



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA LA  
PRODUCCIÓN DE SUAVIZANTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL**

**Eddie Haroldo Raxón Díaz**

Asesorado por el Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA LA  
PRODUCCIÓN DE SUAVIZANTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDDIE HAROLDO RAXÓN DÍAZ**

ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR MANUEL MONZÓN VALDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE 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. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
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 DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE SUAVIZANTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL**

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



**Eddie Haroldo Raxón Díaz**

Guatemala. octubre de 2013

Ingeniero  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y dado mi aprobación del informe final de trabajo de graduación titulado "DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE SUAVIZANTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL", del estudiante de Ingeniería Química Eddie Haroldo Raxón Díaz quien se identifica con el carné número 200815300.

Atentamente,



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez

Asesor

Colegiado no. 656

**Ing. Qco. Víctor Manuel Monzón Valdez**  
Colegiado No. 656



Guatemala, 05 de noviembre de 2013  
Ref. EI.Q.TG-IF.073.2013

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-096-2012-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: **Eddie Haroldo Raxón Díaz.**

Identificado con número de carné: **2008-15300.**

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 DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE SUAVIZANTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Víctor Manuel Monzón Valdez.**

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”

  
Inga. Dinna Lisette Estrada Moreira  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ACREDITADO POR  
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
Período 2009 - 2015



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



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, **EDDIE HAROLDO RAXÓN DÍAZ** titulado: "**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE SUAVIZANTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL**". 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, noviembre 2013

Cc: Archivo  
VMMV/ale



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 DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE SUAVIZANTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL**, presentado por el estudiante universitario **Eddie Haroldo Raxón Díaz**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2013

/cc

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. La ingeniería química en el desarrollo de productos textiles .....	3
2.2. Agitación y mezclado de líquidos.....	3
2.2.1. Tipos de agitadores para tanques de mezclado .....	6
2.2.1.1. Agitador propulsor de tres aspas .....	6
2.2.1.2. Agitadores de paletas .....	6
2.2.1.3. Agitadores de turbina.....	7
2.2.1.4. Agitadores de banda helicoidal.....	7
2.2.2. Selección del agitador en intervalos de viscosidad.....	8
2.2.3. Diseño típico de un sistema de agitación .....	8
2.2.4. Potencia consumida en sistemas de agitación .....	10
2.2.5. Tiempo de mezclado para líquidos miscibles .....	12
2.2.6. Materiales para la construcción de sistemas de mezclado .....	13
2.2.6.1. Tipos de acero inoxidable .....	13

2.3.	Fenómeno de flujo de fluidos .....	14
2.3.1.	Dinámica de fluidos .....	14
2.3.2.	Flujo laminar y turbulento .....	14
2.3.3.	El número de Reynolds .....	15
2.3.4.	Ecuación de Bernoulli.....	15
2.4.	Ecuaciones de diseño para flujo laminar y turbulento en tuberías .....	16
2.4.1.	Perfiles de velocidad en tuberías .....	17
2.4.2.	Caídas de presión y factor de fricción para flujo laminar y turbulento.....	17
2.4.3.	Pérdidas por accesorios y válvulas .....	19
2.5.	Tuberías, válvulas y accesorios .....	20
2.5.1.	Tubos y tuberías.....	20
2.5.2.	Selección del tamaño de tubería .....	20
2.5.3.	Juntas y accesorios.....	22
2.6.	Suavizantes textiles.....	22
2.6.1.	Clasificación de los suavizantes.....	23
2.7.	Suavizantes textiles catiónicos.....	25
2.8.	Formulación de suavizantes textiles.....	26
2.8.1.	Influencia del agua en la formulación de suavizantes .....	28
2.8.2.	Especificaciones de un suavizante textil catiónico .....	29
2.9.	Acciones de los suavizantes catiónicos sobre los textiles.....	31
2.9.1.	Propiedades textiles .....	31
2.9.2.	Propiedades mecánicas .....	32
2.9.3.	Propiedades funcionales de los tejidos .....	32

3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	35
3.1.	Variables.....	35
3.2.	Delimitaciones del campo de estudio .....	36
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	37
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	37
3.4.1.	Espacio físico.....	38
3.4.2.	Equipo .....	38
3.4.3.	Cristalería .....	39
3.5.	Técnica cuantitativa.....	39
3.6.	Recolección y ordenamiento de información .....	40
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	43
3.8.	Análisis estadístico .....	45
4.	RESULTADOS .....	51
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	57
	CONCLUSIONES .....	61
	RECOMENDACIONES .....	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	APÉNDICES .....	67
	ANEXOS .....	71



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Tanque típico de procesos de agitación.....	4
2.	Modelo de flujo en un tanque con placas deflectoras y un agitador de turbinas con flujo axial.....	5
3.	Tipos de agitadores para mezcladores .....	7
4.	Dimensiones de un agitador de turbina normal.....	9
5.	Correlación de potencia para una turbina de seis palas en función del número de Reynolds .....	11
6.	Tiempo de mezcla en tanques agitados.....	12
7.	Perfiles de velocidad .....	17
8.	Diagrama de Moody.....	18
9.	Procedimiento de recolección de información.....	41
10.	Representación gráfica de los datos obtenidos para la medición de la densidad en relación a la media.....	46
11.	Representación gráfica de los datos obtenidos para la medición de la viscosidad en relación a la media.....	47
12.	Representación gráfica de los datos obtenidos para la medición de la potencial de hidrógeno en relación con la media.....	48
13.	Representación gráfica de los datos obtenidos para la medición del porcentaje de sólidos en relación con la media.....	49
14.	Dimensiones del tanque de mezclado y sistema de agitación .....	53
15.	Esquema representativo sistema de mezclado.....	54

## TABLAS

I.	Intervalos de viscosidad para los diferentes tipos de agitadores .....	8
II.	Proporciones geométricas para un sistema de agitación normal.....	10
III.	Pérdidas por fricción en accesorios y válvulas .....	19
IV.	Intervalos representativos de velocidad en tuberías.....	21
V.	Cuadro comparativo de las características y estructuras químicas de los diferentes tipos de suavizantes textiles.....	23
VI.	Propiedades físicas y químicas importantes de los diferentes tipos de suavizantes textiles .....	25
VII.	Variables relacionadas al proceso .....	35
VIII.	Variables cuantitativas relacionadas al estudio .....	39
IX.	Resultado del ensayo de densidad.....	43
X.	Resultado del ensayo de potencial de Hidrógeno.....	43
XI.	Resultado del ensayo de contenido de sólidos.....	44
XII.	Resultado del ensayo de viscosidad.....	44
XIII.	Descripción estadística para la medición de densidad .....	45
XIV.	Descripción estadística para la medición de viscosidad .....	46
XV.	Descripción estadística para la medición de potencial de Hidrógeno .....	47
XVI.	Descripción estadística para la medición de porcentaje de sólidos.....	48
XVII.	Dimensiones del tanque de mezclado .....	51
XVIII.	Dimensiones del agitador para el sistema de mezclado y tipo de agitador.....	51
XIX.	Diámetro de tuberías para el sistema de mezclado.....	52

XX.	Tiempo óptimo de mezclado y requerimientos teóricos de potencia para el sistema de mezclado .....	52
XXI.	Composición del suavizante textil catiónico formulado .....	55
XXII.	Propiedades físicas y químicas y precio de formulación del suavizante textil catiónico formulado.....	56



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b><math>g_m</math></b>	Aceleración debida a la gravedad
<b><math>Z_b</math></b>	Altura de descarga de bomba
<b>H</b>	Altura del líquido
<b>J</b>	Ancho de deflector
<b>W</b>	Ancho de rodete
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b><math>C_T</math></b>	Capacidad de tanque
<b><math>h_{fa}</math></b>	Carga de fricción debida a accesorios
<b><math>h_{ft}</math></b>	Carga de fricción debida a la tubería
<b><math>h_f</math></b>	Carga de fricción total
<b><math>cm^3</math></b>	Centímetro cúbico
<b>cP</b>	Centipoise
<b><math>X_n</math></b>	Dato n de observación
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>E</b>	Desviación
<b>S</b>	Desviación estándar
<b><math>D_t</math></b>	Diámetro de tubería
<b><math>D_a</math></b>	Diámetro del agitador
<b><math>D_T</math></b>	Diámetro del tanque
<b>D</b>	Dilución eficaz máxima
<b>n</b>	Eficacia de bomba
<b><math>f_t</math></b>	Factor adimensional de mezcla
<b>ab</b>	Factor de corrección de 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 de accesorios
<b>Q</b>	Flujo volumétrico
<b>g</b>	Gramo
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
<b>l</b>	Longitud
<b>X</b>	Media aritmética
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mL</b>	Mililitro
<b>α</b>	Nivel de significancia
<b>N<sub>p</sub></b>	Número de potencia
<b>n</b>	Número de Repeticiones
<b>N<sub>Re</sub></b>	Número de Reynolds
<b>P</b>	Potencia
<b>ut</b>	Rapidez de flujo en tubería
<b>N</b>	Rapidez de rotación
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>t<sub>T</sub></b>	Tiempo de llenado de 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>S<sup>2</sup></b>	Varianza
<b>μ</b>	Viscosidad

## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un tejido.
<b>Agentes antiestáticos</b>	Previenen o eliminan la energía estática de un tejido.
<b>Componente activo</b>	Componente principal encargado de dar suavidad a un tejido.
<b>Deflectores</b>	Aparatos encargados de cambiar la dirección de un fluido dentro de un tanque de mezcla.
<b>Dispersabilidad</b>	Grado en que el suavizante se comporta como agente emulsivo al entrar en contacto con el agua.
<b>Emulsión</b>	Sistema de dos fases que consta de dos líquidos parcialmente miscibles.
<b>Emulsionante</b>	Sustancia que estabiliza una emulsión.
<b>Flujo axial</b>	Flujo en el cual el líquido en cuestión gira en paralelo al eje de rotación.
<b>Germicidas</b>	Agentes encargados de la eliminación de gérmenes en un suavizante.

<b>Grado de suavidad</b>	Efecto potencial de un suavizante sobre un tejido.
<b>Hidrófugo</b>	Sustancia que evita la humedad o las filtraciones.
<b>Número de Reynolds</b>	Número adimensional que caracteriza el movimiento de un fluido dando una medida de la relación entre fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas.
<b>Potencial zeta</b>	Medida de la magnitud de la repulsión o atracción entre las partículas. Su medida proporciona una idea detallada de los mecanismos de dispersión.
<b>Ensuciamiento</b>	Tendencia de un tejido al entrar en contacto con determinados agentes tensioactivos.
<b>Suavizante</b>	Sustancia que confiere suavidad y frescura a los tejidos.
<b>Tacto lleno</b>	Elevada suavidad percibida en un tejido al realizar un contacto físico.
<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**

El presente trabajo de graduación consistió en la elaboración de un suavizante textil catiónico para uso industrial, así como también el diseño de un sistema de mezclado para la formulación y producción del mismo.

La elaboración de la muestra del suavizante se realizó a nivel de laboratorio, asimismo, se evaluó y controló diferentes propiedades del suavizante, mediante ensayos fisicoquímicos para garantizar la eficacia de la formulación.

La propuesta del diseño del sistema de mezclado para la producción del suavizante, describe características como lo son: dimensiones del tanque de mezclado, dimensiones del sistema de agitación, tipo de agitador y requerimientos de potencia para el motor del sistema de agitación, así como la potencia de la bomba para el sistema de mezclado.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema de mezclado para la producción de suavizantes en la industria textil.

### **Específicos**

1. Definir teóricamente para el sistema de mezclado: las dimensiones del tanque, el diámetro de las tuberías y el tipo de agitador para el tanque de mezclado.
2. Definir el tiempo óptimo de mezclado para la elaboración de un suavizante textil catiónico y con base en esto, conocer los requerimientos teóricos de potencia para la bomba del sistema de mezclado y para el motor del sistema de agitación.
3. Formular un suavizante textil catiónico.
4. Determinar propiedades fisicoquímicas del suavizante textil y su precio de formulación.



## INTRODUCCIÓN

La industria textil en Guatemala ha sido un eje económico central a nivel local, regional y nacional. Hasta mediados de los años ochenta, el sector se encontraba orientado exclusivamente hacia la producción nacional y centroamericana. Sin embargo, a partir de esa época el modelo de desarrollo cambió de la sustitución de importaciones a la promoción de exportaciones; como resultado de los regímenes especiales para incentivar la exportación de las propias tendencias y presiones de la globalización.

