



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DEL OZONO (O<sub>3</sub>) SOBRE EL TIEMPO  
EN LA ETAPA DE BLANQUEO EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL Y SU  
IMPACTO EN LA CALIDAD DE PANTALONES DE LONA (DENIM)**

**José Fernando Romero López**

Asesorado por el Msc. Ing. Erick Cambranes Morales

Guatemala, marzo de 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DEL OZONO (O<sub>3</sub>) SOBRE EL TIEMPO  
EN LA ETAPA DE BLANQUEO EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL Y SU  
IMPACTO EN LA CALIDAD DE PANTALONES DE LONA (DENIM)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ FERNANDO ROMERO LÓPEZ**

ASESORADO POR EL MSC. ING. ERICK CAMBRANES MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MARZO DE 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Francisco Espinosa Smith
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

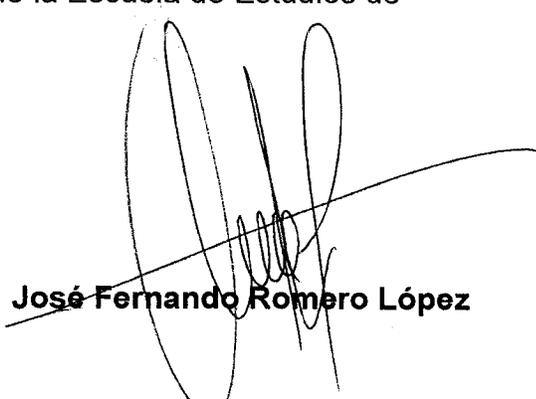


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DEL OZONO (O<sub>3</sub>) SOBRE EL TIEMPO EN LA ETAPA DE BLANQUEO EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DE PANTALONES DE LONA (DENIM)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 6 de julio de 2013.



**José Fernando Romero López**





**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226**



**MOD-MGIPP-002-2014**

0 0 0 0 6 4

Guatemala, 27 de enero de 2014.

Director:  
 Víctor Manuel Monzón Valdez  
 Escuela de Ingeniería Química  
 Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **José Fernando Romero López** carné número **96-16004**, quien optó la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Gestión Industrial**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

  
 MSc. Ing. Erick Martín Cambranes Morales  
 Asesor (a)

  
**César Akú Castillo MSc.**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**  
**COLEGIADO No. 4,073**  
 MSc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
 Coordinador de Área  
 Gestión y Servicios

  
 Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
 Directora  
 Escuela de Estudios de Postgrado

Cc: archivo  
 /db







Ref. EIQ.TG.031.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **JOSÉ FERNANDO ROMERO LÓPEZ**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en GESTIÓN INDUSTRIAL** titulado "DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DEL OZONO (O<sub>3</sub>) SOBRE EL TIEMPO EN LA ETAPA DE BLANQUEO EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DE PANTALONES DE LONA (DENIM)". Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Victor Manuel Monzón Valdez

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo de 2014

Cc: Archivo  
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala  
VMMV/die





Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 105.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DEL OZONO (O<sub>3</sub>) SOBRE EL TIEMPO EN LA ETAPA DE BLANQUEO EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DE PANTALONES DE LONA (DENIM)**, presentado por el estudiante universitario **José Fernando Romero López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 7 de marzo de 2014

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y bendecirme constantemente todos los días de mi vida.
<b>Mis padres</b>	Adolfo Romero y Miriam López de Romero, por todo su amor, guía, comprensión, compromiso y apoyo incondicional para mi desarrollo personal y profesional.
<b>Mi esposa</b>	María Alicia Ovalle, por todo su amor, apoyo y sacrificios para hacer que este logro sea de los dos.
<b>Mi hija</b>	Andrea Isabel Romero, por ser la luz de mis días, que esta meta alcanzada sea ejemplo en tu vida para ser una persona de bien.
<b>Mi hermana</b>	Andrea Romero, por tu amor y amistad, porque siempre has estado a mi lado.
<b>Mi sobrina</b>	María José Guzmán, por tu amor, cariño y alegría que te caracteriza y contagia.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Mi casa de estudios, porque en ella me forme como profesional.

**Facultad de  
Ingeniería**

Por brindarme conocimientos y experiencia que me permiten desarrollarme como una persona de éxito.

**Mis tíos**

Por su apoyo, ejemplo y consejos durante todos estos años de mi vida, en especial, a mi tío Jorge López, por estar siempre pendiente del cumplimiento de esta meta.

**Mis amigos**

Alex Rivera, Carlos Mérida, César Méndez, Erick Osoy y Tomás Argueta, por todas las vivencias compartidas y por su valiosa e incondicional amistad.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	01
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	07
3. JUSTIFICACIÓN .....	09
4. OBJETIVOS .....	13
5. NECESIDADES A CUBRIR .....	15
6. ALCANCES.....	17
7. HIPÓTESIS.....	21
8. MARCO TEÓRICO .....	23
8.1. Fibras textiles .....	23
8.1.1. Fibras naturales.....	24
8.1.2. Fibras manufacturadas.....	27
8.2. Composición de la lona ( <i>denim</i> ) .....	29

8.2.1.	Tejido de algodón.....	29
8.2.2.	Colorante índigo .....	30
8.3.	Proceso de lavado industrial de pantalones de lona .....	32
8.3.1.	Desengomado .....	33
8.3.2.	Abrasión .....	33
8.3.3.	Blanqueo .....	34
8.3.4.	Suavizado.....	37
8.4.	Ozono .....	37
8.4.1.	Generación de ozono .....	38
8.4.2.	Aplicaciones industriales del ozono.....	40
8.4.3.	Tratamiento de aguas de descarga de la industria textil .....	40
8.4.4.	Blanqueo de textiles .....	41
8.4.5.	Lavado de prendas en lavanderías industriales .....	41
8.5.	Mejora continua .....	43
8.5.1.	Ruta de calidad .....	45
8.5.2.	El ciclo de Deming.....	46
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	49
10.	METODOLOGÍA .....	51
10.1.	Hipótesis .....	51
10.2.	Diseño y tipo de investigación.....	51
10.3.	Variable e indicadores .....	52
10.4.	Técnicas de investigación .....	53
10.5.	Universo y muestra experimental.....	53
10.5.1.	Universo .....	53
10.5.2.	Muestra experimental.....	54
10.6.	Situación actual.....	54

10.7.	Diseño experimental.....	55
10.7.1.	Secuencia del estudio .....	55
10.7.2.	Metodología para la determinación de la resistencia a la tensión (Grab Test) ASTM D5034-95 .....	57
10.7.3.	Metodología para la determinación de la resistencia al rasgado (Tear Test) ASTM D1424-96 .....	60
10.7.4.	Metodología para la determinación de la variación colorimétrica en intensidad del color y matiz CIE 1976 L*a*b (CIElab) .....	62
10.8.	Mejora continua .....	64
10.9.	Resultados esperados.....	65
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	67
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	69
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	71
13.1.	Acceso a la información .....	71
13.2.	Disponibilidad de recursos .....	72
13.3.	Inversión requerida .....	73
14.	BIBLIOGRAFÍA .....	75
15.	ANEXOS .....	79



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura física de la fibra de algodón .....	25
2.	Estructura química de la celulosa .....	26
3.	Creación de fibras sintéticas a partir de monómeros .....	28
4.	Tejido plano.....	30
5.	Estructura del colorante índigo.....	31
6.	Mecanismo de oxidación-reducción de teñido del tinte índigo .....	32
7.	Molécula de ozono .....	38
8.	Generación de ozono por el método de corona de descarga .....	39
9.	Reacción química entre colorante índigo y ozono.....	40
10.	Ciclo de Deming o ciclo PHVA.....	47
11.	Generador de ozono .....	56
12.	Tensiómetro medidor de resistencia a la tensión .....	58
13.	Elmendorf medidor de resistencia al rasgado .....	60
14.	Espectrofotómetro .....	63
15.	Cronograma de actividades .....	69

### TABLAS

I.	Variables e indicadores.....	52
II.	Disponibilidad de recursos .....	72
III.	Inversión requerida .....	73



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>PHVA</b>	Ciclo de Deming
<b>L*</b>	Claridad
<b>b*</b>	Componente cromático amarillo-azul
<b>a*</b>	Componente cromático rojo-verde
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>gr/m<sup>3</sup></b>	Gramo por metro cúbico
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Kv</b>	Kilovatio
<b>lt</b>	Litro
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>≥</b>	Mayor o igual que

<b>&lt;</b>	Menor que
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metro cúbico por hora
<b>min</b>	Minuto
<b>oz/yd<sup>2</sup></b>	Onzas por yarda cuadrada
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno puro
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono
<b>KMnO<sub>4</sub></b>	Permanganato de potasio
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Peróxido de hidrógeno
<b>%</b>	Porcentaje
<b>plg/min</b>	Pulgada por minuto
<b>RT</b>	Resistencia a la tensión
<b>RTstd</b>	Resistencia estándar a la tensión
<b>C*</b>	Saturación de color
<b>H*</b>	Tonalidad

## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Desgaste de la superficie de una prenda ocasionado por la fricción de la prenda con piedra pómez, con la máquina lavadora, entre las mismas prendas.
<b>Almidón</b>	Fécula blanca, ligera y suave al tacto proveniente de la papa, arroz, maíz, etc. Es utilizado en la industria textil como engomante.
<b>Algodón</b>	Fibra textil natural con la cual se elaboran tejidos, está compuesto en su mayor parte por celulosa.
<b>Apariencia</b>	Término de calidad textil que enmarca las propiedades visuales superficiales de la prenda como tonalidad y desgaste.
<b>Blanqueo</b>	Etapa del proceso de lavado industrial en donde ocurre la decoloración del colorante índigo.
<b>Celulosa</b>	Cuerpo sólido, blanco, insoluble en el agua que forma la membrana envolvente de las células vegetales.

<b>CIELab</b>	Método internacional instituido por la Comisión Internacional de la Iluminación, la única organización internacional de recomendación y normalización para la iluminación, el color y la colorimetría.
<b>Cutícula</b>	Película cerosa que cubre la pared primaria o externa de la fibra de algodón.
<b>Engomado</b>	Acción por la cual se recubre la mezclilla para su protección y facilidad de manejo.
<b>Decoloración</b>	Acción de pérdida de color por la acción de un agente blanqueador como el hipoclorito de sodio o el ozono.
<b>DECMC</b>	Valor que determina la aceptación o rechazo de una muestra respecto a un estándar de color. Involucra las coordenadas polares y rectangulares de color en una fórmula modificada propuesta por el Color Measurement Committe de Gran Bretaña.
<b><i>Denim</i></b>	Término en inglés referido a la mezclilla (lona).
<b>Desengomado</b>	Etapas del proceso de lavado industrial en donde se eliminan los engomantes aplicados a la mezclilla.

<b>Engomante</b>	Agente con el cual se lleva a cabo la acción de engomar o proteger prendas de mezclilla, por ejemplo almidón.
<b>Índigo</b>	Colorante en forma de polvo cristalino azul oscuro. Su principal aplicación es en la industria de los <i>blue jeans</i> y otros productos del <i>denim</i> azul.
<b>Jeans</b>	Pantalón elaborado con mezclilla (lona).
<b>Lavado tipo <i>light</i></b>	Clasificación de lavado industrial que denota un lavado de apariencia clara (color celeste claro).
<b>Lumen</b>	Es el canal central a través del cual se transportan los nutrientes durante el crecimiento de la fibra de algodón.
<b>Mezclilla</b>	Es un tipo de tejido que está formado por dos series de elementos: la urdimbre que es el hilo de algodón teñido con colorante índigo y la trama que es el hilo de algodón crudo. También conocida como lona.
<b>Ozono</b>	Alótropo inestable formado por tres átomos de oxígeno. La inestabilidad del ozono lo hace un agente altamente oxidante.

