencia, valor que depende del flujo volumétrico del agua en la tubería, longitud de la tubería, fricción en la tubería, altura del sistema de mezclado, densidad del fluido y rapidez de la descarga al tanque de agitación; por la combinación de todos estos factores, el valor de potencia requerida para la operación del sistema de alimentación de agua es pequeño, se considera una eficiencia de la bomba de aproximadamente 70%.

Para el motor del agitador del sistema de mezclado, la potencia requerida estimada dio un valor de 3,38 caballos de potencia, el valor es considerable, pues depende principalmente de la turbulencia dentro del tanque de agitación, que se relaciona con la rapidez de rotación del impulsor, las dimensiones del tanque y las propiedades fisicoquímicas de la solución; para las operaciones de mezclado donde el fluido es poco viscoso se requiere y generalmente se opera a una turbulencia elevada, esta cualidad es la que hace efectiva la operación dicha de mezclado, en este caso, por medio de la agitación.



## CONCLUSIONES

1. La densidad de la solución desinfectante elaborada es 1 011 kilogramos por metro cúbico y su viscosidad absoluta es 1,064 centipoises.
2. La solución desinfectante elaborada es eficaz contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* hasta dilución 1:100, contra *Pseudomonas aeruginosa* hasta dilución 1:20 e ineficaz contra *Candida albicans*.
3. El valor del índice de biodegradabilidad de la solución desinfectante elaborada es 0,31, por tanto, la solución es biodegradable.
4. Las dimensiones estimadas para el sistema de agitación con una capacidad de 1 000 litros son: diámetro del tanque 1,084 metros, altura 1,084 metros, diámetro del agitador 0,434 metros, anchura de rodete 0,087 m, longitud de palas del agitador 0,108 metros, altura del rodete sobre el fondo 0,361 metros y anchura de deflectores 0,090 metros.
5. Para el sistema de mezclado, el agitador seleccionado es el de turbina a 45°, el tiempo óptimo de mezclado es 5,08 segundos y el diámetro de tubería para el sistema de alimentación de agua es 1 pulgada.
6. Los requerimientos teóricos de potencia son: 0,07 caballos de potencia para la bomba de alimentación de agua y 3,38 caballos de potencia para el motor del agitador.





## RECOMENDACIONES

1. Desarrollar otras soluciones desinfectantes variando las composiciones y realizar los mismos ensayos para comparar los resultados.
2. Practicar a la solución desinfectante un ensayo microbiológico con cepas fúngicas diferentes a *Candida albicans* para evaluar de manera más objetiva su acción contra hongos y levaduras.
3. Realizar estudios de factibilidad para el montaje y operación de una planta productora de la solución desinfectante.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALTMAJER VAZ, Deisi. *Formulación de detergentes biodegradables: ensayos de lavado*. Tesis doctoral. España: Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Ingeniería Química, 2001. Documento electrónico.
2. BRODKEY, Robert S.; HERSHEY, Harry C. *Transport phenomena, a unified approach*. Singapur: McGraw-Hill, 1988. 865 p. ISBN: 0-07-007963-3.
3. BUEZO, Brenda Lissett. *Comparación de los desinfectantes de amonio cuaternario con los de origen fenólico y halogenados*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998. 92 p.
4. CANAHUÍ GUEVARA, Ana Lucía. *Comparación de la capacidad bactericida del alcohol etílico 95%, amonio cuaternario y pvp iodine como ingredientes activos de los desinfectantes por el método del coeficiente fenólico*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 91 p.

5. CARRANZA GIRÓN, Delfina. *Evaluación del poder desinfectante en los productos del hogar que en la etiqueta indique que es antibacterial*. Trabajo de graduación de Lic. en Química-Biología. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. 46 p.
6. CRANE. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. México: McGraw-Hill, 1996. 213 p.
7. FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. *Mecánica de fluidos* [en línea]. Cantabria, España: [ref. julio de 2003], <<http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/MecanicaFluidos/index.html>>.
8. FORERO VARGAS, Rafael Alberto; PIEDRAHITA NAVARRETE, Diana Carolina. *Análisis y evaluación de los procesos de limpieza manual de equipos de manufactura en una industria nutracéutica*. Trabajo de graduación de Lic. en Microbiología Industrial. Fort Lauderdale, Florida, Estados Unidos de América: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, 2008. 207 p.
9. FUENTES VELÁSQUEZ, Ricardo Enrique. *Evaluación de la actividad de los agentes desinfectantes (germicidas), disponibles en el mercado odontológico guatemalteco, en la acción germicida contra Escherichia coli y estafilococo dorado (Staphylococcus aureus)*. Trabajo de graduación de Lic. en Odontología. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Odontología, 2001. 122 p.
10. *Función de los agentes secuestrantes* [en línea]. [ref. 25 de octubre de 2006], Disponible en Web: <<http://www.quiminet.com>>.

11. GARCÍA QUESADA, J.C. *Tema 5. Técnicas reométricas* [en línea]. España 2008. <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3626/1/tema5RUA.pdf>. [Consulta: 30 de septiembre de 2012].
12. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. México: Continental, 1998. 1 007 p. ISBN: 968-26-1316-7.
13. GODÍNEZ BAUTISTA, Heydy Valeska. *Evaluación de cetrimida, clorhexidina y cloruro de benzalconio como ingredientes activos para la formulación de un detergente desinfectante de superficies y descripción del proceso de producción para una planta de productos químicos*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 139 p.
14. GUTIÉRREZ SORIA, Luis Roberto. *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de desinfectante líquido de piso para empresas o negocios en la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 151 p.
15. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ-COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar. *Metodología de la investigación*. 4a ed. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2006. 880 p. ISBN: 97-10-5753-8.