Con base a los factores previamente planteados, como la elevada demanda existente en Guatemala, en cuanto al sector textil, es función de la ingeniería química proponer alternativas que suplan dicha demanda. Con base en esto, la presente investigación reside en la elaboración de un sistema de mezclado para la elaboración de suavizantes textiles, que pueda suplir de manera eficiente los requerimientos exigidos en la demanda de productos que se utilizan en procesos industriales.



## 1. ANTECEDENTES

El suavizado de hilados, telas y prendas, es una práctica común desde tiempos antiguos; históricamente inició utilizándose un jabón preparado a partir de cenizas de madera y sebo vacuno. La evolución de la química textil y el apareamiento de las fibras sintéticas hizo necesario el desarrollo de diversos tipos de suavizantes: aniónicos, no iónicos, catiónico, anfóteros, obtenidos por síntesis química y emulsiones de productos naturales o sintéticos (ceras, parafinas, ésteres grasos, alcoholes grasos, siliconas).

Durante los procesos de hilatura, tejeduría, lavado y teñido se eliminan de las fibras las ceras y grasas naturales, así como también otros aditivos utilizados, lo que resulta un textil con un tacto quebradizo y áspero.

El suavizado permite contrarrestar esto y reducir la carga electrostática. Imparte además un tacto agradable, una buena apariencia y facilita los procesos de corte, costura y confección, mejorando las propiedades de uso y comercialización.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. La ingeniería química en el desarrollo de productos textiles**

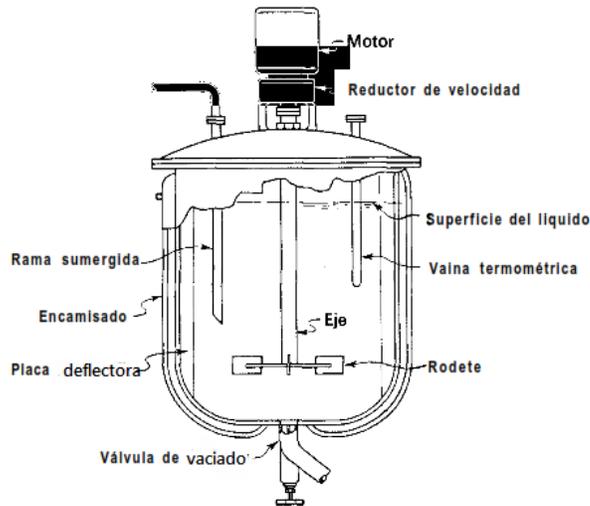
La intervención de la ingeniería química en el desarrollo de productos textiles, posee un papel de importancia en los procesos productivos, ya que para la mayoría de procesos se utiliza la operación unitaria de mezclado.

### **2.2. Agitación y mezclado de líquidos**

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

Los líquidos se agitan con más frecuencia en tanques o recipientes, generalmente de forma cilíndrica y provista de un eje vertical. La parte superior del recipiente puede estar abierta al aire o cerrada. Las proporciones del tanque varían bastante, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque es redondeado y no plano, con el fin de eliminar los rincones escarpados o regiones en las que no penetrarían las corrientes de fluido. La altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque. El rodete va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje soportado en la parte superior.

Figura 1. **Tanque típico de procesos de agitación**

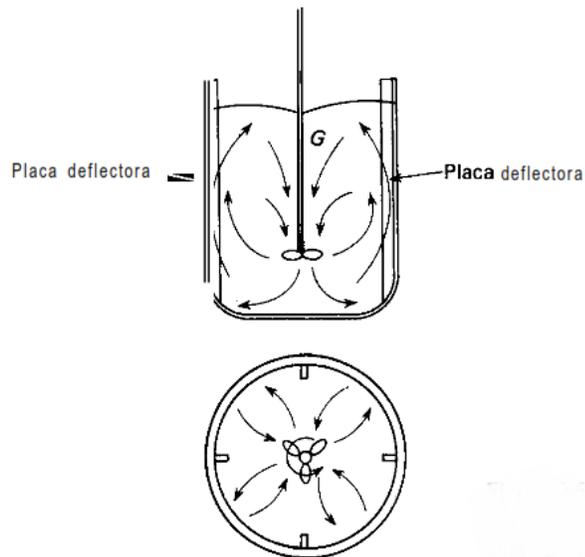


Fuente: McCABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 243.

Para lograr una agitación vigorosa con agitadores verticales, se usan deflectores para reducir el tamaño del remolino y obtener buen mezclado, normalmente se usan cuatro deflectores, que tengan anchura de cerca de  $1/12$  del diámetro del tanque para turbinas y propulsores. Para viscosidades mayores de unos 2,5 a 5 pascales (5 000 centipoise) o más, 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.

Figura 2. **Modelo de flujo en un tanque con placas deflectoras y un agitador de turbinas con flujo axial**



Fuente: McCABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 249.

En un sistema de agitación, el gasto volumétrico del fluido que mueve el impulsor, 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.

## **2.2.1. Tipos de 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.

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

El de tipo marino, 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.

### **2.2.1.2. Agitadores de paletas**

Son usados para velocidades de 20 a 200 revoluciones por minuto, la longitud mide de 60 a 80 por ciento 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.

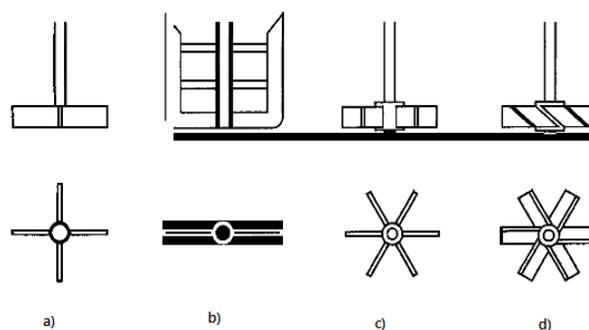
### 2.2.1.3. Agitadores de turbina

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 por ciento del diámetro del tanque. Normalmente las turbinas tienen cuatro o seis aspas. Las turbinas con aspas planas producen un flujo radial.

### 2.2.1.4. Agitadores de banda helicoidal

Se usan para fluidos muy viscosos, opera a pocas revoluciones por minuto 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.

Figura 3. Tipos de agitadores para mezcladores



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

La figura 3, muestra los diferentes tipos de agitadores: paleta de cuatro aspas, paleta de compuerta o ancla, turbina abierta de seis aspas, turbina de aspas inclinadas.

### 2.2.2. Selección del agitador en intervalos de viscosidad

La viscosidad del fluido es un factor determinante que influye en la selección del tipo de agitador. En la tabla I se detallan los intervalos específicos de viscosidad para cada tipo de agitador.

Tabla I. Intervalos de viscosidad para los diferentes tipos de agitadores

Tipo de Agitador	Viscosidad (pascales)
Propulsores	< 3
Turbinas	< 100
Paleta modificada	50 - 100
Helicoidales y banda	> 500

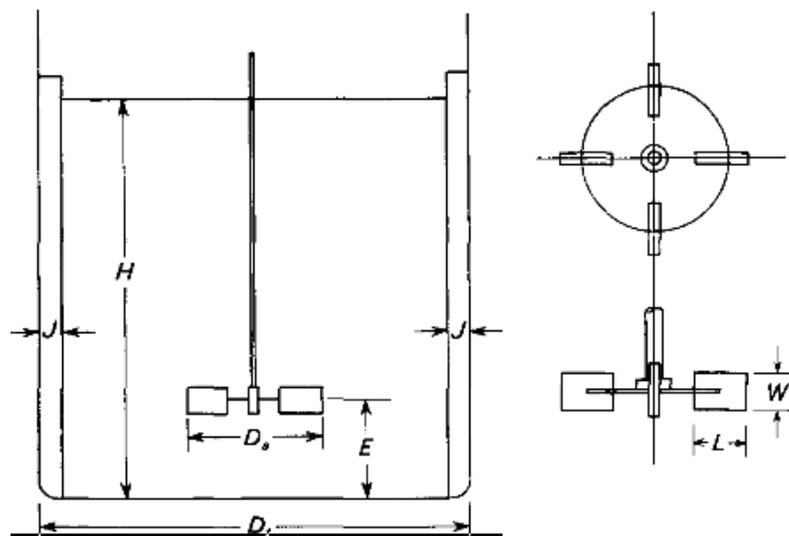
Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 163.

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

El agitador de turbina es el agitador 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.

El número de placas deflectoras es generalmente de 4; el número de palas del agitador varía entre 4 y 16, pero generalmente es de 6 u 8. Situaciones especiales pueden, por supuesto, aconsejar proporciones diferentes de las que se acaban de indicar; por ejemplo, puede resultar ventajoso colocar el agitador más alto o más bajo en el tanque, o bien puede ser necesario utilizar un tanque más profundo para alcanzar el resultado apetecido.

Figura 4. Dimensiones de un agitador de turbina normal



Fuente: McCABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 251.

Las proporciones geométricas del sistema de agitación que se considera como el diseño típico se muestran en la tabla II.

Tabla II. **Proporciones geométricas para un sistema de agitación normal**

Relación	Proporción
Da / DT	0,3 – 0,5
W/Da	1/5
Dd/Da	2/3
H/DT	1
L/Da	1/4
C/DT	1/3
J/DT	1/12

Fuente: McCABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 251.

#### 2.2.4. **Potencia consumida en sistemas de agitación**

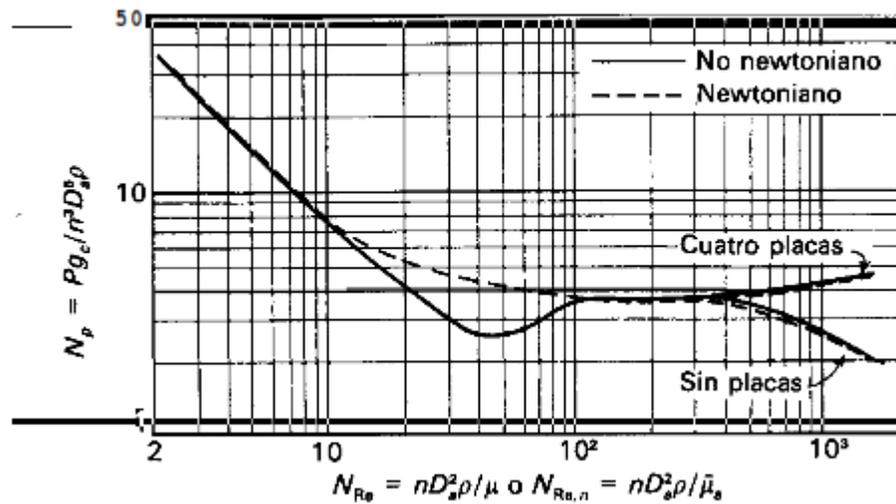
Un factor trascendental en el diseño de un recipiente de agitación es la potencia necesaria para mover el impulsor. Puesto que la potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, se tienen correlaciones empíricas para estimar los requerimientos de potencia. La presencia o ausencia de turbulencia puede correlacionarse con el número de Reynolds del impulsor que se define como:

$$N_{RE} = \frac{Da^2 N \rho}{\mu}$$

El consumo de potencia se relaciona con la densidad del fluido, su viscosidad, la velocidad de rotación y el diámetro del impulsor, por medio de gráficas de número de potencia en función del número de Reynolds del fluido en el tanque.

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 Da^5}$$

Figura 5. **Correlación de potencia para una turbina de seis palas en función del número de Reynolds**



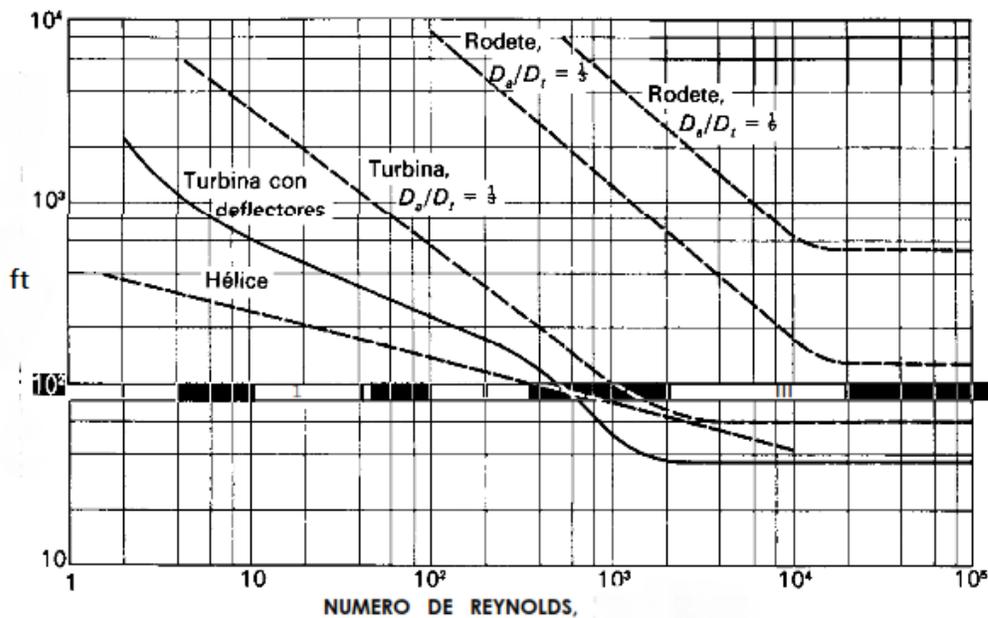
Fuente: McCABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 266.