<b>pH</b>	Término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución.
<b>Pantalón rígido</b>	Pantalón de lona sin ningún tipo de acabado industrial.
<b>Rasgado</b>	Parámetro de calidad en la industria textil, referido a la fuerza necesaria para propagar una ruptura sencilla tipo lengüeta, a partir de un corte de tela.
<b>Spandex</b>	Es una fibra elastomérica artificial donde la sustancia que la forma es un polímero de cadena larga formada por un mínimo de 85 % de poliuretano segmentado.
<b>Suavizado</b>	Etapa del proceso de lavado industrial que provee de características confortables al contacto entre la piel y los pantalones.
<b>Tensión</b>	Parámetro de calidad en la industria textil, referido a la fuerza efectiva de una tela durante su uso.
<b>Tonalidad</b>	Cambio de color en la lona de oscuro a claro como consecuencia de la degradación de color.

**Trama**

Hilos de algodón blanco (crudo) dispuestos en el sentido horizontal del tejido (a lo ancho), que entrecruzados con la urdimbre forman la lona.

**Urdimbre**

Hilos de algodón teñido de índigo dispuestos en el sentido vertical del tejido (a lo largo), que entrecruzados con la trama forman la lona.



## RESUMEN

La industria de los pantalones de lona requiere de la constante implementación de técnicas y procesos que permitan hacer más eficiente la operación, y alcanzar los estándares de calidad en términos de apariencia y funcionalidad del pantalón terminado. La apariencia se refiere específicamente a lograr el nivel de desgaste y degradación de color (tonalidad) requerido por el cliente, la funcionalidad mide el nivel de resistencia de la fibra a la tensión y al rasgado después de ser expuesta al proceso de lavado industrial.

Este proceso regularmente involucra una etapa de blanqueo, cuya finalidad es degradar el colorante índigo presente en la lona hasta el tono de color deseado. Este blanqueo se realiza habitualmente con hipoclorito de sodio, químico que daña las propiedades físicas de resistencia de las fibras textiles, mayor cantidad de hipoclorito de sodio utilizada y mayores tiempos de exposición implican mayor degradación de la fibra.

El estudio de investigación propuesto plantea que la aplicación de ozono a pantalones de lona previo a su proceso de lavado industrial disminuirá el tiempo requerido en la etapa de blanqueo. El ozono al ser un agente altamente oxidante degrada el colorante índigo y por ende se necesita menor tiempo de exposición de la fibra al hipoclorito de sodio. El estudio experimental se realizará en pantalones de lona confeccionados con una tela de 10 oz/yd<sup>2</sup> y mezcla 98 % algodón 2 % spandex.

Está diseñado para aplicar dos diferentes concentraciones de ozono (30 y 60 gr/m<sup>3</sup>) a dos diferentes tiempos de exposición (5 y 15 minutos) sobre pantalones de lona rígidos. La aplicación se realizará en un generador industrial de ozono tipo corona de descarga que permite exponer los pantalones a una mezcla de oxígeno puro/ozono en una recámara herméticamente sellada. Luego de la aplicación de ozono se procederá con un lavado industrial tipo light (claro) que se caracteriza por utilizar significativas cantidades de hipoclorito de sodio durante períodos de tiempo superiores a 10 minutos.

Para cada corrida experimental de concentración de ozono y tiempo de exposición se evaluarán las propiedades físicas de resistencia a la tensión y al rasgado, así como la variación de tonalidad resultante, y se compararán contra estándares de referencia determinados a partir de una corrida convencional de lavado industrial tipo *light* sin ozono.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere al diseño de la investigación del efecto que tiene la aplicación de ozono gaseoso ( $O_3$ ) sobre el tiempo en la etapa de blanqueo en un proceso de lavado industrial de pantalones de lona, estudio que se realizará en una lavandería industrial a escala piloto.

La lavandería industrial de pantalones de lona, constantemente busca innovar y mejorar su proceso de lavado industrial, con la finalidad de alcanzar mejores niveles de eficacia operativa, que le permitan aprovechar de mejor manera los recursos disponibles, logrando así, reducir costos operativos sin sacrificar la calidad del producto terminado y/o inclusive mejorando la misma.

El estudio está enfocado a un tipo particular de lavado industrial conocido en la industria como lavado tipo *light* (claro). Este tipo de lavado industrial al que son sometidos los pantalones de lona para alcanzar una tonalidad azul clara (celeste) se caracteriza por la aplicación de hipoclorito de sodio en la etapa de blanqueo, siendo, esta etapa del lavado, la que provoca el mayor daño a la fibra textil.

La problemática que se tiene con los lavados tipo *light* (claro) es la deficiente resistencia física a la tensión y al rasgado que presentan los pantalones terminados, como consecuencia de la degradación que sufre la fibra durante el proceso de lavado industrial.

La baja resistencia física de los pantalones genera reprocesos para corregir dicha deficiencia y alcanzar así los estándares de calidad requeridos; en aquellos casos donde el reproceso no logra corregir la deficiencia, las unidades son declaradas de segunda calidad. En ambos casos, se incurre en sobre costos por términos de reprocesos.

El interés en el efecto que tiene la aplicación de ozono sobre el tiempo en la etapa de blanqueo con hipoclorito de sodio en un proceso de lavado industrial y su impacto en la calidad de pantalones de lona, surge como parte del proceso de mejora continua en el cual se encuentra la lavandería industrial objeto de estudio.

La idea principal, es que la aplicación de ozono a los pantalones de lona, al ser el ozono un agente altamente oxidante, provocará una degradación previa del colorante índigo presente en la lona, lo cual disminuirá el tiempo requerido en la etapa de blanqueo con hipoclorito de sodio, de esta forma, al tener la fibra menor tiempo de exposición al cloro, mejorará sus propiedades de resistencia física en los pantalones terminados, esto, respecto a pantalones terminados sometidos únicamente a lavado industrial convencional tipo *light* sin aplicación de ozono.

Para la realización del estudio se tiene a disposición el equipo de planta piloto, así como insumos (agua, aire comprimido, vapor, electricidad, químicos), y el recurso técnico necesario para operarlo. El ozono se aplicará a los pantalones en un generador industrial de ozono tipo corona de descarga herméticamente sellado, y el proceso de lavado se realizará en lavadoras industriales de carga frontal.

Los resultados esperados para el estudio propuesto son la disminución en un 15 % en el tiempo de blanqueo, el aumento en un 10 % de la resistencia de la fibra a la tensión y el rasgado, con lo cual se espera disminuir en un 50 % el costo asociado por concepto de reprocesos de aquellas unidades que presentan problemas de calidad por baja resistencia (lavados tipo *light*), logrando así una mejora en el proceso de lavado industrial y en el desempeño de la lavandería industrial.

La aplicación de ozono supone una variación de color respecto al color obtenido mediante el blanqueo convencional con hipoclorito de sodio, en términos colorimétricos se espera que el DECMC para esta variación de color sea  $<1,5$ .

Como punto de partida se describirán los aspectos generales de la empresa, su historia, actividades principales, ubicación, sistema de producción y la estructura organizacional.

Seguidamente, se realizará un análisis de desempeño de los lavados clasificados como *light*, evaluando el costo de oportunidad que representa producir unidades que no cumplen con los requerimientos mínimos de resistencia, considerando que estas unidades deben reprocesarse o ser declararse unidades de segunda calidad no reprocesables.

Se desarrollará experimentalmente la propuesta de mejora, la cual involucra la aplicación de ozono a los pantalones de lona y el estudio de su efecto sobre el tiempo en la etapa de blanqueo, así como su impacto en las propiedades de resistencia de la fibra y la variación de color.

Por último, se presentará el análisis comparativo de los resultados obtenidos entre el proceso de blanqueo convencional (cuyos parámetros de resistencia y color serán definidos como estándares de comparación) y los resultados obtenidos en el proceso con ozono. También se presentará la evaluación técnica/financiera para determinar la viabilidad de la implementación a escala industrial del estudio propuesto.

## 1. ANTECEDENTES

Los pantalones de lona desde su creación en el siglo XIX como prendas de vestir destinadas a trabajos demandantes, como la minería han evolucionado con el tiempo hasta convertirse en un símbolo de moda. “Originalmente, por la durabilidad requerida, los pantalones se utilizaban de forma rígida, es decir, sin ningún tipo de acabado industrial, esto los hacía hasta cierto punto incómodos de vestir” (Méndez, 1999).

Esta rigidez característica de la lona se debe al almidón y a los engomantes que se le aplican en la textilera en su proceso de fabricación, con la finalidad de facilitar los procesos de tejido, corte y costura de la misma, al mismo tiempo que la protege de daños asociados al transporte y la manipulación.

La evolución de los pantalones de lona, ha demandado que la industria del *jeans* a nivel mundial desarrolle constantemente nuevas técnicas, métodos y tecnologías para la producción de pantalones de alta calidad a bajo costo, lo cual genera mayor competencia a escala global.

En los últimos años, la lavandería industrial donde se realizará el estudio de investigación, se ha visto en la obligación de mejorar e innovar continuamente sus procesos de fabricación con el único objetivo de ser competitiva, mediante la reducción de costos, reducción de los tiempos de entrega y con productos que cumplan con los estándares de calidad requeridos por el cliente.

Para todo esto han sido necesarios cambios de fondo en cada uno de los procesos involucrados en la fabricación del pantalón, y el proceso de lavado industrial no ha sido la excepción, siendo este uno de los procesos determinantes al momento de conferirle al pantalón todos aquellos detalles visuales que lo caracterizan.

El proceso de lavado industrial no solo es determinante en términos de apariencia de la prenda, también los es en términos de calidad, procesos de lavado que deterioren considerablemente la resistencia de la fibra por un lado generan unidades fuera de especificación, las cuales deben ser reprocesadas con la finalidad de mejorar las propiedades físicas de resistencia, incurriendo en sobre costo por reproceso.

Por otro lado generan unidades de segunda calidad no reprocesables. En este sentido, es necesario experimentar con nuevas propuestas que permitan mejorar el desempeño del proceso de lavado industrial para mantener la integridad del producto.

El lavado industrial de pantalones de lona tiene como finalidad la degradación progresiva del colorante índigo presente en la lona (*denim*), mediante una secuencia ordenada de pasos de lavado. “Está perdida gradual de colorante índigo, confiere a las prendas la apariencia visual de desgaste, dándole ese efecto envejecido que tanto gusta” (Kastillo, 2003).

El *denim* es una tela de algodón de trama blanca y de urdimbre teñida con colorante azul índigo. La tela puede ser 100 % algodón, o la trama puede ser mezclada con fibras elastómeras (2 %) como el spandex para formar tejidos con cierto grado de elasticidad, para obtener una mezcla de 98 % algodón /2 % spandex.

Rai (2009); afirma que un buen número de factores tecnológicos ha contribuido a que el *denim* sea un icono de la moda actual, desarrollando importantes mejoras desde el proceso de hilado, la construcción de la tela, hasta su acabado final como prenda de vestir. Una de las partes más importantes en la creación de un pantalón de mezclilla es el proceso de lavado, el cual juega un papel fundamental en la obtención de los efectos y detalles que el cliente busca en un pantalón *denim*.

Lam (2005); plantea que la industria del *denim* constantemente busca alternativas tecnológicas que le permitan hacer más eficiente su proceso de lavado industrial, y al mismo tiempo que sea amigable al medio ambiente.

Rai (2009); expone que el lavado industrial se divide en las siguientes etapas principales: desengomado, abrasión, blanqueo y suavizado. El blanqueo es una etapa crítica del proceso debido al uso de hipoclorito de sodio, “agente químico que se caracteriza no solo por la degradación del colorante índigo, sino también por la degradación de la fibra” (Lam, 2005).

En esta línea se propone experimentar con la aplicación de ozono (O<sub>3</sub>) a los pantalones de lona previo al proceso de lavado industrial, bajo la premisa de que el ozono es un agente oxidante del colorante índigo, lo cual propiciará su degradación, y reducirá el tiempo requerido en la etapa de blanqueo con hipoclorito de sodio, disminuyendo así la degradación de la fibra.

Strickland y Perkins (1995); mencionan que el ozono es un alótropo inestable formado por tres átomos de oxígeno. La inestabilidad del ozono lo hace un agente altamente oxidante, con un potencial de oxidación de 2,07 volts. También plantean que el ozono elimina los colorantes mediante oxidación (ozonación) que provoca la ruptura de los dobles enlaces carbono-carbono, y

los dobles enlaces nitrógeno-nitrógeno, convirtiendo a dichos colorantes en productos libres de color.