16. HINES, William W.; MONTGOMERY, Douglas C. *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. 2a ed. México, D.F.: Continental, 1993. 834 p. ISBN: 968-26-1232-2.
17. Lenntech. *pH y alcalinidad* [en línea]. Disponible en Web: <http://www.lenntech.es/ph-y-alkalinidad.htm>. [Consulta: 07 de mayo de 2012].
18. LEVENSPIEL, Octave. *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. New York: Reverté, 1993. 372 p. ISBN: 84-2917968-2.
19. MARCÉN LETOSA, Juan José. "Antimicrobianos Naturales". *Medicina Naturista*. 2000, N° 2, 106 p.
20. MARTÍNEZ SOZA, Lucero. *Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa* [en línea]. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10383/3/Annex.pdf>. [Consulta: 09 de mayo de 2012].
21. McCABE, Warren L.; SMITH, Julian C.; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a ed. Madrid: McGraw-Hill, 1991. 1112 p. ISBN: 84-481-1918-5.
22. MILLER, J.C.; MILLER J.N. *Estadística para química analítica*. 2a ed. Wilmington, Delaware, Estados Unidos de América: Addison Wesley Iberoamericana, 1993. 210 p. ISBN: 0-20160140-0.
23. PERRY, Robert H. *Perry, Manual del ingeniero químico. Tomo II*. 3a ed. Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 463 p.

24. REYES MAZARIEGOS, Menphis Sofonías. *Aplicación del diseño experimental en las prácticas internas, en el área de operaciones unitarias*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 189 p.
25. Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, D.C. *Guías para la prevención, control y vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias* [Archivo PDF]. Dirección de salud pública, Área de vigilancia en salud. Bogotá: Oficina de Comunicadores en Salud, 2004. Capítulo 7. Uso de desinfectantes.
26. ULLMANN, Fritz. "Sección VI: Productos agrícolas, alimenticios y medicinales". En: *Enciclopedia de Química Industrial*. Barcelona: Gustavo Gili, 1933. 600 p.