### 2.2.5. Tiempo de mezclado para líquidos miscibles

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

$$N_p = \frac{Da^{1/2}(N Da)g^{1/5}}{\rho N^3 Da^5}$$

Figura 6. Tiempo de mezcla en tanques agitados



Fuente: McCABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 268.

## **2.2.6. Materiales para la construcción de sistemas de mezclado**

El tipo de material que se utiliza para la construcción de sistemas de mezclado, típicamente es el acero inoxidable, debido a las propiedades del acero inoxidable lo hacen un material adecuado para dicho efecto.

### **2.2.6.1. Tipos de acero inoxidables**

Existen muchos tipos de acero inoxidable y no todos son adecuados para aplicaciones estructurales, particularmente cuando se llevan a cabo operaciones de soldadura. Hay cinco grupos básicos de acero inoxidable clasificados de acuerdo con su estructura metalúrgica: austeníticos, ferríticos, martensíticos, dúplex y de precipitación endurecimiento.

Los aceros inoxidables que contienen solamente cromo, se llaman ferríticos, ya que tienen una estructura metalográfica formada básicamente por ferrita. Son magnéticos, y se distinguen porque son atraídos por un imán. Estos aceros, con elevados porcentajes de carbono, son templeables y, por tanto, pueden endurecerse por tratamiento térmico pasando a llamarse aceros inoxidables martensíticos, por tener martensita en su estructura metalográfica.

Los aceros inoxidables que contienen más de un 7 por ciento de níquel, se llaman austeníticos, ya que tienen una estructura metalográfica en estado recocido, formada básicamente por austenita. No son magnéticos en estado recocido, por lo tanto no son atraídos por un imán. Estos aceros austeníticos se pueden endurecer por deformación, pasando su estructura metalográfica a contener martensita. En esta situación se convierten parcialmente magnéticos.

## **2.3. Fenómeno de flujo de fluidos**

Fenómeno de flujo y rapidez de fluidos en conductos y tuberías comercialmente disponibles para desarrollar el transporte de líquidos en sistemas estructurados.

### **2.3.1. Dinámica de fluidos**

El comportamiento de un fluido depende mucho de que el fluido esté o no bajo la influencia de superficies sólidas. En la región donde la influencia de la pared es pequeña, el esfuerzo cortante puede ser despreciable y el comportamiento del fluido acercarse al de un fluido ideal, es decir, no compresible y con viscosidad cero.

### **2.3.2. Flujo laminar y turbulento**

Cuando los fluidos se mueven por un canal cerrado de cualquier área de corte transversal, se puede presentar cualquiera de dos tipos diferentes de flujo, dependiendo de las condiciones existentes.

El primer tipo de flujo a velocidades bajas, donde las capas de fluido parecen desplazarse unas sobre otras sin remolinos o turbulencias, se llama flujo laminar y obedece la ley de viscosidad de Newton. El segundo tipo de flujo a velocidades más altas, donde se forman remolinos que imparten al fluido una naturaleza fluctuante, se llama flujo turbulento.

La distinción entre estos dos tipos de flujo fue inicialmente demostrada en un experimento clásico realizado por Osborne Reynolds en 1883.

### 2.3.3. El número de Reynolds

La transición del flujo laminar al turbulento en tuberías no está sólo en una función de la velocidad, sino también de la densidad y viscosidad del fluido y del diámetro del tubo. Estas variables se combinan en la expresión del número de Reynolds, que es adimensional:

$$N_{RE} = \frac{Dvp}{\mu}$$

Cuando el número de Reynolds es menor de 2 100 para una tubería circular recta, el flujo siempre es laminar. Cuando el valor es superior a 4 000, el flujo será turbulento excepto en algunos casos especiales. Entre estos dos valores, o región de transición, el flujo puede ser viscoso o turbulento, dependiendo de los detalles del sistema, que no se pueden predecir.

### 2.3.4. Ecuación de Bernoulli

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:

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{gZ_a}{gc} + \frac{u_a^2}{2gc} = \frac{P_b}{\rho} + \frac{gZ_b}{gc} + \frac{u_b^2}{2gc}$$

En donde las variables involucradas son: presión (P), densidad ( $\rho$ ), gravedad (g), altura (Z), factor de proporcionalidad de la Ley de Newton (g), 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, la ecuación se transforma en:

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{gZ_a}{gc} + \frac{\alpha_a v_a^2}{2gc} = \frac{P_b}{\rho} + \frac{gZ_b}{gc} + \frac{\alpha_b v_b^2}{2gc} + h_f$$

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.

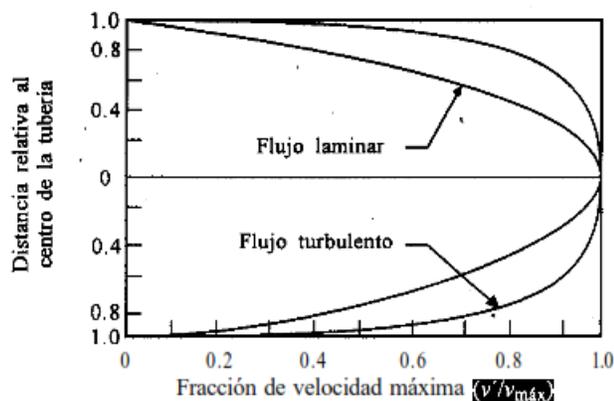
#### **2.4. Ecuaciones de diseño para flujo laminar y turbulento en tuberías**

Cuando entre dos partículas en movimiento existe gradiente de velocidad, o sea que una se mueve más rápido que la otra, se desarrollan fuerzas de fricción que actúan tangencialmente a las mismas.

### 2.4.1. Perfiles de velocidad en tuberías

Cuando el fluido fluye en una tubería circular, al medir las velocidades a diferentes distancias de la pared al centro, se demuestra que tanto en el flujo laminar como en el turbulento, el fluido que está en el centro del tubo se desplaza con mayor rapidez que el que está cercano a las paredes. Estas mediciones se efectúan a una distancia razonable de la entrada a la tubería.

Figura 7. Perfiles de velocidad



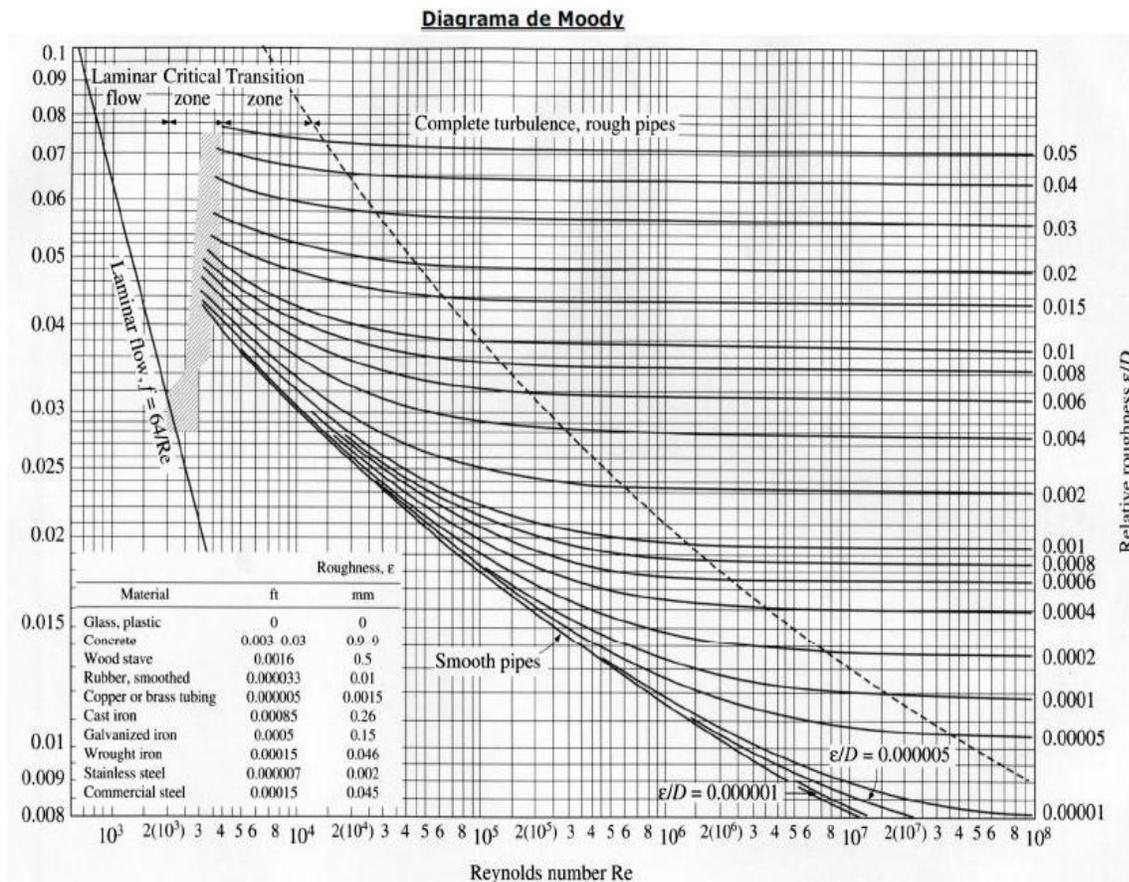
Fuente: McCABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 268.

### 2.4.2. Caídas de presión y factor de fricción para flujo laminar y turbulento

Un parámetro muy común en el flujo de fluidos, es el factor de fricción de Fanning; que se define como: la fuerza de arrastre por unidad de área mojada dividida entre el producto de la densidad por la carga de velocidad.

En el flujo turbulento, como en el laminar, el factor de fricción también depende del número de Reynolds. Sin embargo, no es posible pronosticar en teoría el factor de fricción de Fanning para flujo turbulento, como se hizo con el flujo laminar. El factor de fricción debe determinarse de manera empírica (experimental) y no depende sólo del número de Reynolds sino también de la rugosidad de la superficie de la tubería.

Figura 8. Diagrama de Moody



Fuente: GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 102.

### 2.4.3. Pérdidas por accesorios y válvulas

Los accesorios de tuberías y las válvulas, también perturban el flujo normal en una tubería y causan pérdidas por fricción adicionales. En una tubería corta con muchos accesorios, la pérdida por fricción en dichos accesorios puede ser mayor que en la tubería recta. La pérdida por fricción en accesorios y tuberías está dada por la siguiente ecuación:

$$h_f = K_f \frac{v^2}{2}$$

Tabla III. Pérdidas por fricción en accesorios y válvulas

Tipo de accesorio a válvula	Perdida por fricción (kf)
Codo 45	0,35
Codo 90	0,75
Te	1
Retorno en U	1,5
Válvula de compuerta	
Abierta	0,17
Semi-abierta	4,50
Válvula de globo	
Abierta	6
Semi-abierta	9,50
Válvula de Angulo abierta	2
Válvula de retención	
De bola	70
De bisagra	2

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

## **2.5. Tuberías, válvulas y accesorios**

A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción que hay entre el líquido y la pared de la tubería; tales energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo.

### **2.5.1. Tubos y tuberías**

En general, las tuberías tienen pared gruesa, diámetro relativamente grande y se construyen en longitudes moderadas, comprendidas entre 6 y 12 metros. Los tubos son de pared delgada y generalmente se venden en forma de rollos de muchos metros de longitud. Los tubos metálicos se pueden roscar, mientras que las tuberías no. Las paredes de las tuberías son generalmente rugosas, en cambio, los tubos tienen paredes muy lisas. Los tramos de tuberías se pueden unir por bridas o mediante accesorios soldados; las piezas de tubos se unen generalmente mediante accesorios.

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

El tamaño óptimo de tubería para un caso determinado, depende de los costes relativos de instalación, de la potencia, mantenimiento y de las tuberías y accesorios de repuesto. En instalaciones pequeñas basta con una estimación según criterio.