Quintero y Cardona (2009); sustentan que la reacción de oxidación utilizando gas ozono es un tratamiento efectivo para la decoloración de tintes tipo tina, índigo, teniendo como ventaja que la aplicación en estado gaseoso del ozono no altera el volumen de agua en el proceso.

Los principales objetivos del uso de ozono en el lavado industrial son la reducción de costos energéticos y el uso de químicos que contaminan y dañan la fibra, así como la disminución en la cantidad de agua utilizada. (Pérez, 2008)

Jeanología (sf) propone que mediante el uso de una ecolavadora desarrollada por la compañía, que funciona solo con ozono y oxígeno, se puede conferir al *denim* un aspecto envejecido sin la utilización de agua y químicos. Plantean que con este tipo de tecnología al alcance de la industria del *denim*, se pueden alcanzar ahorros por prenda en energía, tiempos de proceso, litros de agua consumidos y en el uso de productos químicos, entre estos el hipoclorito de sodio.

Por otro lado Bautista (2012); expone que el ozono en fase gaseosa es una de las tendencias con mejor potencial para aplicaciones de blanqueo de fibras textiles, presentando menor contaminación ambiental comparada con los métodos tradicionales de blanqueo con hipoclorito de sodio e hidróxido de sodio. Por otro lado, el deterioro de la fibra es menos significativo.

El presente estudio de investigación del efecto del ozono sobre el tiempo de blanqueo constituye una propuesta de mejora para el proceso de lavado industrial de pantalones de lona en términos de desempeño y calidad de las

prendas terminadas, buscando disminuir el problema de unidades con baja resistencia para los lavados tipo *light*.

La problemática identificada se abordará mediante el proceso de resolución de problemas conocido comúnmente como la ruta de calidad, el cual González y Gibler (2003), describen como una secuencia normalizada de actividades, que permite solucionar problemas o llevar a cabo proyectos en cualquier área de trabajo de la empresa y que al aplicarse sistemáticamente genera un proceso de mejoramiento continuo.

La ruta de calidad permite resolver problemas de forma sistémica siguiendo el ciclo de Deming, PHVA (planificar, hacer, verificar y actuar), actividades que regirán el estudio experimental con la finalidad de que los datos obtenidos sean generados por un proceso bajo condiciones controladas y que el análisis e interpretación de los resultados permita tomar decisiones basadas en información confiable.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de lavado industrial es una de las fases principales en la transformación de pantalones de lona. Su finalidad es lograr una apariencia desgastada y la obtención de diferentes tonalidades, a través de la degradación progresiva del colorante índigo presente en la lona. De esta degradación se obtienen 3 clasificaciones principales de lavados; lavados tipo *dark* (oscuros), lavados tipo *medium* (intermedios), y lavados tipo *light* (claros).

El presente estudio aborda la problemática que tiene la lavandería industrial con los lavados tipo *light* y evalúa la aplicación de una tecnología complementaria que permita una mejora en el proceso de lavado industrial y en la calidad del producto terminado.

El problema específico es la deficiente resistencia física de la fibra hacia fuerzas de tensión y rasgado, pruebas que determinan la funcionalidad de la prenda terminada. Esta baja resistencia incurre en reprocesos no programados y en ocasiones es motivo de rechazos que generan unidades de segunda calidad, ambas situaciones, provocan sobre costos en la operación.

La principal causa asociada a la baja resistencia de la fibra que presentan los lavados tipo *light* (claros) es la utilización de elevadas cantidades de hipoclorito de sodio durante la etapa de blanqueo en el proceso de lavado industrial. El hipoclorito de sodio se caracteriza por deteriorar irreversiblemente la fibra. Una de las opciones a esta problemática es disminuir el tiempo en la etapa de blanqueo, de esta manera la fibra tendrá menos tiempo de exposición al hipoclorito de sodio.

Lograr disminuir el tiempo requerido en la etapa de blanqueo, con la finalidad de mejorar la resistencia de la fibra en pantalones terminados, es la razón de evaluar al ozono como tecnología complementaria y determinar el efecto que tiene su aplicación previo al proceso de lavado industrial tipo *light*.

De lo antes expuesto surge la siguiente interrogante principal:

¿Cuál es el efecto de la aplicación de ozono ( $O_3$ ) sobre el tiempo en la etapa de blanqueo en un proceso de lavado industrial de pantalones de lona y su impacto en la calidad de pantalones de lona (*denim*)?

Para responder a este cuestionamiento es necesario el análisis de las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el efecto que tiene la aplicación de ozono a pantalones rígidos sobre el tiempo en la etapa de blanqueo en un proceso de lavado industrial?
- ¿Cuál es el impacto que tiene la aplicación de ozono a pantalones rígidos sobre la resistencia física de la prenda terminada y sobre sus propiedades colorimétricas?
- ¿Es posible mediante la aplicación de ozono disminuir el costo asociado a reprocesos por concepto de prendas con baja resistencia?

El estudio experimental se realizará en las instalaciones de una lavandería industrial ubicada en la zona 7 de la ciudad de Guatemala, entre los meses de agosto 2013 a mayo de 2014.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La lavandería industrial objeto de estudio, como parte de su proceso de mejora continua, constantemente evalúa alternativas técnicas, tecnológicas y metodológicas que le permitan hacer más eficientes sus procesos productivos, valiéndose de la innovación y de la eficacia operativa para aprovechar adecuadamente los recursos disponibles.

La evaluación de aplicar ozono a pantalones de lona previo a un proceso de lavado industrial tipo *light*, y su efecto sobre el tiempo en la etapa de blanqueo, está alineada con el enfoque organizacional de buscar constantemente técnicas y tecnologías sustitutas y/o complementarias que permiten a la lavandería mejorar el desempeño de sus procesos, en este caso, el proceso de lavado industrial.

La aplicación de ozono como agente oxidante que genere una degradación previa de colorante índigo, supone una propuesta tecnológica complementaria e innovadora que permitirá disminuir el tiempo requerido en la etapa de blanqueo en el proceso de lavado industrial. Para el 2013, la degradación progresiva del colorante índigo en lavados industriales tipo *light* se realizaba primordialmente con hipoclorito de sodio.

La propuesta de aplicar ozono toma importancia considerando que en el 2013, el 20 % de la producción de lavados tipo *light* fue sometida a reprocesos por presentar parámetros de resistencia por debajo del estándar.

La disminución del tiempo en la etapa de blanqueo una vez aplicado el ozono, contribuirá a mejorar la calidad de los pantalones de lona terminados, bajo la premisa de que las propiedades de resistencia física de la fibra a la tensión y al rasgado deben aumentar al tener menor tiempo de exposición al hipoclorito de sodio.

La mejora en las propiedades físicas de resistencia de la prenda, implica entregar producto de primera calidad e impacta directamente en la disminución de reprocesos y la reducción de sus costos asociados no presupuestados, contribuyendo así al objetivo de aprovechar eficientemente los recursos de la compañía. De igual forma, se ven afectados positivamente los tiempos de procesamiento, los tiempos de entrega y el porcentaje de cumplimiento de pedido, al disminuir la cantidad de unidades declaradas de segunda calidad.

El problema identificado de baja resistencia que provoca reprocesos como deficiencia del proceso de lavado industrial, se abordará a través del proceso de solución de problemas conocido como la ruta de calidad, lo cual permitirá que de forma sistemática mediante la aplicación del ciclo de Deming se logre una mejora en el proceso de lavado industrial de pantalones de lona tipo *light*, y por ende una mejora en el desempeño de la lavandería industrial.

La evaluación de aplicar ozono previo a un proceso de lavado industrial tipo *light* es importante para la lavandería industrial en estudio porque se espera tener los siguientes resultados:

- Disminución del 15 % en el tiempo de blanqueo con hipoclorito de sodio.
- Aumento en un 10 % de la resistencia física de la fibra a las fuerzas de tensión y rasgado.

- Disminución del 50 % en el costo asociado por concepto de reprocesos de aquellas unidades que presentan problemas de calidad por baja resistencia.

A nivel de industria de pantalones de lona, el estudio generará información experimental relevante sobre el efecto del ozono en el tiempo requerido en la etapa de blanqueo en un proceso de lavado industrial y se constituirá como punto de partida para evaluaciones futuras que consideren variables diferentes a las de este estudio siempre bajo la misma línea de investigación.

La propuesta de utilizar ozono como tecnología complementaria, también tiene una connotación ambiental, ya que el ozono es un compuesto químico agradable al ambiente y su uso en la industria del *jeans* puede disminuir el consumo de químicos como el hipoclorito de sodio, y de esta forma disminuir el impacto ambiental que tienen los compuestos organoclorados poco biodegradables derivados del proceso de blanqueo textil.



## 4. OBJETIVOS

### General

Determinar el efecto de la aplicación de ozono (O<sub>3</sub>) sobre el tiempo en la etapa de blanqueo en un proceso de lavado industrial y su impacto en la calidad de pantalones de lona (*denim*).

### Específicos

1. Disminuir el tiempo requerido en la etapa de blanqueo en un proceso de lavado industrial de pantalones de lona mediante la aplicación de ozono.
2. Aumentar los parámetros de resistencia a la tensión y al rasgado mediante la aplicación de ozono previo al proceso de lavado industrial de pantalones de lona.
3. Determinar la variación de tonalidad mediante el índice DECMC entre el proceso de lavado industrial con ozono y el proceso convencional sin ozono.
4. Disminuir el costo por concepto de reprocesos asociados a pantalones con baja resistencia física debido a un proceso de lavado industrial tipo *light*.



## 5. NECESIDADES A CUBRIR

La industria de los pantalones de lona depende directamente de la tendencia de la moda, es decir que los estilos de pantalones a producir y las cantidades de cada una de estos estilos están sujetos a lo que el mercado demande en determinado período de tiempo.

Los estilos de pantalones denominados *light*, al igual que los *dark* y *medium* tienen una tendencia cíclica, y regularmente hay una temporada en el año donde se incrementa su demanda, aunque es necesario mencionar que se producen en todas las temporadas del año.

Al tener siempre cierto porcentaje de participación variable en la producción anual, estos estilos *light* representan recurrentemente un riesgo en términos de calidad, específicamente por el deterioro sus propiedades físicas en términos de resistencia a la tensión y al rasgado, ya que son expuestos a un proceso de lavado industrial que puede calificarse como agresivo por el uso de hipoclorito de sodio, lo cual deteriora considerablemente la fibra, más aun cuando se trabaja con lona con pesos cercanos a las 10 onzas/yarda<sup>2</sup>.

El riesgo que representan estos estilos cada vez que se producen, hace necesario evaluar constantemente diferentes alternativas que permitan mejorar la calidad del producto terminado, así como buscar la mejora continua en el proceso de lavado industrial de pantalones de lona, siempre enfocados en cumplir con los estándares de calidad requeridos, considerando que, todos aquellos estilos de pantalones cuyas propiedades de resistencia en libras/fuerza

estén por debajo de los estándares establecidos, son considerados unidades de segunda calidad, representando pérdidas económicas para la compañía.

En esta línea de acción, el estudio experimental de aplicar ozono en fase gaseosa a pantalones de lona y determinar su efecto sobre la etapa de blanqueo de un proceso de lavado industrial supone una disminución en el tiempo requerido durante esta etapa, esto partiendo del hecho de que el ozono es uno de los elementos con mayor acción oxidante, y que al ser aplicado sobre lona teñida con colorante índigo, este último tendrá una degradación de color previo a iniciar el proceso de lavado.

## 6. ALCANCES

El estudio de investigación sobre el efecto que tiene el tratamiento de lona (*denim*) con ozono ( $O_3$ ) sobre el tiempo en la etapa de blanqueo en un proceso de lavado industrial de pantalones de lona, se realizará en una lavandería industrial a escala piloto.

La lavandería integra las operaciones de lavado, centrifugado y secado de pantalones, y para el estudio propuesto se añadirá la operación de tratamiento con ozono mediante contacto directo con los pantalones, utilizando para tal efecto un generador de ozono especialmente diseñado para la industria textil, el cual permite que una mezcla de oxígeno puro/ozono gaseoso y pantalones interactúen en una cámara herméticamente sellada.