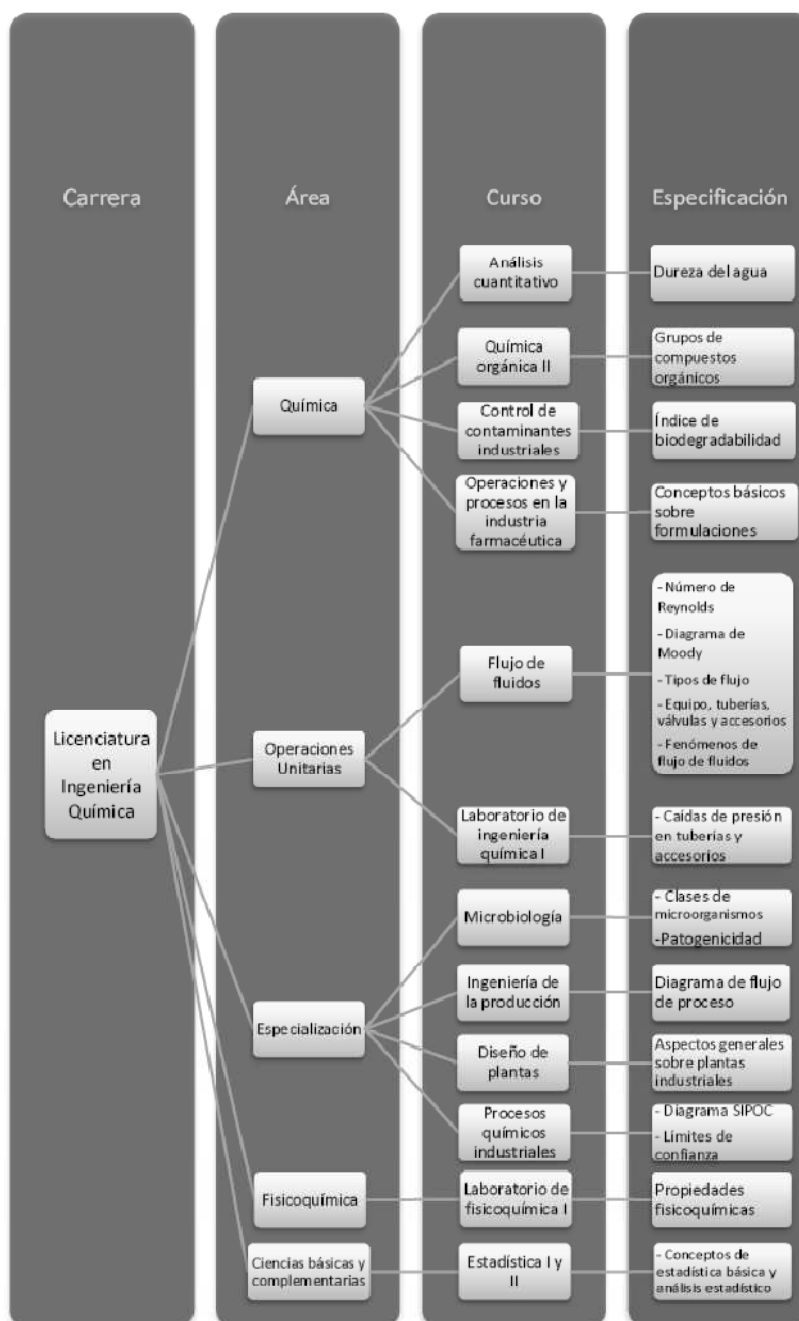




## **APÉNDICES**

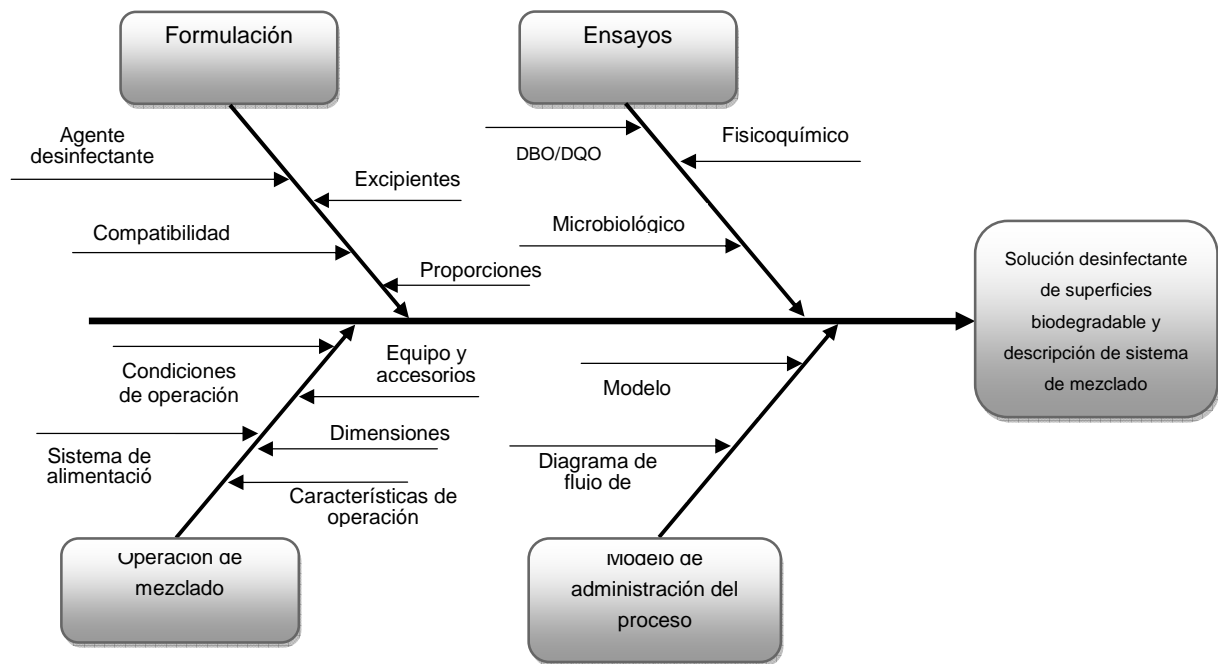


## APÉNDICE 1. REQUISITOS ACADÉMICOS



Fuente: elaboración propia.

## APÉNDICE 2. DIAGRAMA DE CAUSAS-EFECTO



Fuente: elaboración propia.

### APÉNDICE 3. COSTOS PARA SISTEMA DE MEZCLADO

	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (Q.)</b>	<b>Costo (Q.)</b>	
Tanque con agitación (1000 L)	1	22 000,00	22 000,00	
Tanque de acero 1000 L	1	11 887,06	11 887,06	
Tanque almacenador (1500 L)	1	2 600,70	2 600,70	
Motor eléctrico 3.5 HP	1	2 821,76	2 821,76	
Bomba centrífuga ½ HP	1	1 440,95	1 440,95	
Tubería de acero 1" cédula 40	8 m	121,90	975,20	
Codo de acero cédula 40	4	160,34	641,36	
Válvula de compuerta	2	149,36	298,71	
Instalación			2 500,00	
<b>Costo total (Q.)</b>				<b>45 165,74</b>

Fuente: elaboración propia.

## APÉNDICE 4. MUESTRA DE CÁLCULO

### 1. Determinación de diámetro de tubería

El diámetro requerido de tubería para las condiciones establecidas, se determina de la tabla del anexo 1, a partir de la rapidez del agua en la tubería y su flujo volumétrico.

- Rapidez del agua dentro de la tubería

El agua es un líquido poco viscoso, con base en la tabla IV se establece una velocidad.

