

**DESARROLLO DE UN TENSIOACTIVO CATIONICO PARA FIBRAS
ACRILICAS MEDIANTE EL PROCESO DE SOL-GEL A NIVEL DE
LABORATORIO**

**DANIEL FELIPE ALARCÓN GARZÓN
ANDREA CAROLINA ESTRADA ANDRADE**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERA QUIMICA
BOGOTÁ, D.C.
2017**

**DESARROLLO DE UN TENSIOACTIVO CATIONICO PARA FIBRAS
ACRILICAS MEDIANTE EL PROCESO DE SOL-GEL A NIVEL DE
LABORATORIO**

**DANIEL FELIPE ALARCÓN GARZÓN
ANDREA CAROLINA ESTRADA ANDRADE**

**Proyecto integral de grado para optar el título de:
INGENIERO QUIMICO**

Director

DAVID ESPINOSA

Ingeniero químico

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERA QUIMICA
BOGOTÁ, D.C.
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Alexander López

Oscar González

Diego Rodríguez

Bogotá, D.C. Septiembre, 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la universidad y rector del claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectoría académica y de posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario general

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA

Decano Facultad de ingeniería

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director de investigación

Ing. ARMANDO FERNÁNDEZ CÁRDENAS

Director programa de ingeniería

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios y a mi núcleo familiar quienes desde un principio creyeron en mis capacidades para enfrentar un reto tan importante en mi vida, porque fueron ellos quienes me enseñaron a ser la persona que hoy en día soy y que con su fuerza y motivación hicieron que este sueño de ser profesional se cumpliera; a mis amigos por las experiencias vividas y en especial a Camila Bolaños quien fue un apoyo incondicional durante el transcurso de la carrera.

Daniel Felipe Alarcón G.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a Dios, porque a lo largo de mi carrera me lleno de bendiciones y alegrías, gracias por darme salud y sabiduría para poder culminar mis estudios.

*Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias por sus consejos y palabras de aliento ya que me ayudaron a crecer como persona y a luchar por mis metas, gracias por inculcarme valores que me han llevado a alcanzar todos mis logros.
A mi hermana le doy gracias por su cariño y apoyo incondicional.*

A Carlos mi novio y mi amigo, gracias por ser esa persona incondicional que con tus palabras siempre me diste alientos para seguir adelante, gracias por tu apoyo durante toda mi carrera. Me hace muy feliz poder compartir este logro contigo.

A mi compañero de trabajo de grado, gracias por su constancia, esfuerzo y dedicación para poder finalizar este proyecto de investigación.

Andrea Carolina Estrada A.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A nuestras familias, por brindarnos su apoyo incondicional, por su motivación constante y por darnos la oportunidad de alcanzar una meta fundamental el desarrollo profesional de nuestras vidas.

A Dacetex LTDA., por darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto con el cual obtendremos el título de ingenieros químicos y por poner a nuestra disposición los recursos económicos, técnicos y humanos que permitieron llevar este proyecto a feliz término.

A Ricardo Espinosa, ingeniero químico, gerente general de Dacetex LTDA., por permitirnos hacer parte de este proyecto.

A David Espinosa, Ingeniero químico y director del proyecto, por el tiempo y energía que dedico para guiarnos en nuestro proyecto de grado, por compartir sus conocimientos y oportunos consejos durante todo el proceso.

A William Estrada, Ingeniero químico, por ser quien mediante su conocimiento acerca de la industria textil, nos brindó las bases de la idea para poder realizar este proyecto.

A Diego Rodríguez, Ingeniero químico, por su comprensión y paciencia en el proceso de cumplimiento de los objetivos planteados y por su oportuno aporte de conocimientos en pro del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS	19
1. MARCO DE REFERENCIA	20
1.1 MARCO TEORICO	20
1.1.1 Generalidades de las fibras.	20
1.1.2 Propiedades de las fibras.	21
1.1.3 Tipos de fibras	21
1.1.4 Generalidades de los tensioactivos.	23
1.1.5 Tipos de tensioactivos	24
1.1.6 Especificaciones del producto.	26
1.1.7 Método de sol-gel.	27
1.1.8 Diseño de experimentos.	29
1.1.9 Metodología de medición de las variables respuesta del diseño de experimentos	30
1.1.10 Marco legal.	32
2. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DEL PRODUCTO BASE EN LA FIBRA ACRÍLICA	33
2.1 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO BASE	33
2.2 ACABADO TEXTIL: MÉTODO DE IMPREGNACIÓN DE AGENTES QUÍMICOS	34
2.3 PROCESO DE IMPREGNACIÓN DEL PRODUCTO BASE EN LA FIBRA ACRÍLICA	35
2.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES GENERADAS EN LA FIBRA POR EL PRODUCTO TUBINGAL ACE DE CHT	36
2.4.1 Porcentaje de absorción.	38
2.4.2 Tiempo de dispersión de la gota de agua en la fibra.	38
2.4.3 Resistencia durante una cantidad de lavados.	38
2.4.4 Ensayo de volumen y esponjosidad.	39
2.4.5 Evaluación manual.	39
2.5 EVALUACIÓN DE PROPIEDADES GENERADAS EN LA FIBRA POR EL PRODUCTO TUBINGAL ACE	40
2.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PRODUCTO BASE (TUBINGAL ACE)	43
3. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	45
3.1 HIPÓTESIS	45
3.2 METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS	46
3.2.1 Identificación del objetivo de la experimentación.	46

3.2.2. Determinación de los componentes.	46
3.2.3 Selección del diseño de experimentos.	47
3.2.4 Consideraciones para el diseño de experimentos	47
3.2.5 Niveles del diseño de experimentos.	47
3.2.6 Variables de respuesta del diseño de experimentos	48
3.2.7 Software para el desarrollo del diseño de experimentos	48
3.3 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN	48
3.4 EXPERIMENTACIÓN	49
3.4.1 Datos del diseño de experimentos.	49
3.5 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTA	50
3.6 VALIDACIÓN DE LA FORMULACIÓN	51
3.6.1 Análisis de los resultados de las variables respuesta.	51
3.6.2 Análisis de la varianza	55
3.7 SELECCIÓN DE LA COMBINACION ANTIESTÁTICO, HUMECTANTE Y TiO ₂ (SINTETIZADO)	58
4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES OBTENIDAS EN LA FIBRA ACRÍLICA GENERADAS POR EL PRODUCTO BASE Y EL DESARROLLADO	60
4.1 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	60
4.2 TIEMPO DE DISPERSIÓN DE LA GOTA DE AGUA	61
4.3 SUAVIDAD	61
4.4 DIFERENCIA NANOTECNOLOGICA ENTRE EL PRODUCTO BASE Y EL PRODUCTO DESARROLLADO PARA LA EMPRESA DACETEX Ltda.	62
4.4.1 Influencia nanotecnológica en el desarrollo de la formulación del tensioactivo catiónico.	62
4.4.2 Análisis de las muestras mediante microscopia de fuerza atómica (AFM).	63
4.4.3 Metodología para el análisis de las muestras por microscopia de fuerza atómica (AFM).	64
5. CONDICIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL SUAVIZANTE.	68
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.	68
5.2 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	70
5.2.1 Balance de materia.	70
5.2.2 Balance de energía.	74
5.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	75
6. EVALUACIÓN DEL COSTO DEL PRODUCTO FINAL	88
7. CONCLUSIONES	91
8. RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFIA	93
ANEXOS	95

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema general del método de Sol-gel para síntesis de óxidos	28
Figura 2. Restricciones para el diseño de mezclas	29
Figura 3. Ejemplo de diseño de vértices extremos	30
Figura 4. Método de dispersión de la gota de agua sobre la fibra acrílica.	31
Figura 5. Método de semi inmersión para materiales textiles a nivel industrial	35
Figura 6. Curva de calentamiento del proceso de impregnación del producto en la fibra	36
Figura 7. Ensayo de volumen y esponjosidad	39
Figura 8. % de Absorción y tiempo de dispersión de la gota de agua vs Número de lavados	44
Figura 9. Esquema del experimento para el desarrollo de un tensioactivo catiónico	46
Figura 10. Esquema de representación del microscopio de fuerza atómica (AFM)	63
Figura 11. Topografía del TiO ₂ (sintetizado) diluido en agua	64
Figura 12. Topografía del producto base	65
Figura 13. Topografía del Tensioactivo catiónico	65
Figura 14. AFM en 3D del producto base	66
Figura 15. AFM en 3D del Tensioactivo catiónico	66
Figura 16. TiO ₂ Sintetizado	67
Figura 17. Formación de dióxido de titanio a partir de hidróxido de titanio	69
Figura 18. Reactor Batch	77
Figura 19. Tipos de agitadores	83
Figura 20. Agitador de turbina de palas	84
Figura 21. Número de potencia en función de Reynolds	86
Figura 22. Diagrama de flujo de proceso	104
Figura 23. Metodología de preparación de las muestras del diseño	105
Figura 24. Método sol gel: inicio de reacción	109
Figura 25. Formación del gel	109
Figura 26. Filtrado al vacío	110
Figura 27. Método Sol-gel: Hidróxido de titanio luego del filtrado	110
Figura 28. Tratamiento térmico	110
Figura 29. Dióxido de titanio	111
Figura 30. Preparación de las mezclas	111
Figura 31. Proceso de impregnación del suavizante	111
Figura 32. Tela sin tratar	112
Figura 33. Tela tratada	112

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Industria y productos generados a partir de tensioactivos no iónicos.	25
Tabla 2. Propiedades evaluadas para el producto Tubingal ACE	37
Tabla 3. Resultados obtenidos del porcentaje de absorción del producto base	40
Tabla 4. Resultados obtenidos del tiempo de dispersión de la gota de agua en la fibra acrílica impregnada con el producto base	41
Tabla 5. Resultados obtenidos del número de lavados que resiste el producto base en la fibra acrílica	41
Tabla 6. Resultados obtenidos del ensayo de volumen y esponjosidad de las fibras acrílicas	42
Tabla 7. Resultados obtenidos de la evaluación manual	42
Tabla 8. Resultados del % de absorción y tiempo de dispersión de la gota de agua	43
Tabla 9. Niveles del diseño de experimentos	47
Tabla 10. Composición de las muestras del diseño de experimentos	50
Tabla 11. Resultados de las variables estudiadas para la combinación de antiestático, humectante y TiO ₂	53
Tabla 12. Análisis de la varianza para cada una de las variables respuestas	55
Tabla 13. Análisis del valor -P para cada uno de los factores	56
Tabla 14. Combinación de los niveles de los factores para optimizar la variable respuesta (% de absorción)	57
Tabla 15. Combinación de los niveles de los factores para optimizar la variable respuesta (Tiempo de dispersión de la gota de agua)	58
Tabla 16. Combinación de los niveles de los factores para optimizar la variable respuesta (suavidad)	58
Tabla 17. Resultados de las variables respuesta para la muestra No 1 y los valores óptimos	59
Tabla 18. Composición de la Mezcla No 1	59
Tabla 19. Porcentajes de absorción para 3 muestras de fibras	60
Tabla 20. Resultados del análisis del tiempo de dispersión de la gota de agua	61
Tabla 21. Resultados del análisis de la suavidad (Ensayo de esponjosidad y volumen)	62
Tabla 22. Propiedades de los reactivos	70
Tabla 23. Moles de entrada y de salida del reactor	72
Tabla 24. Resultados obtenidos de acuerdo con el balance de materia.	73
Tabla 25. Especificaciones del reactor seleccionado	75
Tabla 26. Especificaciones del agitador	76
Tabla 27. Especificaciones de la camisa de enfriamiento	76
Tabla 28. Materiales de diseño	79
Tabla 29. Costo de materia prima para el proceso Sol-gel	88
Tabla 30. Costo de materia prima para el proceso de mezcla	89

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Porcentaje de absorción de agua en la fibra acrílica	30
Ecuación 2. Porcentaje de absorción de agua en la fibra acrílica	50
Ecuación 3. Cambio de la suavidad de las fibras	51
Ecuación 4. Calculo de moles	71
Ecuación 5. Grado avance de las reacciones	71
Ecuación 6. Calculo de masa por componente i	72
Ecuación 7. Balance de materia para el filtro	73
Ecuación 8. Balance de masa en el mezclador	74
Ecuación 9. Calor absorbido	74
Ecuación 10. Volumen del diseño	78
Ecuación 11. Presión de diseño	78
Ecuación 12. Temperatura de diseño	78
Ecuación 13. Volumen del tanque	79
Ecuación 14. Volumen sobredimensionado	80
Ecuación 15. Diámetro interno del tanque	80
Ecuación 16. Altura del cilindro	80
Ecuación 17. Volumen del cilindro	81
Ecuación 18. Volumen del tanque	82
Ecuación 19. Porcentaje de volumen ocupado	83
Ecuación 20. Relaciones geométricas	84
Ecuación 21. Número de Reynolds	85
Ecuación 22. Potencia del agitador	86
Ecuación 23. Precio por Kg utilizado	88
Ecuación 24. Costo materia prima para el proceso de Sol-gel	88
Ecuación 25. Costo Mano de obra	89
Ecuación 26. Costo servicios	90
Ecuación 27. Costo de producto	90
Ecuación 28. Precio de venta	90

LISTA DE REACCIONES

	pág.
Reacción 1. Reacción de esterificación	48
Reacción 2. Reacción de hidrólisis	48
Reacción 3. Formación de TiO ₂ sintetizado	49
Reacción 4. Reacción de esterificación	68
Reacción 5. Reacción de hidrólisis	68

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Fichas técnicas de las materias primas	96
Anexo B. Diagramas de flujo de los procesos involucrados	104
Anexo C. Fotografías del desarrollo experimental del proyecto	109

GLOSARIO

ANTIESTÁTICO: producto que proporciona a la fibra tacto y lisura, este puede ser un compuesto simple o una mezcla de varios compuestos, como por ejemplo, la mezcla de tensioactivos iónicos, catiónicos o pseudocatiónicos.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS: conjunto de técnicas activas que manipulan un proceso para inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo mediante los cambios en sus variables y su interacción o secuencia de ejecución.

DISPERSIÓN: se define como la acción de algo que se separa en varios fragmentos por haberse dividido.

COLOIDE: mezcla heterogénea que está compuesta por dos fases diferentes (fase dispersa y fase continua).

ÉSTER: compuesto derivado formalmente de la reacción química entre un ácido carboxílico y un alcohol.

ESTERIFICACIÓN: se denomina al proceso por el cual se sintetiza un éster.

FIBRA TEXTIL: se denomina fibra textil al conjunto de filamentos o hebras susceptibles de ser usados para formar hilos, bien sea mediante hilado, o mediante otros procesos químicos.

HIDROFILIDAD: propiedad de las prendas terminadas que representan el confort de las mismas para la absorción del sudor y su capacidad de eliminarlo rápidamente.

HIDRÓLISIS: es una reacción entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual el agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

HIDRÓFUGO: producto o sustancia que evita la humedad o las filtraciones de diferentes superficies.

MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA: es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los nanonewton. Al analizar la muestra, se registra continuamente la altura sobre la superficie de una sonda o punta cristalina de forma piramidal.

PRECURSORES: compuestos metal-orgánicos, alcóxidos metálicos, acetatos y alcanos los cuales son compuestos orgánicos que contienen un metal dentro de su estructura química.

SUAVIDAD: cualidad de lo que se presenta liso y blando al tacto.

RESUMEN

Tras la importancia comercial de los suavizantes textiles se ha visto la necesidad de explorar dicho mercado, despertando gran interés en las compañías productoras para fabricar nuevos productos con diferentes tecnologías, con el fin de realizar una formulación que produzca un efecto sobre los textiles, mejorando el cambio de las propiedades táctiles, mecánicas y de aspecto de los mismos. La investigación de este proyecto se centró en encontrar la formulación de un tensioactivo catiónico que le pueda brindar a la fibra acrílica diferentes propiedades como hidrofiliidad, suavidad, lisura, volumen entre otros. Se busca sustituir el producto, que en la actualidad las empresas consumidoras se ven obligadas a importar generando un aumento en los costos y tiempos de producción de las fibras acrílicas debido que al necesitar un suavizante deben realizar pedidos mínimos de un container traído directamente desde Europa, el cual genera inversiones altas en la cadena logística, tiempos de espera, horas hombre para logística, espacios de inventarios en bodegas, control de vencimiento de lotes, costos en transporte marítimo y local terrestre, impuestos y gravámenes.

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionaron tres materias primas diferentes como son el antiestático, el humectante y TiO_2 este último compuesto se sintetizó mediante el proceso de sol-gel con el fin de obtener nanopartículas y generar un producto que pueda impartirle a la fibra la propiedad de hidrofiliidad.

Mediante un diseño de vértices extremos, se realizaron 13 combinaciones con una réplica para la formulación del suavizante, en el cual se variaron las cantidades de las materias primas para cada combinación; en total se prepararon 26 muestras. A cada muestra se le midió el porcentaje de absorción, el tiempo de dispersión de la gota de agua y la suavidad, ya que estas son las variables de respuesta escogidas para determinar el producto final. Luego de tabular y analizar estadísticamente los resultados de las variables estudiadas en cada una de las muestras, posteriormente se seleccionó una fórmula que cumplió con los límites de aprobación descritos en el presente proyecto.

Luego de haber determinado la formulación que cumpliera con los límites de aprobación se realizó un análisis comparativo entre el producto base TUBINGAL ACE de la empresa CHT y el producto desarrollado para la empresa Dacetex Ltda.

Una vez se especificó la composición de la formulación del tensioactivo catiónico desarrollado se realizó un escalamiento del proceso y un dimensionamiento de cada uno de los equipos a usar en una planta piloto con su respectivo balance de materia y energía.

Finalmente se hizo un análisis financiero mediante el flujo de caja y el VPN del proyecto de costos preliminar con el fin de calcular la viabilidad financiera.

Palabras claves: Tensioactivo catiónico, suavizantes, método sol-gel, Fibra acrílica, Síntesis TiO_2 , Suavidad, impregnación suavizante, coloide.

INTRODUCCIÓN

En Colombia la producción de fibras textiles se ha convertido en una parte fundamental del PIB¹, 9.2% de la industria manufacturera para el año 2014 según la superintendencia de sociedades de Colombia, esto indica que la necesidad de implementación y uso de materias primas y auxiliares sean de gran demanda a la hora de la transformación y generación de un producto final. En este punto, es donde el suavizante tensioactivo catiónico identificado como un auxiliar textil tiene un papel fundamental en el desarrollo de las fibras acrílicas, debido a que aporta características importantes entre las que se destaca la suavidad de las fibras acrílicas mejorando el sentido del tacto y el gusto de los consumidores por el producto final debido a que será más agradable y liso al contacto físico con dicho material.

La necesidad de poder controlar y caracterizar la suavidad de los tejidos, la difícil consecución local de suavizantes para el mercado textil en Colombia en específico para la producción de las fibras acrílicas, y el aumento del uso de suavizantes importados hace que en la industria colombiana existan oportunidades de negocio entorno al desarrollo de la formulación de un suavizante nacional que garantice la sustitución de los suavizantes extranjeros.

Para el desarrollo de nuevos productos que garanticen la satisfacción de los clientes se requiere de la aplicación de técnicas avanzadas y limpias. En este aspecto se ha determinado el objetivo de esta investigación, enfocado en el desarrollo de un tensioactivo catiónico implementando la técnica del método de sol-gel para la obtención de dióxido de titanio sintetizado el cual es utilizado como materia prima principal.

En este trabajo se estudia el proceso de sol-gel el cual es un método no convencional utilizado para la síntesis de compuestos metal-orgánicos amorfos y policristalinos con características especiales en su composición y propiedades. Su utilidad radica en que necesita menor temperatura en comparación con los métodos tradicionales.²

¹Vélez Cabrera, Luis G; Rodríguez López, Eric F; Camacho Ríos, María T. Informe "Desempeño del sector textil confección 2008-2012". Superintendencia de sociedades, Colombia (2013); pág 5.

² Castañeda Contreras, J. "Fabricación de materiales amorfos y policristalinos con la ruta sol-gel". Centro universitario de Los Lagos, Universidad de Guadalajara. México. En línea: <http://www.smf.mx/boletin/2006/Bol-20-1/Articulos/sol-gel>.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un tensioactivo catiónico mediante el proceso de sol-gel para uso en las fibras acrílicas a nivel de laboratorio.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar las propiedades generadas por el producto base en la fibra acrílica.
- Desarrollar la formulación del tensioactivo catiónico mediante el proceso de sol-gel.
- Analizar las propiedades obtenidas en la fibra acrílica generadas por el producto desarrollado y el producto base
- Evaluar el costo del producto final de un tensioactivo catiónico mediante el proceso de sol-gel.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 MARCO TEORICO

Para el desarrollo de la formulación del tensioactivo catiónico del presente proyecto se tuvo en cuenta dos empresas implicadas ya que estas poseen una amplia experiencia en cuanto a la producción de auxiliares textiles para dar un mejor acabado a las fibras y tejidos, las cuales son:

- **CHT (Smart chemistry with character).** Es un grupo de empresas que ofrecen productos químicos especiales y servicios innovadores de alta calidad a numerosos sectores industriales y diferentes mercados para cumplir los máximos requerimientos de las empresas consumidoras.³

Entre los sectores industriales están:

- ✓ Auxiliares textiles: La empresa CHT fabrica productos que ayudan a mejorar la calidad, la funcionalidad y el rendimiento de tejidos.
- ✓ Soluciones industriales: Fabricación de productos como siliconas, pinturas y recubrimientos, materiales de construcción, papel, agricultura y cuero.
- ✓ Ciencia y soluciones de servicio: Soporte, innovación y seguridad en la fabricación de diferentes productos.

- **DACETEX Ltda.** Dacetex es una empresa dedicada a la producción y solución de las necesidades de la industria textil, mediante el desarrollo e innovación de formulaciones de excelente calidad y amigables con el medio ambiente.

1.1.1 Generalidades de las fibras. Las fibras textiles son polímeros lineales, con estructuras unidimensionales, largas y delgadas, las cuales tienen como propósito formar hilazas, se pueden clasificar en tres clases a) Fibras Naturales, b) Fibras Artificiales y c) fibras sintéticas. Las características de una fibra textil está determinada por su flexibilidad, finura, gran longitud referida a su tamaño (relación longitud/diámetro: de 500 a 1000 veces), resistencia, aspecto, finura, etc.⁴

Por otro lado, según el DANE y la ANDI, la industria textil en Colombia, ha realizado exportaciones de productos como tejidos y fibras a países como: Brasil, Estados Unidos, Ecuador y México, consolidándose como una de las industrias que ha sido influyente en el desarrollo de la economía Colombiana ya que la actividad manufacturera y de servicios de este sector ha generado empleo durante más de 80 años.

³ CHT. "Productos químicos para cumplir los máximos requerimientos". En línea: https://www.cht.com/cht/web.nsf/id/pa_es_startseite.html

⁴ANÓNIMO. "Tecnología de la confección textil". Detextiles Colombia. En línea: <http://www.detextiles.com/files/FIBRAS%20TEXTILES.pdf>; Cap. 3. Pág. 1.

1.1.2 Propiedades de las fibras. Las propiedades textiles que provee toda fibra están determinada por la naturaleza de la estructura externa (propiedades físicas), composición química (propiedades químicas) y estructura interna (forma en su sección transversal).⁵

a). Estructura externa: las propiedades que se encuentran entre la estructura externa o morfología de las fibras textiles son:

- Finura
- Longitud
- Higroscopicidad

b). Estructura interna: las fibras están compuestas por millones de cadenas moleculares que mediante el proceso de polimerización en el cual se unen pequeñas moléculas o monómeros entre sí para formar cadenas largas para darle resistencia a la fibra.