El estudio es de tipo experimental-correlacional porque se estudiará el efecto que tiene la aplicación de ozono sobre el tiempo que toma la etapa de blanqueo en el proceso de lavado industrial de pantalones y se medirá su correlación con los parámetros de resistencia física a la tensión y al rasgado, así como con el color del pantalón terminado.

El diseño del estudio es de carácter prospectivo–transversal ya que el registro de datos se realizará conforme se den durante el experimento y la relación entre las variables (concentración de ozono, tiempo de exposición al ozono, tiempo de blanqueo, resistencia física y color) se registrará simultáneamente durante un periodo de tiempo determinado. Todas las variables a estudiar y los resultados del experimento son de naturaleza cuantitativa, lo que hace de la investigación un estudio de tipo cuantitativo.

La investigación es aplicada porque se evaluará la viabilidad técnica y económica de la aplicación del ozono en una etapa previa al lavado industrial de pantalones de lona, para lo cual se requiere de la descripción de variables y del registro, análisis e interpretación de los resultados obtenidos durante la etapa experimental.

El estudio estará dirigido a aquellos estilos de pantalones de mujer que por su apariencia final demanden un proceso de lavado industrial tipo *light*, que se caracteriza por etapas de blanqueo con tiempos superiores a los 10 minutos y por la aplicación de cantidades de hipoclorito de sodio  $\geq$  al 20 % del peso de las prendas. Las prendas estarán confeccionadas con lona con un peso de 10 onzas/yarda<sup>2</sup> y de composición 98 % algodón y 2 % spandex.

Para tal efecto, la etapa inicial del estudio comprende la selección de un estilo de lavado que cumpla con las características descritas y cuyo proceso de lavado represente un riesgo para los parámetros mínimos de calidad requeridos.

La siguiente etapa comprende el tratamiento propuesto con ozono y el registro experimental de datos, así como el análisis de resultados después del proceso de lavado, el comparativo se realizara contra un proceso de lavado control, en el cual los pantalones de lona no fueron expuestos al ozono.

El estudio requiere el involucramiento del Departamento de Mantenimiento para la calibración y ajuste de la maquinaria, Departamento de Calidad para validar y certificar los resultados, Departamento Textil para evaluación de las muestras, producción para coordinación de la prueba, y el Departamento de Desarrollo de producto para evaluar la viabilidad técnica en futuros desarrollos.

El potencial alcance del estudio es mejorar los parámetros de resistencia de aquellos estilos de pantalones que por la naturaleza del lavado al que son expuestos pierden considerablemente propiedades de resistencia física a la tensión y al rasgado por el deterioro de la fibra debido al uso de hipoclorito de sodio, todo esto sin alterar significativamente la apariencia final del pantalón en términos de características colorimétricas.



## **7. HIPÓTESIS**

La aplicación de ozono ( $O_3$ ) a pantalones de lona rígidos previo a su proceso de lavado industrial supone una disminución de tiempo en la etapa de blanqueo con hipoclorito de sodio, dando como resultado un aumento en los parámetros de resistencia física del pantalón terminado, mejorando así el desempeño del proceso de lavado industrial con la consecuente mejora de la calidad.



## 8. MARCO TEÓRICO

### 8.1. Fibras textiles

“Las fibras son estructuras unidimensionales, largas y delgadas, que se doblan con facilidad y su propósito principal es la creación de tejidos. Estas tienen una longitud muy superior a su diámetro y están orientadas a lo largo de un solo eje” (Kastillo, 2003).

Lockuán (2012); afirma que para que una fibra sea considerada como textil debe cumplir los siguientes requisitos, sea cualquiera su origen:

- Flexibilidad
- Elasticidad
- Resistencia

Toda fibra, sin estas tres condiciones, no servirá para hacer hilados con las características técnicas que requieren los tejidos de buena calidad. La fibra es, por decirlo de algún modo, la unidad fundamental de los textiles. Y es que a partir de ella se elaboran los hilos, con los cuales se fabrican los tejidos y finalmente las prendas.

Las diferentes clases de fibras para la elaboración de tejidos han tenido una gran evolución conjuntamente con la historia de la humanidad, “y estas pueden clasificarse de acuerdo a su origen de fabricación, en naturales y manufacturadas. Para que una fibra textil pueda ser explotada industrialmente debe tener un suministro constante y bajo costo. Existen muchos tipos de fibras

naturales que no cumplen estos requisitos y por eso su explotación tan solo se queda a nivel artesanal, de igual manera existen fibras manufacturadas cuya producción es demasiado costosa y por ello su producción se ha descontinuado o se utilizan para aplicaciones muy especiales” (Lockuán, 2012).

### **8.1.1. Fibras naturales**

Son las fibras proporcionadas por la naturaleza en diversas formas o bien, se producen a partir de un desarrollo natural por creación biológica. Se clasifican de acuerdo a su origen que puede ser:

- Animal
- Vegetal

Las fibras animales mayormente utilizadas para la fabricación de tejidos son: a) la lana, proveniente del pelo de la oveja, la cual está compuesta por una proteína llamada queratina y b) la seda, conocida como la reina de las fibras por su calidad y brillo.

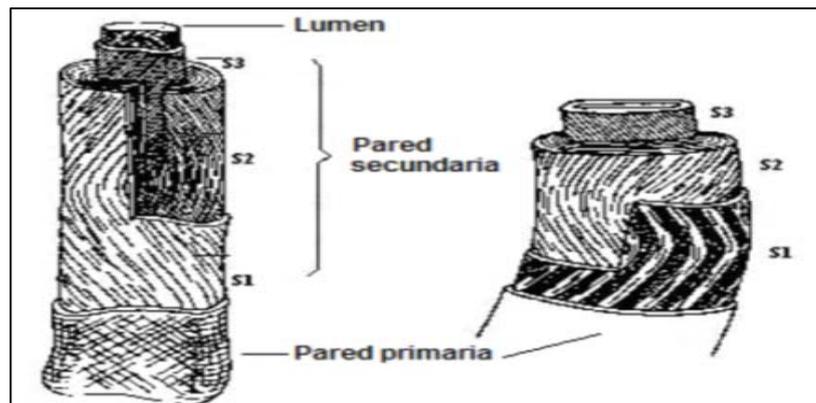
“La industria textil utiliza principalmente las fibras naturales de origen vegetal. Entre las principales fibras vegetales para la elaboración de tejidos se encuentra el algodón” (Kastillo, 2003) .

El algodón es la fibra vegetal más importante, y es sin duda la fibra más estudiada y sobre la que más se ha escrito. Está constituido por el suave pelillo celular que cubre las semillas de las plantas de algodón.

“Su origen se ubica en Sudamérica, Asia y África en forma simultánea. Los primeros tejidos elaborados con algodón datan del primer milenio antes de Cristo” (Kastillo, 2003).

“La fibra del algodón está formada por una cutícula, una pared primaria, una pared secundaria y un lumen, como se puede observar en la figura 1. La fibra crece casi a su longitud completa como un tubo hueco antes de que se empiece a formar la pared secundaria” (Lockuán, 2012).

Figura 1. **Estructura física de la fibra de algodón**



Fuente: Lockuán, (2012).

Lockuán (2012) describe cada uno de los componentes de la fibra de algodón de la siguiente manera:

- La cutícula es una película cerosa que cubre la pared primaria o externa.
- La pared secundaria está constituida por capas de celulosa. Las capas de celulosa están compuestas de fibrillas, cadenas de celulosa distribuidas en forma de espiral. En ciertos puntos las fibrillas invierten su

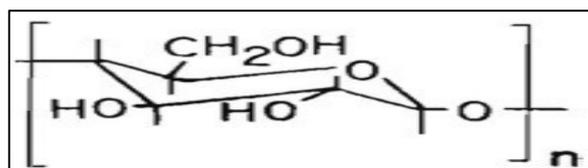
dirección. Estas espirales invertidas son un factor importante en el torcido, la recuperación elástica y el alargamiento de la fibra, y también son puntos débiles, con una resistencia 15 a 30 por ciento menor que el resto de la fibra.

- El lumen es el canal central a través del cual se transportan los nutrientes durante el crecimiento.

El algodón es una forma pura de celulosa (>99 %) con alta cristalinidad, la estructura química de la celulosa se observa en la figura 2. La fibra de algodón posee una alta durabilidad y se tiñe con facilidad, absorbe con rapidez el agua pero se seca más rápido que otras fibras. Si está preencogido, es estable a los lavados y se puede planchar a altas temperaturas.

Es la más elástica de las fibras vegetales, con la humedad su resistencia aumenta de un 10 a 20 por ciento. Es resistente a los álcalis como los jabones y detergentes que se usan en diferentes procesos a los que se someten las fibras. Los ácidos fuertes destruyen el algodón. La principal desventaja del algodón es que se arruga con facilidad y es muy inflamable a la llama. Es recomendable guardarlo en lugares secos y oscuros ya que la exposición a la luz solar lo daña y amarillenta (Erhardt, 1980).

Figura 2. **Estructura química de la celulosa**



Fuente: Lokuán (2012).

### **8.1.2. Fibras manufacturadas**

“Por miles de años el uso de las fibras fue limitado por las inherentes cualidades de las fibras naturales, como el algodón y el lino. Las fibras manufacturadas son hechas por el hombre y pueden ser obtenidas de polímeros naturales o de polímeros sintéticos” (Lockuán, 2012).

“No fue sino hasta 1889 cuando el químico francés Count de Chardonnet fabricó la primera fibra artificial denominada rayón, es en ese momento que se da lugar a una revolución en los textiles, creándose así las primeras fibras químicas” (Kastillo, 2003).

Las fibras manufacturadas pueden clasificarse como:

- Fibras artificiales
- Fibras sintéticas

La principal materia prima para la elaboración de fibras artificiales es la madera, la cual ha sido para el hombre uno de los principales recursos naturales. La madera como tal se usa extensamente en la industria química a causa de sus propiedades físicas y mecánicas; es fuerte, puede trabajarse sencillamente, es resistente a los ácidos débiles y es un buen aislante térmico y eléctrico. “Químicamente, la madera puede convertirse en productos fibrosos, como el papel, productos celulósicos, como películas, plásticos y explosivos, y productos textiles como el rayón” (Martínez, 1976).

Las fibras sintéticas, son aquellas que se obtienen por la repetición de unidades simples (monómeros) unidas entre sí por enlaces covalentes y que mediante procesos de polimerización forman filamentos de aplicación textil tal y como se observa en la figura 3.

Figura 3. **Creación de fibras sintéticas a partir de monómeros**



Fuente: Lockuán (2012).

Según (Kastillo, 2003), el spandex es una de las principales fibras sintéticas que combinada con otras fibras sintéticas o con fibras naturales, se utiliza en la fabricación de prendas con características elásticas.

“Las fibras elastómeras basadas en polímeros uretanos y sus técnicas para la producción experimental fueron reportadas en 1950 Farbenfabriken Bayer, un pionero en la química del uretano y del dicianato. Las fibras elastoméricas de uretano recibieron la designación química de spandex, nombre con el que se le conoce dentro del lenguaje común del mercado mundial” (Martínez, 1976).

“El spandex es una fibra elastomérica artificial donde la sustancia que la forma es un polímero de cadena larga formada por un mínimo de 85 % de poliuretano segmentado. Está constituido por segmentos rígidos que mantienen

unida la cadena y segmentos flexibles que proporcionan elasticidad. La proporción entre segmentos rígidos y flexibles determinan la cantidad de alargamiento de la fibra” (Kastillo, 2003).

Las fibras de elastano son cada vez más utilizadas en la fabricación de textiles elásticos. A ello contribuye su buen comportamiento y también la moda actual, por ejemplo trajes de baño, prendas deportivas, jeans y ropa interior. “Los porcentajes de elastano que se pueden incorporar a los tejidos son muy variables. Con tan sólo un 2 % se mejora sustancialmente la retención de la forma del tejido. Contribuye a que las prendas no se arruguen” (Lockuán, 2012).