- Flujo volumétrico

Se determina por medio del cociente de la capacidad del tanque entre el tiempo de llenado de este, por la ecuación.

$$\dot{Q} = \frac{C_T}{t_T} \quad [\text{Ecuación 17}]$$

$$\dot{Q} = \frac{1 \text{ m}^3}{1800 \text{ s}} = 0,5556 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

- $\dot{Q}$  = Flujo volumétrico (metros cúbicos por segundo)
- $C_T$  = Capacidad del tanque = 1000 litros = 1 metro cúbico
- $t_T$  = Tiempo de llenado del tanque = 30 minutos = 1800 segundos

## 2. Requerimiento de potencia de la bomba

- Número de Reynolds del fluido en la tubería

Lo primero a determinar, es el número de Reynolds del fluido en la tubería ( $Re_t$ ), este factor es la base para determinar otros. Se calcula a partir de la ecuación 1.

$$Re_t = \frac{D u_t \rho_a}{\mu_a} \quad [\text{Ecuación 1, Ref. 21}]$$

$$Re_t = \frac{(0,0266 \text{ m}) \left(1,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (997,77 \text{ kg/m}^3)}{0,00102 \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 31\,224,33$$

Donde:

- $Re_t$  = Número de Reynolds del fluido en la tubería
  - $D$  = Diámetro de la tubería = 1,049 pulgadas = 0,0266 metros
  - $u_t$  = Rapidez del fluido en la tubería = 1,20 metros por segundo
  - $\rho_a$  = Densidad del agua a 22 °C = 997,77 kilogramos por metro cúbico
  - $\mu_a$  = Viscosidad del agua a 22 °C = 0,00102 pascales-segundo
- Factor de fricción

Se determina con base en la figura del anexo 2 a partir del número de Reynolds del fluido en la tubería ( $Re_t$ ).



- Carga de fricción debido a la tubería

Se determina con base en la ecuación 6.

$$h_{ft} = 4f \frac{L u_t^2}{2D} \quad [\text{Ecuación 6, Ref. 12}]$$

$$h_{ft} = (0,0274) \frac{(8 \text{ m})(1,20 \text{ m/s})^2}{2(0,0266 \text{ m})} = 5,933 \text{ J/kg}$$

Donde:

- $h_{ft}$  = Carga de fricción debido a la tubería (Julios por kilogramo)
  - $4f$  = Factor de fricción = 0,0274
  - $L$  = Longitud de la tubería = 8 metros
  - $u_t$  = Rapidez del fluido en la tubería = 1,20 metros por segundo
  - $D$  = Diámetro de la tubería = 0,0266 metros
- Carga de fricción debido a accesorios

Se determina con base en la ecuación 7.

$$h_{fa} = K_f \frac{u_t^2}{2} \quad [\text{Ecuación 7, Ref. 12}]$$

$$h_{fa} = (1,67) \frac{(1,20 \text{ m/s})^2}{2} = 1,2024 \text{ J/kg}$$

Donde:

- $h_{fa}$  = Carga de fricción debido a accesorios (Julios por kilogramo)
- $K_f$  = Factor de pérdida para los accesorios (de tabla V) = 1,67
- $u_t$  = Rapidez del fluido en la tubería = 1,20 metros por segundo

- Carga de fricción total

Se determina con la sumatoria de las cargas de fricción debido a la tubería y debido a los accesorios.

$$h_f = h_{ft} + h_{fa} \quad [\text{Ecuación 18, Ref. 12}]$$

$$h_f = 5,933 + 1,2024 = 7,1354 \text{ J/kg}$$

Donde:

- $h_f$  = Carga de fricción total (Julios por kilogramo)
  - $h_{ft}$  = Carga de fricción debido a la tubería = 5,933 Julios por kilogramo
  - $h_{fa}$  = Carga de fricción debido a los accesorios = 1,2024 Julios por kilogramo
- Trabajo de la bomba

Se determina el trabajo de la bomba a partir de la ecuación de Bernoulli, adecuada a las condiciones del estudio:  $P_a = P_b$  (presión atmosférica),  $Z_a = 0$  m (nivel del suelo),  $u_a$  es despreciable por el diámetro grande del tanque de almacenamiento de agua respecto al de la tubería.

$$\eta W_p = \frac{g Z_b}{g_c} + \frac{\alpha_b u_b^2}{2g_c} + h_f \quad [\text{Ecuación 4, Ref. 21}]$$

$$W_p = \frac{\frac{(9,8 \text{ m/s}^2)(5,5 \text{ m})}{(1 \text{ kg} \cdot \text{m/N} \cdot \text{s}^2)} + \frac{(0,93) (1,2 \text{ m/s})^2}{2(1 \text{ kg} \cdot \text{m/N} \cdot \text{s}^2)} + 7,1354 \text{ J/kg}}{0,7} = 88,15 \text{ J/kg}$$

Donde:

- $W_p$  = Trabajo de la bomba por unidad de masa (Julios por kilogramo)
  - $g$  = Aceleración debida a la gravedad = 9,8 metros por segundo cuadrado
  - $Z_b$  = Altura a la que descarga la bomba = 5,5 metros
  - $g_c$  = Factor de gravedad masa-fuerza = 1 kilogramo masa por newton-segundo
  - $\alpha_b$  = Factor de corrección de la energía cinética (de figura 2) = 0,93
  - $u_b$  = Rapidez de descarga de la bomba = 1,2 metros por segundo
  - $h_f$  = Carga de fricción total = 7,1354 Julios por kilogramo
  - $\eta$  = Eficiencia de la bomba = 0,7
- Potencia de la bomba

Se determina la potencia de la bomba, relacionando su flujo másico con su trabajo.