Tabla IV. Intervalos representativos de velocidad en tuberías

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad (m/s)	
<b>Líquidos viscosos</b>	<b>poco</b>	Flujo por gravedad	0,15 – 0,30
		Entrada de bomba	0,30 – 0,90
		Salida de bomba	1,20 – 3
		Línea de conducción	1,20 – 2,40
<b>Líquidos viscosos</b>	Entrada de bomba	0,06 – 0,15	
	Salida de bomba	0,15 – 0,60	
<b>Vapor de agua</b>		9 – 15	
<b>Aire o gas</b>		9 – 30	

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

Las velocidades pequeñas han de ser las más utilizadas, especialmente cuando el flujo es por gravedad desde tanques elevados.

### **2.5.3. Juntas y accesorios**

Los métodos que se utilizan para unir tubos y tuberías, depende en parte de las propiedades del material de construcción, pero sobre todo del espesor de pared. Los productos tubulares de pared gruesa, se conectan entre sí por medio de accesorios roscados, bridas o soldadura. Las piezas de pared delgada se unen por soldadura, compresión o accesorios cónicos. Las tuberías fabricadas con materiales frágiles, como vidrio, carbón o fundición, se unen mediante bridas o juntas de enchufe y cordón.

### **2.6. Suavizantes textiles**

Son productos que confieren a los materiales textiles una serie de propiedades deseables por los usuarios, entre las que destaca la mejora al sentido del tacto, ya que los hace más suaves y por tanto más agradable.

La gran variedad de sensaciones que se tienen al tocar un material textil con la mano, hace que haya sido siempre un parámetro de carácter subjetivo, que es detectado por el consumidor y que no es posible medir en ningún aparato mediante una lectura finita reproducible.

El aumento del uso de los suavizantes textiles y la necesidad de controlar y caracterizar la suavidad de los tejidos, ha nacido de las exigencias siguientes:

- La sustitución de los jabones por los detergentes sintéticos en la industria y en el uso doméstico, dio como resultado la obtención de unas fibras naturales más limpias, en consecuencia, más exentas de aceites naturales y ceras.

- La necesidad de obtener suavidad en las fibras sintéticas para parecerse lo más posible a las fibras naturales y tener mayor aceptación.
- Diversos aprestos del algodón con resinas, dan como resultado un tacto áspero, por lo que precisan de suavidad para ser aceptados.

### 2.6.1. Clasificación de los suavizantes

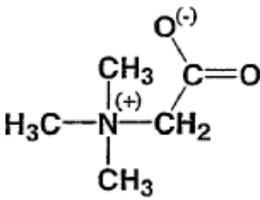
Los suavizantes textiles, se clasifican atendiendo a la polaridad o naturaleza del componente activo, en distintos grupos de suavizantes entre los cuales se puede mencionar:

- Suavizantes no-iónicos
- Suavizantes catiónicos
- Suavizantes pseudo-catiónicos
- Suavizante aniónico
- Suavizantes anfotéricos

Tabla V. **Cuadro comparativo de las características y estructuras químicas de los diferentes tipos de suavizantes textiles**

Tipo	Características	Estructuras químicas	Ejemplo
<b>Catiónico</b>	Excelente tacto Alto agotamiento Efecto antiestático Alta resistencia a la abrasión	Sales y compuestos de amonio cuaternario. Sales de ésteres grasos amínicos o amídicos. Estearatos amínicos	Cloruro de alquil dimetil-bencil amonio

Continuación de la tabla V.

<p><b>Aniónicos</b></p>	<p>Tacto moderado propenso al amarillamiento Resistencia a la rotura</p>	<p>Grasas naturales y sintéticas sulfatadas.  Alcoholes grasos sulfatados.</p>	<p>ROSO<sub>2</sub> ONa COONa Aceites y grasas sulfatadas.</p>
<p><b>No iónico</b></p>	<p>Tacto moderado Antiestático Resistencia a la rotura</p>	<p>Ácidos grasos, ésteres grasos, y alcoholes grasos oxietilenados.</p>	<p>RCON (CH<sub>2</sub> CH<sub>2</sub> OH)<sub>2</sub> Hidroxietyl amidas grasas</p>
<p><b>Anfóteros</b></p>	<p>Tacto moderado Hidrofilidad Antiestático</p>	<p>Betaínas, óxidos de aminas.  Emulsiones y dispersiones de: grasas, aceites, y ésteres grasos, alcoholes grasos, sintéticas, parafinas, polibutenos, siliconas.</p>	<p>Betaínas</p> 

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Propiedades físicas y químicas importantes de los diferentes tipos de suavizantes textiles**

Tipo de suavizante	pH	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad (cps)
<b>Catiónico</b>	4 – 7	0,8 -0,99	400 – 650
<b>Aniónicos</b>	4 – 5	0,6 – 0,8	400 – 700
<b>No iónico</b>	4 – 6	0,7 – 0,8	500 – 600
<b>Anfóteros</b>	5 – 6	0,7 – 0,9	400 – 700

Fuente: elaboración propia

## 2.7. Suavizantes textiles catiónicos

Los suavizantes textiles catiónicos datan de la década de 1930, cuando se descubrió que varios tipos de compuestos catiónicos, tales como auxiliares de tintura, detergentes y germicidas, eran sustantivos para las fibras textiles, en especial el algodón, siendo empleados inicialmente para mejorar la solidez al lavado de los colorantes directos aplicados a la celulosa.

Actualmente, los suavizantes catiónicos predominan en el mercado sobre los otros grupos de suavizantes citados anteriormente, por diversas razones, como:

- Son productos que dan el mayor grado de suavidad por peso a relativamente bajas concentraciones.

- Son sustantivos para casi todas las fibras y de fácil aplicación, impartiendo en muchos casos un acabado duradero.
- Proporcionan un tacto altamente característico y muy apreciado.
- Imparten efecto antiestático sobre los tejidos de fibras sintéticas.
- Mejoran en algunos casos la resistencia a la rotura, al desgarró y a la abrasión del tejido.

Las estructuras químicas de los suavizantes textiles catiónicos más empleados, son: compuestos de amonio cuaternario con cadenas grasas, sales de amido-aminas, grasas cuaternarias e imidazolinas cuaternarias.

## **2.8. Formulación de suavizantes textiles**

La formulación de suavizantes abarca desde los simples tipos domésticos a los productos muy especializados para uso industrial. Existen desde formulaciones que contienen dos o tres componentes hasta productos complejos altamente desarrollados que contienen hasta 20 ingredientes.

Las formulaciones suavizantes suelen constar de los componentes siguientes:

- Los productos suavizantes, que son los que proporcionan el requisito funcional de tacto y suavidad. Se puede encontrar un producto simple o mezcla de varios, como por ejemplo, la mezcla de uno, dos o más catiónicos y no-iónico.

- Auxiliares de formulación, que se usan para modificar la viscosidad del producto, buscando su fluidez y estabilidad al almacenaje.
- Auxiliares de agotamiento, los cuales aseguran en lo posible que las condiciones para el agotamiento del suavizante sean óptimas. Estos productos pueden ser desde simples controladores de potencial de Hidrógeno a sistemas más complejos para emulsiones pseudocatiónicas.
- Agentes antiestáticos, que se precisan adicionar algunas veces a las formulaciones para mejorar esta propiedad.
- Agentes de conservación, que actúan tanto en el producto suavizante almacenado como sobre los artículos tratados con el mismo.
- Perfumes, que se incorporan usualmente a bajos niveles, para impartir un olor apropiado al tejido o bien para enmascarar olores inapropiados que pueden ser debidos a impurezas en la formulación.
- Humectantes, utilizados en preparaciones industriales que estén previstas para ser aplicadas al tejido con un *foulard*.
- Agentes de humectación, son los aditivos que pretenden mejorar la re humectación de los tejidos que se han tratado con los suavizantes catiónicos. En la práctica, los productos utilizados lo que realmente mejoran es la fácil dispersión del suavizante en el agua de aclarado del lavado, especialmente a bajas temperaturas.
- Pigmentos y blanqueadores ópticos, los cuales son añadidos en pequeño porcentaje.

### **2.8.1. Influencia del agua en la formulación de suavizantes**

Los suavizantes textiles tienen la característica de ser dispersables en agua y de poder ser utilizados como emulsiones. La dispersabilidad de una emulsión es determinada por la fase continua; si la fase continua es hidrosoluble, la emulsión puede ser diluida con agua; si la fase continua es oleosoluble, la emulsión se puede disolver en aceite. La facilidad con que se puede disolver una emulsión se puede aumentar si se reduce la viscosidad de la emulsión.

La viscosidad de una emulsión cuando hay exceso de fase continua, es virtualmente la viscosidad de dicha fase. Al aumentar la proporción de la fase interna aumenta la viscosidad de la emulsión hasta un punto en que la emulsión deja de ser líquida. Cuando el volumen de la fase interna sobrepasa el de la externa, se aglomeran las partículas de la emulsión y la viscosidad aparente es parcialmente viscosidad estructural.

Las propiedades características de los suavizantes textiles confieren una fácil y fuerte solubilidad con el agua; y en relación a la formulación, las propiedades fisicoquímicas del agua no afectan directamente ni presentan ninguna influencia en el proceso de formulación.

La composición básica de un suavizante textil, es la materia prima de suavizado mezclada con agua, al ser el agua el disolvente universal por defecto, no presenta ninguna repercusión negativa en la formulación de los mismos.

### **2.8.2. Especificaciones de un suavizante textil catiónico**

Las especificaciones que se deben cumplir para la formulación de suavizantes textiles, abarcan diferentes aspectos que se deben de considerar para cumplir con los requerimientos de suavidad, a continuación se detallan:

- Apariencia: se incluyen en este apartado las propiedades que pueden ser percibidas visualmente en el producto, como: uniformidad en la formulación, aspecto que presenta, fluidez.
- Color: otro aspecto importante, ya que al ser aplicado al tejido puede ir en detrimento de su blancura o de los matices pálidos que posea.
- Olor: el olor del suavizante durante su aplicación y en el secado del textil ha alcanzado una importancia notable, dado que está relacionado con consideraciones humanas de confort.
- Materia activa: la cantidad de materia activa en el producto estará en función de sus características, en su comportamiento durante su aplicación y en el precio del producto.
- Potencial de hidrógeno: influye en lo siguiente:
  - Dispersabilidad del suavizante en agua
  - Compatibilidad con los aditivos
  - Potencial zeta de las fibras textiles
  - Agotamiento del suavizante por parte de las fibras
  - Solideces de los tejidos teñidos

- Naturaleza iónica: la naturaleza iónica del suavizante presupone su comportamiento frente a la compatibilidad con otros productos, relacionado con sus propiedades funcionales y el procedimiento de aplicación sobre los textiles.
- Estabilidad: la inestabilidad potencial o separación del producto en la disolución en que se encuentre, es un problema común del suavizante producido por factores intrínsecos o extrínsecos, como lo son: la composición química, las técnicas de manufactura, la concentración de electrolito, la incompatibilidad iónica, la temperatura de almacenamiento.
- Viscosidad: la viscosidad del producto final puede ser controlada por la adición de ciertas sales inorgánicas, como puedan ser: acetato sódico, carbonato sódico, cloruro sódico, sulfato sódico. Hay que tener en cuenta que la viscosidad puede influir en la dispersabilidad del producto en agua, lo cual afecta la uniformidad del mismo en su aplicación al textil.
- Dispersabilidad en agua: en este aspecto hay que tener en cuenta la estructura del suavizante, la viscosidad, potencial de Hidrógeno y los productos que ayudan a su dispersión en agua.
- Compatibilidad: para la máxima efectividad del suavizante se precisa una compatibilidad total con otros productos.

## **2.9. Acciones de los suavizantes catiónicos sobre los textiles**

La aplicación de suavizantes sobre la superficie de las materias textiles provoca la modificación de algunas de sus propiedades físicas. Estas propiedades son las intrínsecas de la materia textil y de la capacidad de adsorción de estos productos por parte de las mismas, lo cual se presenta de forma más intensa en la lana, seguida de la viscosa y el algodón, de modo menos intenso sobre el acetato, la poliamida y el poliacrilonitrilo. Como consecuencia de la adsorción de suavizantes catiónicos en las materias textiles, cabe citar la modificación de las propiedades siguientes.