## **8.2. Composición de la lona (*denim*)**

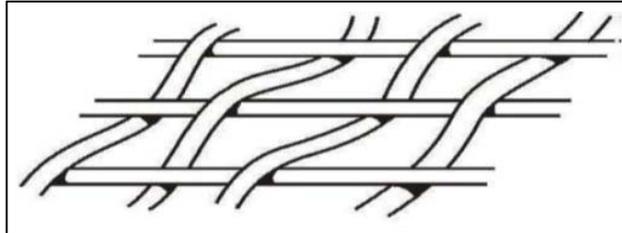
El *denim* está compuesto principalmente por dos materias primas: tejido de algodón y colorante índigo.

### **8.2.1. Tejido de algodón**

“La lona es un tipo de tejido plano o de calada que está formado por dos series de elementos: la urdimbre que es el hilo de algodón teñido con colorante índigo y la trama que es el hilo de algodón crudo” (Lockuán, 2012).

La urdimbre va a lo largo del tejido, y la trama a lo ancho. Las ondulaciones de un hilo se hacen siempre en un solo plano, o sea, de manera rectilínea. El cruzamiento de los hilos se hace siempre con la trama que pasa por encima o por debajo de los hilos de urdimbre, ver figura 4.

Figura 4. **Tejido plano**



Fuente: Lockuán, (2012).

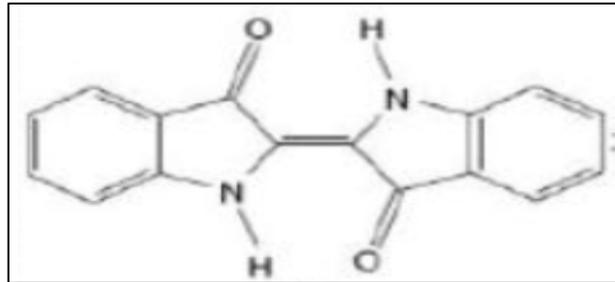
Según Lockuán (2012); el tejido de algodón en la dirección de la trama puede combinarse con poliéster y/o spandex, con la finalidad de mejorar las características y desempeño de las fibras naturales. Las propiedades del tejido combinado dependerán de los porcentajes de mezcla utilizados.

### **8.2.2. Colorante índigo**

“El color índigo (2,2-´bis índigo), o índigo tina, con fórmula química  $C_{12}H_{10}O_2N_2$ , (figura 5), es un polvo cristalino azul oscuro. Su principal aplicación es en la industria de los *blue jeans* y otros productos del *denim* azul.

Tiene un alto punto de fusión ( $390\text{ }^{\circ}\text{C} - 392\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), es insoluble en agua, alcohol o éter debido a las fuerzas intermoleculares fuertes causadas por los puentes de hidrógeno, soluble en cloroformo, nitrobeneno, o ácido sulfúrico concentrado. En el estado sólido el índigo forma un polímero en el cual cada molécula de índigo se ha unido a cuatro moléculas a su alrededor. En los solventes no polares, el índigo es presentado como un monómero, mientras en solventes polares la asociación intermolecular ocurre y la solución es azul” (Guarquila, 2013).

Figura 5. Estructura del colorante índigo

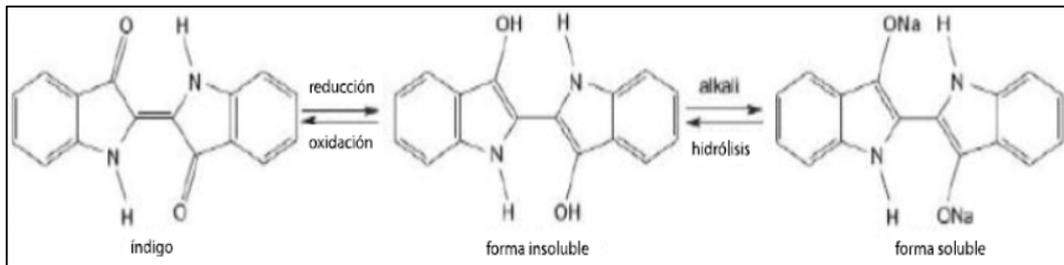


Fuente: Prideaux, (2007).

“El índigo conforma el color primario del *denim*, es un colorante con un característico matiz azul. El teñido con índigo proporciona a la lona un color azul brillante. El índigo en estado natural presenta una baja afinidad hacia las fibras de algodón, depositándose sobre estas de forma superficial al ser oxidado y penetrando parcialmente en la fibra.

Los teñidos de color azul intenso son posibles cuando la fibra es expuesta a varios baños de índigo en presencia de agentes reductores, en estas condiciones el índigo es soluble, lo cual incrementa su afinidad hacia las fibras celulósicas, seguidamente se debe exponer al aire para su oxidación, acción que lo vuelve insoluble nuevamente, fijándolo a la fibra y coloreándola permanentemente. A diferencia de otros colorantes el índigo forma con la fibra enlaces físicos y no químicos” (Prideaux, 2007). El mecanismo de óxido-reducción del teñido de tinte índigo se puede observar en la figura 6.

Figura 6. **Mecanismo de oxidación-reducción de teñido del tinte índigo**



Fuente: Prideaux (2007).

### 8.3. **Proceso de lavado industrial de pantalones de lona**

“El proceso de lavado industrial de pantalones de lona consiste y depende de los diversos patrones de efecto requeridos en la apariencia de la prenda terminada. La parte más relevante en este proceso es la fórmula de lavado” (Lam, 2005).

El proceso de lavado industrial tiene como finalidad la degradación progresiva del colorante índigo presente en la lona (*denim*), mediante una secuencia ordenada de etapas de lavado. “Esta pérdida gradual de colorante índigo, confiere a las prendas la apariencia visual de desgaste, dándole ese efecto usado o envejecido que tanto gusta” (Kastillo, 2003).

Según Rai (2009); las principales etapas de un lavado industrial son:

- Desengomado
- Abrasión enzimática y/o mecánica
- Blanqueo
- Suavizado

La combinación de algunas y/o todas las etapas del lavado industrial dan como resultado diferentes tonalidades en la prenda terminada. Estas tonalidades comúnmente están clasificadas como lavado *dark* (oscuro), lavado *medium* (intermedio) y lavado *light* (claro). La tonalidad dependerá de la cantidad de índigo que se elimina durante el proceso de lavado. Siendo los lavados *light* los que presentan mayor degradación de índigo.

### **8.3.1. Desengomado**

“Es el paso más importante en el lavado industrial. Aquí se determina que el *denim* tenga o no buena apariencia. Un buen desengomado evita rayas, lavado disparejo y pérdida excesiva de color. La finalidad del desengome es la eliminación de los engomantes y manchas generadas durante la manipulación de la tela. Los engomantes presentes en el *denim* son agregados durante el proceso de hilatura para proteger al hilo de urdimbre del estiramiento y la fricción, y de igual forma facilitar la manipulación de la tela durante los procesos de confección” (Rai, 2009).

### **8.3.2. Abrasión**

“El paso de abrasión tiene como finalidad darle a la prenda una apariencia visual de desgaste (usado) para lograr el nivel de contraste deseado” (Méndez, 1999). El contraste indica la intensidad del lavado y se puede obtener por 3 técnicas: abrasión mecánica, abrasión enzimática y la combinada.

“La abrasión mecánica se logra utilizando piedra pómez. Es un proceso que requiere ciclos largos. Fue el primer método de abrasión para obtener el efecto de desgaste” (Lam, 2005).

“La abrasión enzimática del *denim* se logra mediante la aplicación de diferentes enzimas tales como: amilasa, celulasa, lacasa y catalasa. Las enzimas son un tipo de proteína que se obtienen por medio de fermentaciones a partir de bacterias y hongos. La estructura de las enzimas está formada por polímeros biológicos que se encuentran en las células”. (Rai, 2009). Las enzimas son utilizadas con la finalidad de lograr el efecto de desgaste deseado reduciendo el tiempo de proceso.

Las enzimas son particularmente sensibles a parámetros de lavado como pH, temperatura y tiempo. La desactivación de las enzimas se logra con la simple variación de cualquiera de estos parámetros que resulte en condiciones adversas a las requeridas por la enzima.

La abrasión combinada no es más que combinar la aplicación de agentes abrasivos mecánicos con las enzimas. Esta combinación ha permitido evolucionar la industria de lavado y obtener mejores productos a un menor costo.

### **8.3.3. Blanqueo**

“El paso de blanqueo es uno de los más importantes y críticos del proceso, es aquí donde se alcanza la intensidad de color deseada. Existen diversos tipos de agentes blanqueadores en el proceso de lavado industrial de pantalones de lona, los cuales actúan como agentes oxidantes del colorante índigo, siendo uno de los más comunes el hipoclorito de sodio” (Rai, 2009).

“La decoloración oxidativa (blanqueo) ha enfrentado muchos problemas a nivel industrial, el más significativo es el remanente de residuos en las prendas

de lona provenientes de la combinación de los blanqueadores utilizados con pequeñas cantidades de índigo oxidado” (Méndez, 1999).

Los agentes blanqueadores regularmente utilizados en el paso de decoloración de índigo son: el hipoclorito de sodio (NaOCl), la combinación de peróxido de hidrógeno  $H_2O_2$  y sosa caustica NaOH, y el permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ).

El hipoclorito de sodio fue el primer agente blanqueador ampliamente utilizado, desafortunadamente este está en equilibrio con el ácido hipocloroso sobre un extenso rango de pH. Dicho equilibrio provoca daños a la fibra de algodón, así como una disminución en los parámetros físicos de resistencia al rasgado y a la tensión. Sin embargo, es la técnica más efectiva para la degradación de la intensidad del colorante índigo, por lo que su aplicación se hace necesaria para la obtención de determinadas apariencias de color (Lam, 2005).

Según Bautista (2012); los procesos de blanqueo tradicionales con hipoclorito de sodio pueden producir reacciones secundarias, formando compuestos orgánicos halogenados absorbibles (AOX) y extraíbles (EOX) generando emisiones atmosféricas de dioxinas y cloro.

Bautista (2012), expone que el blanqueo industrial de tejidos de algodón utilizando baños que contienen una disolución acuosa de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sosa cáustica (NaOH) evita la formación de compuestos orgánicos halogenados en las aguas residuales. Sin embargo, el blanqueo con peróxido requiere de una activación inicial y de la aplicación de agentes estabilizadores. Estos compuestos pueden formar complejos estables con metales y, normalmente, presentan una baja biodegradabilidad.

“La activación y la estabilización son etapas críticas en los procesos de blanqueo con peróxido. La activación se produce incrementando la temperatura del baño, la alcalinidad y/o la concentración de peróxido. Se utiliza para iniciar y acelerar el proceso de blanqueo. Sin embargo, favorece el desarrollo de reacciones secundarias indeseables, especialmente la rotura de cadenas de celulosa” (Bautista, 2012).

El permanganato de potasio es más eficiente en la reducción de color y provoca menos daño a las propiedades físicas de la fibra. Su uso como sustituto del hipoclorito de sodio se debe principalmente a que sus soluciones acuosas tienen una vida de anaquel relativamente estable y el proceso de decoloración es más controlable. “Sin embargo, la limpieza de los residuos de la reacción son más difíciles de controlar, que la neutralización del cloro y ocasionan manchas de color café-rojizo sobre la superficie de la tela, sin mencionar que puede provocar variaciones indeseables de color” (Lam, 2005).

Rai (2009); afirma que para los lavados *light* es necesario utilizar ambos agentes oxidantes, con el propósito de disminuir la cantidad de hipoclorito de sodio y el tiempo de blanqueo para evitar daños a las fibras de algodón y spandex.

Bautista (2012); de igual forma afirma que actualmente están surgiendo una serie de alternativas a los procesos de blanqueo de algodón convencionales que presentan la ventaja adicional de conseguir un ahorro de energía térmica, agua y productos químicos. Una de estas alternativas es el blanqueo de algodón convencional con utilización de oxígeno en fase gas u oxígeno/ozono con un porcentaje bajo de ozono del 0,5 al 6 %.

#### **8.3.4. Suavizado**

“El objetivo de este paso consiste en dar a las prendas una mayor comodidad, que se percibe entre el contacto de la piel con los pantalones que presentan mayor suavidad. Los diferentes tipos de suavizante proveen a la prenda características especiales, que en general permiten absorber humedad del medio ambiente, lo que hace que el algodón de la fibra tenga un tacto más suave” (Lam, 2005).