$$P = \frac{\dot{Q}\rho_a W_p}{745,701} \quad [\text{Ecuación 19, Ref. 21}]$$

$$P = \frac{(0,5556 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})(997,77 \text{ kg}/\text{m}^3)(88,15 \text{ J}/\text{kg})}{745,701 \text{ W}/\text{HP}} = 0,0655 \text{ HP}$$

Donde:

- $P$  = Potencia de la bomba (caballos de potencia)
- $W_p$  = Trabajo de la bomba por unidad de masa = 88,15 Julios por kilogramo
- $\dot{Q}$  = Flujo volumétrico =  $0,5556 \times 10^{-3}$  metros cúbicos por segundo
- $\rho_a$  = Densidad del agua a 22 °C = 997,77 kilogramos por metro cúbico

### 3. Dimensiones del tanque y tipo de agitador

- Tipo de agitador

El tipo de agitador apto para la operación se determina según la información de la tabla VI, a partir del valor de la viscosidad.

- Dimensiones del sistema de mezclado

Se determinan las dimensiones del sistema con base en las proporciones que indica la tabla VII, lo primero que debe determinarse es el diámetro del tanque  $D_t$  a partir de su capacidad.

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{4C_T}{\pi}} \quad [\text{Ecuación 20}]$$

$$D_T = H = \sqrt[3]{\frac{4(1 \text{ m}^3)}{\pi}} = 1,084 \text{ m}$$

Donde:

- $D_T$  = Diámetro del tanque (metros)
- $C_T$  = Capacidad del tanque = 1 metro cúbico

$$D_T = H \quad [\text{Ecuación 21, Ref. 12}]$$

Donde:

- $D_T$  = Diámetro del tanque (metros)
- $H$  = Altura (metros)

$$D_a = 0,4D_T \quad [\text{Ecuación 22, Ref. 12}]$$

$$D_a = 0,4 (1,084) = 0,4336 \text{ m}$$

Donde:

- $D_a$  = Diámetro del agitador (metros)
- $D_T$  = Diámetro del tanque = 1,084 metros

$$W = \frac{D_a}{5} \quad [\text{Ecuación 23, Ref. 12}]$$

$$W = \frac{0,4336 \text{ m}}{5} = 0,0867 \text{ m}$$

Donde:

- $W$  = Anchura del rodete (metros)
- $D_a$  = Diámetro del agitador = 0,4336 metros

$$L = \frac{D_a}{4} \quad [\text{Ecuación 24, Ref. 12}]$$

$$L = \frac{0,4336 \text{ m}}{4} = 0,1084 \text{ m}$$

Donde:

- $L$  = Longitud de la palas del agitador (metros)
- $D_a$  = Diámetro del agitador = 0,4336 metros

$$C = \frac{D_T}{3} \quad [\text{Ecuación 25, Ref. 12}]$$

$$C = \frac{1,084 \text{ m}}{3} = 0,3613 \text{ m}$$

Donde:

- C = Altura del rodete sobre el fondo (metros)
- $D_T$  = Diámetro del tanque = 1,084 metros

$$J = \frac{D_T}{12} \quad [\text{Ecuación 26, Ref. 12}]$$

$$J = \frac{1,084 \text{ m}}{12} = 0,0903 \text{ m}$$

Donde:

- J = Anchura de los deflectores (metros)
- $D_T$  = Diámetro del tanque = 1,084 metros

#### 4. Consumo de potencia del sistema de agitación

- Número de Reynolds del fluido en el tanque

Se determina el número de Reynolds del fluido en el tanque ( $Re_T$ ), a partir de las propiedades de la solución.

$$Re_T = \frac{D_a N \rho_s}{\mu_s} \quad [\text{Ecuación 8, Ref. 21}]$$

$$Re_T = \frac{(0,4336 \text{ m})(5 \text{ rps})(1\,011 \text{ kg/m}^3)}{(0,001064 \text{ Pa} \cdot \text{s})} = 2\,060\,007,52$$

Donde:

- $Re_T$  = Número de Reynolds del fluido en el tanque
- $D_a$  = Diámetro del agitador = 0,4336 metros
- $N$  = Rapidez de rotación del motor = 5 revoluciones por segundo
- $\rho_s$  = Densidad de la solución a temperatura ambiente = 1 011 kilogramos por metro cúbico
- $\mu_a$  = Viscosidad del agua a temperatura ambiente = 0,001064 pascales-segundo

- Número de Potencia

Se determina el número de potencia con base en la figura 7 a partir de número de Reynolds del fluido en el tanque ( $Re_T$ ).

- Potencia requerida por el motor del sistema de agitación

$$P = \frac{N_p \rho_s N^3 D_a^5}{745,701} \quad [\text{Ecuación 27, Ref. 21}]$$

$$P = \frac{(1,3)(1\,011 \text{ kg/m}^3)(5 \text{ rps})^3(0,4336 \text{ m})^5}{745,701 \text{ W/HP}} = 3,38 \text{ HP}$$

Donde:

- $P$  = Potencia requerida por el motor (caballos de potencia)
- $N_p$  = Número de potencia = 1,3
- $D_a$  = Diámetro del agitador = 0,4336 metros
- $N$  = Rapidez de rotación del motor del agitador = 5 revoluciones por segundo
- $\rho_s$  = Densidad de la solución a temperatura ambiente = 1 011 kilogramos por metro cúbico