Las cadenas moleculares tienen diferentes configuraciones las cuales proporcionan distintas propiedades a las fibras como lo son:

- Resistencia a la abrasión
- Absorbencia de humedad
- Reactividad química
- Cohesión entre fibras
- Capacidad de tintura
- Elasticidad
- Conductividad eléctrica
- Sensibilidad al calor
- Resiliencia
- Resistencia

1.1.3 Tipos de fibras. Fibras Naturales: son fibras obtenidas mediante una planta o un animal. Se subdividen en:

a) Fibras Vegetales: tienen como base fundamental la Celulosa el cual es un componente esencial en la estructura de las plantas, este componente le da a la fibra ciertas propiedades como lo son: resistencia térmica, afinidad al teñido, alta higroscopicidad. Las fibras vegetales se clasifican según de la parte de la planta que provienen.

Las fibras celulósicas difieren en su estructura interna pero su composición química es similar, la cual les genera ciertas propiedades textiles que son comunes entre ellas, como son:

³ GIL, Ángela y SALDAÑA, Julia. "Fibras Textiles". Textos de introducción básicos (TINS)/UTP. En línea: <http://aulavirtual.utp.edu.pe/file/20111/IE/E4/02/P110/20111IEE402P110T083.pdf>. (Lima, PERÚ); Pág. 15

- Buena absorbencia
- Buen conducto de calor
- Capacidad de soportar temperaturas altas
- Baja Resiliencia
- Resistencia moderada a la luz solar

b) Fibras Animales: tienen como sustancia básica la proteína la cual compone la mayor parte del cuerpo animal.

Las fibras proteicas son extraídas de la lana y los pelos finos de los animales.

Propiedades comunes de todas las fibras proteicas son:

- Resiliencia: son resistentes al arrugamiento.
- Higroscopia: confortables en clima fresco y húmedo
- Resistencia a productos álcalis: Son poco resistentes a los jabones o detergentes neutros.
- Resistencia al calor seco: la lana se hace rígida y quebradiza al ser expuesta al calor seco.
- Resistencia a la llama: no se queman con facilidad son autoextinguibles.

c) Fibras minerales: son de limitada importancia en la industria textil, la fibra más utilizada en el sector textil es el Asbesto con la que se desarrollan telas con propiedades aislantes y antinflamantes.

Fibras Sintéticas: la producción se hace mediante la combinación de elementos químicos simples (monómeros). Estas fibras están hechas de polímeros sintetizados a partir de elementos químicos o de compuestos desarrollados por la industria petroquímica.⁶

Las fibras sintéticas se pueden clasificar según los elementos que se utilizan, la forma como se unen como polímeros y el método de hilatura empleado.⁷ Una de las clasificaciones mencionadas es la forma como se unen como polímeros, es decir la forma de obtención de las fibras entre los métodos contemplados en esta clasificación se encuentran la policondensación y la polimerización. En la policondensación se pueden obtener fibras como el Nylon, Perlon y a partir de productos derivados del PET (Tereftalato de polietileno) y el Poliéster se pueden obtener fibras como Mylar, Melinex Tergal, Terlenka, Dacrón, etc.

⁶ LEE, Ivester y NEEFUS, John. "Industrias textiles y de la confección". En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Pág. 16-18

Mediante el proceso de polimerización se generan fibras acrílicas (Acrilán, Orlón, etc); fibras polivinílicas (Rhovyl, Thermovyl, etc); fibras olefínicas o de polietileno, fibras de polipropileno y fibras de poliuretano.

La clasificación de las fibras sintéticas que se utilizan comercialmente es:

- Poliamidas (Nylon): la base para la producción del nylon es el benceno, esta se puede presentar en dos formas principales como lo son la rígida y fibra. Este compuesto es resistente al rozamiento y al desgaste por agentes químicos.
- Poliésteres: este tipo de fibras es producto de la condensación de alcoholes y ácidos orgánicos formando así un material de cadena larga de moléculas y un enlace éster como parte de la cadena. El único que tiene importancia como material textil, es el ácido tereftálico y el etilenglicol.
- Poliacrilonitrilo (PAC): se fabrica mediante la polimerización de acrilonitrilo, estas fibras denominadas fibras acrílicas son resistentes a los compuestos químicos orgánicos como por ejemplo los fenoles, alcoholes, ácido carboxílico, etc.

Las propiedades de las fibras acrílicas son:

- ✓ Resistentes a los ácidos débiles.
 - ✓ Resistentes a la luz solar.
 - ✓ Por su naturaleza es hidrofóbica.
- Polivinilos: es un polímero el cual se obtiene mediante la polimerización de monómeros que contengan acetato de vinilo, estas fibras se caracterizan por ser muy resistentes a la luz y a la intemperie.
 - En la actualidad estas fibras son empleadas en la fabricación de tejidos de punto debido a que se pueden teñir con colores muy intensos.
 - Poliuretanos: estas fibras, que se obtienen por polimerización del uretano (carbonato de etilo: $H_2N-COO-CH_2-CH_3$), son muy elásticas y se emplean en la confección de prendas de deporte, bañadores, prendas de corsetería, etc.⁸

1.1.4 Generalidades de los tensioactivos Los suavizantes o también conocidos como tensioactivos, son productos químicos que modifican la superficie de las fibras textiles ejerciendo un efecto en la superficie de contacto mediante la modificación de su tensión superficial.

Según lo dictado en la norma técnica colombiana NTC 3287 se establece que: “Un suavizante para ropa es un producto o compuesto que neutraliza las cargas electrostáticas presentes en los textiles, con el fin de impartir suavidad a la tela”⁹,

⁸Anónimo. “Materiales y Fibras textiles”. Tecnología industrial. En línea: http://aulavirtual.maristasmediterranea.com/pluginfile.php/102826/mod_resource/content/1/UD%202.7%20MATERIALES%20Y%20FIBRAS%20TEXTILES.pdf.(2012); Pág. 14-15.

⁹ 1INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS (ICONTEC). Jabones detergentes. Suavizantes líquidos para ropa. Primera actualización. NTC 3287. Bogotá D.C., 2008; Pág. 1.

por ende estos productos han sido ampliamente usados como auxiliares en la industria textil, los cuales tienen como función otorgar una serie de propiedades a la fibra que son requeridas por el consumidor, entre estas propiedades podemos encontrar la mejora al sentido del tacto, ya que estos productos buscan hacer la fibra más suave y lisa.

“Dentro de la molécula de los agentes tensioactivos se pueden encontrar un grupo hidrófilo y otro lipófilo. El grupo hidrófilo ejerce un efecto solubilizante y tiende a llevar a la molécula a disolución completa. El grupo lipófilo, en cambio, es debido a su insolubilidad tiende a contrarrestar la tendencia del otro”.¹⁰

1.1.5 Tipos de tensioactivos

- Tensioactivos aniónicos: Los tensioactivos aniónicos están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que contiene de 10 a 15 átomos de carbono, la cual se encuentra constituida por un grupo hidrofóbico y otro hidrofílico en el que se encuentra un anión.

Este tipo de tensioactivos son derivados del ion sulfato o de sulfonatos como por ejemplo el Dodecil Sulfato de Sodio.

- Tensioactivos anfóteros o anfotéricos: estos productos presentan en su molécula grupos aniónicos y catiónicos, los cuales están constituidos por una cadena grasa y un nitrógeno cuaternario.
Son productos considerados completamente estables a la exposición de compuestos químicos como ácidos y álcalis. Entre sus aplicaciones se encuentra en el sector cosmético ya que este no genera ningún riesgo para la salud, además son ampliamente usados como inhibidores de la corrosión y en neutralización de cargas.
- Tensioactivos no iónicos: los surfactantes o tensioactivos no iónicos son productos derivados principalmente de polioxietilenados, polioxipropilenados y de anhídridos del sorbitán, grasas, etc. Estos productos son estables químicamente ya que su naturaleza química lo hace compatible con otros tensioactivos aniónicos, catiónicos y coloides cargados positiva y negativamente. Gracias a sus propiedades y características es considerado como una de las materias primas más importantes para la formulación de diversos productos industriales tales como se muestran en la tabla 1.

¹⁰ Anónimo. “Tensión superficial”. Universidad de Florida. En línea: <http://fsz.ifas.ufl.edu/surfacetensionandcapillarity/html/tensioactivos.htm>.

Tabla 1. Industria y productos generados a partir de tensioactivos no iónicos.

Industria	Productos
Agricultura	Concentrados emulsionables
Látex	Emulsionantes primarios y coemulsionantes
Curtido	Desengrase, teñido, engrasado
Textiles	Blanqueado, teñido, descruce
Pinturas(en emulsión)	Humectación y dispersión de pigmentos
Petróleo	Tratamiento de pozo de gas, aditivos para lodos de perforación
Agentes limpiadores	Limpiadores de pisos, detergentes

Fuente. Síntesis de pigmentos cerámicos por métodos no convencionales: Técnica Sol-Gel. Recuperado marzo/23/2017. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/39725/1/79219018.2014.pdf>, 2013.

- Tensioactivos Catiónicos: son compuestos de amonio cuaternario (grupo hidrofílico) con cadenas largas de grasas (grupo hidrofóbico), que actualmente predominan en el mercado puesto que son productos que dan mayor suavidad y pueden ser usados para todas las fibras, además imparten un efecto antiestático sobre los tejidos de fibras sintéticas.

Las formulaciones de los tensioactivos catiónicos pueden ser simples formulaciones que contienen de dos a tres componentes o formulaciones que son más complejas la cual puede contener hasta 20 compuestos.

Las formulaciones de los tensioactivos suelen tener los siguientes compuestos:

- ✓ Antiestáticos: son aquellos productos generados solo para proporcionar a la tela tacto y lisura, se puede encontrar un producto simple o mezcla de varios compuestos, como por ejemplo, la mezcla de uno, dos o más tensioactivos ya sean catiónicos o no-iónicos.
- ✓ Auxiliares de formulación: se usan para modificar la viscosidad del producto, buscando su fluidez y estabilidad al almacenaje.
- ✓ Auxiliares de agotamiento: estos productos pueden ser desde simples controladores de pH a sistemas más complejos para emulsiones pseudocatiónicas.

- ✓ Agentes de conservación: este agente se utiliza para prevenir que el producto se descomponga fácilmente y haya crecimiento de moho dentro del mismo.
- ✓ Perfumes: estos productos son utilizados para impartir un olor que se apropiado para el consumidor, pero no es que sea usado a nivel industrial.
- ✓ Humectantes, utilizados en preparaciones industriales que estén previstas para ser aplicadas al tejido.
- ✓ Pigmentos y bloqueantes ópticos, los cuales son añadidos en pequeño porcentaje para dar una mejor apariencia al producto.

Las propiedades generadas en la fibra pueden verse modificadas por el efecto que proporciona el tensioactivo catiónico, como por ejemplo:

- ✓ Resistencia a la abrasión: mediante la impregnación del suavizante en las fibras se genera una lubricación por ende hay una reducción en la resistencia dinámica de la misma, y mejora así la resistencia a la abrasión en las prendas textiles.
- ✓ Resistencia del desgarro: el efecto lubricante entre las fibras mediante suavizante, permite aumentar su capacidad de estirado en un 10 a 15 %,
- ✓ Propiedad de rehumectación o porcentaje de absorción: esta propiedad es muy importante puesto que da una indicación de la capacidad de absorción de agua que presenta el tejido después del tratamiento de impregnación con el tensioactivo. Este efecto está relacionado con la concentración del suavizante utilizado y con su estructura química y su carácter hidrófugo al situarse en la superficie de la fibra.¹¹
- ✓ Duración del efecto suavizante: los suavizantes catiónicos que son fijados con un débil intercambio iónico muestran una durabilidad limitada.

1.1.6 Especificaciones del producto. Los tensioactivos catiónicos tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial en una interface aire-agua o grasa-agua; como consecuencia de esta disminución esta sustancia tiene el poder detergente o la capacidad de eliminar la suciedad y la grasa de la superficie de un tejido, como también el poder mojante que hace que el agua impregne una superficie de forma homogénea. Debido a estas propiedades los tensioactivos catiónicos tienen aplicaciones muy importantes como por ejemplo destinadas a la fabricación de detergentes o suavizantes para el ennoblecimiento de textiles.

Los auxiliares textiles empleados para generar diversos acabados a las fibras, deben tener ciertas especificaciones que cumplan con los requerimientos del consumidor, a continuación se encuentran las principales características que debe tener un tensioactivo catiónico:

- Apariencia. El producto desarrollado debe contener una sustancia homogénea que contenga una sola fase visible.
- Color. Es un aspecto de diferenciación del producto, genera una impresión

¹¹ GIL, Ángela y SALDAÑA, Julia. "Fibras Textiles". Textos de introducción básicos (TINS)/UTP. En línea: <http://aulavirtual.utp.edu.pe/file/20111/IE/E4/02/PI10/20111IEE402PI10T083.pdf>. (Lima, PERÚ); Pág. 22

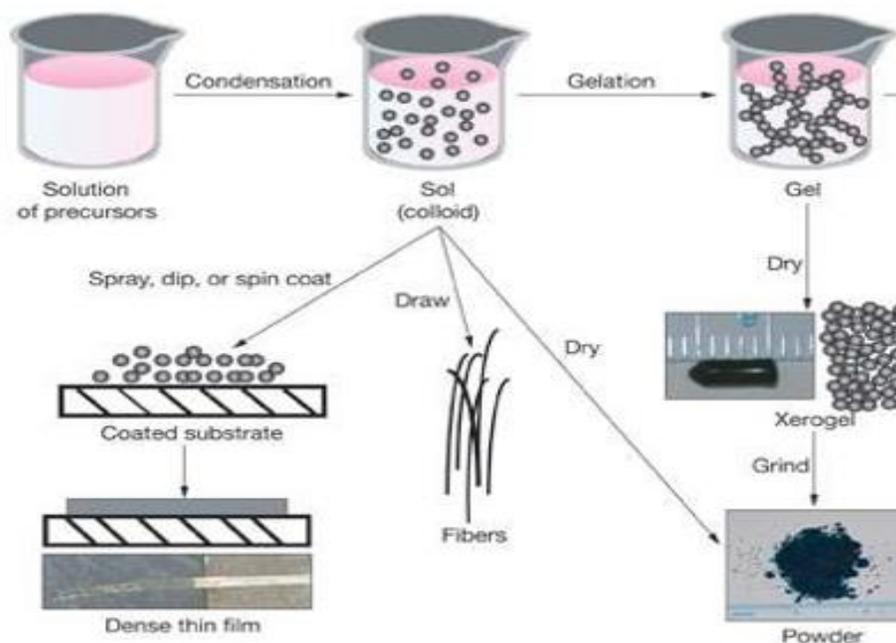
agradable para el consumidor y al ser aplicado en el tejido pueden disminuir los matices pálidos que posea. El color debe ser homogéneo en todo el producto, pero puede verse alterado debido al grado de oxidación que presente el suavizante o sus materias primas.

- Olor: En el producto desarrollado el olor es uno de los factores más importantes y evaluados por los consumidores, este debe ser inodoro puesto que es un auxiliar utilizado a nivel industrial.
- pH: En la etapa final de la cadena de producción de los suavizantes se debe realizar el control de pH (un pH neutro entre 6 y 7); ya que este parámetro influye en la solubilidad del suavizante en el agua, en su compatibilidad con los aditivos de la formulación y en el agotamiento del suavizante por parte de las fibras, entre otros.
- Estabilidad: La estabilidad de un producto se considera relativa debido a que es una variable que depende del tiempo y se encuentra en función de factores que aceleran o retardan alteraciones en el producto.

1.1.7 Método de sol-gel. Es un proceso alternativo en la producción de soportes altamente estequiométricos y estables de los cuales se obtiene propiedades físico químicas reguladas. Este método se basa en la hidrólisis y en la condensación de compuestos inorgánicos o coordinados como los son los alcóxidos y complejos teniendo en cuenta algunas condiciones que se controlan como el pH, concentración y la naturaleza de los reactivos. El método sol gel es una ruta para la preparación de óxidos metálicos en forma de película delgada, polvo o como un material denso; parte de la obtención de un “sol” o partículas coloidales con tamaño inferior a los 100 nm en un líquido.

Este proceso inicia con la formación de una suspensión coloidal (denominada sol) y su posterior gelificación formando una red en una fase líquida continua (denominada gel), seguido de un tratamiento térmico bajo.

Figura 1. Esquema general del método de Sol-gel para síntesis de óxidos



Fuente. Síntesis de pigmentos cerámicos por métodos no convencionales: Técnica Sol-Gel. Recuperado marzo/23/2017. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/39725/1/79219018.2014.pdf>, 2013.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL MÉTODO SOL-GEL

Entre las principales ventajas del método Sol-gel están:

- Posibilidad de obtener materiales de diferentes formas de nanopartículas como fibras, esferas, etc.
- Baja temperatura durante el proceso lo que conlleva a un ahorro de energía, mínima pérdida de evaporación de la sustancia coloidal y mínima contaminación de aire.
- Obtención de nuevos sólidos cristalinos y no cristalinos, ya que es posible controlar y modificar cada una de las etapas del proceso.
- Es un proceso por el cual se pueden mejorar las características de los óxidos sintetizados.

Los inconvenientes más relevantes durante el método Sol-gel son:

- Elevado costo de las materias primas.

- Problemas de reducción en cuanto al volumen del óxido sintetizado durante el secado.
- Larga duración del proceso.

1.1.8 Diseño de experimentos. La formulación de mezclas a través de la historia se abordaba por el método de ensayo y error en el que las proporciones de los componentes de las mezclas se establecían de manera arbitraria y de acuerdo a los resultados se escogía la mezcla que cumpliera las propiedades de interés sin necesidad de que sea la óptima; las condiciones exigidas en el método de ensayo y error lo convierte en un método inviable, costoso y demorado lo que ha ocasionado que la industria tenga en consideración métodos más eficientes para la formulación de mezclas y es en ese punto donde nace el diseño de experimentos de mezclas. Este diseño de experimentos consta de un número determinado de componentes denominados con la letra q y en realizar un conjunto de experimentos en los que se prueban combinaciones particulares de dichos componentes, con el fin de estudiar el efecto sobre la variable respuesta al modificar dos o más factores. De igual forma, permite establecer la combinación adecuada entre las variables que se controlan.

En este proyecto se tiene en cuenta el diseño de mezclas donde su principal característica son las proporciones de las mezclas. Las proporciones de las mezclas siendo X_1, X_2, \dots, X_q siempre tienen que satisfacer dos restricciones:

Figura 2. Restricciones para el diseño de mezclas

$$0 \leq X_i \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^q X_i = 1$$

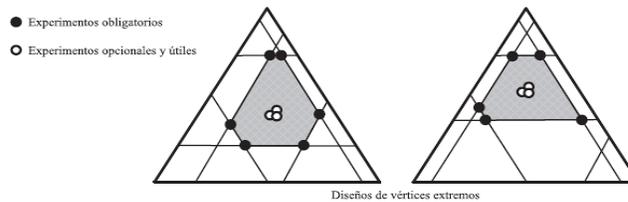
Fuente. Diseño de mezclas en formulaciones industriales. Disponible en: <http://dyna.medellin.una.edu.co/>. [29 de septiembre del 2014].

Estas restricciones indican que la suma de todos los componentes involucrados en la mezcla debe ser del 100%.

Cuando dentro del diseño de experimentos contamos con restricciones adicionales ya sean límites inferiores y/o superiores o restricciones lineales la región experimental ya no es regular y la forma depende de la ubicación de las restricciones y debido a esto se utiliza un diseño de vértices extremos. Este diseño permite al investigador predecir la formulación dentro de la región experimental utilizada para ajustar el modelo; encontrando así, la composición de la mezcla que corresponda a un perfil de respuesta óptima como también puede cuantificar la

influencia que tienen los diferentes componentes sobre la respuesta, tanto en forma individual como en su acción conjunta con otros componentes.¹²

Figura 3. Ejemplo de diseño de vértices extremos.



Fuente. Enksson, 1998

1.1.9 Metodología de medición de las variables respuesta del diseño de experimentos. Los métodos utilizados para evaluar las variables de respuesta son el porcentaje de absorción, suavidad, y tiempo de dispersión de la gota de agua.

- **Porcentaje de absorción.** Las fibras acrílicas se caracterizan por ser hidrofóbicas y debido a esto tiene una alta gama de aplicaciones en el mercado. Hoy en día se utilizan diferentes productos con el fin de cambiar la polaridad de la fibra acrílica y permitir que esta se vuelva hidrofílica. El cálculo del porcentaje de absorción se llevará a cabo utilizando una relación (Ecuación 1) en el que se mide el peso de la tela antes y después de agregar 5 ml de agua y así poder determinar cuál es su porcentaje de absorción de agua en cada una de las muestras.

Ecuación 1. Porcentaje de absorción de agua en la fibra acrílica

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(P - S)}{P} \times 100$$

Fuente. Fibras Textiles disponibles en: <http://aulavirtual.utp.edu.pe/file/20111/IE/E4/02/PI10/20111IEE402PI10T083.pdf>.

En donde P es el peso de la fibra húmeda (fibra mojada), S es el peso de la fibra en seco.

¹² ORTEGA, Diana; BUSTAMANTE, Moisés; GUTIERREZ, Derly y CORREA, Alexander. "Mixture experiments in industrial formulations". Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. En línea [2014]: Disponible en: <http://dyna.medellin.una.edu.co/>. Pág. 151

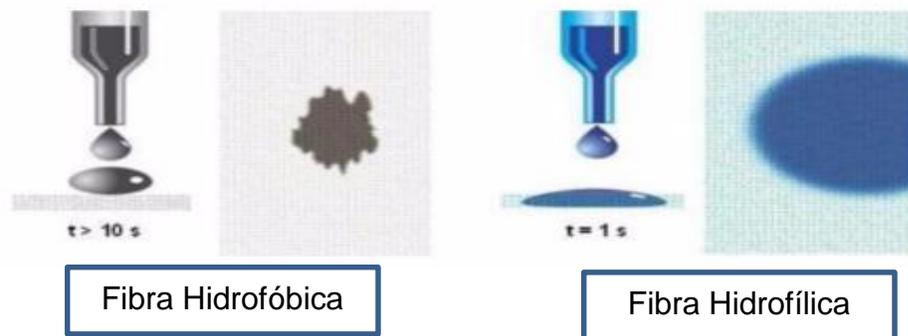
- **Tiempo de dispersión de la gota de agua.** En la industria textil para el control de calidad al producto acabado se realiza el método de dispersión de la gota de agua para evaluar la hidrofilidad de la fibra (afinidad por el agua), esta propiedad es importante ya que así se puede determinar la capacidad que tiene el tejido de absorber.

Un tejido con baja hidrofilidad (tejido hidrofóbico) tardará más tiempo en absorber cierta cantidad de agua por lo tanto no podrá captar el baño de teñido.

Mediante el proceso de impregnación y fijación del producto desarrollado esta prueba se realiza con el fin de observar la propiedad hidrofílica que es impartida en la fibra acrílica.

Este método consiste en agregar una gota de agua al tejido y medir el tiempo con que se absorbe o se dispersa la gota.

Figura 4. Método de dispersión de la gota de agua sobre la fibra acrílica.



Fuente. La industria textil y su control de calidad. Disponible en: https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/v._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad. [Noviembre del 2012].