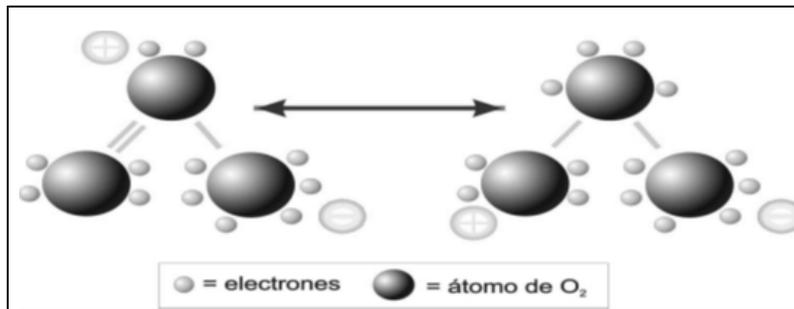
Según Rai (2009); esta es una etapa crítica en el proceso de lavado, especialmente para el *denim* por tratarse de una tela pesada, que regularmente previo a esta etapa del proceso presenta un tacto poco agradable.

#### **8.4. Ozono**

Término de origen griego que significa olor. “El ozono es un alotropo del oxígeno formado por tres átomos de este elemento, ver figura 7. Es un gas inestable con un elevado poder oxidante de 2,07 volts, en condiciones estándares de temperatura y presión se transforma rápidamente en oxígeno molecular” (Strickland, 1995).

El ozono obtenido del oxígeno puro es un gas incoloro, de olor penetrante, químicamente puro y exento de productos nitrosos. En estado líquido es de color azul índigo (violeta azulado) y ebulle a -112 °C. En estado sólido constituye una masa cristalina de color violeta oscuro que funde a una temperatura de -250 °C.

Figura 7. **Molécula de ozono**



Fuente: [www.quimicafisica.com](http://www.quimicafisica.com)

Fue descubierto en 1783 por Van Manum. Sin embargo, durante los últimos 20 años toma importancia en el ámbito industrial y comercial.

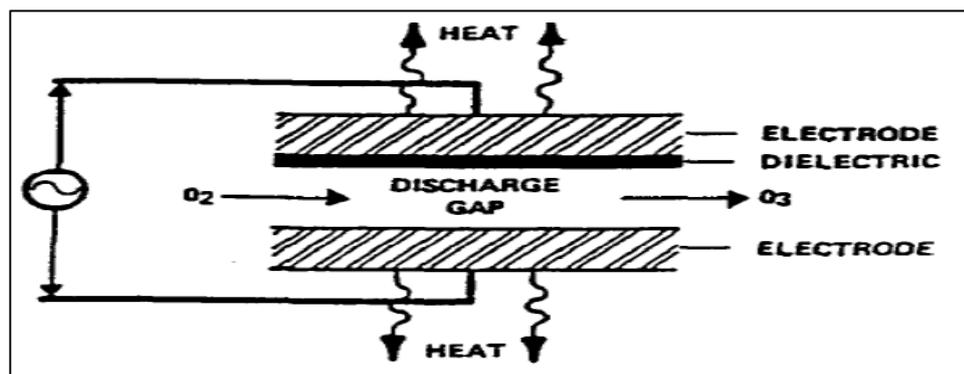
#### **8.4.1. Generación de ozono**

“Varios métodos conducen a la fabricación del ozono: reacciones de química orgánica, la hidrolisis del agua, rayos ultravioleta (UV), descargas eléctricas. Únicamente este último método tiene su aplicación a la escala industrial para obtener grandes cantidades de ozono con fuerte concentración. El método de producción de ozono por corona de descarga, esquematizado en la figura 8, es el procedimiento más usado. Esto es, porque el procedimiento de corona produce más concentración de ozono por la cantidad de energía aplicada” (Guarquila, 2013).

Dada la inestabilidad del compuesto, este debe ser producido en el sitio de aplicación mediante generadores industriales.

“Los generadores de ozono por el método de corona de descarga aplican un alto voltaje (del orden de kW) entre dos electrodos por los que se hace pasar oxígeno (o aire). Se produce una descarga eléctrica que rompe moléculas de oxígeno formando oxígeno monoatómico. Posteriormente, este se recombina con el oxígeno atómico para formar la molécula de ozono. Las variables más importantes del proceso son las siguientes: tipo de gas aplicado, caudal de gas, temperatura, humedad e intensidad de la descarga eléctrica” (Bautista, 2012).

Figura 8. **Generación de ozono por el método de corona de descarga**



Fuente: Strickland, (1995).

“La generación de ozono a partir de oxígeno puro, según la ecuación 1, tiene un rendimiento entre el 3 – 7 % de ozono en peso, mientras que el rendimiento a partir de aire es del 1 – 2 % de ozono en peso. La diferencia se debe a que el aire está compuesto aproximadamente por un 20 % de oxígeno” (Strickland, 1995).



#### 8.4.2. Aplicaciones industriales del ozono

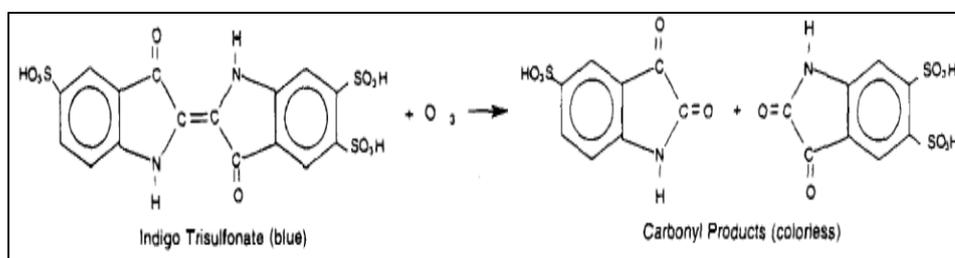
Derivado de su alto poder oxidante, el ozono ha encontrado una variada gama de aplicaciones industriales, entre las que cabe destacar:

- Tratamiento de aguas de descarga de la industria textil.
- Blanqueo de textiles (fase gaseosa).
- Lavado de prendas en lavanderías industriales (fase acuosa).

#### 8.4.3. Tratamiento de aguas de descarga de la industria textil

“Este método de tratar las aguas de descarga con ozono se desarrolló a principios de los años 70, es efectivo para la destrucción de compuestos tóxicos y contribuye a la descomposición de detergentes y compuestos aromáticos. La capacidad del ozono para remover el color de las aguas de descarga textil se atribuye a su alto poder oxidativo que rompe los enlaces  $-C=C-$ ,  $-N=N-$  y los anillos aromáticos. La capacidad de estos enlaces por absorber el espectro de luz visible da lugar al espectro ultravioleta o infrarrojo” (Strickland, 1995). Ver figura 9.

Figura 9. Reacción química entre colorante índigo y ozono



Fuente: Strickland (1995).

#### **8.4.4. Blanqueo de textiles**

Bautista (2012); hace referencia a que el ozono se ha utilizado como agente oxidante en procesos de blanqueo sobre numerosos tipos de fibras textiles diferentes. Se ha empleado ozono para blanquear e incrementar la resistencia al encogimiento de la lana, aplicándolo en fase gas. También se ha usado ozono en fase gas junto a radiación UV para incrementar la absorción de colorantes en tejidos de lana. Se ha utilizado ozono en fase gas como alternativa al peróxido de hidrógeno para blanquear e incrementar la flexibilidad en tejidos de seda.

“El blanqueo de tejidos de algodón con ozono constituye una de las alternativas más interesantes para complementar o sustituir los procesos de blanqueo convencionales con peróxido e hipoclorito, ya que dicho proceso se desarrolla en fase gas, opera a temperatura ambiente para tiempos de tratamiento cortos y únicamente requiere que el tejido posea un contenido en agua no superior a su propio peso” (Bautista, 2012).

#### **8.4.5. Lavado de prendas en lavanderías industriales**

“Los sistemas de ozono en lavanderías industriales tienen como objetivo reducir al máximo, dentro de lo posible, sus gastos sin perder los estándares de calidad necesarios para ofrecer el mejor servicio. Para conseguir una óptima eficacia en la limpieza con ozono, es fundamental que el gas se encuentre perfectamente disuelto en el agua. Existen cuatro factores que afectan a la eficiencia del ozono en esta aplicación y que tienen que ver con la capacidad de disolución del gas en agua: el tiempo de contacto entre ambos, la presión del gas, el método de mezcla y la temperatura del agua” (Perez, sf).

Con una tecnología adecuada, el agua es tomada de la red y mezclada con el ozono a través de un Venturi en una columna de contacto (reactor). El agua así tratada pasa luego a un tanque presurizado y se va recirculando de este al reactor hasta el momento en que el sistema de lavado demanda agua. La recirculación entre el tanque y el reactor hacen que el agua mantenga en todo momento las concentraciones adecuadas de ozono en disolución hasta que las lavadoras lo demandan (Pérez, sf).

Pérez, M. (sf); plantea que el uso de ozono presenta las siguientes ventajas:

- Reduce el consumo de agua caliente: al aumentar las concentraciones de oxígeno en el agua de lavado y favorecer la acción de los detergentes, no son necesarias altas temperaturas para conseguir una limpieza óptima. De hecho, se puede lavar con agua fría consiguiendo mejores resultados que los obtenidos con agua caliente sin ozono.
- Reduce el consumo de productos químicos: el ozono abre las fibras de los tejidos, favoreciendo la penetración en las telas de los detergentes y blanqueadores. Asimismo, el poder desinfectante y oxidante del ozono hace innecesaria la utilización de agentes blanqueantes a base de cloro (lejías) si la intención fuera únicamente la desinfección. Tampoco son necesarios los productos utilizados para equilibrar el pH del agua, ya que el ozono lo mantiene en valores próximos al neutro.
- Reduce el tiempo/número de lavados: al ser los detergentes más eficaces en presencia de ozono, se consigue la misma limpieza en un tiempo más corto. Se puede llegar a reducir el tiempo de lavado convencional en un 33 % aproximadamente.

- Reduce el tiempo/número de aclarados: debido al uso de menor cantidad de químicos en el proceso de lavado, hay un menor depósito de residuos en los tejidos, con lo que se pueden evitar uno o dos aclarados y se reduce el tiempo de centrifugación y secado.
- Reduce el consumo de agua: al reducir o incluso eliminar fases del proceso de lavado, la cantidad final de agua utilizada es muchísimo menor. De hecho, la disminución del consumo de agua es la característica más notable de la ozonización.

#### **8.5. Mejora continua**

“La mejora continua es una parte importante de los Sistemas de Gestión de Calidad que permite mejorar la eficiencia en la producción de bienes y servicios y lograr una cultura de mejoramiento permanente. La mejora continua se aplica a partir del uso de metodologías sistemáticas que utilizadas por equipos multidisciplinarios, permiten detectar los problemas que afectan los resultados de la organización, sus causas, posibilitando el desarrollo de planes de acción que rompen con los paradigmas y preconceptos adquiridos” (Alvear, 2001).

El concepto de mejora continua, según Aguilar (2010); se refiere al hecho de que nada puede considerarse como algo terminado o mejorado en forma definitiva. Se está siempre en un proceso de cambio, de desarrollo y con posibilidades de mejorar. Y este criterio se aplica tanto a las personas, como a las organizaciones y sus actividades.

El esfuerzo de mejora continua, es un ciclo a través del cual se identifica un área de mejora, se planea cómo realizarla y la implementan, verificando luego los resultados y se actúa de acuerdo con ellos, ya sea para corregir desviaciones o para proponer otra meta más retadora. Este ciclo permite la renovación, el desarrollo, el progreso y la posibilidad de responder a las necesidades cambiantes del entorno, para dar un mejor servicio o producto a nuestros clientes o usuarios.

Uno de los logros más importantes de la mejora continua consiste en que se mejoran las relaciones con el personal, ya que todos se involucran en el ciclo de analizar los problemas que impiden mejorar y se comprometen en su solución.

“La identificación de la necesidad de mejora consiste en determinar si algún componente (proceso, instalación, equipo, actividad) no cumple con los requisitos de calidad establecidos, o bien, se requiere la introducción de nuevos elementos organizativos o tecnológicos en correspondencia con nuevas leyes, normas, necesidades de los clientes o los adelantos científicos – técnicos” (Alvear, 2001).