### **2.9.1. Propiedades textiles**

Los suavizantes textiles, confieren a los tejidos diferentes características que hacen que la fibra textil modifique sus propiedades. Entre las propiedades más comunes se encuentran:

- Tacto del tejido: la apreciación subjetiva del tacto de los tejidos es variable según la percepción sensorial individual. Esta forma de apreciación, a pesar de que carece de precisión, es multitudinariamente aceptada. Dada la gran variedad de sensaciones que se puede percibir tocando con la mano los tejidos, se ha creado gran número de homologaciones para designarlas.
- Volumen: algunos suavizantes proporcionan al producto textil un tacto lleno, que se aprecia al comprimirlo con la mano.

### **2.9.2. Propiedades mecánicas**

Por el efecto del suavizante en la fibra textil, pueden verse modificadas las diferentes propiedades del tejido. Entre las propiedades que se ven modificadas al aplicar el suavizante se encuentran:

- Resistencia a la abrasión: la lubricación textil provocada por el suavizante, causa una reducción de su resistencia dinámica o fricción, mejorando la resistencia a la abrasión en las prendas textiles. Para obtener un óptimo efecto, se precisa que la fibra quede completamente cubierta por la absorción en forma de película del producto.
- Resistencia a la rotura: en el tratamiento del trabajo de algodón con resina de acabado de alta calidad, se provoca una adherencia entre sus fibras, restringiendo su movilidad, y en consecuencia, disminuyendo su resistencia, lo cual puede alcanzar hasta un 30 por ciento o mayores valores.
- Resistencia del desgarro: el efecto lubricante entre las fibras mediante suavizante, permite aumentar su capacidad de estirado en un 10 a 15 por ciento.

### **2.9.3. Propiedades funcionales de los tejidos**

Los suavizantes textiles pueden llegar a modificar las propiedades funcionales de las fibras al ser aplicados en los distintos procesos productivos. Entre las propiedades modificadas se encuentran:

- Recuperación al arrugado: algunos suavizantes pueden aumentar el ángulo de recuperación al arrugado que se haya obtenido por el efecto de la aplicación de resinas de acabado al tejido de algodón.
- Propiedades de rehumectación: son importantes, porque dan una indicación de la capacidad de absorción de agua que presenta el tejido después del tratamiento con el suavizante.
- Protección de la carga estática: la acumulación de la electricidad estática en diversos tipos de fibras sintéticas e incluso naturales, es un fenómeno conocido que es causa de las prendas confeccionadas.
- Propensión al ensuciamiento: la propensión de los suavizantes de atraer y retener impurezas afecta de forma adversa las características de ensuciamiento de los tejidos tratados.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología, tiene como alcance la obtención de datos descriptivos que buscan especificar y definir características del diseño del sistema de mezclado y del suavizante textil a nivel de laboratorio.

#### 3.1. Variables

El tipo de variables manejadas en el diseño de investigación, se define en base a la naturaleza dependiente o independiente de cada de las variables. La tabla VII detalla las variables relacionadas a la investigación.

Tabla VII. **Variables relacionadas al proceso**

Variable	Unidades	Factores del diseño	
		Independiente	Dependiente
Capacidad del tanque de agitación	m <sup>3</sup>	X	
Dimensiones del sistema de agitación	m		x
Número de Reynolds en tanque de agitación	Adimensional		x
Número de Reynolds en tubería	Adimensional		x
Flujo volumétrico	m <sup>3</sup> /s		x
Diámetro de tubería	m		x
Potencia de agitador	hp		x
Potencia de bomba	hp		x

Continuación de la tabla VII.

<b>Tiempo de mezcla</b>	s		x
<b>Densidad</b>	kg/m <sup>3</sup>	x	
<b>Viscosidad</b>	kg/m-s	x	
<b>Porcentaje de sólidos</b>	Adimensional	x	
<b>Grados brix</b>	Brix	x	

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitaciones del campo de estudio

Para el diseño del sistema de mezclado se llevó a cabo el dimensionamiento del tanque de mezcla, la determinación del tipo de agitador a utilizar, las dimensiones del agitador y potencia del motor del agitador así como la potencia de la bomba del sistema de mezclado.

La elaboración del suavizante, se realizó a nivel de laboratorio y se realizaron ensayos fisicoquímicos para medición la viscosidad, potencial de hidrógeno, grados brix así como también el porcentaje de sólidos contenidos en la muestra.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

A continuación se detalla el recurso humano disponible para la realización del trabajo de investigación. Se presenta la información referente al investigador así como del asesor de la investigación.

- Investigador

Eddie Haroldo Raxón Díaz

Profesión: estudiante de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Asesor de investigación

Víctor Manuel Monzón Valdez

Profesión: ingeniero químico, director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

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

Constituye el espacio físico, instrumentación, equipo y los diferentes materiales utilizados para llevar a cabo el trabajo de investigación. A continuación se detallan los aspectos para realización de la investigación.

### **3.4.1. Espacio físico**

A continuación se realiza el detalle de las instalaciones utilizadas para el desarrollo de la investigación. Se presenta la descripción de los laboratorios utilizados para la realización de ensayos para la obtención de los resultados.

- Laboratorio de Química, Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Química de la Empresa Merrill, S. A.

### **3.4.2. Equipo**

A continuación se detalla el equipo utilizado para la realización de la investigación. Se detalla la instrumentación utilizada para la obtención de los resultados de las pruebas realizadas.

- Balanza de humedad
- Balanza semi-analítica
- Computadora
- Refractómetro
- Picnómetro
- Potenciómetro

### 3.4.3. Cristalería

A continuación se realiza la descripción de la cristalería que se utilizó para la realización de pruebas y ensayos para la obtención de los resultados dentro de la investigación.

- Beacker 250 mL
- Beacker 100 mL
- Probetas 100 mL
- Varilla de agitación

### 3.5. Técnica cuantitativa

Las variables de análisis son medibles y cuantificables, por tanto la técnica, es de tipo cuantitativa. En la tabla VIII, se muestran las variables involucradas en la investigación.

Tabla VIII. **Variables cuantitativas relacionadas al estudio**

<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Tipo</b>	<b>Instrumento de medición</b>
<b>Capacidad del tanque de agitación</b>	m <sup>3</sup>	Preliminar	N/A
<b>Dimensiones del sistema de agitación</b>	m	De cálculo	N/A

Continuación de la tabla VIII.

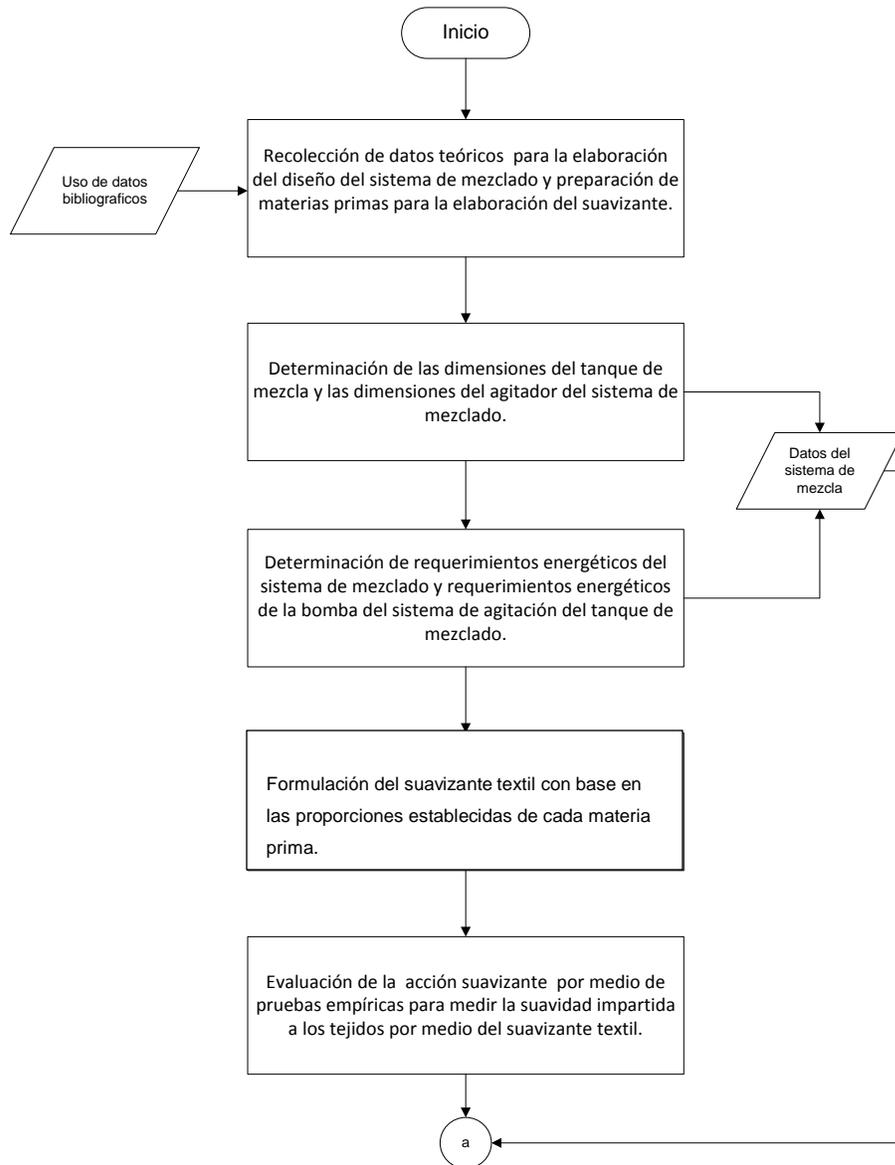
<b>Número de Reynolds en tanque de agitación</b>	<b>Adimensional</b>	<b>De cálculo</b>	<b>N/A</b>
<b>Número de Reynolds en tubería</b>	Adimensional	De cálculo	N/A
<b>Flujo volumétrico</b>	m <sup>3</sup> /s	De cálculo	N/A
<b>Diámetro de tubería</b>	m	De cálculo	N/A
<b>Potencia de agitador</b>	hp	De cálculo	N/A
<b>Potencia de bomba</b>	hp	De cálculo	N/A
<b>Tiempo de mezcla</b>	s		N/A
<b>Densidad</b>	kg/m <sup>3</sup>	De respuesta	Picnómetro
<b>Viscosidad</b>	kg/m-s	De respuesta	Viscosímetro
<b>Porcentaje de sólidos</b>	Adimensional	De respuesta	Balanza de humedad
<b>Grados brix</b>	brix	De respuesta	Refractómetro

Fuente: elaboración propia.

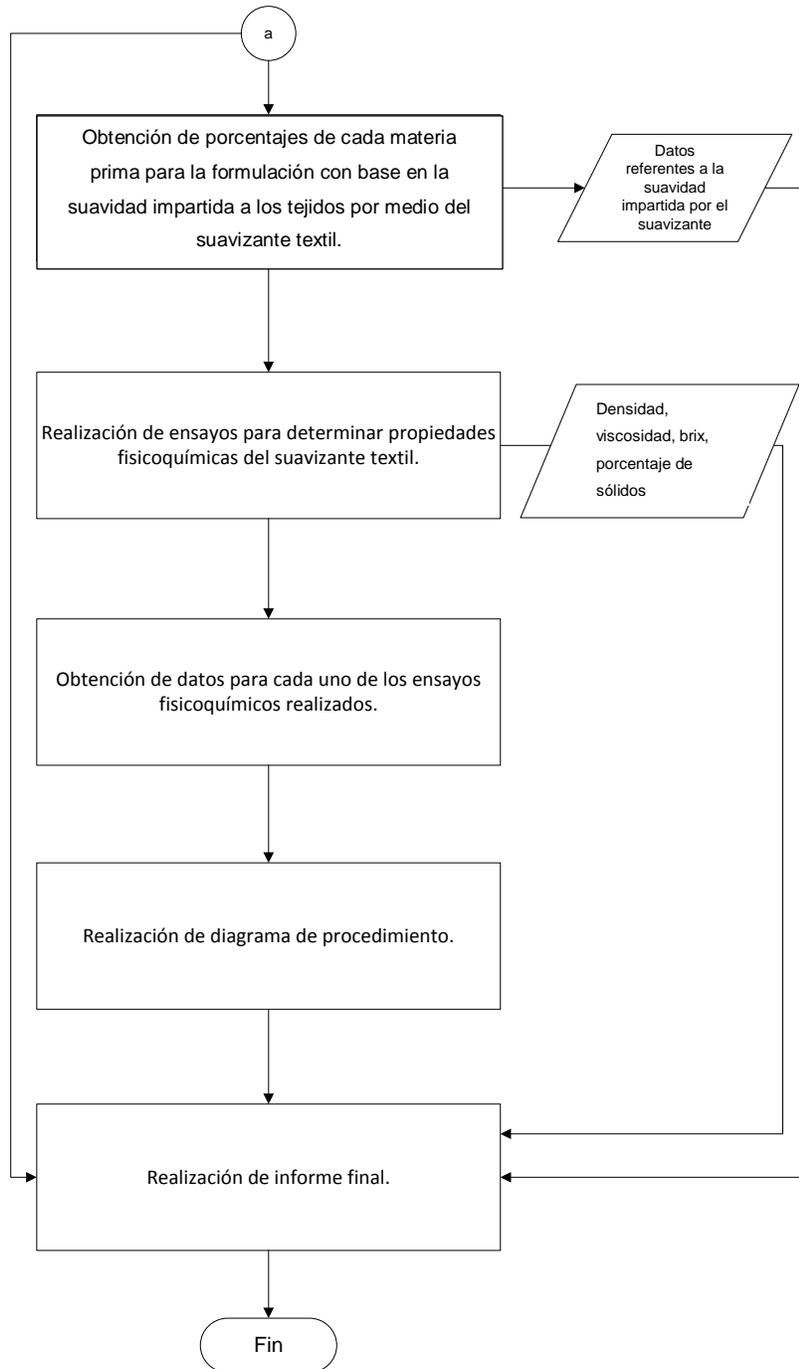
### 3.6. Recolección y ordenamiento de información

La figura 9, detalle en forma de diagrama de flujo, el procedimiento a seguir para la obtención de los resultados para el sistema de mezclado, así como para la formulación del suavizante.