- **Ensayo de volumen y esponjosidad.** Es un método comparativo entre una muestra de la fibra acrílica que no ha sido impregnada por el producto (muestra blanco) y otra muestra de la misma la cual si ha sido impregnada anteriormente. Este método consiste que mediante el proceso de impregnación se adicione una cantidad de suavizante del producto base a varios tejidos de la fibra acrílica cruda de 10x10 cm; luego de ser impregnadas las muestras de tejido se dejan secar naturalmente al sol, y al estar totalmente secas se arman columnas con la misma cantidad de tejidos de 10x10 cm , para así medir su altura, esta medida se comparará con la altura de un blanco al cual no se le somete al proceso de impregnación del suavizante. Los tejidos con mayor suavidad son los que presenten mayor altura de columna, la teoría muestra que la suavidad y la “esponjosidad” son directamente proporcionales, se espera que las muestras impregnadas tengan una altura superior a la del blanco.

1.1.10 Marco legal. La norma técnica colombiana (NTC) 5604, norma en la cual se muestran los métodos de ensayo más apropiados para establecer las especificaciones del producto y realizar el control de calidad de detergentes, jabones y todos los productos similares como también indica la forma apropiada de tomar las muestras a utilizar en cada uno de los procedimientos experimentales. La norma técnica colombiana (NTC) 545 esta norma permite conocer cada uno de los términos utilizados en la industria de los jabones y los detergentes.

La Asociación de profesionales de textiles, prendas de vestir y materiales AATCC 107 “RESISTENCIA AL AGUA”. Este método mide la resistencia al agua de hilados y de tejidos textiles teñidos, impresos o de cualquier otro color.

2. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DEL PRODUCTO BASE EN LA FIBRA ACRÍLICA

En la actualidad la producción industrial de los suavizantes ha tenido mayor importancia debido a que estos productos son implementados como auxiliares en la fabricación de textiles, a través de estos productos se busca darle un acabado especial a las fibras dándole así diferentes propiedades deseables por los usuarios, una de las más importantes es la mejora al sentido del tacto, ya que este les genera a los tejidos una mayor suavidad y lisura.

La industria textil tiene como necesidad de controlar y caracterizar la suavidad de los tejidos buscando que las fibras sintéticas tengan propiedades similares a las fibras naturales. Para esto hoy en día se han desarrollado diferentes formulaciones en donde se ha tenido en cuenta que tan especializado será el producto, por lo anterior las empresas colombianas que son productoras de textiles se ven obligadas a importar diferentes productos para darle así un mejor acabado al tejido ya que a nivel nacional no hay un mercado que proporcione un producto que cumpla con las necesidades del consumidor.

Para el desarrollo de una nueva formulación para el presente proyecto que cumpla con las especificaciones requeridas por las empresas consumidoras, se tomó como base el producto fabricado por la empresa CHT el cual es TUBINGAL ACE, este producto es importado por una de las empresas comercializadoras y fabricantes de textiles en Colombia el cual le genera ciertas propiedades como hidrofiliidad, suavidad, esponjocidad y volumen para así proporcionar un mejor acabado a las fibras acrílicas.

2.1 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO BASE

CHT es una empresa dedicada a la producción de diferentes compuestos químicos los cuales son utilizados para diferentes sectores de la industria, como por ejemplo generadores de funciones, materiales auxiliares y aditivos para procesos industriales. Durante muchos años esta empresa ha sido caracterizada por tener dos puntos fuertes dentro de la estructura de desarrollo de producto de su empresa las cuales son la “solución en textiles” y “soluciones de la industria”, por lo cual para el desarrollo de este trabajo de grado se tendrá en cuenta la solución en textiles.

Dentro de las soluciones textiles la empresa CHT posee un amplio portafolio de productos para el cuidado textil ya que en el proceso de acabados para la fibra acrílica se encuentran diferentes tratamientos como lo son el lavado, blanqueo y teñido, los cuales hacen que todos estos pasos sean estresantes para la fibra y la mayoría de sus propiedades se pierden a lo largo del proceso; La tarea del producto base llamado TUBINGAL ACE es generar en el textil acrílico final con un acabado suave y que le otorgue a la misma propiedades importantes como lo es la hidrofiliidad, suavidad y resistencia a un mínimo de lavados; este producto actúa

como bálsamo para los textiles y hace que las fibras sean suaves y flexibles de nuevo para garantizar un procesamiento sin problemas adicionales que se puedan presentar al final del proceso de producción del textil hecho en fibra acrílica.

La exigencia del mercado por productos de calidad también impulsó a la industria a desarrollar nuevas formulaciones con ciertas propiedades que le otorguen un valor agregado en la industria textil y satisfaga las necesidades del consumidor. El producto TUBINGAL ACE es un tensioactivo Pseudo que puede ser aplicado a todo tipo de fibras el cual le otorga diferentes propiedades tales como:

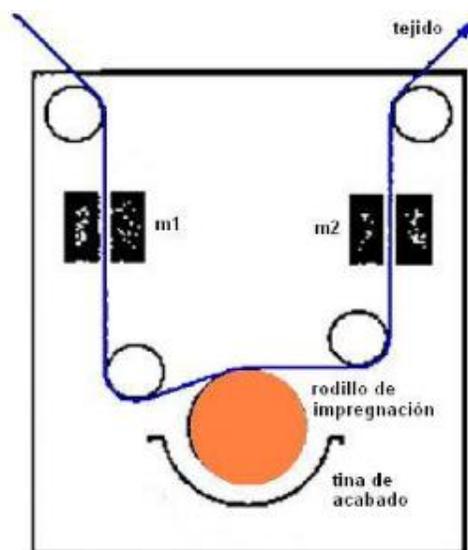
- Hidrofilidad
- Volumen y esponjosidad
- Excelente estabilidad en valores alcalinos de pH
- Muy buena estabilidad a las fuerzas de corte
- Suavidad y lisura

2.2 ACABADO TEXTIL: MÉTODO DE IMPREGNACIÓN DE AGENTES QUÍMICOS

Para la impregnación el agua es el medio más común como disolvente para aplicar los diferentes acabados que necesita el material textil entre los cuales está el proceso de impregnación del suavizante o también denominado suavizado. Este proceso se efectúa con el fin de mejorar las características de suavidad de un tejido, siempre considerando su composición y propiedades.

Para el método de impregnación de la tela se debe tener en cuenta las condiciones de proceso de la planta en donde se lleva a cabo la fijación de los productos finales que llevará la fibra acrílica una vez transformada; a nivel industrial este proceso se lleva a cabo mediante el método de semi inmersión como se muestra en la figura 5, el cual consta de un rodillo de impregnación este es parcialmente sumergido en el baño de suavizado, gira y toca la tela a cierta velocidad para lograr la aplicación de la cantidad deseada de la solución.

Figura 5. Método de semi inmersión para materiales textiles a nivel industrial



Fuente. La industria textil y su control de calidad. Recuperado marzo/25/2017. Disponible en: https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/v._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad. Noviembre del 2012.

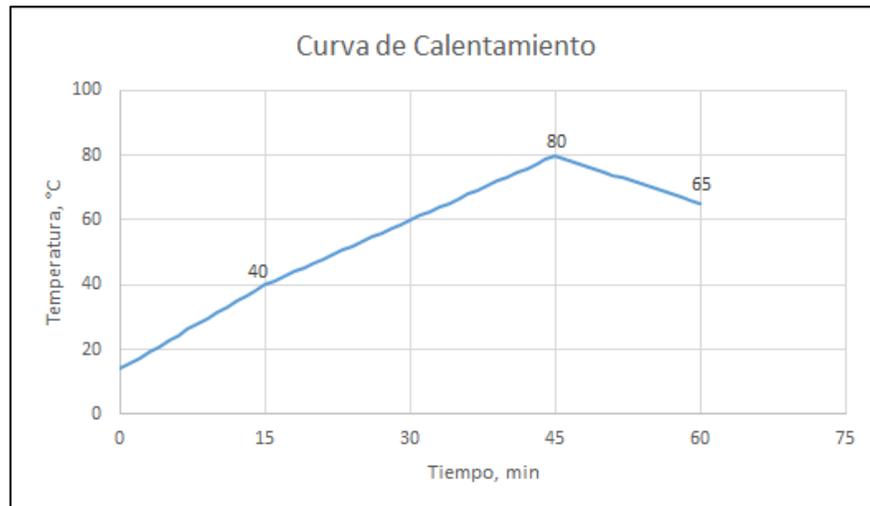
Posteriormente el material textil es sometido a un proceso de secado con el fin de eliminar el agua que se encuentra sobre la superficie de la tela o entre las fibras, este proceso se puede realizar mediante hidroextracción mecánica (Centrifugado, aspiración, compresión, etc) y finalmente se procede a eliminar la humedad dispersa en los espacios entre las fibras mediante un tratamiento térmico a 90 °C durante 3 horas continuas.

2.3 PROCESO DE IMPREGNACIÓN DEL PRODUCTO BASE EN LA FIBRA ACRÍLICA

El proceso de impregnación del producto TUBINGAL ACE se realizó a nivel de laboratorio tomando como referencia el proceso de impregnación anteriormente descrito, en el cual se tomó la fibra acrílica cruda de 10x10 cm y se agregó en un vaso de precipitado de 600 ml con 500 ml de agua empezando a calentar siguiendo la curva de calentamiento de la figura 6 en la que inicialmente mediante una plancha de calentamiento se elevó la temperatura hasta alcanzar los 40 °C, luego se adicionaron de 5 a 10 gr de suavizante por cada litro de agua, posteriormente el baño se mantuvo con agitación constante ya que la fibra acrílica es de naturaleza hidrofóbica y así se favorece la impregnación garantizando que sea de manera uniforme hasta alcanzar los 80°C. Una vez se alcanzó la temperatura deseada se

procedió a dejar reposar el baño durante 15 minutos a temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura de 65°C.

Figura 6. Curva de calentamiento del proceso de impregnación del producto en la fibra



Finalmente para que el producto tuviera una mejor fijación sobre la fibra acrílica y así también poder eliminar la humedad de la fibra, se realizó un proceso de secado a una temperatura de 90 °C durante un tiempo de 30 minutos.

Este proceso se realizó tanto como para el producto base y el producto desarrollado en el presente estudio.

2.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES GENERADAS EN LA FIBRA POR EL PRODUCTO TUBINGAL ACE DE CHT

Los tensoactivos o suavizantes son productos que han sido ampliamente usados como auxiliares textiles debido a que imparten a los materiales ciertas propiedades que son deseables por los consumidores, entre las que se destacan mejorar la sensación del tacto generando suavidad, lisura e hidrofiliidad en la fibra acrílica.

Las propiedades generadas en los textiles están determinadas por la estructura externa e interna y la composición química de las fibras; además es de vital importancia tener en cuenta los procesos de fijación que se llevan a cabo en la producción de textiles a gran escala debido a que son estos los causantes de generar propiedades específicas en la tela.

De esta forma se lleva a cabo un proceso de impregnación en la tela descrito anteriormente, la cual se da la fijación del suavizante TUBINGAL de CHT con el fin de obtener las propiedades anteriormente descritas y así tener como de referencia a la hora de comparar con las propiedades que genera el producto desarrollado por la empresa DACETEX LTDA.

Los métodos que están directamente relacionados para la evaluación y análisis de las propiedades generadas por el producto de la empresa CHT, en donde se busca que la fibra acrílica impregnada por el producto tenga ciertas características, son: tiempo de dispersión de la gota de agua en la fibra, la resistencia durante una cantidad de lavados, porcentaje de absorción del producto, ensayo de volumen y esponjosidad y evaluación manual como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades evaluadas para el producto Tubingal ACE.

Propiedad evaluada	Método de evaluación	Ecuación	Límites de aprobación por el consumidor	Tipo de evaluación
Porcentaje de absorción	Mediante una relación de diferencia de pesos de la fibra antes y después agregar 5ml de agua	% Absorción= $((P-S))/P \times 100$	No existen límites de aprobación, pero se espera que el porcentaje de absorción sea mayor a un 50%.	Cuantitativo
Resistencia a una cantidad de lavados	La norma AATCC método de prueba 61(1996) que tiene como título "Resistencia al lavado casero y comercial: acelerado		Según los límites de aprobación están dentro de un rango entre 10 a 20 lavados	Cuantitativo
Tiempo de dispersión de la gota de agua	Este método consiste en agregar una gota de agua al tejido y medir el tiempo con que se absorbe o se dispersa la gota		2 a 6 segundos	Cuantitativo
Ensayo de volumen y Esponjosidad	Método comparativo entre una muestra de la fibra que no ha sido tratada con otra muestra que ha sido impregnada	$\Delta h = h_m - h_b$	se espera que las muestras impregnadas tengan una altura superior a la del blanco	Cuantitativo
Evaluación manual	Mediante el tacto un grupo de personas da una calificación entre 1 y 5.		No hay límites de aprobación	Cualitativo

2.4.1 Porcentaje de absorción. Luego de que la fibra haya pasado por el proceso de impregnación del suavizante de la empresa CHT (Tubingal ACE) se procede a realizar el pesaje de la fibra antes y después de agregar 5 ml de agua y por medio de la ecuación 1 se podrá determinar el porcentaje de absorción. Esto se hace con el fin de evaluar la capacidad de hidrofiliadad que el producto le genera a la fibra. Para este método de evaluación no existen límites de aprobación, pero se espera que el porcentaje de absorción sea mayor a un 50%.

2.4.2 Tiempo de dispersión de la gota de agua en la fibra. Una vez la fibra ha sido tratada mediante el proceso de impregnación del producto de la empresa CHT se procede a tomar el tiempo de dispersión de la gota de agua en la fibra con el fin de observar la propiedad hidrofílica que es impartida por el producto. Este método consiste en agregar una gota de agua al tejido y medir el tiempo con que se absorbe o se dispersa la gota.

Los límites de aprobación en el tiempo de dispersión de la gota de agua es de 2 a 6 segundos, en donde el tiempo mínimo indica que el tejido es más hidrofílico por lo tanto tiene más capacidad de absorber.

2.4.3 Resistencia durante una cantidad de lavados. Esta prueba se realiza con el fin de observar que tan bien se han fijado y cuánto tiempo duran los acabados textiles en la fibra, por lo que conlleva a que el proceso de lavado se considere un tratamiento crucial dentro del proceso textil debido a la frecuencia con la que se realiza y por el gran impacto que este genera a la fibra.

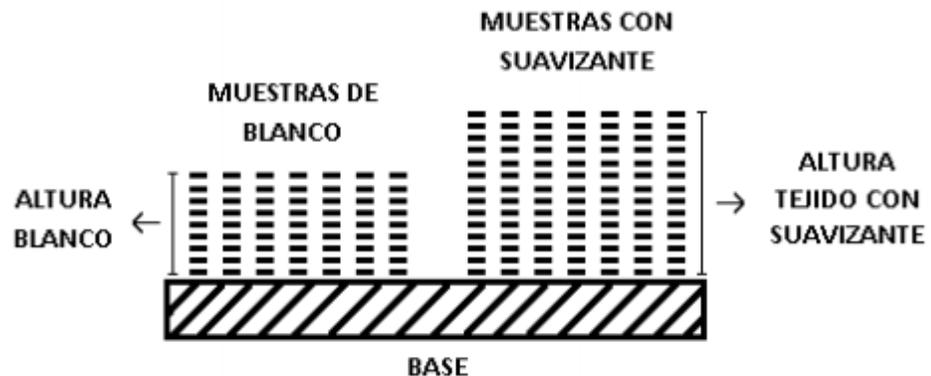
Para determinar el número de lavados que resiste la fibra una vez haya sido impregnada, se realiza un ciclo de lavado común en la lavadora durante 20 minutos, posteriormente se realiza el proceso de secado al medio ambiente y se procede a realizar la prueba de dispersión de la gota anteriormente descrito.

La norma AATCC método de prueba 61(1996) que tiene como título “Resistencia al lavado casero y comercial: acelerado”, proporciona un método en el cual se somete la muestra a una prueba acelerada para evaluar la solidez del color y otros auxiliares textiles que han sido impregnados en la fibra al momento de ser lavada. Según los límites de aprobación están dentro de un rango entre 10 a 20 lavados, siempre y cuando el lavado sea a mano o en maquina a bajas temperaturas.¹³

¹³ AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS (AATCC). Colorfastness to laundering, home and comercial: accelerated. Test method 61-1996. [En línea]. Disponible en: <https://tapp.uni.edu/pdf%20files/Laundrometer.pdf>
f. Pág. 1-2

2.4.4 Ensayo de volumen y esponjosidad. Es un método comparativo entre una muestra de la fibra acrílica que no ha sido impregnada por el producto (muestra blanco) y otra muestra de la misma la cual sí ha sido impregnada. Este método consiste que mediante el proceso de impregnación se adicione una cantidad de suavizante del producto base a varios tejidos de la fibra acrílica cruda de 10x10 cm; luego de ser impregnadas las muestras de tejido se dejan secar naturalmente al sol, y al estar totalmente secas se arman columnas con la misma cantidad de tejidos de 10x10 cm , para así medir su altura, esta medida se comparará con la altura de un blanco al cual no se le somete al proceso de impregnación del suavizante. Los tejidos con mayor suavidad son los que presenten mayor altura de columna, la teoría muestra que la suavidad y la “esponjosidad” son directamente proporcionales, se espera que las muestras impregnadas tengan una altura superior a la del blanco por lo que no hay límites de aprobación establecidos.

Figura 7. Ensayo de volumen y esponjosidad



Fuente .F.J. CARRIÓN. Propiedades generales de los suavizantes textiles catiónicos: Especificaciones de producto.

2.4.5 Evaluación manual. Es un método de evaluación subjetivo; ya que consiste en que un grupo de personas califiquen de acuerdo a su percepción mediante la sensación al tacto de cada uno de los tejidos para determinar cuál es el tejido más suave en un global de 7 muestras. El método de calificación consiste en dar un puntaje de 1 a 5 donde: 1 es la puntuación para el tacto más suave y 5 para el tacto más áspero. Al final los resultados se tratan estadísticamente y se establece que la mayor puntuación es para la concentración del suavizante en el baño de impregnación menos efectivo y la menor para la concentración del suavizante en el baño de impregnación más efectiva. También puede establecerse una muestra estándar como blanco y evaluar las demás con respecto a este.

2.5 EVALUACIÓN DE PROPIEDADES GENERADAS EN LA FIBRA POR EL PRODUCTO TUBINGAL ACE

- **Porcentaje de absorción.** Para determinar el porcentaje de absorción de agua de la fibra acrílica se realizó una prueba en donde se agregó el producto Tubingal de CHT a diferentes concentraciones, estas concentraciones están basadas en las variaciones que se realizan a nivel industrial que son entre 5 y 10 gramos por cada litro de agua que son añadidos en el proceso de impregnación de la fibra, posteriormente se sumergió la fibra ya suavizada en un recipiente con agua y se realizó el proceso de secado. Se procedió a pesar la fibra húmeda y seca y los datos obtenidos se describen en la tabla siguiente:

Tabla 3. Resultados obtenidos del porcentaje de absorción del producto base

Concentración suavizante en el baño(g/500ml)	Peso de la fibra seca(g)	Peso de la fibra Húmeda(g)	% de absorción de agua
2,5	4,0	14,2	71,5
3	3,9	14,1	71,8
3,5	4,2	13,6	69
4	4,2	13,7	68,6
4,5	4,2	13,6	68,5
5	4,2	11,8	64,4

- **Tiempo de dispersión de la gota de agua.** Para el control de calidad del producto base se llevó a cabo el método de dispersión de la gota de agua para evaluar la hidrofiliidad de la fibra.

Mediante diferentes diluciones en el baño de impregnación variando las concentraciones del producto base, se realizó el proceso de suavizado. Una vez impregnada la fibra se realizó el proceso de secado a una temperatura de 90 °C durante 30 minutos y posteriormente se agregó una gota de agua al tejido y se procedió a tomar el tiempo de dispersión de la gota mediante un cronometro, los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados obtenidos del tiempo de dispersión de la gota de agua en la fibra acrílica impregnada con el producto base

Concentración suavizante en el baño(g/500ml)	Tiempo de dispersión de la gota(s)
2,5	3,80
3	8,27
3,5	3,23
4	4
4,5	4,39
5	4,05

- **Resistencia durante una cantidad de lavados.** Cuando se habla de resistencia a los lavados se refiere a la cantidad de lavados manuales a los que se someterá los textiles sin que pierda las características que el producto Tubingal le proporciona a la fibra como por ejemplo la suavidad, lisura, hidrofiliidad, etc. Para determinar la cantidad de lavados que el producto resiste en la fibra, se tomaron las muestras del textil tratadas y se realizó el lavado a mano con agua durante 20 min y luego se procedió a realizar el proceso de secado en la mufla a 90 °C durante 30 minutos. Al final de cada ciclo de lavado se realizó la prueba de la gota de agua en la cual se observa si la fibra sigue absorbiendo agua y se determina que cantidad de lavados se mantuvo el suavizante en el textil.

Tabla 5. Resultados obtenidos del número de lavados que resiste el producto base en la fibra acrílica

Lavado	Porcentaje de impregnación (%)	Tiempo de dispersión de la gota (s)
1	71,3	4,82
2	69,5	5,33
3	68,8	5,24
4	68,2	6,01

Tabla 5. Continuación

Lavado	Porcentaje de impregnación (%)	Tiempo de dispersión de la gota (s)
5	68,0	6,31
6	66,3	6,51
7	64,3	7,45

- **Ensayo de volumen y esponjosidad.** Este ensayo se lleva a cabo tomando 5 muestras de tela sin tratar y 5 muestras de tela tratadas colocándolas sobre una base fija formando una columna tanto para las 5 muestras tratadas como para las no tratadas como se observa en la figura 7 y luego se mide la altura de ambas columnas que son objeto de este ensayo.
Los tejidos con mayor suavidad son los que presenten mayor altura de columna ya que la suavidad y la esponjosidad son directamente proporcionales.

Tabla 6. Resultados obtenidos del ensayo de volumen y esponjosidad de las fibras acrílicas

Tela	Altura mm
Tela sin tratar (5 muestras)	10,35
Tela tratada con el producto TUBINGAL ACE (5 muestras)	16,27

- **Evaluación Manual.** Por último se sometió a una evaluación manual de las muestras de tejido tratado por un grupo de personas (5 personas) en la que mediante el tacto este grupo dando una calificación entre 1 y 5 donde: 1 es la puntuación para el tacto más suave y 5 para el tacto más áspero y mediante el promedio de las calificaciones de las cinco personas se determinó que tan suave era el tejido comparado con la muestra de tela sin tratar.

Tabla 7. Resultados obtenidos de la evaluación manual

Muestra	Promedio de las calificaciones	
Tejido sin tratar	5	
Tejido tratado a diferentes concentraciones del suavizante en el	2,5	1
	3	1,6
	3,5	2
	4	2,4
	4,5	1,6
	5	1,2

2.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PRODUCTO BASE (TUBINGAL ACE)

El producto Tubingal ACE es un producto hidrofizante que imparte suavidad mejorando el volumen y la esponjosidad de la fibra. Este producto posee ciertas propiedades como por ejemplo puede ser aplicado a cualquier tipo de fibras, es hidrófilo y tiene excelente estabilidad de pH, lo que hace que sea un producto importante para el proceso de acabado de las fibras en la industria textil.