## 5. Tiempo óptimo de mezclado

Se determina el tiempo óptimo de mezclado, en función del factor adimensional de mezcla  $f_t$ , obtenido de la figura 8 a partir del número de Reynolds del fluido en el tanque ( $Re_T$ ) y otros parámetros ya determinados.

$$t_t = f_T \frac{H^{1/2} D_T^{3/2}}{(ND_a^2)^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}} \quad [\text{Ecuación 10, Ref. 12}]$$

$$t_t = (4) \frac{(1,084 \text{ m})^{1/2} (1,084 \text{ m})^{3/2}}{((5 \text{ rps})(0,4336 \text{ m})^2)^{2/3} (9,8 \text{ m/s}^2)^{1/6} (0,4336 \text{ m})^{1/2}} = 5,08 \text{ s}$$

Donde:

- $t_t$  = Tiempo óptimo de mezclado [segundos]
- $f_T$  = Factor adimensional de mezcla = 4
- $H$  = Altura = 1,084 metros
- $D_T$  = Diámetro del tanque = 1,084 metros
- $N$  = Rapidez de rotación del motor del agitador = 5 revoluciones por segundo
- $D_a$  = Diámetro del agitador = 0,4336 metros
- $g$  = Aceleración debida a la gravedad = 9,8 metros por segundo cuadrado

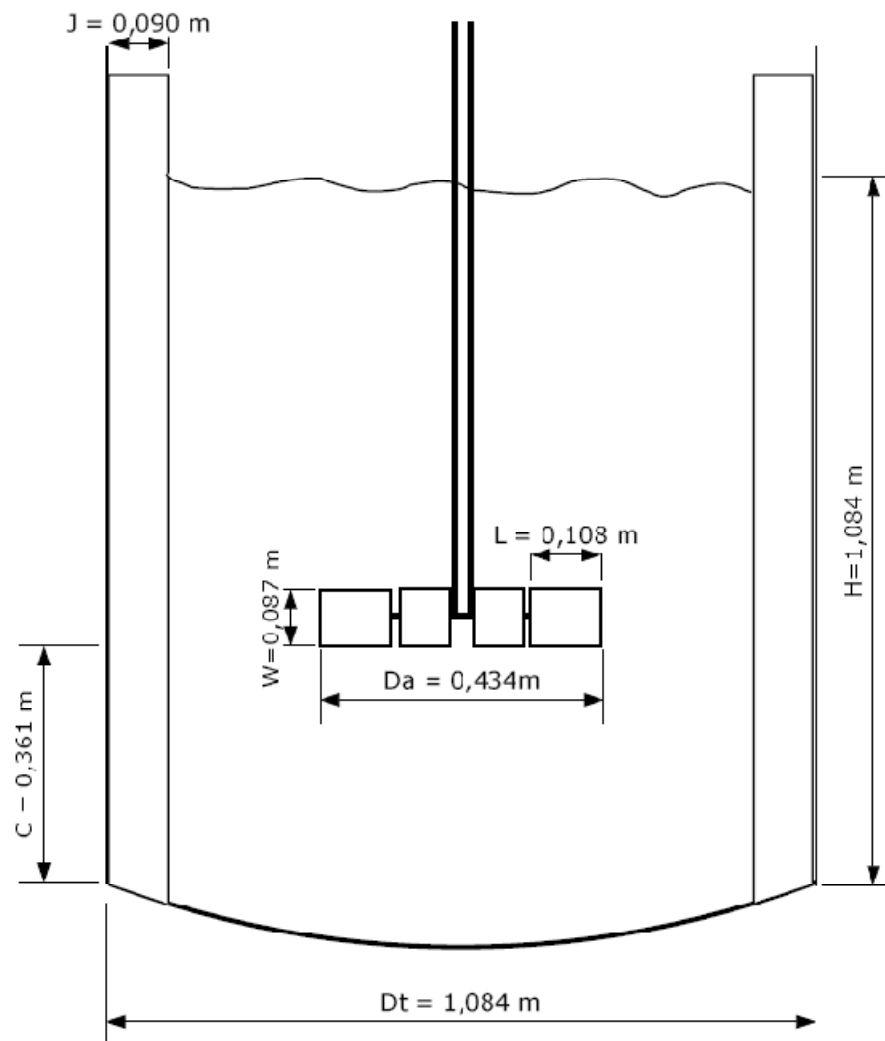


## APÉNDICE 5. ESQUEMA DEL SISTEMA DE MEZCLADO



Fuente: elaboración propia.

## APÉNDICE 6. ESQUEMA CON DIMENSIONES DEL TANQUE DE AGITACIÓN



Fuente: elaboración propia.

## APÉNDICE 7. FOTOGRAFÍAS



Fuente: Laboratorio de Físicoquímica, Facultad de Ingeniería, USAC.