González (2010); plantea que el mejoramiento continuo es una decisión de la dirección de la empresa, que la convierte en una forma de administrar e implica que toda empresa necesita un cambio que la haga apta para sobrevivir, cuestionándose la forma de hacer las cosas, sus procesos, sus productos, su forma de gestionar, las competencias de su personal, la forma de evaluar y premiar el desempeño. La organización se descubre a sí misma, reconoce qué debe cambiar y lleva adelante el cambio que anda buscando. Un factor importante es vencer la resistencia al cambio, la cual se constituye en una causa determinante para el éxito o el fracaso del proyecto.

El proceso de mejora continua como parte importante de los sistemas de gestión, se vale de herramientas y metodologías que le permiten identificar problemas, sus causas, definir soluciones, implementarlas y evaluar el desempeño de las soluciones propuestas. La ruta de calidad y el ciclo de Deming forman parte de estas herramientas y metodologías que orientan el cambio hacia la mejora en la eficiencia y la competitividad.

### **8.5.1. Ruta de calidad**

“La ruta de calidad es un proceso formal de resolución de problemas. Se trata de un método muy efectivo para abordar no solo los problemas crónicos del centro de trabajo, sino también problemas imprevistos, cuyas causas no están claramente definidas. La ruta de calidad permite resolver problemas de forma sistémica siguiendo el ciclo de Deming, PHVA (planificar, hacer, verificar y actuar)” (González, Gibler, 2003).

González y Gibler (2003); destacan la importancia de seguir la ruta de calidad ya que es un proceso que guía sobre cada uno de los pasos que se deben seguir en la resolución de problemas. La razón es que en la resolución de problemas, es sumamente importante analizar los datos y lograr un diagnóstico o juicio acorde con la evidencia científica.

En otras palabras, los operadores del piso deben observar las condiciones de operación, recolectar datos y analizar los problemas usando la evidencia, fundamentada en la observación. Si uno no se sustenta en datos, y emite juicios basándose en sus propias experiencias y emociones, es poco probable que el problema se resuelva de una manera más rápida y eficiente. Por tanto, usar un procedimiento ya probado y a la vez aprovechar las peculiares habilidades de cada quien, es un camino seguro en la resolución de problemas.

### **8.5.2. El ciclo de Deming**

El ciclo de Deming, denominado así en honor al Dr. Williams Edwards Deming al ser uno de los primeros que utilizó este esquema lógico en la mejora de la calidad y le dio un fuerte impulso.

Basado en un concepto ideado por Walter A. Shewhart, el ciclo PHVA (planificar, hacer, verificar y actuar), constituye una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos, también se lo denomina espiral de mejora continua y es muy utilizado por los diversos sistemas utilizados en las organizaciones para gestionar aspectos tales como calidad (ISO 9000), medio ambiente (ISO 14000), salud y seguridad ocupacional (OHSAS 18000), o inocuidad alimentaria (ISO 22000) (González, 2010).

González (2010) describe las etapas del ciclo PHVA de la siguiente manera y lo esquematiza en la figura 10.

- Planificar: establecer los objetivos y procesos necesarios para obtener los resultados de acuerdo con el resultado esperado. Al tomar como foco el resultado esperado, difiere de otras técnicas en las que el logro o la precisión de la especificación es también parte de la mejora.
- Hacer: implementar los nuevos procesos. Si es posible, en una pequeña escala.
- Verificar: pasado un período previsto con anterioridad, volver a recopilar datos de control y analizarlos, comparándolos con los objetivos y especificaciones iniciales, para evaluar si se ha producido la mejora esperada. Se deben documentar las conclusiones.

- Actuar: modificar los procesos según las conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales, si fuese necesario. Aplicar nuevas mejoras, si se han detectado errores en el paso anterior. Documentar el proceso.

Figura 10. **Ciclo de Deming o ciclo PHVA**



Fuente: [www.calidad-gestion.com.ar](http://www.calidad-gestion.com.ar).



## **9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE

PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

### **1. ANTECEDENTES GENERALES**

#### **1.1. Aspectos generales de la empresa**

1.1.1. Actividades de la empresa

1.1.2. Ubicación

1.1.3. Misión

1.1.4. Visión

1.1.5. Sistema de producción

1.1.6. Estructura organizacional

#### **1.2. Situación del proceso objeto de estudio**

1.2.1. Definición del problema

1.2.2. Diagrama Causa y Efecto

1.2.3. Diagrama de Pareto

1.2.4. Análisis de reprocesos

1.2.5. Análisis de unidades de segunda calidad

1.2.6. Análisis de costo de oportunidad

2. PROPUESTA DE MEJORA AL PROCESO
  - 2.1. Aplicación de ozono gaseoso
    - 2.1.1. Concentraciones aplicadas
    - 2.1.2. Tiempos de exposición
  - 2.2. Evaluación de la etapa de blanqueo
    - 2.2.1. Variación en el tiempo requerido
  - 2.3. Evaluación de muestras
    - 2.3.1. Análisis de resistencia física a la tensión
    - 2.3.2. Análisis de resistencia física al rasgado
    - 2.3.3. Análisis colorimétrico
    - 2.3.4. Análisis comparativo
  - 2.4. Evaluación de la propuesta de mejora
    - 2.4.1. Interpretación de resultados
    - 2.4.2. Análisis de la propuesta de mejora
    - 2.4.3. Selección de la propuesta de mejora
  
3. EVALUACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA PROPUESTA DE MEJORA
  - 3.1. Estudio de viabilidad técnica
  - 3.2. Estudio de viabilidad financiera
  - 3.3. Evaluación para implementación industrial

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ANEXOS

## 10. METOLOGÍA

### 10.1. Hipótesis

La aplicación de ozono ( $O_3$ ) a pantalones de lona rígidos previo a su proceso de lavado industrial supone una disminución de tiempo en la etapa de blanqueo con hipoclorito de sodio, dando como resultado un aumento en los parámetros de resistencia física del pantalón terminado, mejorando así el desempeño del proceso de lavado industrial con la consecuente mejora de la calidad.

### 10.2. Diseño y tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental-correlacional, porque se estudiará el efecto que tiene la aplicación de ozono sobre el tiempo que toma la etapa de blanqueo en el proceso de lavado industrial de *jeans* y su correlación con los parámetros de resistencia física a la tensión y al rasgado, así como con el color del pantalón terminado.

El diseño es de carácter prospectivo–transversal, ya que el registro de datos se realizará conforme se den durante el experimento y la relación entre las variables (concentración de ozono, tiempo de blanqueo, resistencia física y color) se registrará simultáneamente durante un período de tiempo determinado. Todas las variables a estudiar y los resultados del experimento son de naturaleza cuantitativa, lo que hace de la investigación un estudio de tipo cuantitativo.

La investigación es aplicada, porque se evaluará la viabilidad técnica y económica de la aplicación del ozono en una etapa previa al lavado industrial de pantalones de lona, para lo cual se requiere de la descripción de variables y del registro, análisis e interpretación de los resultados obtenidos durante la etapa experimental.

### 10.3. Variables e indicadores

Las variables e indicadores definidos para la investigación son las siguientes:

Tabla I. Variables e indicadores

Variable	Indicador	Observación	Instrumento
Concentración de ozono	Concentración en gr/m <sup>3</sup>	Se experimentará con 2 concentraciones diferentes de ozono <ul style="list-style-type: none"> <li>• C1 = 30 gr/m<sup>3</sup></li> <li>• C2 = 60 gr/m<sup>3</sup></li> </ul>	Medidor digital de concentración de ozono
Tiempos de exposición a ozono	Minutos de exposición	Se experimentará con 2 tiempos diferentes de exposición a ozono. <ul style="list-style-type: none"> <li>• T1 = 5 min</li> <li>• T2 = 15 min</li> </ul>	Cronómetro digital
Tiempo de blanqueo	Minutos de blanqueo	Se espera una disminución del 15%	Cronómetro digital
Tensión	Resistencia a la tensión <u>lbf</u>	Se espera un aumento del 10%	Tensiómetro
Rasgado	Resistencia al rasgado <u>lbf</u>	Se espera un aumento del 10%	<u>Tear Tester</u> <u>Elmendorf</u>
Color	Cambio en intensidad y matiz	Se espera una variación de DECMC < 1,5	Espectrofotómetro

Fuente: elaboración propia.

#### **10.4. Técnicas de investigación**

Se utilizará la técnica experimental, que una vez diseñado el experimento, permitirá medir y establecer la relación entre las variables, así como registrar la información conforme se ejecute la prueba.

Las herramientas a utilizar son:

- Medición
- Registro de datos
- Análisis
- Interpretación

#### **10.5. Universo y muestra experimental**

El universo y la muestra experimental del estudio, están definidos en función de la propuesta de mejora planteada para el proceso de lavado industrial de pantalones de lona, específicamente para los lavados tipo *light*, así como por las características técnicas y experimentales del mismo.

##### **10.5.1. Universo**

Estilos de pantalones de lona para mujer cuyo proceso de lavado industrial requiera la aplicación de hipoclorito de sodio en una relación  $\geq$  al 20 % en peso respecto al peso de los pantalones y con tiempos en la etapa de blanqueo superiores a los 10 minutos. Este tipo de estilos se clasifican en las categorías de lavados *light*.

### **10.5.2. Muestra experimental**

La muestra se definió por conveniencia de acuerdo a criterios previamente identificados para fines del estudio. Del universo definido, se sabe que los estilos de pantalones con mayor riesgo a presentar deterioro a punto de fallo de las propiedades físicas de resistencia a la tensión y al rasgado son aquellos confeccionados con tela con un peso de 10 oz/yd<sup>2</sup> y una composición 98 % algodón / 2 % spandex.

La muestra experimental consiste en 60 pantalones con las propiedades de peso y composición de tela antes descritas, con un peso aproximado de 0,4 kg/pantalón. El tamaño de la muestra experimental está limitado por la naturaleza destructiva de las pruebas de laboratorio necesarias para los análisis de resistencia física.

### **10.6. Situación actual**

La producción de la lavandería industrial está compuesta por un 60 % de pantalones para hombre y un 40 % de pantalones para mujeres. De este 40 % de estilos de mujeres, aproximadamente el 50 % cae dentro de las categorías de lavados tipo *light*. Este porcentaje, promedia el 20 % de la producción total, lo cual hace necesario que se investiguen y propongan nuevas técnicas y procesos que modifiquen y mejoren el proceso de lavado industrial para este tipo de lavados, de modo que disminuya el riesgo de generar producto no conforme en términos de parámetros de resistencia a la tensión y al rasgado.

El producto no conforme es fuente de reproceso o rechazo, lo cual implica incremento en el costo de operación, retrasos en los despachos y órdenes incompletas exportadas al cliente. Actualmente un 20 % de la producción de

lavados tipo *light* debe ser sometida a algún tipo de reproceso para mejorar sus propiedades físicas de resistencia.

## **10.7. Diseño experimental**

La aplicación de ozono a pantalones rígidos previo a su proceso de lavado industrial y su efecto sobre el tiempo en la etapa de blanqueo con hipoclorito de sodio, se evaluará respecto al proceso de lavado industrial tradicional (sin aplicación de ozono) mediante análisis de parámetros de resistencia a la tensión y al rasgado, y análisis colorimétrico.

El experimento está diseñado para evaluar dos diferentes concentraciones de ozono para dos diferentes tiempos de aplicación. El peso por lote o carga para cada una de las iteraciones será de 2,5 kilogramos, equivalentes a 6 pantalones. El tamaño del lote está definido por la capacidad de la lavadora, y se respetará esta condición en cada iteración del experimento para garantizar la validez y confiabilidad de los datos.

### **10.7.1. Secuencia del estudio**

El estudio experimental consistirá como primer paso en el establecimiento de estándares experimentales de comparación para las variables objeto de estudio, seguidamente se aplicará el ozono sobre la muestra experimental para luego realizarle el proceso de lavado industrial tipo *light*, y concluir con los análisis de laboratorio correspondientes.

- Paso 1: establecimiento del estándar (muestra comparativa)  
La primera carga de 6 pantalones se procesará con un lavado industrial convencional sin ozono y con blanqueo mediante hipoclorito de sodio. A

estos pantalones se les realizarán los análisis de resistencia y colorimetría, los resultados se tomarán como el estándar contra el cual se deben comparar los resultados de las pruebas con ozono.