En el presente proyecto se realizó la evaluación y el análisis de las propiedades generadas por el producto de la empresa CHT, en donde se obtuvieron los diferentes valores para los métodos escogidos que son: tiempo de dispersión de la gota de agua en la fibra, la resistencia durante una cantidad de lavados, porcentaje de absorción del producto, ensayo de volumen y esponjosidad y evaluación manual.

Al analizar los resultados de cada uno de los métodos se puede concluir que al aumentar la concentración del producto Tubingal ACE en el baño de impregnación, el tiempo de dispersión de la gota de agua y el porcentaje de absorción de agua como se observa en la tabla 8, no son los valores óptimos ya que hay una saturación del producto en el tejido que impide que las moléculas de agua penetren en los poros de la fibra.

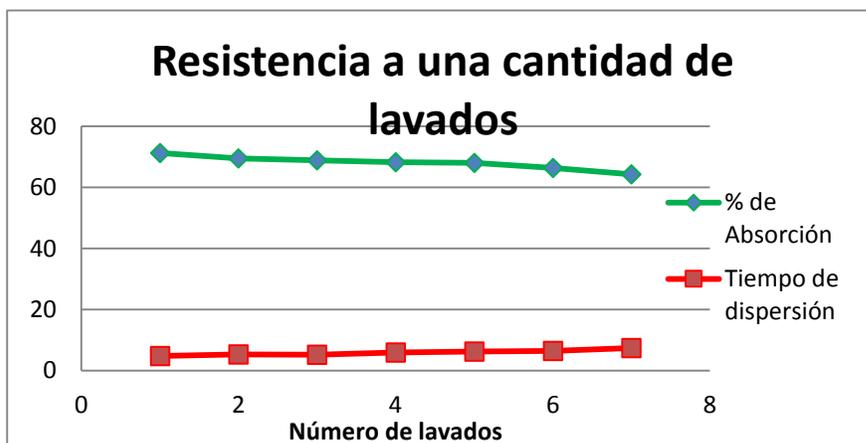
Tabla 8. Resultados del % de absorción y tiempo de dispersión de la gota de agua

Concentración suavizante en el baño(g/500ml)	% de absorción de agua	Tiempo de dispersión de la gota de agua
4,5	68,5	4,39
5	64,4	4,05

La resistencia a una cantidad determinada de lavados y el ensayo de volumen y esponjosidad, se realizaron a una concentración de 2,5 g/500ml del producto Tubingal ACE en el baño de impregnación debido a que esta dilución se obtuvo el mejor resultado en cuanto el % de absorción de agua y el tiempo de dispersión de la gota de agua.

Al evaluar la resistencia del producto durante una cantidad de lavados se puede concluir que al someter el tejido a un lavado manual el tiempo de dispersión de la gota de agua aumenta y el porcentaje de absorción disminuye como se observa en la figura 8.

Figura 8. % de Absorción y tiempo de dispersión de la gota de agua vs Número de lavados



Por último se realizó la evolución manual del tejido tratado y un tejido no tratado calificando así la suavidad que le imparte el producto a la fibra. Al realizar esta evaluación se pudo concluir que el producto le imparte suavidad y lisura a la fibra que los valores dados por el grupo de personas son muy cercanos a 1.

Las propiedades generadas por el producto en la fibra se encuentran dentro de los límites de aprobación y por consiguiente estos valores servirán como referencia para el análisis de las propiedades generadas por la formulación desarrollada en el presente trabajo.

3. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de experimentos tiene como objetivo analizar los efectos de la variación en la composición de tres materias primas (antiestático, el humectante y el TiO₂ sintetizado) sobre las variables respuestas que son el tiempo de dispersión de la gota de agua, el porcentaje de absorción, la esponjosidad y el volumen, lo que permite identificar las condiciones de proceso y la planeación del proceso experimental, para luego determinar la configuración de factores que optimiza los resultados.

3.1 HIPÓTESIS

El diseño de un experimento es un procedimiento en el cual se busca crear diferentes pruebas con el objetivo de verificar una o varias hipótesis que han sido planteadas junto con un problema determinado, esto se realiza con el objetivo de medir el efecto del cambio en una o varias variables de entrada.¹⁴

En este punto se planteó las hipótesis de forma concreta, limitando los alcances del experimento para así realizar un análisis de los resultados obtenidos en las variables de respuesta.

- **HIPÓTESIS NULA**

De la suavidad se espera que a mayor cantidad del componente antiestático y el humectante, la muestra debería dejar más suave y con mayor volumen la fibra.

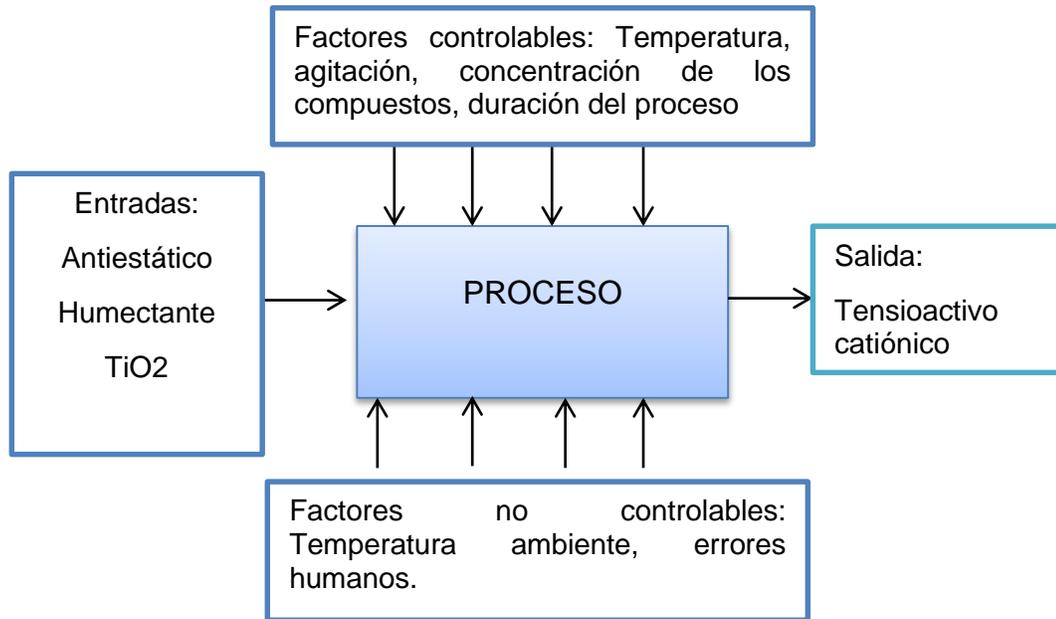
- **HIPÓTESIS ALTERNAS**

- ✓ El comportamiento esperado de las mezclas a realizar en la experimentación se espera que el tiempo de dispersión de la gota de agua en la fibra acrílica se encuentre entre 5 y 10 segundos.
- ✓ Se espera que las muestras de las mezclas desarrolladas en la experimentación que tienen cantidades elevadas del TiO₂, no presenten el mejor comportamiento puesto que habría una saturación del compuesto en la fibra y por lo tanto no tendrá la capacidad de absorber.
- ✓ El porcentaje de impregnación en la fibra acrílica se espera que los valores estén dentro de un rango de 50% a 80% ya que este es un factor importante a la hora de evaluar la hidrofiliadad de la misma

¹⁴ UDLAP. Teoría de diseño de experimentos. Capítulo No 4. En línea: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/salvador_s_g/capitulo4.pdf

3.2 METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Figura 9. Esquema del experimento para el desarrollo de un tensioactivo catiónico



3.2.1 Identificación del objetivo de la experimentación. El desarrollo experimental tiene como objetivo evaluar los efectos que producen las diferentes variaciones en las composiciones de las materias primas en cada una de las mezclas a realizar sobre las variables de respuesta, esto con el fin de conocer la mezcla que cumpla con las hipótesis planteadas y los límites de aprobación por el consumidor.

3.2.2. Determinación de los componentes. En el planteamiento del diseño de experimentos se requiere conocer el comportamiento de tres diferentes materias primas como lo son, el antiestático, el humectante y el dióxido de titanio teniendo en cuenta que este último compuesto es sintetizado mediante el proceso de Sol-gel en el cual se busca obtener pequeñas partículas que sirven para encapsular la molécula de agua dentro de la fibra y así generar la propiedad de hidrofiliidad. Estos compuestos son los factores más importantes que afectan la muestra.

3.2.3 Selección del diseño de experimentos. Cuando los factores experimentales a ser estudiados son componentes de una mezcla, la función de la respuesta típicamente depende sobre las proporciones relativas de cada componente, no de la cantidad absoluta, por lo que los factores no pueden ser variados de forma independiente sobre algún otro.

Para el desarrollo experimental de este proyecto, se establecieron los límites inferior y superior que restringen las proporciones de los componentes. Por lo anterior el diseño más adecuado es el de vértices extremos, el cual consiste en colocar las corridas en cada vértice de la región del diseño, sin tomar en cuenta su forma con el fin de elegir puntos de diseño que abarquen adecuadamente el espacio de diseño.

3.2.4 Consideraciones para el diseño de experimentos

- Los niveles se toman como el porcentaje de las composiciones de cada uno de los compuestos de la mezcla, los cuales son Humectante, Antiestático, TiO₂ (sintetizado) y por lo tanto la suma de las composiciones debe ser igual a un 100%.
- A través de este diseño se permite variar los tipos de compuestos a utilizar y así poder analizar las diferentes posibilidades para determinar la combinación óptima de las muestras que se adecue con las especificaciones requeridas.
- Los niveles de cada uno de los factores no pueden ser alterados ni variar de forma independiente, puesto que el cambio en uno de ellos altera el valor de los otros.
- Los niveles representan proporciones de la composición, por lo que no pueden presentarse valores negativos.

3.2.5 Niveles del diseño de experimentos. Los rangos de concentración proporcionados por la empresa DACETEX LTDA., serán utilizados como los niveles, una restricción importante que se tiene en este proyecto es que al ser una composición la suma de los niveles, debe ser igual al 100%.

La siguiente tabla resume lo dicho anteriormente:

Tabla 9. Niveles del diseño de experimentos

Factores o variables independientes	Nivel (% en peso)	
	Menor	Mayor
Antiestático	70	80
Humectante	19,5	29,5
TiO ₂ (Sintetizado)	0,25	0,5

3.2.6 Variables de respuesta del diseño de experimentos. Se seleccionaron las siguientes variables de respuesta:

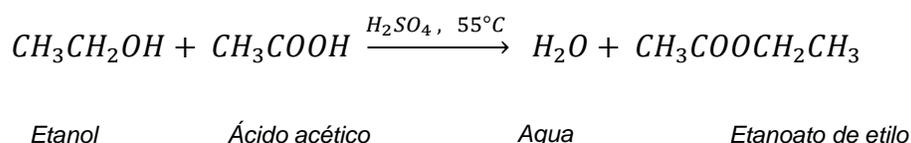
- Porcentaje de absorción
- Tiempo de dispersión de la gota de agua
- Suavidad

3.2.7 Software para el desarrollo del diseño de experimentos. Para el desarrollo del diseño de experimentos se hizo uso de una herramienta estadística llamada *STATGRAPHICS Centurion* el cual combina una amplia gama de procedimientos analíticos con extraordinarios gráficos interactivos para proporcionar un entorno integrado de análisis.¹⁵

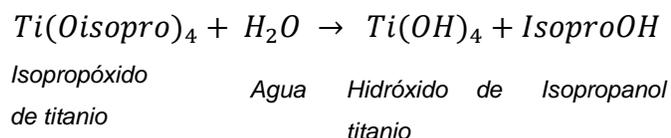
3.3 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN

Para el desarrollo de la formulación se tiene en cuenta el uso de un antiestático el cual es la base del tensoactivo catiónico desarrollado por la empresa DACETEX LTDA., un humectante y dióxido de titanio el cual se sintetizó mediante el proceso de Sol-gel con el fin de lograr un encapsulamiento del suavizante en la fibra acrílica, este proceso se realizó con base a tesis desarrollada que tiene como título “*Síntesis de TiO₂ mediante procesos sol-gel para su aplicación en procesos fotocatalíticos*” realizado por Rubén Sánchez Hernández, en este método se lleva a cabo una reacción de esterificación entre ácido acético y etanol (Reacción 1) con el fin de controlar la hidrólisis del isopropóxido de titanio (Reacción 2) mediante el agua que se forma.

Reacción 1. Reacción de esterificación



Reacción 2. Reacción de hidrólisis

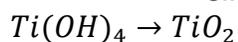


¹⁵Statgraphics.Net. STATGRAPHICS Centurion. [En línea]. Disponible en: <http://www.statgraphics.net/>

La síntesis de dióxido de titanio se llevó a cabo en una capsula de extracción en donde se realizó el montaje de una plancha de calentamiento sobre la cual se coloca un vaso de precipitado de 500 ml agregando 75 ml de etanol absoluto y se calienta hasta alcanzar la temperatura de reacción de síntesis deseada (65°C). A continuación se añaden 34 ml de isopropóxido de titanio y se deja homogenizar la mezcla aproximadamente durante 10 minutos. Cuando la mezcla esta homogénea se añaden 60 ml de ácido acético y 3 ml de ácido sulfúrico que actúa como catalizador de la reacción de esterificación.

Transcurrido un tiempo que depende de la temperatura elegida y el catalizador, se forma un gel blanquecino, momento a partir del cual se deja dos horas para que se produzca la hidrólisis completa, manteniéndose la agitación. Las reacciones que tienen lugar son dos: la reacción de esterificación, por la cual se forma el agua, y la reacción de hidrólisis del alcóxido de titanio, que se da a partir del agua formada. Para obtener la muestra final de dióxido de titanio, el xerogel se realiza un tratamiento térmico en el cual se deja secar en una estufa durante la noche a 90°C, una vez seco se procede a triturar el sólido y se calcina en una mufla a una temperatura de 550°C. En este tratamiento se eliminan el exceso de alcohol y ácido y se completa la cristalización formando el TiO₂ sintetizado (Reacción 3).

Reacción 3. Formación de TiO₂
sintetizado.



Una vez sintetizado el dióxido de titanio mediante el método de Sol-gel se procede a preparar las muestras del tensioactivo catiónico con los compuestos ya antes mencionados.

La metodología del proceso completo se muestra en el Anexo B.

3.4 EXPERIMENTACIÓN

3.4.1 Datos del diseño de experimentos. La siguiente tabla presenta las composiciones que debe tener cada una de las muestras a analizar, con ayuda de la versión de prueba del programa *Statgraphics Centurion* se obtuvo el diseño de experimentos de mezcla teniendo en cuenta los niveles descritos anteriormente.

Tabla 10. Composición de las muestras del diseño de experimentos

No Muestra	Antiestático (g)	Humectante (g)	TiO2 (g)
1	80	19,75	0,25
2	80	19,5	0,5
3	70	29,75	0,25
4	70	29,5	0,5
5	77,5	22,1875	0,3125
6	77,5	22,0625	0,4375
7	72,5	27,1875	0,3125
8	72,5	27,0625	0,4375
9	80	19,625	0,375
10	75	24,75	0,25
11	75	24,5	0,5
12	70	29,625	0,375
13	75	24,625	0,375

La tabla anterior representa un diseño Vértices extremos el cual estudiará los efectos de 3 componentes en 13 corridas con una réplica para un total de 26 muestras las cuales han sido completamente aleatorizados. El diseño deberá ser ejecutado en 2 bloques, esto aportará protección contra el efecto de variables ocultas. Puesto que el modelo seleccionado es cúbico, el diseño intentará ajustar un modelo con todos los términos de primero y segundo orden, y con algunos términos de tercer orden.

3.5 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTA

Para la validación de la formulación se tomaron los siguientes métodos para evaluar las variables respuesta con el fin de obtener la formulación óptima.

- % de absorción. El estado hidrométrico se puede evaluar en porcentaje según la ecuación 2.

Ecuación 2. Porcentaje de absorción de agua en la fibra acrílica.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(P - S)}{P} \times 100$$

Fuente. Fibras Textiles. [En línea] disponible en: <http://aulavirtual.utp.edu.pe/file/20111/IE/E4/02/PI10/20111IEE402PI10T083.pdf>.

- Suavidad. Para evaluarla se seleccionó el ensayo de volumen y esponjosidad, para cuantificarlo se utilizó la Ecuación 3.

Ecuación 3. Cambio de la suavidad de las fibras

$$\Delta h = h_{mx} - h_b$$

Fuente. Fibras Textiles. [En línea] disponible en: <http://aulavirtual.utp.edu.pe/file/20111/IE/E4/02/PI10/20111IEE402PI10T083.pdf>.

Donde:

Δh : Cambio de altura de la columna de telas

h_{mx} : Altura de la columna después de utilizar una muestra x

h_b : Altura de la columna del blanco

- Tiempo de dispersión de la gota de agua. Este método consiste en agregar una gota de agua al tejido y medir el tiempo con que se absorbe o se dispersa la gota.

3.6 VALIDACIÓN DE LA FORMULACIÓN

Para la validación de la formulación se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos durante la evaluación de las variables respuesta, los cuales fueron datos determinantes para determinar la formulación final del tensioactivo catiónico para las fibras acrílicas.

3.6.1 Análisis de los resultados de las variables respuesta. En la Tabla 11 se muestran los valores obtenidos con su respectivo análisis para cada uno de las 26 muestras preparadas en los laboratorios del Sena, a las cuales se les midieron % de absorción, tiempo de dispersión de la gota de agua y suavidad, cada uno de los análisis que se muestran en esta parte son la respuesta a las hipótesis planteadas antes del desarrollo de los experimentos. A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos de la tabla 10 con respecto a las hipótesis planteadas en la fase inicial del diseño de experimentos:

Tiempo de dispersión de la gota de agua

- Los valores del tiempo de dispersión de la gota de agua de las 26 muestras analizadas se encuentran dentro de un rango 1,58 a 14,33 segundos. El rango esperado en la experimentación se encontraba entre 5 y 10 segundos, esto indica que el comportamiento de las mezclas que tienen un tiempo mayor a 10 segundos comprueban que el producto no le genera la propiedad de hidrofiliidad a la fibra y por lo tanto esas combinaciones no son óptimas para la formulación final.

- Al realizar el análisis de cada una de las combinaciones aleatorizadas propuestas por el programa de análisis estadístico, el comportamiento del tiempo de dispersión de la gota de agua para las muestras No 8 y 9 (tabla 11) fueron el esperado puesto que los valores obtenidos para cada una de ellas fue de 1,58 segundos y 1,68 segundos respectivamente, lo que significa que las formulaciones de cada una de las muestras generan la propiedad de hidrofiliidad en la fibra acrílica.

Porcentaje de impregnación

- En cuanto al porcentaje de impregnación en la fibra acrílica los resultados obtenidos oscilan entre 68% y 72% estos resultados son satisfactorios ya que los valores planteados en la hipótesis alterna se encontraban dentro de un rango de 50% a un 80 % ya que este es uno de los factores más importantes al momento de evaluar la hidrofiliidad de la fibra acrílica.
- Al analizar las muestras de las mezclas desarrolladas en la experimentación se pudo corroborar que las mezclas que poseen mayor cantidad TiO_2 , no presentaron el mejor comportamiento puesto que habría una saturación del compuesto en la fibra y por lo tanto no tendrá la capacidad de absorber, como por ejemplo las muestras No 2 y 4 donde la composición del dióxido de titanio es de 0,5% y el porcentaje de absorción para cada una de ellas es de 68,2088 y 68,9057 respectivamente.

Suavidad

- Al analizar la suavidad generada en la fibra por cada una de las muestras se corroboró la hipótesis nula, en donde se afirma que esta propiedad no depende de la cantidad del componente TiO_2 añadido en la mezcla sino que esta se ve afectada por la proporción de los componentes antiestático y humectante que se encuentre en la mezcla.

Tabla 11. Resultados de las variables estudiadas para la combinación de antiestático, humectante y TiO₂

Muestra No	Bloque	Antiestático Porcentaje	Humectante Porcentaje	TiO₂(sintetizado) Porcentaje	% de absorción Porcentaje	tiempo de dispersión segundos	Suavidad Mm
1	1	80	19,75	0,25	69,2927	5,68	4,5
2	1	80	19,5	0,5	68,2088	5,32	5,16
3	1	70	29,75	0,25	69,3487	3,98	6,14
4	1	70	29,5	0,5	68,9057	3,24	4,09
5	1	77,5	22,1875	0,3125	68,3575	9,54	4,37
6	1	77,5	22,0625	0,4375	71,3278	12,86	2,51
7	1	72,5	27,1875	0,3125	71,2319	14,33	3,48
8	1	72,5	27,0625	0,4375	69,4394	1,58	3,82
9	1	80	19,625	0,375	68,7509	1,68	2,77
10	1	75	24,75	0,25	66,0431	6,78	3,19
11	1	75	24,5	0,5	67,7714	11,83	3,22
12	1	70	29,625	0,375	67,6715	6,89	4,14
13	1	75	24,625	0,375	66,9246	7,82	2,51
14	2	80	19,75	0,25	68,7258	5,33	4,08
15	2	80	19,5	0,5	69,3282	5,24	4,19

Tabla 11. Continuación

Muestra No	Bloque	Antiestático Porcentaje	Humectante Porcentaje	TiO₂(sintetizado) Porcentaje	% de absorción Porcentaje	tiempo de dispersión segundos	Suavidad Mm
16	2	70	29,75	0,25	68,8814	5,01	3,31
17	2	70	29,5	0,5	68,8827	9,01	4,48
18	2	77,5	22,1875	0,3125	69,3855	6,51	3,96
19	2	77,5	22,0625	0,4375	68,4546	5,45	3,13
20	2	72,5	27,1875	0,3125	71,7406	12,36	2,17
21	2	72,5	27,0625	0,4375	69,0974	9,67	1,18
22	2	80	19,625	0,375	68,6420	7,96	3,08
23	2	75	24,75	0,25	68,2892	12,03	2,63
24	2	75	24,5	0,5	69,6277	7,85	3,01
25	2	70	29,625	0,375	69,5581	10,02	2,72
26	2	75	24,625	0,375	68,1765	10,85	2,98

3.6.2 Análisis de la varianza. En la tabla 12 se encuentra el análisis de la varianza para cada una de las variables respuestas con sus respectivas correlaciones matemáticas y valores de R-cuadrado y Valor. Estos cálculos fueron realizados el programa por *Statgraphics Centurion*.

Tabla 12. Análisis de la varianza para cada una de las variables respuestas

Variable respuesta	Valor -P	R-cuadrado (%)	Ecuación.	Valor Óptimo
% absorción	De 0,9357	20,2924	$\begin{aligned} \% \text{ de absorción} = & (68,7426 \times A) \\ & + (69,3801 \times H) \\ & - (2727,56 \times T) \\ & - (3,7315 \times A \\ & \times H) + (2864,54 \\ & \times A \times T) \\ & + (2837,05 \times H \\ & \times T) + (207,497 \\ & \times A \times H \times T) \end{aligned}$	70 %
Tiempo de dispersión de la gota de agua	0,3960	43,2021	$\begin{aligned} \text{Tiempo de dispersión} = & (4,0947 \times A) \\ & + (6,01963 \times H) \\ & - (5482,98 \times T) \\ & + (20,2923 \times A \\ & \times H) + (5670,16 \\ & \times A \times T) \\ & + (5635,73 \times H \\ & \times T) - (355,377 \\ & \times A \times H \times T) \end{aligned}$	3,21 (s)
Suavidad	0,0416	64,094	$\begin{aligned} \text{suavidad} = & (4,41738 \times A) \\ & + (4,5137 \times H) \\ & + (5612,95 \times T) \\ & - (3,87656 \times A \\ & \times H) - (5746,09 \\ & \times A \times T) \\ & - (5764,76 \times H \\ & \times T) - (35,3082 \\ & \times A \times H \times T) \end{aligned}$	4,6 (mm)

El modelo estadístico empleado fue un ANOVA Multifactorial, el cual describe el impacto de dos o más factores (Antiestático, humectante TiO₂ (sintetizado)) sobre una variable independiente o variable respuesta (% de absorción, tiempo de dispersión de la gota de agua y suavidad). Este procedimiento está diseñado para experimentos relativamente simples, tales como experimentos factoriales con efectos fijos en donde se corren una serie de pruebas para determinar si hay diferencias significativas entre las medias de las variables dependientes a diferentes

niveles de los factores y también para establecer si hay interacciones entre los factores.