Figura 9. Procedimiento de recolección de información



Continuación de la figura 9.



Fuente: elaboración propia.

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

A continuación se presenta la tabulación y ordenamiento de los datos obtenidos de los ensayos físicos y químicos realizados para el desarrollo de la investigación.

Tabla IX. Resultado del ensayo de densidad

Observación	Dato obtenido [kg/m <sup>3</sup> ]	Promedio
1	928	930
2	933	
3	930	
4	927	
5	935	
6	931	
7	928	
8	930	
9	929	
10	929	

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Resultado del ensayo de potencial de hidrógeno

Observación	Dato obtenido	Promedio
1	4,34	4,33
2	4,29	
3	4,32	
4	4,34	
5	4,36	
6	4,33	
7	4,29	
8	4,36	
9	4,31	
10	4,32	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resultado del ensayo de contenido de sólidos**

<b>Observación</b>	<b>Dato obtenido [%]</b>	<b>Promedio</b>
1	6,7	6,5
2	6,6	
3	6,2	
4	6,8	
5	6,3	
6	6,7	
7	6,2	
8	6,4	
9	6,6	
10	6,5	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resultado del ensayo de viscosidad**

<b>Observación</b>	<b>Dato obtenido [cP]</b>	<b>Promedio</b>
1	666	655
2	655	
3	656	
4	652	
5	651	
6	653	
7	657	
8	650	
9	653	
10	655	

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

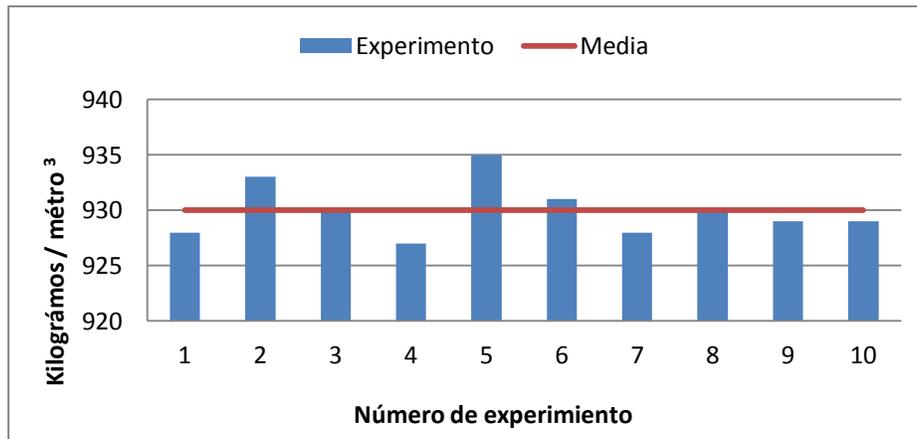
Se realizó el análisis estadístico, para la evaluación de la tendencia de los resultados obtenidos en relación a parámetros establecidos para la investigación.

Tabla XIII. Descripción estadística para la medición de densidad

<b>Densidad</b>	
<b>Media</b>	930
<b>Error típico</b>	0,77459667
<b>Mediana</b>	929,5
<b>Moda</b>	928
<b>Desviación estándar</b>	2,44948974
<b>Varianza de la muestra</b>	6
<b>Curtosis</b>	0,64417989
<b>Coefficiente de asimetría</b>	1,02062073
<b>Rango</b>	8
<b>Mínimo</b>	927
<b>Máximo</b>	935
<b>Cuenta</b>	10

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Representación gráfica de los datos obtenidos para la medición de la densidad en relación con la media**



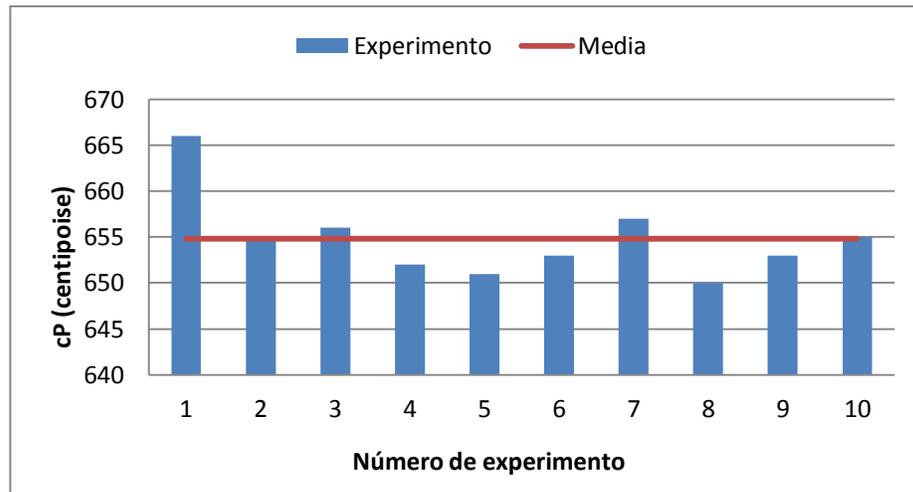
Fuente: elaboración propia

Tabla XIV. **Descripción estadística para la medición de viscosidad**

<b>Viscosidad</b>	
<b>Media</b>	654,8
<b>Error típico</b>	1,42828569
<b>Mediana</b>	654
<b>Moda</b>	655
<b>Desviación estándar</b>	4,51663592
<b>Varianza de la muestra</b>	20,4
<b>Curtosis</b>	4,35736713
<b>Coefficiente de asimetría</b>	1,83634851
<b>Rango</b>	16
<b>Mínimo</b>	650
<b>Máximo</b>	666
<b>Cuenta</b>	10

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Representación gráfica de los datos obtenidos para la medición de la viscosidad en relación con la media**



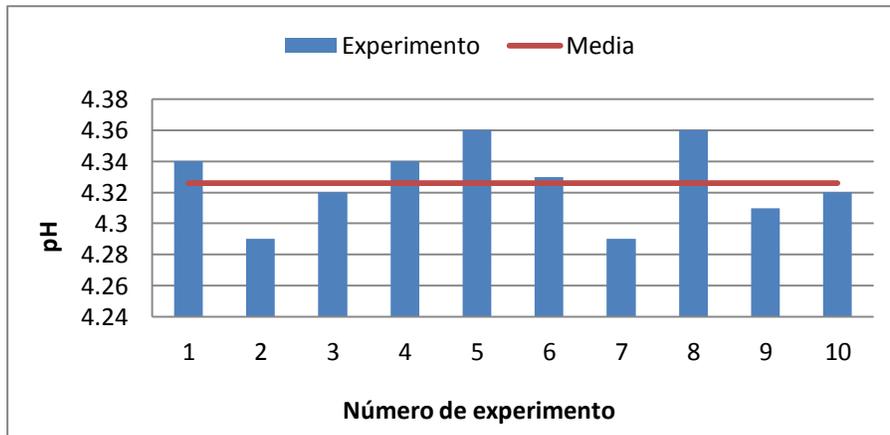
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Descripción estadística para la medición de potencial de hidrógeno**

<b>Potencial de hidrógeno</b>	
<b>Media</b>	4,326
<b>Error típico</b>	0,00791623
<b>Mediana</b>	4,325
<b>Moda</b>	4,34
<b>Desviación estándar</b>	0,02503331
<b>Varianza de la muestra</b>	0,00062667
<b>Curtosis</b>	-0,90627627
<b>Coficiente de asimetría</b>	-0,12111522
<b>Rango</b>	0,07
<b>Mínimo</b>	4,29
<b>Máximo</b>	4,36
<b>Cuenta</b>	10

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Representación gráfica de los datos obtenidos para la medición de la potencial de hidrógeno en relación con la media



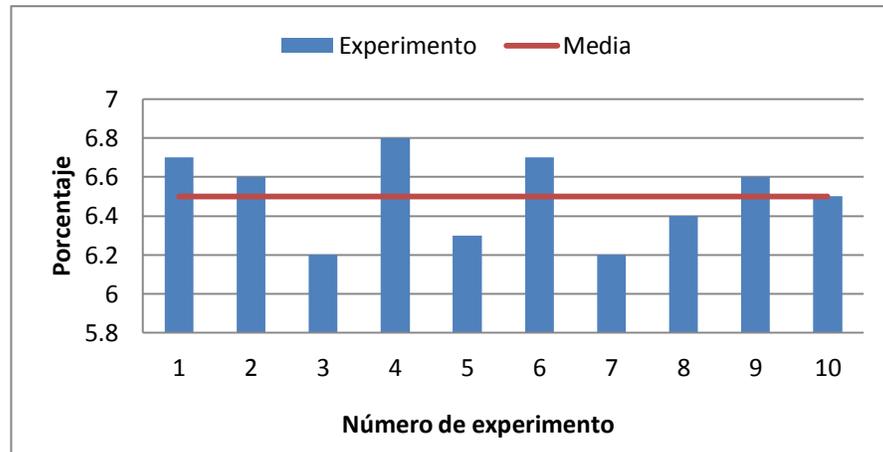
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Descripción estadística para la medición de porcentaje de sólidos

Porcentaje de sólidos	
Media	6,5
Error típico	0,06831301
Mediana	6,55
Moda	6,7
Desviación estándar	0,21602469
Varianza de la muestra	0,04666667
Curtosis	-1,39285714
Coefficiente de asimetría	-0,24798753
Rango	0,6
Mínimo	6,2
Máximo	6,8
Cuenta	10

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Representación gráfica de los datos obtenidos para la medición del porcentaje de sólidos en relación con la media**



Fuente: elaboración propia.



## 4. RESULTADOS

Resultados obtenidos para todos los cálculos y ensayos realizados para el diseño de un sistema de mezclado para la producción de suavizantes en la industria textil.