## **ANEXOS**

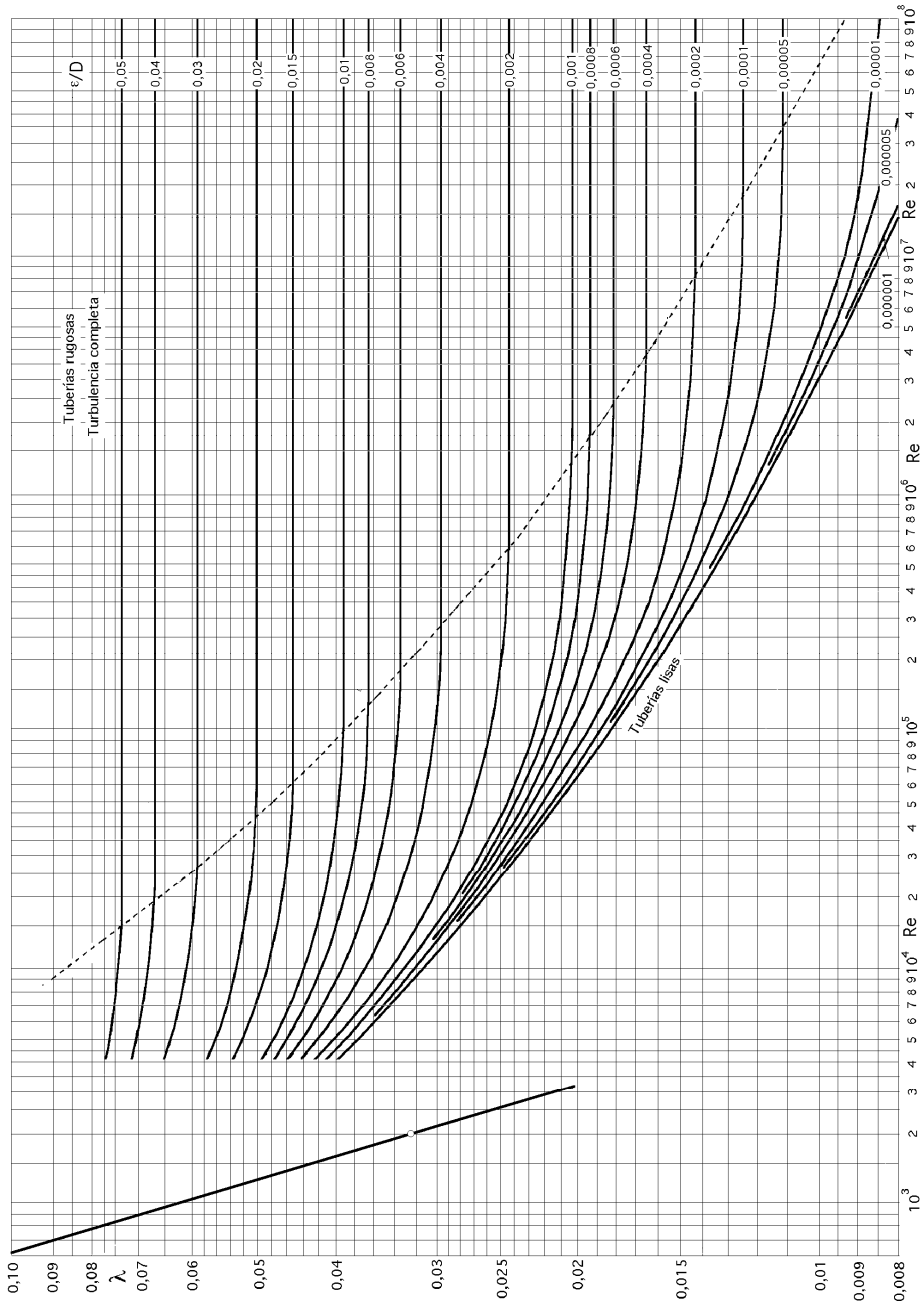


## ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS Y CAPACIDADES DE TUBERÍAS ESTÁNDAR DE ACERO

Tamaño nominal de tub., in	Diám. exterior, in	No. de cédula	Espesor de la pared, in	Diám. interior, in	Área de corte transversal		Circunferencias, ft, o superficie, ft <sup>2</sup> /ft de longitud		Capacidad a una velocidad de 1 ft/s		Peso de tub. de extremos lisos, en lb/ft
					Metal en in <sup>2</sup>	Flujo en ft <sup>2</sup>	Exterior	Interior	U.S. gal/min	Lb/h de agua	
¾	0.405	10S	0.049	0.307	0.055	0.00051	0.106	0.0804	0.231	115.5	0.19
		40ST, 40S	.068	.269	.072	.00040	.106	.0705	.179	89.5	.24
		80XS, 80S	.095	.215	.093	.00025	.106	.0563	.113	56.5	.31
¾	0.540	10S	.065	.410	.097	.00092	.141	.107	.412	206.5	.33
		40ST, 40S	.088	.364	.125	.00072	.141	.095	.323	161.5	.42
		80XS, 80S	.119	.302	.157	.00050	.141	.079	.224	112.0	.54
¾	0.675	10S	.065	.545	.125	.00162	.177	.143	.727	363.5	.42
		40ST, 40S	.091	.493	.167	.00133	.177	.129	.596	298.0	.57
		80XS, 80S	.126	.423	.217	.00098	.177	.111	.440	220.0	.74
¾	0.840	5S	.065	.710	.158	.00275	.220	.186	1.234	617.0	.54
		10S	.083	.674	.197	.00248	.220	.176	1.112	556.0	.67
		40ST, 40S	.109	.622	.250	.00211	.220	.163	0.945	472.0	.85
		80XS, 80S	.147	.546	.320	.00163	.220	.143	0.730	365.0	1.09
		160	.188	.464	.385	.00117	.220	.122	0.527	263.5	1.31
		XX	.294	.252	.504	.00035	.220	.066	0.155	77.5	1.71
¾	1.050	5S	.065	.920	.201	.00461	.275	.241	2.072	1036.0	0.69
		10S	.083	.884	.252	.00426	.275	.231	1.903	951.5	0.86
		40ST, 40S	.113	.824	.333	.00371	.275	.216	1.665	832.5	1.13
		80XS, 80S	.154	.742	.433	.00300	.275	.194	1.345	672.5	1.47
		160	.219	.612	.572	.00204	.275	.160	0.917	458.5	1.94
		XX	.308	.434	.718	.00103	.275	.114	0.461	230.5	2.44
1	1.315	5S	.065	1.185	.255	.00768	.344	.310	3.449	1725	0.87
		10S	.109	1.097	.413	.00656	.344	.287	2.946	1473	1.40
		40ST, 40S	.133	1.049	.494	.00600	.344	.275	2.690	1345	1.68
		80XS, 80S	.179	0.957	.639	.00499	.344	.250	2.240	1120	2.17
		160	.250	0.815	.836	.00362	.344	.213	1.625	812.5	2.84
		XX	.358	0.599	1.076	.00196	.344	.157	0.878	439.0	3.86
1¼	1.660	5S	.065	1.530	0.326	.01277	.435	.401	5.73	2865	1.11
		10S	.109	1.442	0.531	.01134	.435	.378	5.09	2545	1.81
		40ST, 40S	.140	1.380	0.668	.01040	.435	.361	4.57	2285	2.27