- **Valor –P.** Se define como el nivel de significación menor que llevaría a rechazar la hipótesis Nula, por lo tanto este valor debe ser menor a 0.05 (5%) para poder corroborar que entre las variables de entrada o los factores existe algún grado de asociación con respecto a las variables de respuesta, por el contrario si dicho valor es mayor a 0.05 es porque no se puede comprobar que exista asociación entre dichas variables y por lo que se rechaza la Hipótesis nula.

Tabla 13. Análisis del valor –P para cada uno de los factores

Factores o variables respuestas	Valor –P	Análisis del Valor –P
Tiempo de dispersión de la gota	0,3960	En el análisis de la varianza para el modelo cúbico especial el valor-P es mayor que 0.05, por lo tanto no hay una relación estadísticamente significativa entre las variables y las combinaciones de los componentes.
% de absorción	0,9357	
Suavidad	0,0416	Para el modelo cúbico especial el valor-P, para este factor es menor que 0.05, por lo tanto existe una relación estadísticamente significativa entre suavidad y los componentes, con un nivel de confianza del 95,0%.

Según el Valor-p obtenido de la variable respuesta de Suavidad descrito en la tabla 13, es un valor que está por debajo de 0.05 por lo que se puede aceptar la hipótesis nula ratificando que a mayor cantidad del componente antiestático y del humectante mayor será la suavidad generada por la mezcla en la fibra.

- **R- cuadrado.** Este valor permite saber qué porcentaje de variabilidad existe entre el modelo estimado en el análisis y las variables de respuesta, además permite al investigador conocer que tan bien el modelo estimado explica los datos observados de la respuesta, el rango del R-cuadrado va de 0% al 100%.

De acuerdo con los datos reportados en la tabla 12 se tiene que la variable respuesta de Suavidad presentó los mayores valores de R -Cuadrado para cada una de las variables estudiadas, lo que indica que esta variable respuesta explica el 64,094% de la variabilidad en el modelo.

Para el tiempo de dispersión de la gota de agua y el % de absorción los valores de R-cuadrado son inferiores al 50%, lo que demuestra que los datos son altamente variables con respecto al modelo matemático empleado y por lo tanto el modelo no representa el comportamiento de estas variables respuesta.

- **Ecuación.** Las ecuaciones dadas por el programa Statgraphics Centurion son las que relacionan matemáticamente el comportamiento de las variables de respuesta (% de absorción, tiempo de dispersión de la gota y suavidad) con respecto a los factores estudiados. Esto permite obtener un resultado teórico de estas variables, para diferentes formulaciones variando las concentraciones de componentes en la mezcla.
- **Valor óptimo.** Mediante la estimación de un modelo matemático, el programa Statgraphics Centurion determina la combinación de factores que puede mejorar el rendimiento de cada una de las variables de respuesta.
- **% de absorción**

Tabla 14. Combinación de los niveles de los factores para optimizar la variable respuesta (% de absorción)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Antiestático	70,0	80,0	71,01
Humectante	19,5	29,75	28,67
TiO ₂ (Sintetizado)	0,25	0,5	0,312

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza el % de absorción sobre la región indicada

- Tiempo de dispersión de la gota de agua

Tabla 15. Combinación de los niveles de los factores para optimizar la variable respuesta (Tiempo de dispersión de la gota de agua)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Antiestático	70,0	80,0	80,0
Humectante	19,5	29,75	19,56
TiO ₂ (Sintetizado)	0,25	0,5	0,43

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual minimiza Tiempo de dispersión sobre la región indicada

- Suavidad

Tabla 16. Combinación de los niveles de los factores para optimizar la variable respuesta (suavidad)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Antiestático	70,0	80,0	70,0
Humectante	19,5	29,75	29,72
TiO ₂ (Sintetizado)	0,25	0,5	0,27

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza la suavidad sobre la región indicada

3.7 SELECCIÓN DE LA COMBINACION ANTIESTÁTICO, HUMECTANTE Y TiO₂ (SINTETIZADO)

En concordancia con los datos presentados en la Tabla 11 y el análisis previo que se realizó de los resultados del ANOVA Multifactorial para valor-P y R-Cuadrado presentados en la tabla 12, la formulación que más cercana se encuentra a los valores óptimos dados por el programa *Statgraphics Centurion* es la de la muestra No 1 y además los valores están dentro de los límites de aprobación estipulados en las hipótesis alternas.

Tabla 17. Resultados de las variables respuesta para la muestra No 1 y los valores óptimos

Variables respuesta	Muestra No 1	Óptimo
% de absorción	69,2927	70
Tiempo de dispersión de la gota de agua (segundos)	5,68	3,21
Suavidad (mm)	4,5	4,6

Tabla 18. Composición de la Mezcla No 1

Factor	Composición (%)
Antiestático	80
Humectante	19,75
TiO ₂ (sintetizado)	0,25

4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES OBTENIDAS EN LA FIBRA ACRÍLICA GENERADAS POR EL PRODUCTO BASE Y EL DESARROLLADO

Con el fin de determinar si la producción del tensoactivo catiónico hecha por Dacetex posee las mismas características del producto TUBINGAL de CHT se lleva a cabo una comparación de los resultados obtenidos por ambos suavizantes mediante los métodos escogidos previamente (porcentaje de absorción, tiempo de dispersión, suavidad) para poner a prueba las propiedades que más importancia tiene a la hora de ser utilizados en la industria.

4.1 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

La tela sometida a estas pruebas es una fibra acrílica con un contenido del 100% de Poliacrilonitrilo la cual la hace una fibra resistente al agua (hidrófoba).

Una vez que la fibra haya sido tratada en el proceso de impregnación con el producto de CHT y con el producto desarrollado en el presente proyecto se procede a determinar el porcentaje de absorción.

Mediante la ecuación 1 se realiza el cálculo del porcentaje de absorción, método en el cual se mide el peso de la tela antes y después de agregar 5ml de agua.

Este cálculo se realizó para 3 muestras de fibras acrílicas: Fibra cruda (sin tratar), Fibra tratada con el producto de CHT y Fibra tratada con el producto desarrollado para la empresa DACETEX Ltda., los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19. Porcentajes de absorción para 3 muestras de fibras

Muestra de Fibra	Porcentaje de Absorción (%)
Fibra sin tratar	20,234
Fibra tratada con el producto de CHT	71,522
Fibra tratada con el producto de DACETEX	69,292

Los resultados presentados en la tabla 19 permiten analizar qué tanto como el producto de la empresa de CHT y el de la empresa DACETEX crea una capacidad hidrofílica en la fibra, por lo tanto permite que esta tenga el poder de absorber una mayor cantidad con respecto a la fibra sin tratar.

Según el resultado obtenido de la fibra tratada con el producto de DACETEX se puede concluir que al incorporar el dióxido de titanio que es sintetizado mediante el proceso de sol-gel en la mezcla, es el componente que le otorga la propiedad de hidrofiliidad a la fibra y dado que el resultado es cercano al resultado de la muestra tratada por el producto de CHT indica la funcionalidad del producto en el mercado.

4.2 TIEMPO DE DISPERSIÓN DE LA GOTA DE AGUA

El análisis del tiempo de dispersión de la gota se realiza luego de que la fibra sea tratada y suavizada mediante el proceso de impregnación con el producto de CHT y con el producto desarrollado.

El análisis de esta propiedad está dado por el tiempo que se demora la gota en dispersarse en la tela y se puede apreciar que la diferencia en los tiempos para el producto de CHT y el producto desarrollado para la empresa DACETEX con respecto a la fibra sin tratar es amplio según los resultados obtenidos en la tabla 18, esto conlleva a que la muestra tratada por el producto desarrollado en el presente proyecto es una formulación con bajo tiempo de dispersión pero que no resulta ser la opción más indicada para la sustitución del producto Tubingal en el mercado.

Los límites de aprobación para el tiempo de dispersión de la gota que están dados por una de las empresas consumidoras es de 2 a 6 segundos.

Tabla 20. Resultados del análisis del tiempo de dispersión de la gota de agua

Fibra	Tiempo (s)
Fibra sin tratar	120
Fibra tratada con el producto de CHT	3,8
Fibra tratada con el producto de DACETEX	5,68

4.3 SUAVIDAD

Esta propiedad es evaluada mediante el ensayo de Esponjosidad y volumen que está dado en términos de la diferencia de altura (ecuación 3) que existe entre las muestras de la tela cruda y las muestras tanto de la empresa de CHT como la muestra desarrollada para la empresa DACETEX la cual fue escogida por los autores del presente proyecto (Muestra No 1).

Teniendo en cuenta que el volumen y la esponjosidad son directamente proporcionales a la suavidad de un tejido, por consiguiente si la diferencia de alturas entre la fibra sin tratar y la fibra tratada con el producto es amplia se deduce que el producto aplicado le imparte suavidad a la fibra.

Los resultados obtenidos para los productos de CHT y DACETEX se muestran en la tabla 21; donde la altura de las fibras tratadas con el producto de DACETEX fue cercana a la altura del producto de la empresa de CHT (Tubingal), esto quiere decir que la funcionalidad del producto en términos de suavidad cumple.

Tabla 21. Resultados del análisis de la suavidad (Ensayo de Esponjosidad y volumen)

Fibra	Δh (mm)
Fibra sin tratar	0
Fibra tratada con el producto de CHT	5,92
Fibra tratada con el producto de DACETEX	4,5

Al analizar los resultados obtenidos se puede observar que el producto de la empresa CHT (Tubingal) con respecto al producto desarrollado para la empresa DACETEX, le imparte más suavidad a la fibra ya que la diferencia de altura entre la fibra tratada por este producto y la fibra sin tratar es de 5,92 mm valor que se encuentra por encima pero cercano al valor obtenido por el producto desarrollado en el presente proyecto.

En el ensayo de esponjosidad y volumen no hay límites de aprobación, pero teniendo como referencia el valor obtenido por el producto de la empresa de CHT, el producto desarrollado se acerca a dicho valor en un 76%, por lo tanto la funcionalidad del producto en términos de suavidad si cumple.

4.4 DIFERENCIA NANOTECNOLOGICA ENTRE EL PRODUCTO BASE Y EL PRODUCTO DESARROLLADO PARA LA EMPRESA DACETEX Ltda.

4.4.1 Influencia nanotecnológica en el desarrollo de la formulación del tensioactivo catiónico. La nanotecnología es una ciencia que trata los diversos fenómenos, propiedades y características de los materiales en escala nanométrica (1×10^{-9} m). A través de investigaciones se han determinado que los materiales a nanoescala ya que esta tecnología permite conseguir mejorar las propiedades físicas de ciertos materiales.

Por esto, la nanotecnología es también conocida como la Segunda Revolución Industrial, debido a las numerosas aplicaciones que tiene en todos los campos de la ciencia y la tecnología.¹⁶

El uso de nanotecnología en este proyecto de grado está establecido por la síntesis de dióxido de titanio mediante el proceso de sol-gel con el fin reducir el tamaño de las partículas para que así pueda ser utilizado como un componente esencial dentro

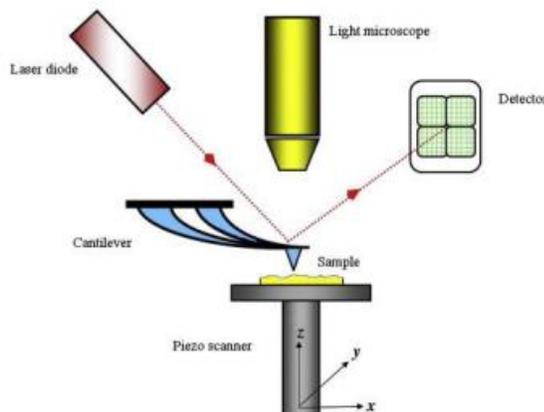
¹⁶ PEÑA, Laura. La nanotecnología para el desarrollo de productos innovadores. Centro de innovación BBVA.[2013] [En Línea]. Disponible en: <http://www.centrodeinnovacionbbva.com/blogs/emprendedores/post/la-nanotecnologia-para-el-desarrollo-de-productos-innovadores>

de la mezcla del producto, en donde se desea mejorar el encapsulamiento a nivel microscópico y además generar la propiedad de hidrofilidad en la fibra acrílica.

4.4.2 Análisis de las muestras mediante microscopia de fuerza atómica (AFM). El principio del método de microscopia de fuerza atómica está basado en el funcionamiento de un microscopio (Microscopio de fuerza atómica) en el cual interactúa la punta cristalina del mismo y la superficie de una muestra, es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los nanomewton proporcionando imágenes tridimensionales de superficies con alta resolución espacial en tiempo real. Gracias a esto el AFM es empleado en la caracterización de materiales para determinar sus propiedades físicas.

El AFM (Figura 10) presenta los siguientes componentes, una pequeña punta aguda en el extremo libre de un cantiléver que explora sistemáticamente la superficie de interés para generar una imagen topográfica. El cantiléver es de 100-200 mm de largo, con una punta que es sólo unos pocos micrómetros de largo y aproximadamente 10 nm de diámetro en su ápice. Las fuerzas entre la punta y la superficie de la muestra hacen que el cantiléver se doble. La deflexión se mide con un dispositivo, tal como una palanca óptica y se utiliza para generar un mapa de la superficie topográfica. La palanca óptica consiste en un haz de láser enchapado en oro en la parte posterior de reflexión del cantiléver y un fotodetector (PSPD) que registra la posición del haz reflejado.¹⁷

Figura 10. Esquema de representación del microscopio de fuerza atómica (AFM)



Fuente. Estudio por microscopia de fuerza atómica (AFM) del soporte de TiO_2 sobre vidrio para la degradación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea [En línea].

¹⁷ GIRALDO, María y ROBLEDO, Laura. Estudio por microscopia de fuerza atómica (AFM) del soporte de TiO_2 sobre vidrio para la degradación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea. Universidad tecnológica de Pereira. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6020/541395G516e.pdf?sequence=1>. Pág 32- 33.

4.4.3 Metodología para el análisis de las muestras por microscopia de fuerza atómica (AFM). Se realizó un análisis por medio del microscopio de fuerza atómica en el que se observó el dióxido de titanio que se obtuvo por sol-gel, el suavizante de CHT y el suavizante nuevo a partir de la formulación elegida por los investigadores que se obtuvo en el diseño de experimentos.

Para la preparación de cada una de las muestras se utilizaron portaobjetos de vidrio con medidas de 3cm de ancho por 5 cm de largo, que previamente fueron lavados con agua y jabón y posteriormente se secaron en la mufla a 90 °C durante 20 minutos para eliminar la humedad.

Una vez retirada la humedad de los portaobjetos se procedió a dispersar cada una de las muestras en estos, en donde se buscó formar una película uniforme sobre la superficie para poder ser analizada.

El análisis se llevó a cabo una vez por placa y cada análisis consistió en recorrer y estudiar 50 μm de la superficie. El tiempo de análisis por cada placa fue de 10 a 15 minutos y los resultados arrojados fueron las imágenes topográficas de las superficies de los materiales.

Las muestras analizadas fueron 3, TiO_2 (SINTETIZADO), Tubingal de la empresa de CHT, formulación desarrollada para la empresa DACETEX Ltda.

Las imágenes obtenidas se analizaron mediante el software Nanosurf C3000 y a continuación se presentan las topografías para cada una de las muestras:

Figura 11. Topografía del TiO_2 (sintetizado) diluido en agua

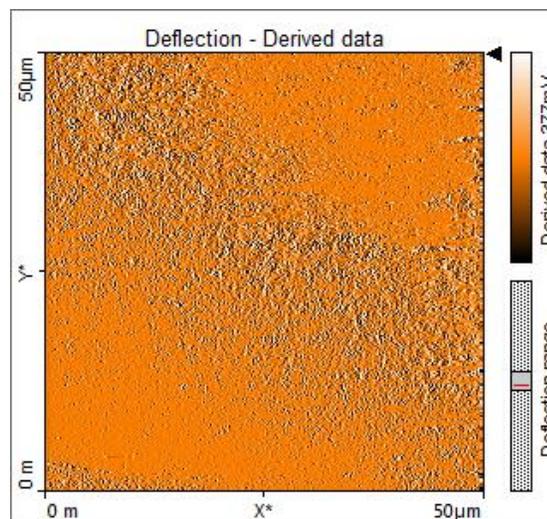


Figura 12. Topografía del producto base

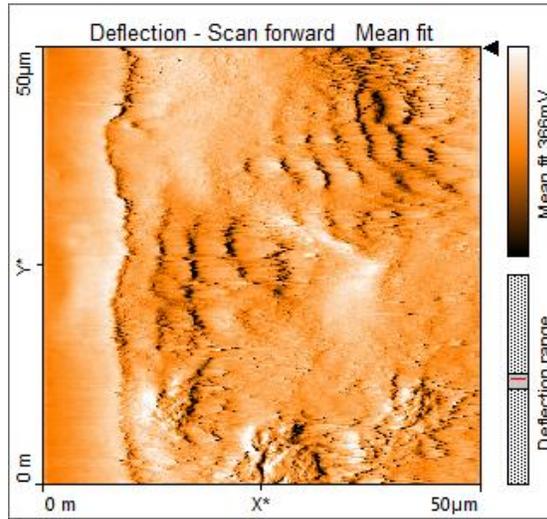
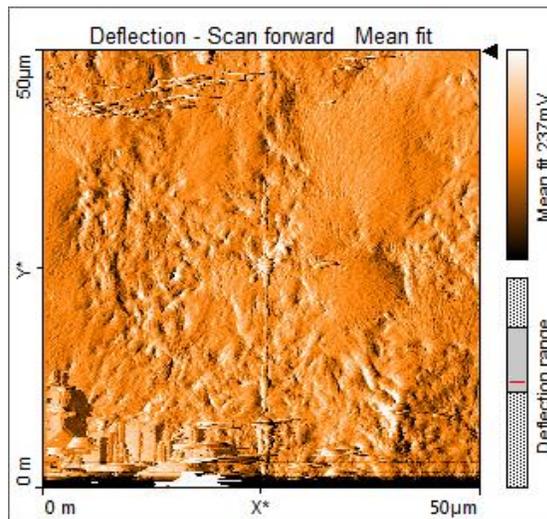
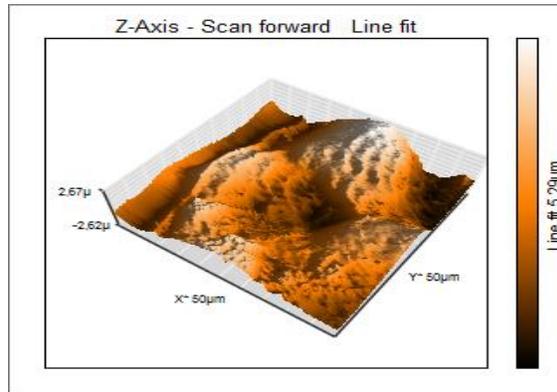


Figura 13. Topografía del Tensioactivo catiónico



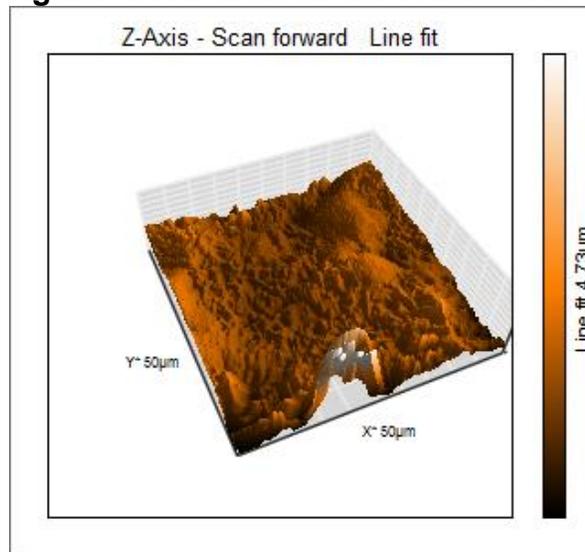
Con el análisis de AFM se hizo la comparación de las rugosidades obtenidas entre las muestras del TiO_2 Sintetizado, producto base (Tubingal) y producto desarrollado en el presente proyecto (DACETEX Ltda.). En cada caso, se obtuvo que en las muestras aumentó la rugosidad; lo que quiere decir que el TiO_2 se adhirió al material, generando cambio en la topografía.

Figura 14. AFM en 3D del producto base



La imagen que arroja valores con mayor rugosidad es la del tensioactivo catiónico desarrollado en el presente proyecto como se observa en la figura 13.

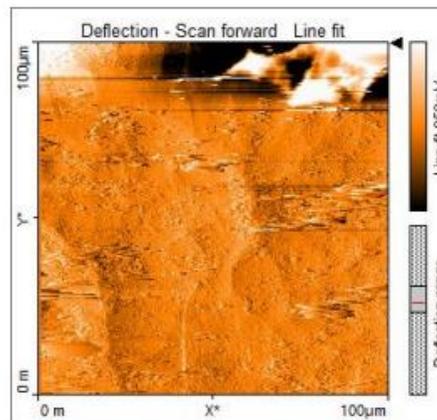
Figura 15. AFM en 3D del Tensioactivo catiónico



En la figura 11 se realizó una disolución del dióxido de titanio sintetizado en la cual se dispersó la muestra en un portaobjetos de vidrio y se llevó al microscopio de fuerza atómica, esta imagen muestra gránulos de dióxido que se encuentran presentes en la superficie de la muestra, cabe resaltar que este análisis de la microscopia de fuerza atómica no es un método para determinar la existencia de algún tipo de compuesto pero si un análisis superficial de la muestra que se encuentra analizando. En las figura 12 se observa una superficie plana la cual debido a su rugosidad baja demuestra que en la superficie no hay presencia de gránulos de algún compuesto que pueda influir en la funcionalidad del producto y en la figura 13 la rugosidad es más alta y demuestra la presencia de solidos representados en picos en la figura 15.

Con el apoyo de la tesis que tiene como título “Estudio por microscopia de fuerza atómica (AFM) del soporte de TiO_2 sobre vidrio para la degradación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea” proyecto en el cual se analizan diferentes muestras de TiO_2 mediante microscopia de fuerza atómica. Con referencia a la topografía de la figura 16 realizada por la tesis anteriormente mencionada se puede observar que las figuras 13 y 15 muestran rugosidad similar, por lo que se puede concluir que el dióxido de titanio se encuentra presente de manera uniforme en la muestra y no se concentra o se precipita dentro del suavizante.