Tabla XVII. **Dimensiones del tanque de mezclado**

<b>Capacidad</b>	3000 m <sup>3</sup>
<b>Diámetro</b>	1,56318 m
<b>Altura</b>	1,56318 m
<b>Deflectores</b>	0,13027 m

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Dimensiones del agitador para el sistema de mezclado y tipo de agitador**

<b>Diámetro del agitador</b>	<b>0,62527 m</b>
<b>Anchura del rodete</b>	0,12505 m
<b>Longitud de palas del agitador</b>	0,15632 m
<b>Altura del rodete sobre el fondo</b>	0,52106 m
<b>Tipo de agitador</b>	Agitador de paletas

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Diámetro de tuberías para el sistema de mezclado**

<b>Tubería de acero cédula 40</b>	<b>Diámetro exterior</b>	<b>Diámetro interior</b>
<b>1 ½</b>	0,405 m	0,269 m
<b>1 ¼</b>	0,540 m	0,364 m
<b>1</b>	1,315 m	1,049 m

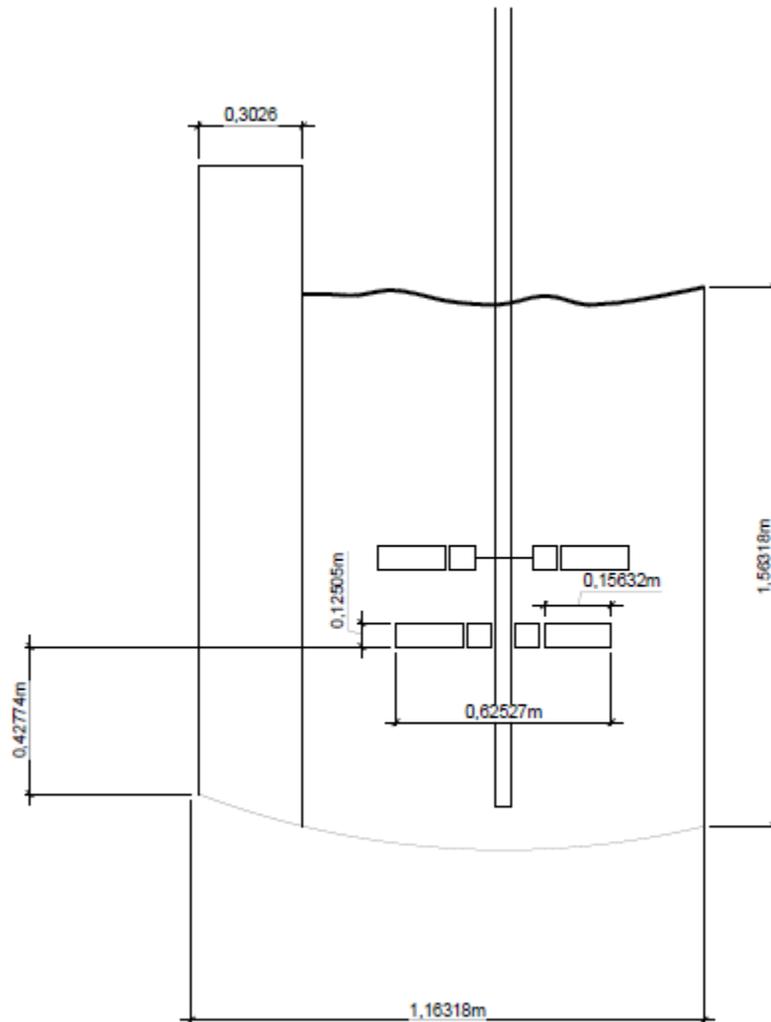
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Tiempo óptimo de mezclado y requerimientos teóricos de potencia para el sistema de mezclado**

	<b>Teórico</b>	<b>Real</b>
<b>Tiempo óptimo de mezclado</b>	2,39 horas	2,45 horas
<b>Potencia del motor del sistema de agitación</b>	1,50 kw	
<b>Potencia de la bomba del sistema de mezclado</b>	1,36 kw	

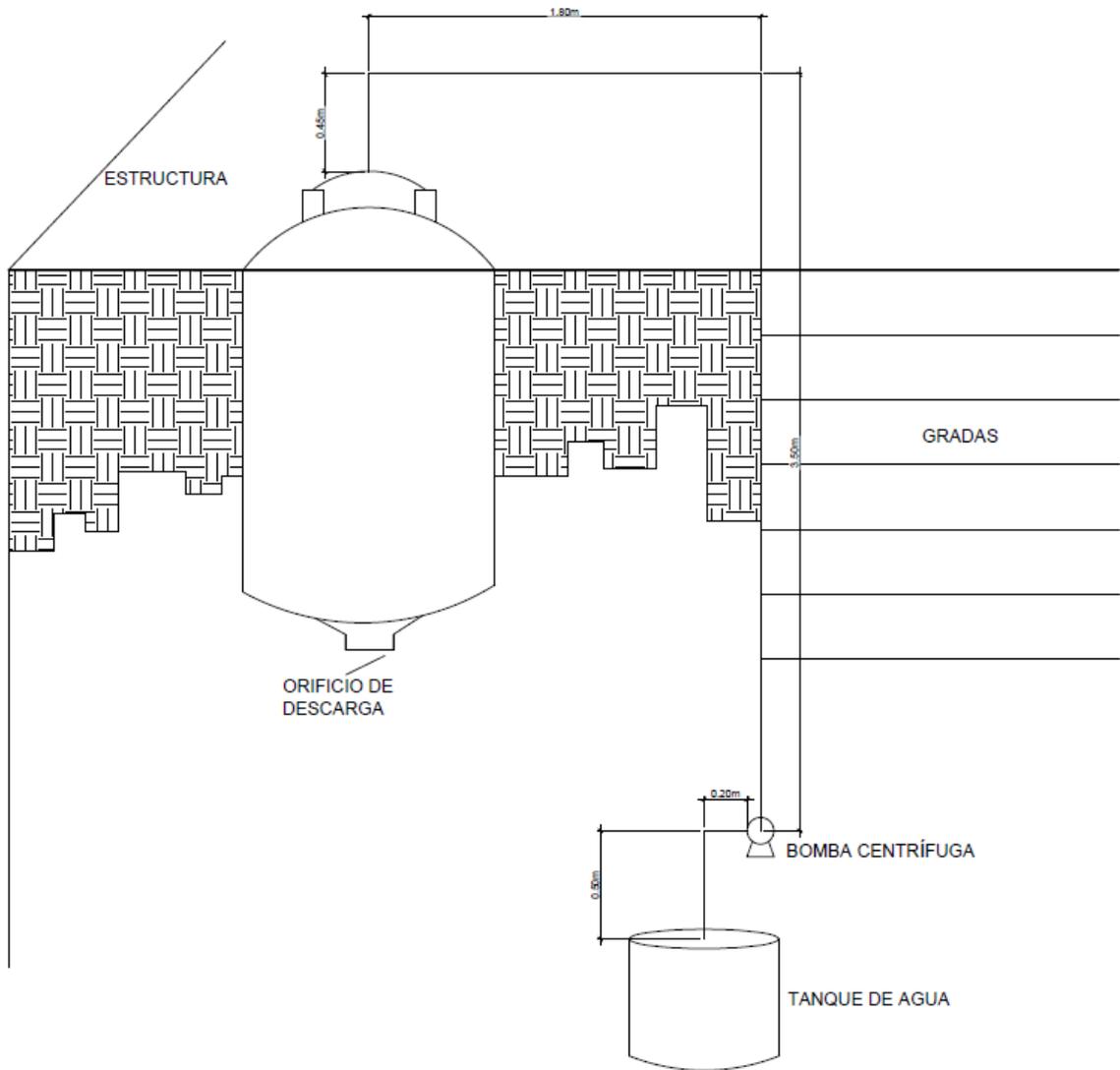
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Dimensiones del tanque de mezclado y sistema de agitación



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Figura 15. Esquema representativo sistema de mezclado



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Tabla XXI. **Composición del suavizante textil catiónico formulado**

<b>Componente</b>	<b>Proporción</b>
<b>KAOSOFT AGL-83 (Cloruro de tetradecil-trimetil amonio)</b>	3,90 %
<b>KAOPAN SP-120 (Monooleato de polioxietileno-sorbitan)</b>	2,60 %
<b>Metil p-Hidroxibenzoato</b>	1,20 %
<b>Ácido acético</b>	0,05 %
<b>Carbonato de sodio</b>	0,70 %
<b>Agua</b>	91,55 %
<b>Total</b>	100 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Propiedades físicas y químicas y precio de formulación del suavizante textil catiónico formulado**

<b>Aspecto</b>	Líquido viscoso opaco color blanco
<b>Olor</b>	Característico floral
<b>Hidrosolubilidad</b>	Total
<b>Punto de inflamación</b>	>55 °c
<b>Materia activa (porcentaje de sólidos en la muestra)</b>	6,50 %
<b>Densidad</b>	930 kg/m <sup>3</sup>
<b>Viscosidad</b>	650 cP
<b>pH</b>	4,33
<b>Grados Brix</b>	4,0 °brix
<b>Suavidad</b>	9
<b>Calidad global</b>	Muy buena
<b>Precio de formulación</b>	9,25 Q./kg

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los cálculos teóricos de los requerimientos en relación con el sistema de mezclado estipulan que para el mezclado óptimo del suavizante textil formulado, el motor del sistema de agitación requiere de 1,50 kilowatt de potencia para su eficiente funcionamiento, esto con base a la viscosidad del fluido y el tiempo de mezcla que se emplee en la fabricación del suavizante textil.

Para el sistema de agitación resulta conveniente utilizar un agitador de paletas, pues este se ajusta al intervalo de viscosidad específico para el suavizante formulado, esta selección se basó específicamente en la viscosidad del suavizante trabajado como una emulsión.

Con base a los cálculos teóricos para el tiempo óptimo de mezcla se tiene que el tiempo necesario para una eficiente formulación de un suavizante textil catiónico es de 2,45 horas por lote. Situación que fue comprobada experimentalmente, para tiempos de mezcla inferiores a las 2,45 horas el aspecto visual y reológico del suavizante textil no resultó ser aceptable, presentando un aspecto considerablemente diluido y translúcido.

Para tiempos de mezcla superiores a las 2,45 horas se observó el mismo efecto que para tiempos de mezcla inferiores a las 2,4 5 horas produciendo como resultado aspectos visuales no aceptables. Para tiempos de mezcla cercanos o iguales al tiempo óptimo de mezcla se observó que el aspecto visual y reológico del suavizante era aceptable, pues presenta un aspecto bastante viscoso y de una elevada opacidad.

Para suavizantes textiles cationes se comprobó experimentalmente que el porcentaje de materia activa en la formulación debe estar comprendido entre 3 y 7 por ciento del total de la fórmula, ya que para composiciones mayores el efecto suavidad impartida al tejido no presenta una variación considerable, dado que los resultados son similares a formulaciones con un porcentaje de materia activa comprendida entre 3 y 7 por ciento.

Un mayor porcentaje de materia activa no siempre garantiza una mejor suavidad impartida a la fibra textil, el éxito de un suavizante con un grado de suavidad elevada dependerá en gran medida de los aditivos de formulación que se consideren en la fórmula maestra. Se comprobó que la adición de un suavizante no iónico en una pequeña proporción al suavizante catiónico y reduciendo el porcentaje de éste en la fórmula maestra, mejora notablemente la eficacia del suavizante debido a que la mezcla de ambos favorece la absorción del suavizante sobre la fibra textil, produciendo sobre la misma un mayor grado de suavidad, proporciona un acabado más duradero y ayuda a reducir la abrasión de la fibra.

Adicional a lo anterior, representa un ahorro monetario en relación con el consumo de materia activa, ya que al reducir el porcentaje de suavizante catiónico se logra reducir el precio final de formulación dando como resultado un precio de Q 9,25 por kilogramo de suavizante textil producido.

Las propiedades fisicoquímicas del suavizante textil son factores de importancia en la formulación para que la eficacia del suavizante pueda mantenerse y cumplir con su propósito. Para poder mantener un potencial de hidrógeno estable en dicha formulación se utilizó como regulador ácido acético. Para el control de la viscosidad se utilizó carbonato de calcio, como aditivo, para lograr mantener esta característica en 650 centipoise.



## CONCLUSIONES

1. El diseño eficiente de un sistema de mezclado para la producción de suavizantes en la industria textil con base a la investigación realizada, requiere un tanque de mezcla con una capacidad de 3 000 metros cúbicos, una altura de 1,56318 metros y un diámetro de 1,56318 metros.
2. Con base a la viscosidad del suavizante textil formulado, el sistema de mezclado se requiere un agitador tipo ancla para desarrollar la operación de mezclado.
3. El tiempo óptimo de mezcla para el suavizante textil desarrollado requiere un tiempo de 2,45 horas por lote, con un consumo de potencia para el motor del sistema de agitación de 1,50 kilowatt, y un consumo de potencia 1,36 kilowatt para el sistema de mezclado.
4. La eficacia en la formulación del suavizante textil desarrollado en la investigación, se basa en que el porcentaje de materia activa para la formulación se encuentra comprendida entre 3 – 7 por ciento del total de la formulación, teniendo un 3,90 por ciento de suavizante catiónico y adicionando 2,60 por ciento de un suavizante no iónico, con el fin de agregar un mayor grado de absorción sobre la fibra sin variar el carácter catiónico del suavizante.

5. Utilizando para la formulación del suavizante textil desarrollado un 3,90 por ciento de suavizante catiónico y 2,60 por ciento de suavizante no iónico, se obtienen los mejores resultados en relación con la suavidad del producto así como también los mejores resultados en relación con el precio por kilogramo de producto producido, dando un precio de formulación de 9,25 quetzales por kilogramo.