		80XS, 80S	.191	1.278	0.881	.00891	.435	.335	3.99	1995	3.00
		160	.250	1.160	1.107	.00734	.435	.304	3.29	1645	3.76
		XX	.382	0.896	1.534	.00438	.435	.235	1.97	985	5.21
1¼	1.900	5S	.065	1.770	0.375	.01709	.497	.463	7.67	3835	1.28
		10S	.109	1.682	0.614	.01543	.497	.440	6.94	3465	2.09
		40ST, 40S	.145	1.610	0.800	.01414	.497	.421	6.34	3170	2.72
		80XS, 80S	.200	1.500	1.069	.01225	.497	.393	5.49	2745	3.63
		160	.281	1.338	1.429	.00976	.497	.350	4.38	2190	4.86
		XX	.400	1.100	1.885	.00660	.497	.288	2.96	1480	6.41
2	2.375	5S	.065	2.245	0.472	.02749	.622	.588	12.34	6170	1.61
		10S	.109	2.157	0.776	.02538	.622	.565	11.39	5695	2.64
		40ST, 40S	.154	2.067	1.075	.02330	.622	.541	10.45	5225	3.65
		80ST, 80S	.218	1.939	1.477	.02050	.622	.508	9.20	4600	5.02
		160	.344	1.687	2.195	.01552	.622	.436	6.97	3485	7.46
		XX	.436	1.503	2.656	.01232	.622	.393	5.53	2765	9.03
2¼	2.875	5S	.083	2.709	0.728	.04003	.753	.709	17.97	8985	2.48
		10S	.120	2.635	1.039	.03787	.753	.690	17.00	8500	3.53
		40ST, 40S	.203	2.469	1.704	.03322	.753	.647	14.92	7460	5.79
		80XS, 80S	.276	2.323	2.254	.02942	.753	.608	13.20	6600	7.66
		160	.375	2.125	2.945	.02463	.753	.556	11.07	5535	10.01
		XX	.552	1.771	4.028	.01711	.753	.464	7.68	3840	13.69
3	3.500	5S	.083	3.334	0.891	.06063	.916	.873	27.21	13,605	3.03
		10S	.120	3.260	1.274	.05796	.916	.853	26.02	13,010	4.33
		40ST, 40S	.216	3.068	2.228	.05130	.916	.803	23.00	11,500	7.58
		80XS, 80S	.300	2.900	3.016	.04587	.916	.759	20.55	10,275	10.25
		160	.438	2.624	4.213	.03755	.916	.687	16.86	8430	14.32
		XX	.600	2.300	5.466	.02885	.916	.602	12.95	6475	18.58
3¼	4.0	5S	.083	3.834	1.021	.08017	1.047	1.004	35.98	17,990	3.48
		10S	.120	3.760	1.463	.07711	1.047	0.984	34.61	17,305	4.97
		40ST, 40S	.226	3.548	2.680	.06870	1.047	0.929	30.80	15,400	9.11
		80XS, 80S	.318	3.364	3.678	.06170	1.047	0.881	27.70	13,850	12.50
4	4.5	5S	.083	4.334	1.152	.10245	1.178	1.135	46.0	23,000	3.92
		10S	.120	4.260	1.651	.09898	1.178	1.115	44.4	22,200	5.61
		40ST, 40S	.237	4.026	3.17	.08640	1.178	1.054	39.6	19,800	10.79
		80XS, 80S	.337	3.826	4.41	.07986	1.178	1.002	35.8	17,900	14.98

Fuente: PERRY, Robert H. Perry Manual del ingeniero químico. p. 6-43.

## ANEXO 2: DIAGRAMA DE MOODY



Fuente: FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Mecánica de fluidos. p. 163.