Figura 16. TiO_2 Sintetizado



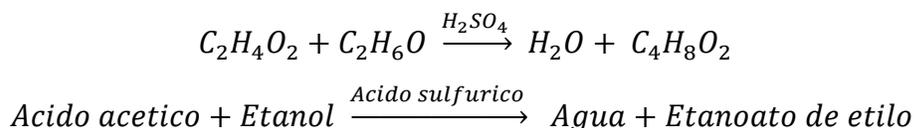
Fuente. Estudio por microscopia de fuerza atómica (AFM) del soporte de TiO_2 sobre vidrio para la degradación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6020/541395G516e.pdf?sequence=1>

5. CONDICIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL SUAVIZANTE

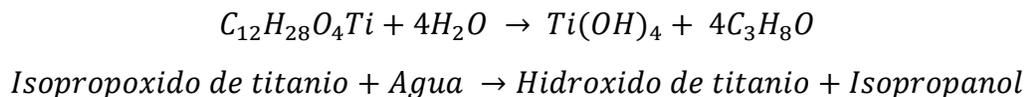
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- **Proceso de sol-gel.** Este proceso se lleva a cabo por la adición del ácido acético, etanol e isopropóxido de titanio al reactor tipo Batch que provienen de los tanques 1,2 y 3 respectivamente, agregando 1,55 Kg de etanol y 1,84 Kg de isopropóxido de titanio hasta homogenizar durante 10 min y se agrega 1 Kg de ácido sulfúrico como catalizador de la reacción, luego se agrega 1,20 Kg de ácido acético manteniendo la temperatura de reacción de 60 °C con el fin de obtener hidróxido de titanio mediante el uso de una reacción de esterificación (Reacción 4) la cual ayuda al control de la hidrolisis del isopropóxido de titanio (Reacción 5), de este reactor se obtiene hidróxido de titanio y subproductos que posteriormente en el tratamiento térmico se separan por diferencia en los puntos de ebullición.

Reacción 4. Reacción de esterificación



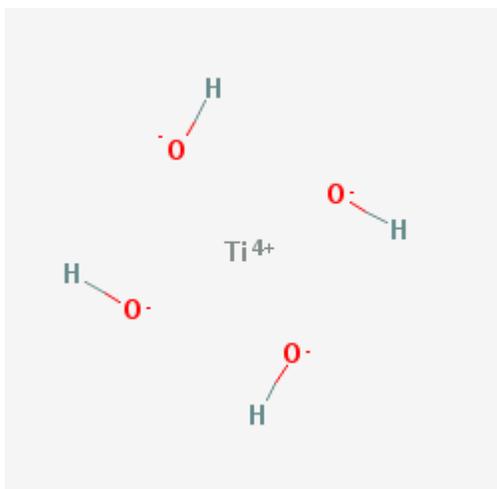
Reacción 5. Reacción de hidrolisis



Una vez agregado el ácido acético la reacción de esterificación empieza teniendo en cuenta que se agrega una cantidad mayor de etanol en relación a la cantidad necesaria del mismo para que se consuma por completo el ácido acético, en este caso 0,01083 Kg, para que la reacción se desplace hacia los productos y se consuma la totalidad del ácido acético, de esta manera toda el agua que se forma empieza la reacción de hidrolisis con un tiempo de reacción de 2 horas.

- **Filtración.** Este proceso se lleva a cabo por medio de una filtración al vacío en el que se separa la torta húmeda del hidróxido de titanio de los subproductos líquidos (isopropanol, agua, etanol y etanoato de etilo).
- **Secado y calcinación.** Luego de la obtención del hidróxido de titanio una vez que este haya sido filtrado, la muestra se llevará a un secador a una temperatura de 90°C el cual cumple con la función de eliminar la mayor cantidad de humedad y romper con los enlaces existentes entre el Ti^{4+} y el grupo hidroxilo como se muestra en la figura 17; luego en el proceso de calcinación se eleva la temperatura a 550°C con el fin de obtener el dióxido de titanio totalmente puro que por la diferencia de puntos de ebullición de los subproductos estos se evaporan.

Figura 17. Formación de dióxido de titanio a partir de hidróxido de titanio



Fuente. Open chemistry database. [En línea]. [2005]
Disponible
en:https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Titanium_hydroxide#section=2D-Structure

- **Mezcla.** La formulación escogida tiene como porcentaje de mezcla un 80 % de antiestático, 19,75 % de sorbitol y 0,25 % de dióxido de titanio de acuerdo a la base de cálculo que se tomó a nivel laboratorio y que serán los mismo valores estimados para la producción de 300 kg el cual se divide en 240 Kg de antiestático fabricado por la empresa, 59,25 Kg de sorbitol y 0,75 Kg de dióxido de titanio transformado por el método sol-gel agregando primero el sorbitol, dióxido de titanio y por último el antiestático, se debe mantener una agitación constante hasta que se homogenice la mezcla y esté lista para el envasado y posterior distribución.
- **Envasado.** Debido a que la empresa cuenta con diferentes presentaciones de venta de su producto como lo son la presentación de un envase con capacidad de 1, 200 y 1000 Kg de suavizante y que el proceso no se hace de manera automatizada se llevará a cabo por un operario que una vez terminado la homogenización en el tanque mezclador llenará los envases y posteriormente se procede a almacenar el producto para que esté listo para su distribución.

5.2 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

5.2.1 Balance de materia. En cuanto al balance de materia, se contemplados escenarios, el primero es el uso del reactor tipo batch utilizado para la producción de dióxido de titanio en la que por estequiometria se calculará las cantidades que entran y las cantidades que salen una vez ocurra las dos reacciones químicas que se tienen en este reactor y la segunda es en el tanque mezclador en el que se tendrá en cuenta la producción diaria de 300 Kg.

Para iniciar el balance se debe tener en cuenta la densidad, masa molecular y el volumen de los reactivos agregados en el reactor.

Tabla 22. Propiedades de los reactivos

Sustancia	Densidad (g/ml)	Volumen agregado (ml)	Masa molecular (gr/mol)
Ácido acético	1,049	1480,76	60,02
Etanol	0,789	1524,91	46,07
Isopropóxido de titanio	0,96	1915,49	284,215

A partir de estos datos se calcularon las moles que reaccionan teniendo en cuenta la estequiometria de las reacciones 4 y 5 con la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Calculo de moles

$$n_i = n_i^0 + v_i \varepsilon$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Donde:

n_i : son las moles totales del compuesto i

n_i^0 : son las moles iniciales del compuesto i

v_i : coeficiente estequiométricos del compuesto i

ε : es el grado de avance de la reacción

De esta forma se hallan las moles de ácido acético y de isopropóxido de titanio, y con estas el avance de reacción en un $t=0$ debido a que este es el reactivo limitante en cada una de las reacciones

Ecuación 5. Grado avance de las reacciones

$$0 = 25,88 + (-1)\varepsilon$$

$$\varepsilon = 25,88 \text{ para el acido}$$

$$0 = 6,47 + (-1)\varepsilon$$

$$\varepsilon = 6,47 \text{ para el isopropoxido}$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Y se reemplaza en la ecuación 4 para hallar las moles de todos los compuestos resumidos en la tabla 23.

Tabla 23. Moles de entrada y de salida del reactor

Sustancia	Coef. estequiométricos	Moles	
		Moles de entrada	Moles de salida
Ácido acético	-1	25,88	0
Etanol	-1	26,12	0,23
Agua R1	1	0	25,88
Etanoato de etilo	1	0	25,88
Isopropóxido de titanio	-1	6,47	0
Agua R2	-4	25,88	3,15E-9
Hidróxido de titanio	1	0	6,47
Isopropanol	4	0	25,88

Agua R1: producto para la reacción de esterificación

Agua R2: reactivo para la reacción de hidrolisis

Y a partir de las moles se calculó el balance de materia en el reactor de la siguiente manera y resumido en la tabla 24.

Ecuación 6. Calculo de masa por componente i

$$m_i = \frac{n_i * Pm_i}{1000}$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry.
[En línea]. Disponible en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Donde:

m_i : es la masa del compuesto i en Kg.

Pm_i : es el peso molecular del compuesto i en gr/mol.

Tabla 24. Resultados obtenidos de acuerdo con el balance de materia.

Materia	Reactor	
	Entrada (Kg)	Salida (Kg)
Ácido acético	1,55	0
Etanol	1,20	0,01086
Agua R1	0	0,46
Etanoato de etilo	0	2,28
Isopropóxido de titanio	1,84	0
Agua R2	0,46	5,67E-11
Hidróxido de titanio	0	0,749
Isopropanol	0	1,55
Total	5,05	5,05

- **Balance para el filtro**

Ecuación 7. Balance de materia para el filtro

$$m_{mezcla\ de\ reactor} = m_{subproductos\ liquidos} + m_{Ti(HO)_4}$$

$$m_{subproductos\ liquidos} = 4,59Kg - 0,74918 Kg$$

$$m_{subproductos\ liquidos} = 3,84082 Kg$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en:

https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

- **Balance para el mezclador:** para realizar el balance de materia en el mezclador se tiene en cuenta que no hay reacción química por lo tanto se calcula mediante la ecuación 6.

Ecuación 8. Balance de masa en el mezclador

$$m_{suavizante} = m_{antiestatico} + m_{humectante} + m_{TiO_2}$$

$$m_{suavizante} = 240kg + 59,25kg + 0,749kg$$

$$m_{suavizante} = 300 Kg$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

5.2.2 Balance de energía. El balance de energía esta dado para la chaqueta del reactor y específicamente el fluido de enfriamiento que se utiliza y se tiene en cuenta que durante la experimentación al ser una reacción exotérmica la temperatura de la reacción se elevó en 30 °C por lo que se busca con un fluido refrigerante mantener la temperatura constante, se tendrá en cuenta que en el proceso productivo ingresa 200 litros de agua fría por la chaqueta y se calculara el calor. Cabe resaltar que el balance no se hizo respecto a las entalpías de reacción de las reacciones puesto que el hidróxido de titanio en la reacción de hidrolisis no cuenta con referencias bibliográficas en donde se encuentren sus propiedades termodinámicas. El calor se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Calor absorbido

$$Q = mCp\Delta T$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Donde:

Q: calor.

m: masa del agua.

Cp: capacidad calorífica del agua

ΔT : delta de temperatura

Sustituyendo los valores de esta manera:

$$Q = 200kg * 4,1813 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} * (60 - 90)^{\circ}C = -25087,8 KJ$$

Lo que significa que el calor que se le retira al sistema para mantener la temperatura constante en 60°C es de -25087,8 KJ.

5.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

- **Reactor:** el dimensionamiento del reactor se establece de acuerdo a los criterios que se tuvieron en cuenta en el trabajo de grado “Desarrollo del proceso de producción de un emulsionante no iónico (mono-oleato de polietilenglicol) a nivel de planta piloto” realizado por David Ricardo Espinosa Otálora egresado de la Universidad de América, para el dimensionamiento del reactor el cual se utiliza para la producción del suavizante industrial en la empresa.

Tabla 25. Especificaciones del reactor seleccionado

Especificaciones R-1	
Volumen	0,45 m ³
Altura total	1,13 m
Ancho	0,79 m
Altura del cuerpo cilíndrico	0,79 m
Espesor de pared	3/16 in
Capacidad (85%)	0,384 m
Material tanque	Acero inoxidable
Material estructural-3 patas	Acero inoxidable
Válvula de vaciado	2 in
Válvula de seguridad	1 in

Fuente. Desarrollo del proceso de producción de un emulsionante no iónico (mono-oleato de polietilenglicol) a nivel planta piloto [2005]

Tabla 26. Especificaciones del agitador

Especificaciones	
Tipo	Axial
Largo	85 cm
Altura	1.12 m
Diámetro de eje	1 in
Diámetro total	0,4 m
Numero de paletas	4
Numero de hélices	2
Material	Acero inoxidable

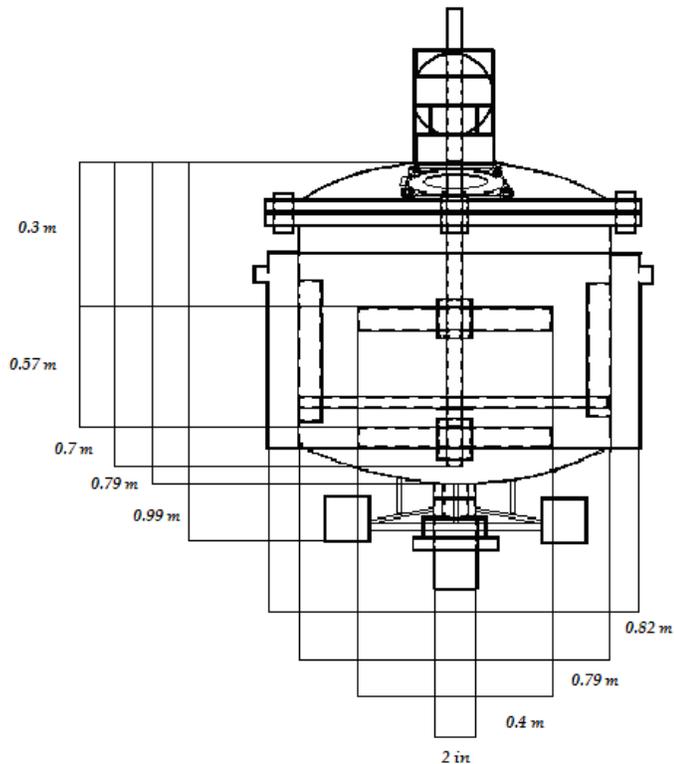
Fuente. Desarrollo del proceso de producción de un emulsionante no iónico (mono-oleato de polietilenglicol) a nivel planta piloto [2005]

Tabla 27. Especificaciones de la camisa de enfriamiento

Especificaciones	
Ancho de la pared (calibre)	1/16
Espacio con el tanque	4 cm
Presión de diseño	150 psi
Presión de trabajo	135 psi
Material	Acero Inoxidable

Fuente. Desarrollo del proceso de producción de un emulsionante no iónico (mono-oleato de polietilenglicol) a nivel planta piloto [2005]

Figura 18. Reactor Batch



Fuente. Desarrollo del proceso de producción de un emulsionante no iónico (mono-oleato de polietilenglicol) a nivel planta piloto [2005] desarrollado por David Espinosa Otálora.

TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Consideraciones del diseño

Las consideraciones del diseño se realizaron teniendo en cuenta los criterios utilizados en el manual de cálculos de la empresa Vam Industry y publicado por la Universidad abierta de Barcelona.

- **Volumen de diseño:** como margen de seguridad el volumen de los tanques será sobredimensionado en un 15%. Entonces el volumen de diseño será:

Ecuación 10. Volumen del diseño

$$V_d = V_t * 1,15$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponibile en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

- **Presión de diseño:** como margen de seguridad la presión estará sobredimensionada un 15%. El valor de la presión de diseño es:

Ecuación 11. Presión de diseño

$$P_d = P_t * 1,15$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponibile en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Donde P_t es la presión de operación de los tanques

- **Temperatura de diseño:** el margen de seguridad respecto a la temperatura quedará de 20 °C respecto a la temperatura de trabajo. Así que la temperatura de diseño será:

Ecuación 12. Temperatura de diseño

$$T_d = T_t + 20^{\circ}C$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponibile en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Donde T_t es la temperatura de operación de los tanques

Materiales de diseño: para los tanques escogidos en la producción del suavizante se escogió un acero inoxidable AISI 304 debido a que el precio del material no es tan elevado y ofrece propiedades muy buenas, pero para el tanque de ácido acético se escogió un acero inoxidable AISI 316L porque este compuesto es muy corrosivo y este material ofrece buenas propiedades ante la corrosión. Las características de los materiales son las siguientes.

Tabla 28. Materiales de diseño

Material	AISI 304	AISI 316L
Composición	18Cr-8Ni Spec No: SA-240	17Cr-12Ni Spec No: SA-240
Densidad(ρ)	7930 kg/m ³	7936 kg/m ³
Tensión máxima admisible(S)	85000psi	85000psi
Módulo de elasticidad (E)	200GPa	193 GPa
Sobreespesor por corrosión (C ₁)	0.001 mm	0.001 mm
Sobreespesor por fabricación (C ₂)	0.0018 mm	0.0018 mm

Fuente. Manual de cálculos [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

DISEÑO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Es necesario considerar la sustancia que se va a almacenar en los tanques debido a que para el ácido acético se tiene que mantener a una temperatura superior de 16°C debido a que este valor es la temperatura de congelación del ácido. A continuación se dimensiona el tanque:

- **Volumen:** en este caso como se trata de un proceso a partir de un reactor tipo Batch entonces la entrada de la alimentación no es continua por lo que no se habla en términos de un flujo si no de la masa que se agrega al reactor y el volumen se halla de la siguiente manera:

Ecuación 13. Volumen del tanque

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1,55Kg}{1049 \frac{Kg}{m^3}} = 1,48 \times 10^{-3} m^3$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

- **Sobredimensionamiento**

Ecuación 14. Volumen sobredimensionado

$$V_s = V * 1,15 = 1,70x10^{-3}m^3$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponibile en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Como máximo los tanques tienen que tener un 75% de su llenado máximo por lo que las dimensiones de los tanques se calculan como:

- **Diámetro interno tanque**

Ecuación 15. Diámetro interno del tanque

$$h \geq 1,75r$$

$$V_t = \pi * r^2 * h$$

$$(1,70x10^{-3} * 0,75) = \pi * r^2 * (1,75 * r)$$

$$r = 0,0614m$$

$$D_i = 0,1228 m$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponibile en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

- **Altura del cilindro**

Ecuación 16. Altura del cilindro

$$h = 1,75 * D_i = 0,2149m$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponibile en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

- **Volumen cilindro**

Ecuación 17. Volumen del cilindro

$$V_c = \pi * r^2 * h = \pi(0,0614m)^2 * 0,2149m = 2,545x10^{-3} m^3$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Donde:

h : es la altura del tanque.

V_t : es el volumen de trabajo del tanque.

D_i : diámetro interno del tanque

V_c : volumen del cilindro

DISEÑO DEL TANQUE DE MEZCLADO

Humectante, antiestático y el dióxido de titanio llegan al mezclador y para garantizar que la mezcla sea lo más homogénea posible se utiliza un agitador ya que estos compuestos proceden de distintas corrientes. El tiempo de mezcla se estableció en 20 minutos y la densidad de la mezcla es de 0,984 g/cm³

- Volumen de mezcla

$$V_{mezcla} = \left(300 Kg * \frac{m^3}{984Kg} \right) = 0,3048m^3$$

Debido a que se trata de un tanque agitado, y por lo tanto, cuenta con un agitador, el depósito no debe estar lleno totalmente debido a que el fluido cuando empieza a ser agitado genera un vórtice lo que ocasiona que en el centro el nivel del líquido disminuya al revés de las paredes donde aumenta la altura del líquido. Por esto es necesario que se necesita dejar un espacio de 15% del volumen total para que no se produzca pérdida de flujo o que la presión pueda romper este mezclador.

$$V_{tanque,min} = \frac{V_{mezcla}}{(1 - 0,15)} = \frac{0,3048m^3}{(0,85)} = 0,3585m^3$$

Donde:

$V_{tanque,min}$: volumen mínimo del tanque (m³)

V_{mezcla} : volumen de la mezcla en el tanque (m³)

- **Dimensionamiento:** teniendo el valor mínimo del volumen del tanque se determinan las dimensiones del mismo y este dimensionamiento estará enfocado en la parte cilíndrica del tanque teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

Ecuación 18. Volumen del tanque

$$V_{tanque} = \frac{\pi}{4} * D^2 * H$$

- Relación entre Altura (H) y diámetro (D):

$$\frac{H}{D} = 2$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIindustry_v11.pdf

Calculo del diámetro:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{tanque}}{2 * \pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0,3585m^3}{2 * \pi}} = 0,611m$$

Entonces la altura del tanque sería:

$$H = 2 * 0,611m = 1,22m$$

Una vez obtienen los valores del dimensionamiento estos se normalizan con el fin de tener medidas estándar y que sea económicamente más viable, tomando la altura de 2 metros y el diámetro de 1 metro.

A partir del dimensionamiento del tanque y las medidas estándar se vuelve a calcular el volumen del tanque a partir de la ecuación 18 siendo este el volumen real al cual se diseñara

$$V_{tanque,real} = \frac{\pi}{4} * 0,8^2 * 1,5 = 0,7539 m^3$$

Donde:

$V_{tanque,real}$: volumen del tanque real (m³)

D: diámetro del tanque (m)

H: altura del tanque (m)

Y se calcula el porcentaje de ocupación de la mezcla:

Ecuación 19. Porcentaje de volumen ocupado

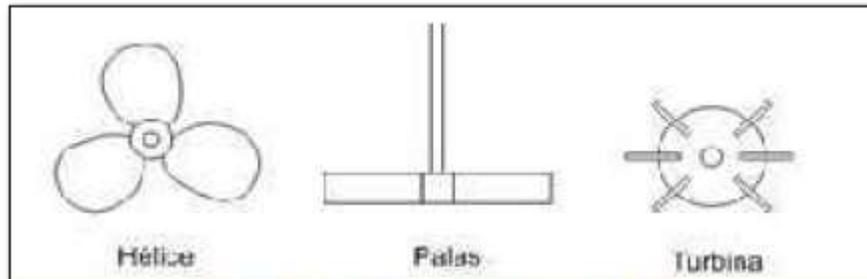
$$\%Volumen\ ocupado = \frac{V_{mezcla}}{V_{tanque\ real}} * 100$$

$$\%Volumen\ ocupado = \frac{0,3048m^3}{0,7539m^3} * 100 = 40,42\%$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

- **Agitación:** la mezcla se encuentra en estado líquido por lo que se instala un sistema de agitación para mantener el contenido homogenizado

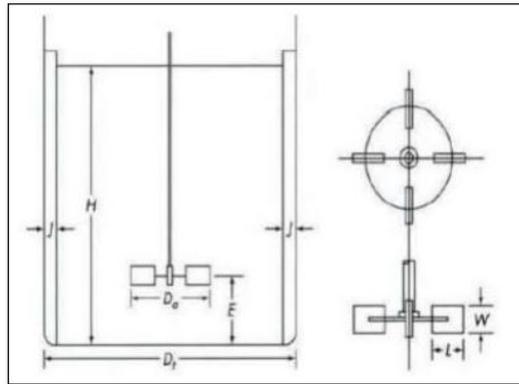
Figura 19. Tipos de agitadores



Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Se escoge un agitador de turbina, ya que es adecuado para este proceso y trabaja en un amplio rango de viscosidad. Este tipo de agitador trabaja a 300rpm y 6 palas de mezcla y se calculan las dimensiones teniendo en cuenta las relaciones geométricas de la siguiente figura obtenida bibliográficamente:

Figura 20. Agitador de turbina de palas



Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponble en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamI ndustry_v11.pdf

Ecuación 20. Relaciones geométricas

$$D_a/D_t = \frac{1}{3}$$

$$J/D_t = \frac{1}{12}$$

$$E/D_t = \frac{1}{3}$$

$$W/D_a = \frac{1}{5}$$

$$L/D_a = \frac{1}{4}$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponble en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_Vam Industry_v11.pdf

Donde:

D_a : diámetro del agitador (m).

D_t : diámetro interno del reactor (m).

J: ancho de las placas deflectoras (m).

E: altura desde la turbina hasta el fondo del reactor (m).

W: altura de las palas de turbina (m).

L: ancho de las palas de turbina (m).