## RECOMENDACIONES

1. Procurar que en todo el proceso para la preparación de emulsiones esta permanezca estrictamente homogénea en todo su contenido, para ello se debe de preparar el suavizante en agua, manteniendo la temperatura de esta en un intervalo de 55 a 65 grados Celsius como máximo, y de ser necesario hacer uso de un antiespumante con el fin de evitar la formación de grumos en el producto.
2. Es importante tener en cuenta las condiciones toxicológicas y contaminantes de los agentes de suavizado a emplear, con el fin de disminuir la carga contaminante en los efluentes de la industria textil.
3. Para un proceso de suavizado eficaz se debe de tomar en cuenta algunos requerimientos por parte de la fibra textil como: el potencial de hidrógeno del tejido debe de ser neutro, la fibra textil debe de estar libre de dispersantes para cumplir con los aspectos referentes a tacto e hidrofiliidad.
4. Para la formulación de suavizantes utilizar porcentajes de materia activa comprendidos entre 3 – 7 por ciento del total de la formulación, con el fin de aumentar la eficacia del suavizante y no realizar un consumo innecesario de materia activa para poder economizar en el proceso de formulación.



## BIBLIOGRAFÍA

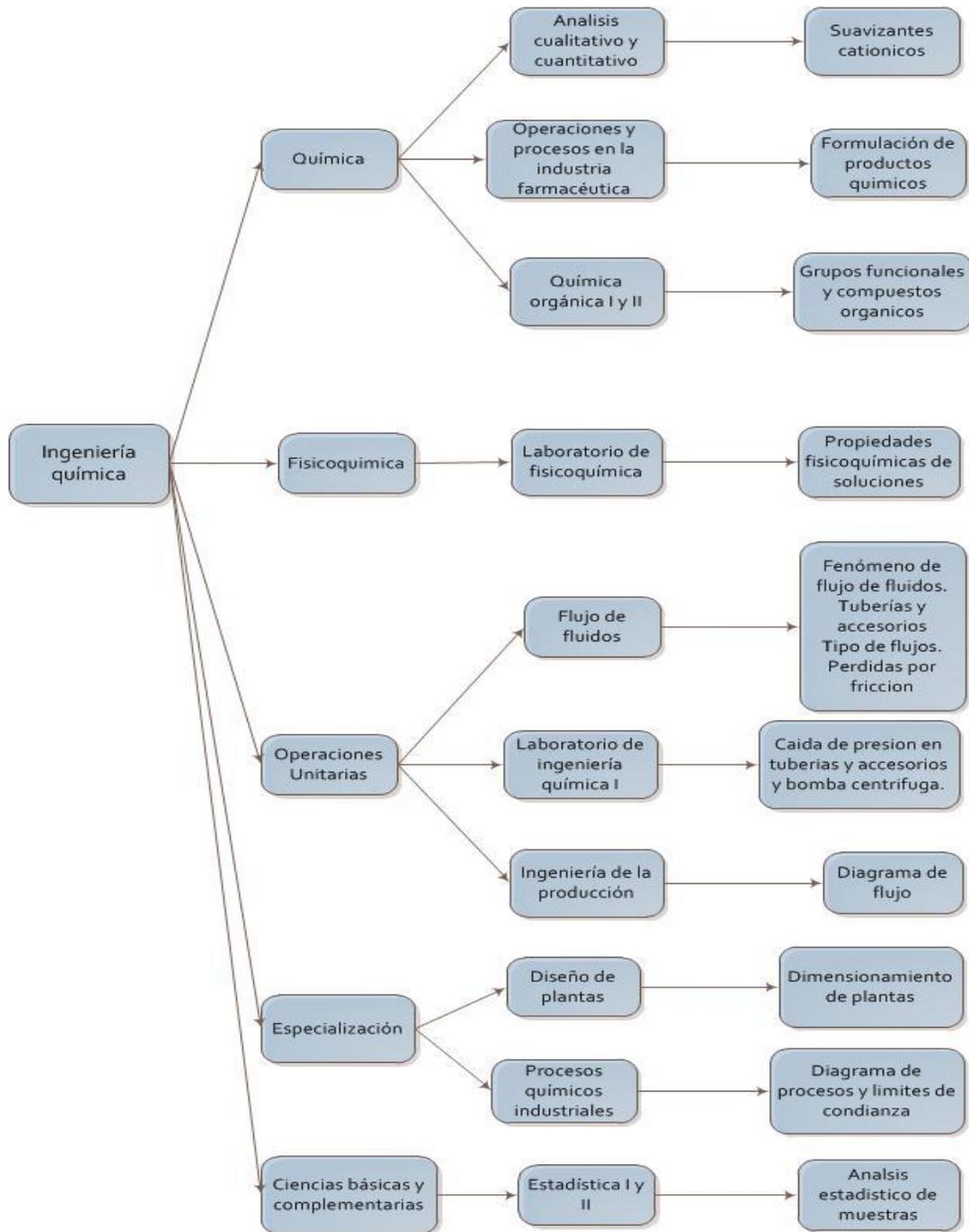
1. CRANE, *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. 3a ed. México: Valfisa S. A. McGraw-Hill, 2007. 713 p.
2. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. México: Compañía Editorial Continental S. A. 1998. 1266 p.
3. HINES, William; W. MONTGOMERY, Douglas C. *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. Iracheta, Juan Carlos (rev. tec.); Nagore, Gabriel (trad.). 2a ed. México, D.F.: Compañía Editorial Continental, S. A. 1993. 834 p.
4. McCABE, Warren L; SMITH, Julian C; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Elita Guardiola Formento (rev. tec. trad.); Fernando Mirada Coronel (rev. tec. trad.). 4a ed. Madrid, España: McGraw-Hill/Interamericana de España, 2008. 844 p.
5. PERRY, Robert H. *Manual del ingeniero químico, tomo II*. 6a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill. 2001. 463 p.

6. ROBERT E. Treybal. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: McGraw-Hill Interamericana. 2005. 805 p.
7. WALPOLE, Ronald E., et. al. *Probabilidad y estadística para ingenieros y científicos*. 8a ed. EE. UU.: Pearson-Prentice Hall, 2007. 425 p.

## **APÉNDICES**

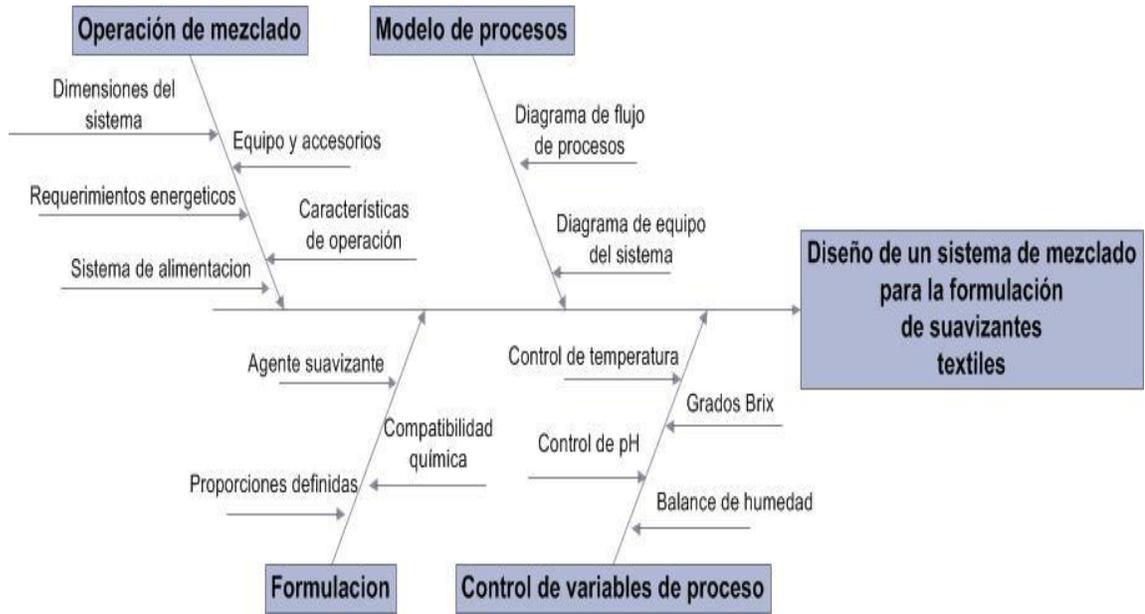


Figura 16. **Requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Diagrama ishikawa



Fuente: elaboración propia.

## **ANEXOS**



1. Cálculos para la determinación del precio de formulación

Determinación del costo de la mano de obra para la producción del suavizante textil.

- Asumiendo un salario mínimo de:

$$SM = \text{Mensual} + \text{Bonificación} = 1\,996,25 + 250 = 2\,246,25 \text{ Q. /mes}$$

- Cálculo de horas hábiles trabajadas al mes:

$$\frac{20 \text{ día hábil}}{1 \text{ mes}} * \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día hábil}} = 160 \text{ horas/mes}$$

$$\frac{\text{Sueldo mínimo}}{\text{horas/mes}} = \frac{2\,246,25 \text{ Q./mes}}{160 \text{ horas/mes}} = 14,04 \text{ Q./hora}$$

- Costo por formulación:

$$\begin{aligned} \text{Costo mano de obra} &= \text{Costo precio hora} * \text{hora/formulación} \\ &= 14,04 \text{ Q./hora} * 3,15 \text{ horas} = 44,23 \text{ Q.} \end{aligned}$$

- Determinación de costo por depreciación de equipo:

Se asumió una depreciación lineal igual a 10 000 Q. /año en 10 años.

- Cálculo de horas efectivas de trabajo del equipo por año:

$$20 \frac{\text{días hábiles}}{\text{meses}} * 12 \text{ meses} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 1\,920 \text{ horas/año}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Depreciación Lineal}}{\text{Horas efectivas al año}} = \frac{10\,000 \text{ Q./año}}{1\,920 \text{ Horas/año}} = 0,52 \text{ Q./hora}$$

- Costo depreciación:

$$\text{Costo Depreciación} = 0,52 \frac{\text{Q.}}{\text{horas}} * 2,45 \text{ horas} = 1,28 \text{ Q}$$

- Determinación de costo por consumo de energía eléctrica:

Para los cálculos se asumió tarifa no regulada de 1,827954 Q. /kWh

$$\text{Costo energía} = \text{Potencia Consumida} * \text{Preciokwh} * \text{horas por lote}$$

- Costo de energía consumida por el motor del sistema de agitación:

$$\text{CostoEnergíaM} = 1,50\text{kW} * 1,827954 \frac{\text{Q.}}{\text{kWh}} * 2,45\text{horas} = 6,84 \text{ Q.}$$

- Costo de energía consumida por la bomba del sistema de mezclado:

$$\text{CostoEnergíaB} = 1,36\text{kW} * 1,827954 \frac{\text{Q.}}{\text{kWh}} * 2,45\text{horas} = 6,09 \text{ Q.}$$

Tabla XXIII. **Costos para determinación del precio de formulación**

<b>Detalle de gastos</b>	<b>Precio</b>
<b>Materia prima</b>	11,57 Q.
<b>Costo hombre</b>	44,23 Q.
<b>Energía eléctrica</b>	12,93 Q.
<b>Depreciación de equipo</b>	1,28 Q.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Propiedades mecánicas específicas para aceros inoxidables**

	Grado	Producto <sup>1)</sup>	Espesor máximo (mm)	Mínima resistencia <sup>2)</sup> correspondiente al 0.2% (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia última a tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Alargamiento de rotura (%)
Aceros inoxidables austeníticos básicos de cromo y níquel	1.4301	C	8	230	540 – 750	45 <sup>(3)</sup>
		H	13,5	210	520 – 720	45 <sup>(3)</sup>
		P	75	210	520 – 720	45
Aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel	1.4307	C	8	220	520 – 700	45
		H	13,5	200	520 – 700	45
		P	75	200	500 – 700	45
Aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel	1.4401	C	8	240	530 – 680	40
		H	13,5	220	530 – 680	40
		P	75	220	520 – 670	45
Aceros inoxidables austeníticos estabilizados	1.4541	C	8	220	520 – 720	40
		H	13,5	200	520 – 720	40
		P	75	200	500 – 700	40
Aceros inoxidables austeníticos bajos en carbono, altos en nitrógeno	1.4571	C	8	240	540 – 690	40
		H	13,5	220	540 – 690	40
		P	75	220	520 – 670	40
Aceros inoxidables dúplex	1.4318	C	8	350	650 – 850	35
		H	13,5	330	650 – 850	35
		P	75	330	630 – 830	45
Aceros inoxidables dúplex	1.4362	C	8	450	650 – 850	20
		H	13,5	400	650 – 850	20
		P	75	400	630 – 800	25
Aceros inoxidables dúplex	1.4462	C	8	500	700 – 950	20
		H	13,5	460	700 – 950	25

Fuente: McCABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 268.