Se sustituyen los valores en las relaciones para el dimensionamiento del tanque

$$D_a = \frac{1}{3} * 800mm = 266,6mm = 0,26m$$

$$J = \frac{1}{12} * 800mm = 66,66mm = 0,066m$$

$$E = \frac{1}{3} * 800 = 266,6mm = 0,26m$$

$$W = \frac{1}{5} * 0,26m = 0,052m$$

$$L = \frac{1}{4} * 0,26m = 0,065m$$

A continuación se halla el número de Reynolds:

Ecuación 21. Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * n * D_a^2}{\mu}$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea].
Disponble en:
https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Donde:

Re: número de Reynolds

ρ : Densidad de la mezcla (Kg/m³)

n: revoluciones del agitador, 300rpm (rps)

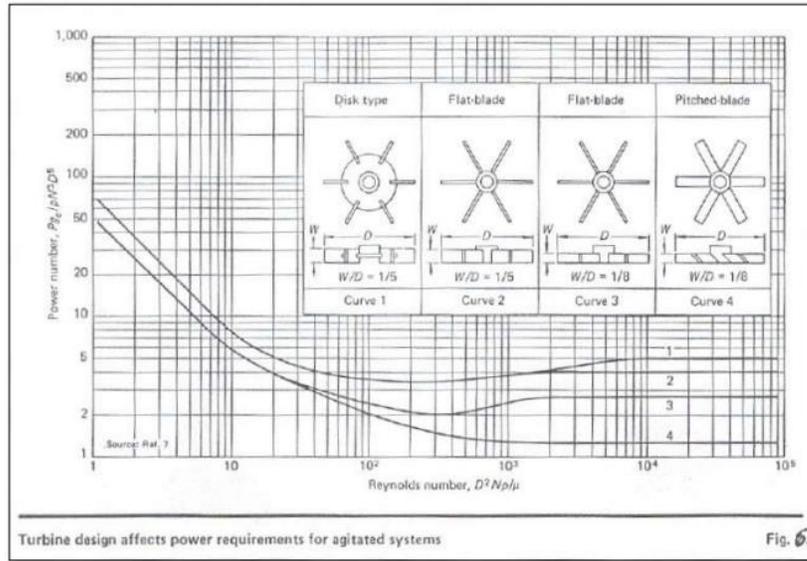
D_a: diámetro del agitador (m)

μ : viscosidad de la mezcla (Kg/m.s)

$$Re = \frac{984 \text{ Kg/m}^3 * 5 \text{ rps} * (0,26m)^2}{0,04 \text{ Kg/m} * s} = 8314,8$$

Con este valor conocido de 8314,8 el cual está en régimen turbulento se puede hallar el número de potencia gráficamente mediante la figura 23.

Figura 21. Número de potencia en función de Reynolds



Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

El tipo de agitador corresponde a la curva 1 (Figura 21) y debido a que el número de Reynolds es mayor a 10^3 se considera un valor constante de $N_p = 5$

Seguidamente se calcula la potencia del agitador a partir de la siguiente expresión:

Ecuación 22. Potencia del agitador.

$$P = \frac{N_p * D a^5 * n^3 * \rho}{g}$$

Fuente. Manual de cálculos. Van industry. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11.pdf

Donde:

P: potencia del agitador (kW)

Da: diámetro del agitador (m)

N: revoluciones del agitador, 300 rpm (rps)

ρ : densidad de la mezcla (Kg/m³)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

$$P = \frac{5 * (0,26m)^5 * (5 \text{ rps})^3 * 984 \text{ Kg}/m^3}{9,81 \text{ m}/s^2} = 74,4 \text{ kW}$$

6. EVALUACIÓN DEL COSTO DEL PRODUCTO FINAL

La evaluación del costo final estará enfocado en tener en cuenta los precios de las materias primas y las cantidades de las mismas que se utilizan para producir un lote de 300 kg del suavizante. En este caso primero se calculara el costo de producir 0,749 Kg de dióxido de titanio y posteriormente el cálculo para producir los 300 kg del suavizante.

De esta forma el precio de las materias primas para producir el hidróxido de titanio es el siguiente:

Tabla 29. Costo de materia prima para el proceso Sol-gel

	\$/Kg	Kg _{utilizados}	\$/Kg _{utilizados}	Costo Materia prima, \$/ Kg
Ácido Acético	5.350	1,55	8.292,5	11.083,267
Etanol	3.300	1,2	3.960	5.292,7025
Isopropoxido	3'750.000	1,84	6'900.000	9'238.509,1
			Total	9'238.509,1

Donde:

- \$/Kg: es el precio en el que se consiguen las materias primas en el mercado.
- Kg _{utilizados}: es la cantidad de masa que se utilizó para la producción del dióxido de titanio.
- \$/Kg _{utilizados}: precio según la cantidad de Kg utilizados y se calculó mediante la siguiente ecuación para cada una de las materias primas:

Ecuación 23. Precio por Kg utilizado

$$\$/Kg_{utilizados} = \$/Kg * Kg_{utilizados}$$

- Y el precio final está calculado de la siguiente manera para cada una de las materias primas:

Ecuación 24. Costo materia prima para el proceso de Sol-gel

$$Precio\ final = \sum \$/Kg_{utilizados}/n$$

- N: cantidad producida de dióxido de titanio.

Finalmente el costo de producción del dióxido de titanio por el método sol-gel es de 9'238.509 pesos por Kg producido.

- **Costos de producción:** para los costos de producción se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

Tabla 30. Costo de materia prima para el proceso de mezcla

	\$/Kg	Kg _{utilizados}	\$/Kg _{utilizados}	Costo Materia Prima, \$/Kg
Antiestático	3.320	240	8.292,5	2.656
Humectante	2.700	59,25	159.975	533,25
Dióxido de titanio	-	0,75	9'238.509	30.795
			Total	33.984

- **Mano de obra:** respecto a la mano de obra se tiene en cuenta un operario que manera los equipos al cual se le pagara el salario mínimo legal vigente; entonces para la producción de 300 Kg se contempla el trabajo de un día con un turno de 8 horas de la siguiente manera:

Ecuación 25. Costo Mano de obra

$$C_{MO} = \frac{\frac{SM}{D}}{300Kg}$$

Donde:

C_{MO} : es el costo de la mano de obra.

SM: salario mínimo legal vigente.

D: día

Entonces:

$$C_{MO} = \frac{\frac{737,717\$}{20}}{300} = \$122,95 COP/Kg$$

El costo de la mano de obra para producir un kilogramo es de \$ 122,95 COP/ Kg.

- **Envase del material:** El envase con capacidad de un kilogramo, etiqueta y caja de almacenamiento tiene un costo de \$ 1200 COP/Kg
- **Costos de mantenimiento y servicios:** para el costo de mantenimiento se tiene que es el 1% del costo de producción y el costo de los servicios se tiene en cuenta la potencia necesaria para que funcione el agitador:

El costo de KW/h es de \$ 280,3 COP y la potencia es de 74,4 KW/h

Por lo tanto

Ecuación 26. Costo servicios

$$C_s = \$280,3 \text{ COP} * 74,4 \frac{\text{KW}}{\text{h}} = \frac{\$20.720 \text{ COP}}{300\text{Kg}} = \$0,069 \text{ COP}$$

Para hallar el costo de producción de un kilogramo de suavizante se realiza de la siguiente manera:

Ecuación 27. Costo de producto

$$C_{\text{producto}} = \sum \text{Costos de producción}$$

$$C_{\text{producto}} = \$33,984 + \$122,95 + \$1,200 + \$0,069 + \$339,84 = \$ 35,646 \text{ COP/Kg}$$

El costo total por cada kilogramo del tensoactivo catiónico es de \$ 35,307 COP y el precio de venta se calculara de la siguiente manera:

Ecuación 28. Precio de venta

$$P = C * \left(\frac{100}{100 - R} \right)$$

Donde:

- P es el precio de venta del producto.
- C es el costo de fabricación del producto.
- R es la rentabilidad o el margen de ganancia

Nota: para este caso el margen de ganancia será del 60%

Entonces el precio de venta del tensoactivo será:

$$P = 35.646 * \left(\frac{100}{100 - 60} \right)$$

$$P = \$ 89.115 \text{ COP}$$

El precio de venta está relacionado directamente con el margen de ganancia que se establece por la empresa dando como resultado un precio final de \$ 89.115 COP/Kg el cual es un precio muy alto para competir con en el mercado debido a que el producto con el cual se compite se vende a \$12.000 COP/Kg.

7. CONCLUSIONES

- La aplicación del producto base en la fibra acrílica sin tratar, sin importar la concentración en que este sea añadido en el baño de impregnación, siempre cumple con los límites de aprobación para todas las propiedades evaluadas en el presente proyecto.
- La formulación escogida mediante el diseño de experimentos de vértices extremos fue la mezcla No 1 ya que los valores obtenidos en las variables de respuesta (porcentaje de absorción 69.292 %, tiempo de dispersión de la gota de agua 5,68 segundos y suavidad 4,5 mm) fueron los que más se acercaron a los valores óptimos arrojados por el programa *Statgraphics Centurion*.
- En comparación con la fibra sin tratar, la formulación desarrollada en el presente trabajo (Mezcla No 1) mejora significativamente las propiedades de la fibra acrílica por lo que el producto puede ser una buena competencia en el mercado dado que los valores obtenidos en las pruebas son cercanos a los del producto de la empresa CHT.
- A través de la experimentación se pudo corroborar que el uso de dióxido de titanio sintetizado en el desarrollo de la formulación del tensioactivo catiónico fue el componente que le proporcionó la propiedad de hidrofiliidad a la fibra acrílica sin tratar.
- La dificultad del proceso radica en la consecución y el costo elevado del isopropóxido de titanio como precursor de la síntesis de dióxido de titanio debido a que este compuesto no es producido a nivel nacional, por lo tanto la utilización de dióxido de titanio sintetizado como materia prima en la mezcla hace que el producto final tenga un costo de \$ 89.115 COP por kilogramo, el cual es elevado puesto que el promedio para competir en el mercado es de \$12.000 COP por kilogramo.

8. RECOMENDACIONES

- El uso del isopropóxido de titanio como precursor para la síntesis de dióxido de titanio mediante el método sol-gel no es el indicado por el alto costo de consecución, por lo que se recomienda el cambio de precursor o no utilizar este método para la síntesis de este ya que posteriormente será utilizado en la formulación del tensioactivo catiónico.
- En la parte del procedimiento del método sol-gel se debe tener precaución al momento de dejar reposar la muestra, debido a que el dióxido de titanio precipita en el fondo del beaker y la temperatura aumenta, generando una burbuja que al liberar la presión puede ocasionar accidentes y pérdida de material en esa etapa del proceso.
- Teniendo en cuenta que el producto de la empresa CHT contiene compuestos siliconados se recomienda desarrollar un tensioactivo catiónico en cual se incluya dentro de su formulación el uso de siliconas con el fin de otorgarle las mismas propiedades generadas por TUBINGAL ACE a la fibra acrílica.

BIBLIOGRAFIA

A. Almanza, J.S. Valencia, "Influencia de algunas variables del proceso sol-gel en las texturales y estructurales de un soporte de NiAl_2O_4 "; Boletín de la sociedad Española de Cerámica y Vidrio (2004), Internet: (<<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo;jsessionid=180E4594EF105F91B8253A7DEF2092EB.dialnet02?codigo=914363>>).

ARCE C., Andrea y PIEDRAHITA R., Sergio. Evaluación de la viabilidad técnica y financiera de la producción de un suavizante de telas en la empresa marchen s.a. BOGOTÁ D.C: Universidad de América, Facultad de Ingenierías, 2013.156p.

ANGELES.G, María y ROBLEDO V, Laura. Tesis de grado "Estudio por microscopía de fuerza atómica (AFM) del soporte de TiO_2 sobre vidrio para la degradación de contaminantes por fotocátalisis heterogénea". Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia (2015); Internet: (<<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6020/541395G516e.pdf?sequence=1>>).

. "Manual de cálculos- Vam Industry". Universidad Autónoma de Barcelona. Internet: (<https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v11>).

"Técnicas de Caracterización. Conceptos Generales", Internet: (<http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2681/IV_T%C3%A9cnicas_de_caracterizaci%C3%B3n._Conceptos_generales.pdf?sequence=8>).

CARRIÓN F., Javier. Propiedades generales de los suavizantes textiles catiónicos: especificaciones de producto y sus efectos en los textiles. BOL. INTEXTAR. 1988, N°93, pág 73-74.

CARRERA D, Guillermo. "El grado de avance de una reacción y su aplicación a la estequiometría y al equilibrio químico". Internet: (<http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/hja/file/BMat_CBS/Grado_Avance_reaccion09P.pdf>).

GABRIEL R., Raúl, "Diseño de experimentos, Capítulos 1 2 y 3"; UNAD, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2008), Internet: (<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201020/Diseno_de_Experimentos_Cap123.pdf>).

HERNANDEZ. S, Miguel. Tesis de grado "Síntesis de pigmentos cerámicos por métodos no convencionales: Técnica Sol-Gel". Universidad Nacional, Colombia (2013); Internet: (<<http://www.bdigital.unal.edu.co/39725/1/79219018.2014.pdf>>).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, Bogotá: en instituto, 2008, p.1

JIMENEZ G., Antonio E, “Depósito químico Sol-gel”, Centro de investigación en Energía UNAM, Internet:

(<<https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/15823151225d45c5?projector=1>>)

LÓPEZ, Luigie Leonardo. Proyecto de factibilidad para la producción de suavizante líquido para ropa en la provincia de Manabí y su comercialización en la ciudad de Quito por Industriales C.A.QUITO.: Universidad Politécnica Salesiana, 2012. 230 p.

MARÍN, Miguel; DÍAZ, Zaira; RÍOS, Luis y RESTREPO, Gloria. Artículo “Influencia del tiempo en la fabricación de sistemas fotoactivos TiO₂ /Poliéster”. Revista Colombiana de Física Vol 39, Colombia (2007). Internet: (<http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/generales/interna!/ut/p/z0/fVBNSwMxEP0r6WGPkriVWo_LIkLpSUHaXGScnW5H05nsJlv035t-XATx9j5mHo9nvd1YL3DkHjKrQCh86xdvvy4e2vm3u3PrpedW6ZtE2j_cvr-t6WduV9f8fIAT>

PESOK M., Juan C. Introducción a la Tecnología Textil. Universidad de la República. (2014) pág 52-60.

SÓLE C., Antonio, “El pilling en los artículos textiles”, Área de innovación y Desarrollo,S.L(2014),Internet:(<<http://www.3ciencias.com/wpontent/uploads/2014/02/EL-PILLING-EN-LOS-ART%C3%8DCULOSEXTEXTILES.pdf>>).

SÁNCHEZ. H, Rubén. Tesis de grado “Síntesis de TiO₂ mediante procesos Sol-gel para su aplicación en procesos fotocatalíticos”. Universidad Rey Juan Carlos, México (2010); Internet: (<<https://eciencia.urjc.es/handle/10115/11794>>).

VÉLEZ CABRERA, Luis G; RODRÍGUEZ LÓPEZ, Eric F; CAMACHO RÍOS, María T. Informe “Desempeño del sector textil confección 2008-2012”. Superintendencia de sociedades, Colombia (2013); pág. 5. Internet: (<<http://www.supersociedades.gov.co/noticias/Documents/2015/Septiembre/EE1-%20Sector%20Textil-%202015%20VIII%202014.pdf>>).

Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5313. Bogotá: el instituto, 2008, p.12.

Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el instituto, 1998, p.12.

ANEXOS

ANEXO A.

FICHAS TÉCNICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO ACÉTICO		ICSC: 0363 Mayo 2010	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	64-19-7 AF1225000 2789 607-002-00-6 200-580-7	Ácido acético glacial Ácido etanoico Ácido etílico Ácido metanocarboxílico $C_2H_3O_2 / CH_3COOH$ Masa molecular: 60.1	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable.	Evitar las flamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada o dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Por encima de 30°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Riesgo de incendio y explosión en contacto con oxidantes fuertes.	Por encima de 30°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Vértigo. Jadeo. Dificultad respiratoria.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semincorporado. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Dolor. Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. Pérdida de visión.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, solo bajo la responsabilidad de un experto. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 10-35 S: (1/2)-(23-26-45) Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Riesgos Subsidiarios de las NU: 3 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Líquidos y vapores inflamables. Noctivo si se inhala el vapor. Noctivo en contacto con la piel. Puede ser nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar inflamación respiratoria. Provoca daños en el sistema respiratorio tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala. Noctivo para los organismos acuáticos.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F2; R0		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar bien ventilado. Bien cerrado. Almacenar en el recipiente original. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea el CE, IPCS, 2010			
			

VEASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO ACÉTICO		ICSC: 0363
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro de olor acre.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un ácido débil. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con bases fuertes, ácidos fuertes y muchos otros compuestos. Ataca a algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 10 ppm como TWA, 15 ppm como STEL (ACGIH 2010). LEP UE: 10 ppm; 25 mg/m³ como TWA (EU 1991).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede causar edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Los pulmones pueden resultar afectados tras exposiciones prolongadas o repetidas a un aerosol de esta sustancia. Riesgo de erosión de los dientes tras exposiciones prolongadas o repetidas al aerosol de esta sustancia.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 118°C Punto de fusión: 16.7°C Densidad relativa (agua = 1): 1.05 Solubilidad en agua: miscible. Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.5 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.1</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.02 Punto de inflamación: 39°C c.c. Temperatura de autoignición: 485°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6.0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.17</p>	
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El nº NU 2789 corresponde al ácido acético, ácido acético glacial o un disolución de ácido acético con más del 80 % de ácido en peso. Otro nº NU: NU 2790 disolución de ácido acético (entre el 10 y el 80% de ácido acético en peso); clasificación de peligro NU 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-ED: 10 ppm; 25 mg/m³</p> <p>VLA-EC: 15 ppm; 37 mg/m³</p>		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2010		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ETANOL (ANHIDRO)		ICSC: 0044	
		Octubre 2000	
Alcohol etílico			
CAS:	64-17-5	<chem>CH3CH2OH</chem> / <chem>C2H5O</chem>	
RTECS:	K06300000	Masa molecular: 46.1	
NU:	1170		
CE Índice Anexo I:	603-002-00-5		
CE / EINECS:	200-578-6		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SINTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN			
Inhalación	Tos. Dolor de cabeza. Fatiga. Somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemazón.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Confusión. Vértigo. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO		
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Eliminar el residuo con agua abundante.	Clasificación UE Símbolo: F R: 11 S: (2)-(7)-16 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II		
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO		
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1170. Código NFPA: H 0; F 3; R 0;	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.		
IPCS International Programme on Chemical Safety	  		 
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005			

VEÁSE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ETANOL (ANHIDRO)

ICSC: 0044

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS:

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.

PELIGROS QUÍMICOS:

Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 1000 ppm (como TWA), A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004).
MAK: 500 ppm; 960 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(2),
Cancerígeno: categoría 5, Mutágeno: categoría 5, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración. Ver Notas.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 79°C
Punto de fusión: -117°C
Densidad relativa (agua = 1): 0,8
Solubilidad en agua: miscible
Presión de vapor, kPa a 20°C: 5,8
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,03
Punto de inflamación: 13°C c.c.
Temperatura de autoignición: 363°C
Límite de explosividad, % en volumen en el aire: 3,3-19
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0,32

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

El consumo de etanol durante el embarazo puede afectar al feto. La ingesta crónica de etanol puede causar cirrosis hepática. El punto de inflamación de la disolución acuosa al 50% es 24°C. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2013):

VLA-EC: 1000 ppm; 1910 mg/m³

Notas: Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE 2005



Material Safety Data Sheet
Titanium(IV) isopropoxide

MSDS# 37749

Section 1 - Chemical Product and Company Identification

MSDS Name: Titanium(IV) isopropoxide
Catalog Numbers: AC194700000, AC194700010, AC194700050, AC194702500, NC9844822
Synonyms: Tetraisopropyl orthotitanate.

Company Identification: Acros Organics BVBA
Janssen Pharmaceuticaaan 3a
2440 Geel, Belgium

Company Identification: (USA) Acros Organics
One Reagent Lane
Fair Lawn, NJ 07410

For information in the US, call: 800-ACROS-01
For information in Europe, call: +32 14 57 52 11
Emergency Number, Europe: +32 14 57 52 99
Emergency Number US: 201-796-7100
CHEMTREC Phone Number, US: 800-424-9300
CHEMTREC Phone Number, Europe: 703-527-3887

Section 2 - Composition, Information on Ingredients

CAS#: 546-68-9
Chemical Name: Titanium(IV) isopropoxide
%: 98+
EINECS#: 208-909-6

Hazard Symbols: XN



Risk Phrases: 10 20 36

Section 3 - Hazards Identification

EMERGENCY OVERVIEW

Warning! Flammable liquid and vapor. Harmful if inhaled. Causes eye irritation. May cause skin and respiratory tract irritation. Target Organs: Eyes.

Potential Health Effects

Eye: Causes eye irritation.
Skin: May cause skin irritation. May be harmful if absorbed through the skin.
Ingestion: May cause irritation of the digestive tract. May be harmful if swallowed.
Inhalation: Harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Chronic: No information found.

Section 4 - First Aid Measures

Eyes: Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Get medical aid.

Skin: Immediately flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Get medical aid if irritation develops or persists.

Ingestion: Do not induce vomiting. Get medical aid.

Inhalation: Get medical aid immediately. Remove from exposure and move to fresh air immediately. If breathing is difficult, give oxygen. Do not use mouth-to-mouth resuscitation if victim ingested or inhaled the substance; induce artificial respiration with the aid of a pocket mask equipped with a one-way valve or other proper respiratory medical device.

Notes to Physician:

Section 5 - Fire Fighting Measures

General Information: As in any fire, wear a self-contained breathing apparatus in pressure-demand, MSHA/NIOSH (approved or equivalent), and full protective gear. Vapors may form an explosive mixture with air. Vapors can travel to a source of ignition and flash back. Will burn if involved in a fire. Containers may explode in the heat of a fire. Flammable liquid and vapor.

Extinguishing Media: Use water spray, dry chemical, carbon dioxide, or chemical foam.

Autoignition Temperature: Not applicable.

Flash Point: 46 deg C (114.80 deg F)

Explosion Limits: Lower: Not available

Explosion Limits: Upper: Not available

NFPA Rating: health: 2; flammability: 2; instability: 1;

Section 6 - Accidental Release Measures

General Information: Use proper personal protective equipment as indicated in Section 8.

Spills/Leaks: Absorb spill with inert material (e.g. vermiculite, sand or earth), then place in suitable container. Wear a self contained breathing apparatus and appropriate personal protection. (See Exposure Controls, Personal Protection section). Remove all sources of ignition. Use a spark-proof tool. Do not let this chemical enter the environment.

Section 7 - Handling and Storage

Handling: Use spark-proof tools and explosion proof equipment. Do not get in eyes, on skin, or on clothing. Keep away from heat, sparks and flame. Do not ingest or inhale. Use only in a chemical fume hood.

Storage: Keep away from sources of ignition. Store in a cool, dry place. Store in a tightly closed container. Flammables-area.

Section 8 - Exposure Controls, Personal Protection

Chemical Name	ACGIH	NIOSH	OSHA - Final PELs
Titanium(IV) isopropoxide	none listed	none listed	none listed

OSHA Vacated PELs: Titanium(IV) isopropoxide: None listed

Engineering Controls:

Use explosion-proof ventilation equipment. Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash facility and a safety shower. Use only under a chemical fume hood.

Exposure Limits:

Personal Protective Equipment

Eyes: Wear appropriate protective eyeglasses or chemical safety goggles as described by OSHA's eye and face protection regulations in 29 CFR 1910.133 or European Standard EN166.

Skin: Wear appropriate protective gloves to prevent skin exposure.

Clothing: Wear appropriate protective clothing to prevent skin exposure.

Respirators: A respiratory protection program that meets OSHA's 29 CFR 1910.134 and ANSI Z88.2 requirements or European Standard EN 149 must be followed whenever workplace conditions warrant respirator use.

Section 9 - Physical and Chemical Properties

Physical State: Liquid

Color: clear colorless to light yellow

Odor: alcohol-like

pH: 7

Vapor Pressure: 0.1 mbar @ 20 deg C

Vapor Density: 9.8

Evaporation Rate: Not available

Viscosity: 4.3 cP @ 25 deg C

Boiling Point: 240 deg C @ 760 mmHg (464.00°F)

Freezing/Melting Point: > 15 deg C (> 59.00°F)

Decomposition Temperature: Not available

Solubility in water: Hydrolysis.

Specific Gravity/Density: 0.950

Molecular Formula: C12H28O4Ti

Molecular Weight: 284.26

Section 10 - Stability and Reactivity

Chemical Stability: Moisture sensitive.

Conditions to Avoid: Incompatible materials, ignition sources, excess heat, exposure to moist air or water

Incompatibilities with Other Materials: Strong oxidizing agents, strong acids.

Hazardous Decomposition Products: Carbon monoxide, carbon dioxide, titanium/titanium oxides.

Hazardous Polymerization: Has not been reported.

Section 11 - Toxicological Information

RTECS#: CAS# 546-68-9: NT8060000

RTECS:

CAS# 546-68-9: Draize test, rabbit, eye: 20 mg/24H Moderate;

Draize test, rabbit, skin: 500 mg/24H Mild;

LD50/LC50: Oral, rat: LD50 = 7460 uL/kg;

Skin, rabbit: LD50 = >16 mL/kg;

Other:

Carcinogenicity: Titanium(IV) isopropoxide - Not listed as a carcinogen by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.

Other: See actual entry in RTECS for complete information.

Section 12 - Ecological Information

Other: Do not empty into drains.

Section 13 - Disposal Considerations

Dispose of in a manner consistent with federal, state, and local regulations.

Section 14 - Transport Information

US DOT

Shipping Name: FLAMMABLE LIQUIDS, N.O.S.

Hazard Class: 3

UN Number: UN1993

Packing Group: III

Canada TDG

Shipping Name: Not available

Hazard Class:

UN Number:

Packing Group:

Section 15 - Regulatory Information

European/International Regulations

European Labeling in Accordance with EC Directives

Hazard Symbols: XN

Risk Phrases:

- R 10 Flammable.
- R 20 Harmful by inhalation.
- R 36 Irritating to eyes.

Safety Phrases:

- S 16 Keep away from sources of ignition - No smoking.
- S 26 In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.
- S 39 Wear eye/face protection.

WGK (Water Danger/Protection)

CAS# 546-68-9: Not available

Canada

CAS# 546-68-9 is listed on Canada's DSL List

Canadian WHMIS Classifications: B3, D1B, D2B

This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the Controlled Products Regulations and the MSDS contains all of the information required by those regulations.

CAS# 546-68-9 is not listed on Canada's Ingredient Disclosure List.

US Federal

TSCA

CAS# 546-68-9 is listed on the TSCA Inventory.

Section 16 - Other Information

MSDS Creation Date: 11/05/1997

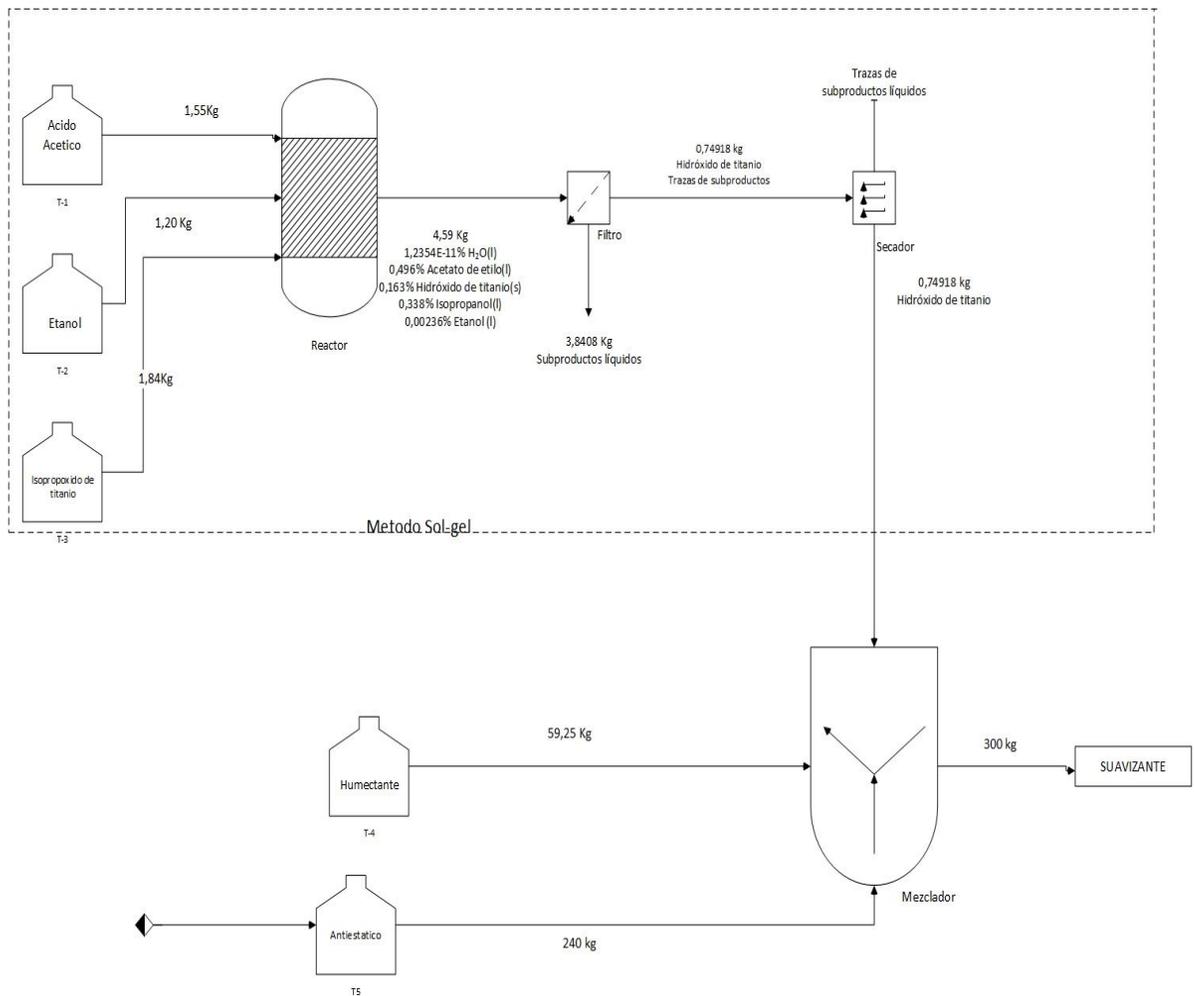
Revision #9 Date 7/20/2009

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall the company be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential, or exemplary damages howsoever arising, even if the company has been advised of the possibility of such damages.

ANEXO B.

DIAGRAMAS DE FLUJO DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS

Figura 22. Diagrama de flujo de proceso



Fuente. Modificado por los autores

En la figura 22, se establece el diagrama de flujo de proceso de la producción del suavizante en donde se lleva a cabo tanto el proceso sol-gel como la mezcla con la formulación de la muestra No. 1 (tabla 18) la cual fue escogida por los autores anteriormente. Se tendrá en cuenta que la empresa tiene una producción de 300 Kg por cada proceso de producción de suavizante y el proceso no es continuo, y con base a esta cantidad se tendrá en cuenta los balances de masa.

Figura 23. Metodología de preparación de las muestras del diseño

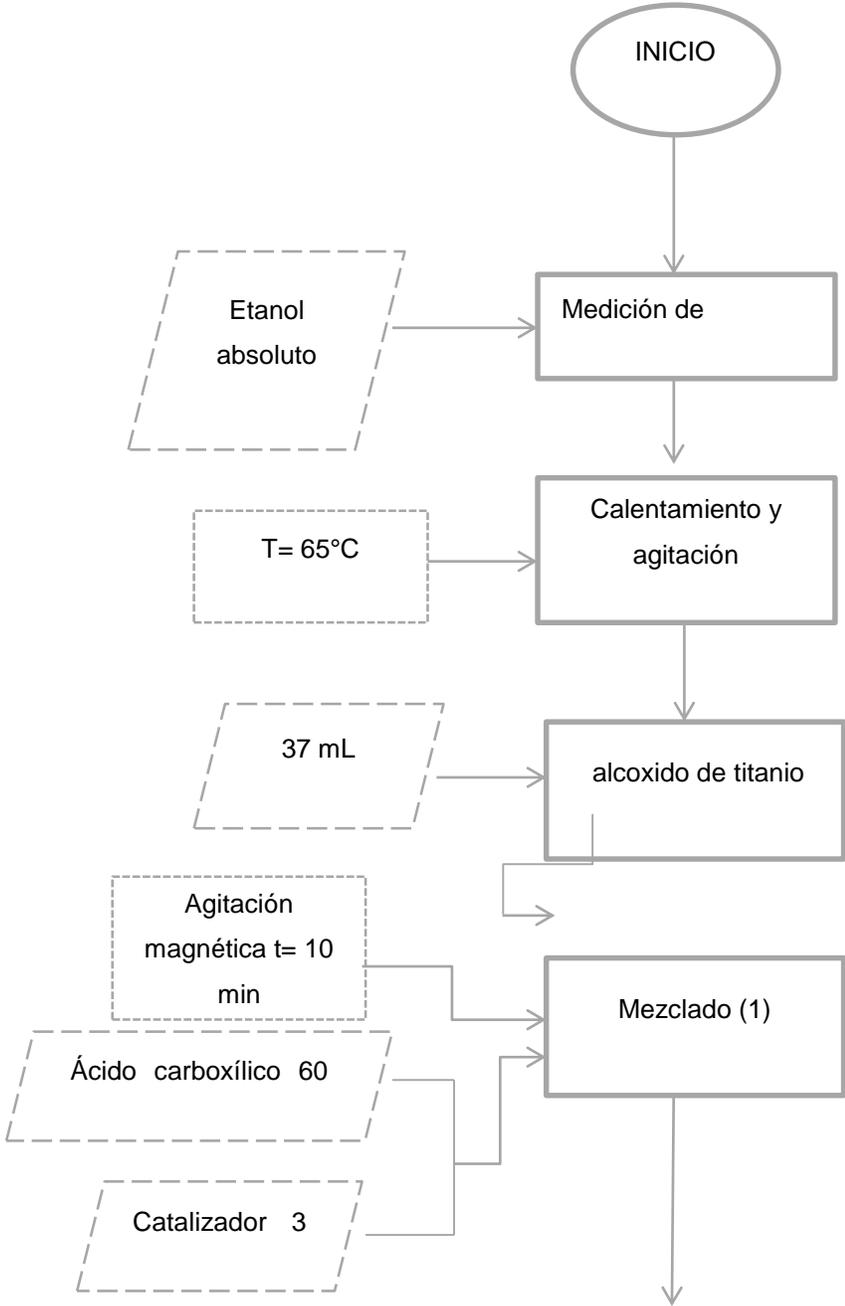


Figura 23. Continuación

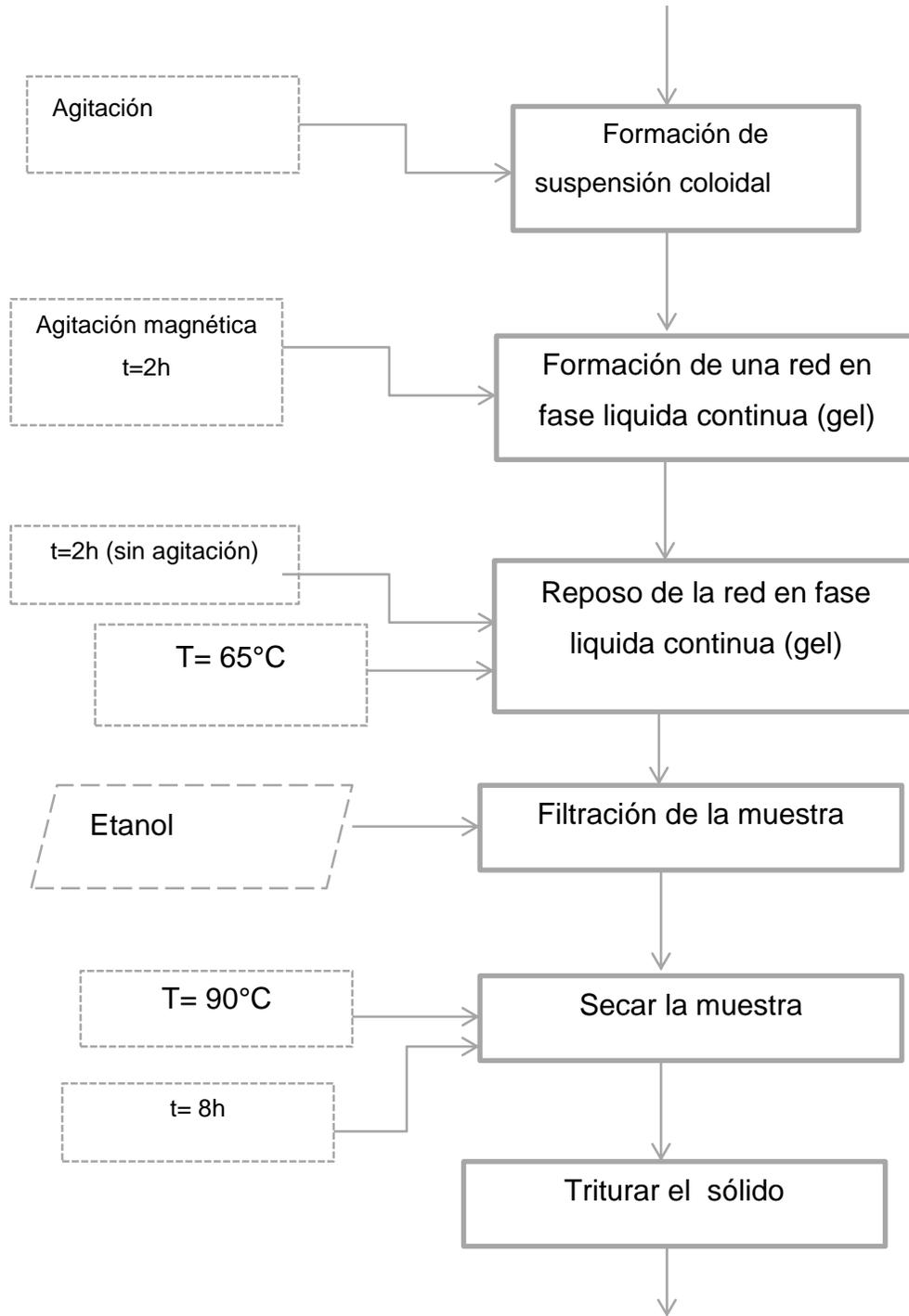


Figura 23. Continuación

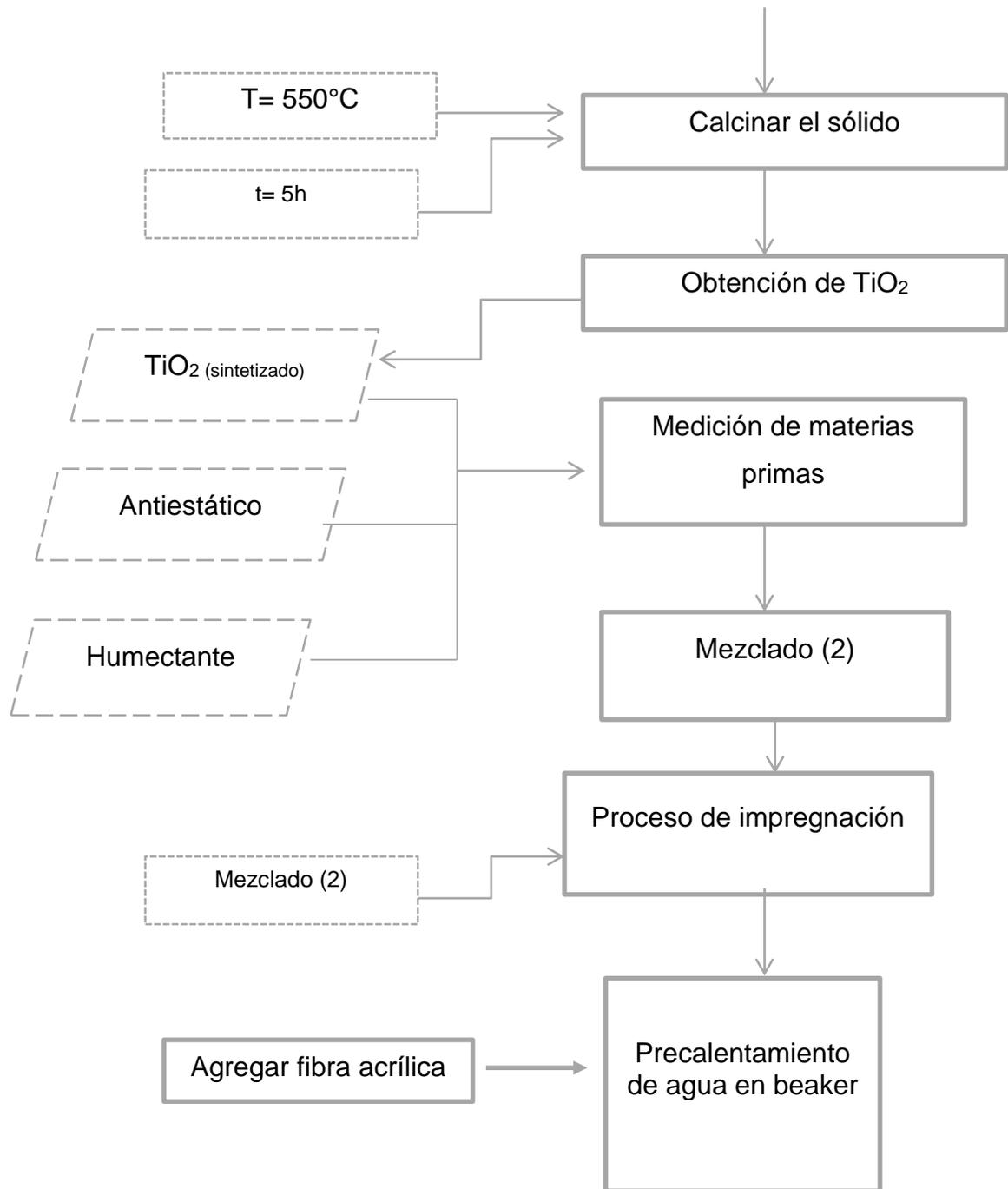
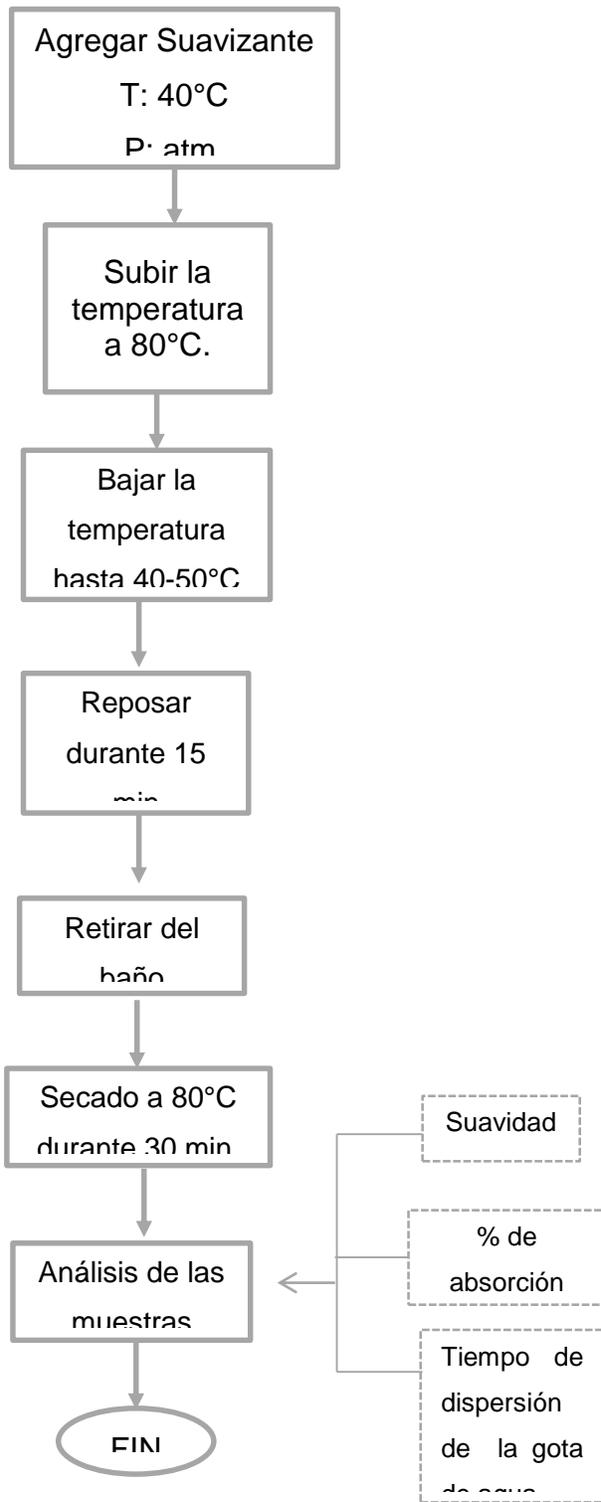


Figura 23. Continuación



ANEXO C.

FOTOGRAFÍAS DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL PROYECTO.

Figura 24. Método sol gel: inicio de reacción



Figura 25. Formación del gel



Figura 26. Filtrado al vacío



Figura 27. Método Sol-gel: Hidróxido de titanio luego del filtrado



Figura 28. Tratamiento térmico



Figura 29. Dióxido de titanio



Figura 30. Preparación de las mezclas



Figura 31. Proceso de impregnación del suavizante



Figura 32. Tela sin tratar



Figura 33.Tela tratada



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Vers ón 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

**AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL
LUMIERES**

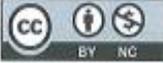
Nosotros **DANIEL FELIPE ALARCON GARZON Y ANDREA CAROLINA ESTRADA ANDRADE** en calidad de titulares de la obra **DESARROLLO DE UN TENSOACTIVO CATIONICO PARA FIBRAS ACRILICAS MEDIANTE EL PROCESO DE SOL-GEL A NIVEL DE LABORATORIO**, elaborada en el año 2016, autorizamos al Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Agosto - 2017

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input checked="" type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación		X

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

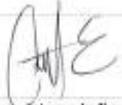
Para constancia se firma el presente documento en la ciudad de Bogotá D. C., a los 18 días del mes de agosto del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Daniel Felipe	Alarcón Garzón
Documento de identificación No	Firma
C.C. 1089078755 de Manía Cundinamarca	

Autor 2

Nombres	Apellidos
Andrea Carolina	Estrada Andrade
Documento de identificación No	Firma
C.C. 1014243213 de Bogotá D. C.	

Nota: Incluya un apartado (copie y pegue el cuadro anterior), para los datos y la firma de cada uno de los autores de la obra.