- Paso 2: aplicación de ozono  
Se procesarán 8 cargas de 6 pantalones cada una de la siguiente manera:
  - 2 cargas con la concentración de ozono C1 y tiempo de aplicación T1
  - 2 cargas con la concentración de ozono C1 y tiempo de aplicación T2
  - 2 cargas con la concentración de ozono C2 y tiempo de aplicación T1
  - 2 cargas con la concentración de ozono C2 y tiempo de aplicación T2

Cada una de las condiciones de concentración y tiempo se evaluará por duplicado para corroborar datos.

El ozono se aplica dentro de un generador industrial hermético denominado G2, el cual transforma el aire que se respira en una mezcla de oxígeno puro  $O_2$  y ozono que se mide en gramos/metros<sup>3</sup>. El generador de ozono se puede observar en la figura 11.

Figura 11. **Generador de ozono**



Fuente: [www.spaintechnology.com](http://www.spaintechnology.com).

- Paso 3: lavado industrial de cargas con ozono  
Las 8 cargas con ozono se procesarán con un lavado industrial tradicional con blanqueo mediante hipoclorito de sodio. En esta etapa se variará el tiempo de blanqueo con la finalidad de evaluar el efecto de la aplicación de ozono sobre los pantalones de lona, experimentando con 6 diferentes tiempos “ $t_n$ ”. El lavado industrial se realizará en una lavadora industrial con capacidad máxima de 10 kilogramos por carga.
- Paso 4: análisis de laboratorio  
Las muestras terminadas serán sometidas a análisis de apariencia visual mediante lecturas de espectrofotómetro por el método CIE1976 L\*a\*b (CIElab) y a pruebas de resistencia a la tensión y al rasgado en el laboratorio textil mediante los métodos ASTM D1424-96 y ASTM D5034-95. El registro de la información en cada uno de los pasos definidos anteriormente se realizará en formatos diseñados específicamente para el estudio. Es importante el adecuado registro de datos (tiempos, concentraciones, resistencias) para tener el control del proceso y garantizar la validez y confiabilidad de la información.

#### **10.7.2. Metodología para la determinación de la resistencia a la tensión (Grab Test) ASTM D5034-95**

Esta prueba es para determinar la resistencia a la tensión y a la elongación de una tela para alcanzar su punto de ruptura, es decir, la fuerza necesaria que debe aplicarse para romper la tela tanto en la dirección de la trama como en la urdimbre. El equipo a utilizar es el siguiente:

- Tensiómetro de péndulo (ver figura 12) o de desplazamiento constante, Scott Tester modelo J con velocidad cruzada de 300 +/- 10 mm/min (12 +/- 0.5 pulg/min) con mordazas de 1"x1" recubiertas como parte frontal y mordazas de 3"x1" en la parte posterior. Pueden usarse mordazas anchas para disminuir el resbalamiento de la tela.
- Regulador de presión de aire de entre 60 y 90 psi para mordazas neumáticas.

Figura 12. **Tensiómetro medidor de resistencia a la tensión**



Fuente: [www.finegrouptest.com/analogue\\_tensile\\_testing\\_machine](http://www.finegrouptest.com/analogue_tensile_testing_machine).

- Preparación del espécimen
  - Se preparan tres especímenes en cada dirección, urdimbre y trama.
  - Se corta cada espécimen de 100+/-1mm (4") de ancho por al menos 150 milímetros (6") de largo con el lado más largo paralelo al sentido de los hilos o bien en la dirección que se va a ejercer la fuerza.

- Se dibuja una línea a 37 milímetros (1,5) desde la orilla del espécimen paralela a la dirección de prueba la cual se usara para centrar el espécimen en las mordazas. Dos especímenes paralelos no deben de contener el mismo grupo de hilos, ni en urdimbre si en trama. Los especímenes no deben de ser cortados muy de cerca de la orilla. En lugar de cortar tres especímenes sencillos, puede cortarse un espécimen continuo de 300 milímetros (12") por mínimo 150 milímetros (6") en cada dirección.
- Procedimiento
  - Todos los especímenes de prueba deben acondicionarse durante 4 horas en un ambiente con 65 % de humedad relativa y a una temperatura de 21 °C.
  - Se prepara el aparato, se chequea en cero de la escala antes de cada serie de pruebas. Se chequea la distancia entre las mordazas semanalmente, para asegurar que la distancia entre ellas no varíe. Tal distancia es 76 +/- 1mm (3+/-0,05").
  - Se selecciona el rango de carga tal que el rompimiento ocurra entre 10 y 90 % de la escala.
  - Se inserta el espécimen de prueba en las mordazas tal que la línea dibujada en la muestra corra paralelamente a la dirección de la prueba, la línea deberá estar adyacente al lado izquierdo entre la mordaza superior e inferior.
  - Se opera la máquina y se lee la carga de ruptura. Si el espécimen se rompe a la altura de las mordazas, si se resbala o si el resultado cae marcadamente por debajo de las demás, se desecha el resultado y se toma otro espécimen.

- El criterio de rompimiento en la mordaza es que no ocurra dentro de los 5 milímetros cercanos a la mordaza lo cual resulta en un valor de 50 % abajo del promedio de los demás.
- **Reporte**  
Se reporta el promedio de tres especímenes en cada dirección (urdimbre y trama) redondeando a la unidad de libra más cercana.

### **10.7.3. Metodología para la determinación de la resistencia al rasgado (*Tear Test*) ASTM D1424-96**

Este método determina la fuerza promedio necesaria para propagar una ruptura (rasgado) sencilla del tipo de lengüeta a partir de un corte de tela, por medio de una columna de péndulo Elmendorf. El equipo a utilizar es el siguiente:

- Columna de péndulo de descenso libre tipo Elmendorf para trabajo pesado (Heavy Duty). Ver figura 13.

Figura 13. **Elmendorf, medidor de resistencia al rasgado**



Fuente: [www.trade.indiamart.com](http://www.trade.indiamart.com)

- Preparación del espécimen
  - Se cortan tres especímenes en cada dirección (urdimbre y trama), utilizando el molde.
  - Para el grupo de la urdimbre, se orienta el lado más corto del espécimen a los hilos de trama, tal que sean aquellos los rasgados y no estos.
  - La dimensión crítica del espécimen es la distancia de  $43 \pm 0.15$  milímetros, la cual será rasgada durante la prueba.
  
- Procedimiento
  - Todos los especímenes de prueba deben acondicionarse durante 4 horas en un ambiente con 65 % de humedad relativa y a una temperatura de 21 °C.
  - Se levanta el péndulo a su posición de comienzo.
  - Colocar el espécimen entre ambas mordazas de tal forma que quede perpendicular a las mismas y procurando que el cuadro medio del espécimen este centrado entre ambas; cerrar las mordazas usando el dispositivo para ello. Los hilos a ser rasgados quedarán perpendiculares a las mordazas.
  - Con la cuchilla efectúese un corte de  $20 \pm 0,15$  milímetros en el borde inferior del espécimen. La distancia a ser rasgada deberá ser de  $43 \pm 0,15$  mm.
  - Suéltese el péndulo oprimiendo a fondo el botón liberador y deténgase al final de su carrera, después de que se efectuó el rasgado.
  - Tómese la lectura donde se encuentra la aguja indicadora, lo más cercano a la siguiente división.

- Cuando el espécimen se resbala de las mordazas o cuando el rasgado se desvía 6 mm desde el corte hasta el final, entonces la lectura no se toma en cuenta.
- Reporte  
Se reporta la fuerza promedio en gramos (o libras fuerza) necesarias para el rasgado del espécimen en cada dirección.

**10.7.4. Metodología para la determinación de la variación colorimétrica en intensidad del color y matiz. CIE1976 L\*a\*b (CIElab)**

El método CIElab busca obtener un espacio uniforme en diferencias de colores. Su objetivo es desarrollar un sistema fácil de interpretar y al mismo tiempo fácil de referenciar. En el espacio CIElab, se encuentra el método de identificación tridimensional, retomando la teoría de los tres pares antagonistas, blanco-negro, amarillo-azul, rojo-verde de la visión de colores.

Sus coordenadas rectangulares  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , donde cada una representa:

- $L^*$  representa la claridad
- $a^*$  representa el componente cromático rojo-verde
- $b^*$  representa el componente cromático amarillo-azul

Sus coordenadas polares  $L^*$ ,  $C^*$ , y  $H^*$  donde cada uno representa:

- $L^*$  sigue representado la claridad
- $C^*$  representa la saturación
- $H^*$  representa la tonalidad

La aceptación o rechazo de una muestra respecto a un estándar de color es posible mediante el uso de un valor simple denominado DECMC, el cual involucra a las coordenadas polares y rectangulares antes mencionadas en una fórmula modificada propuesta por el Color Measurement Committee de Gran Bretaña. El parámetro de aceptación es una variación  $DECMC < 1,5$ . El equipo a utilizar es el siguiente:

- Espectrofotómetro. Ver figura 14
- Software de procesamiento de datos

Figura 14. **Espectrofotómetro**



Fuente: [www.pharmaceuticalonline.com](http://www.pharmaceuticalonline.com).

- Procedimiento
  - Establecer el estándar para comparación. Este estándar se origina al tomar mediciones espectrofotométricas a la muestra o muestras que previamente hayan sido definidas como estándar.
  - Se toman 3 lecturas de la muestra estándar y se promedian. Este promedio queda establecido como la lectura estándar para comparación.

- Se toman 3 mediciones a cada una de las muestras a analizar y se comparan contra la lectura estándar. El análisis de los datos se realiza mediante el programa de procesamiento de datos.
- Resultados  
Se reportan las lecturas espectrofotométricas de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$  y el resultado de DECMC.

### **10.8. Mejora continua**

El estudio de investigación de aplicar ozono a pantalones de lona previo al proceso de lavado industrial con la finalidad de mejorar las propiedades de resistencia de la fibra, está enfocado desde el punto de vista de la mejora continua en los procesos, y se desarrollará como un proceso formal de resolución de problemas, es decir, una ruta de calidad, con la aplicación sistemática del ciclo de Deming o PHVA (planificar, hacer, verificar, actuar).

- Planificar: etapa en la que se diseñó el estudio experimental y quedó definido de qué forma se aplicará el ozono a los pantalones, en qué etapa del proceso y bajo qué condiciones se procesara el lavado industrial. También quedaron definidos los objetivos del estudio.
- Hacer: en esta etapa se procederá en cada una de las pruebas propuestas de acuerdo a lo establecido. Se establecerá la muestra comparativa y se trabajarán 2 concentraciones de ozono a 2 diferentes tiempos de aplicación y en el proceso de lavado industrial se variará el tiempo de blanqueo. Las condiciones y variables de cada uno de los procesos quedarán registradas en el formato diseñado para el experimento (ver anexo). Se tomarán todas las medidas necesarias para

que el registro de datos se lo mas preciso posible y de esta forma garantizar la confianza y validez de los datos.

- Verificar: se realizará el análisis de parámetros físicos de resistencia y colorimetría a las pruebas ejecutadas y se evaluarán los resultados contra el estándar definido. La interpretación de resultados se hará en función de evaluar si existe mejora en el proceso de lavado y en los parámetros de resistencia física
- Actuar: en base a los resultados obtenidos en el estudio experimental se podrán tomar decisiones respecto a si es factible o no implementar la mejora del proceso a nivel industrial, y si se puede aplicar a otro tipo de estilos de pantalones cuyo proceso de lavado industrial requiera el uso de hipoclorito de sodio.

De igual forma se realizará un estudio financiero para evaluar el impacto de la mejora propuesta al proceso. Dicho análisis tendrá como punto de partida la evaluación de la situación actual de los lavados *light* y *súper light* en términos de resistencia y el costo que implica reprocesar unidades por presentar parámetros de resistencia por debajo de lo requerido. En base a los resultados esperados, se analizara y estimara el costo-beneficios de aplicar ozono a este tipo de pantalones, y determinar que opción es más rentable.

#### **10.9. Resultados esperados**

Para un proceso de lavado industrial tipo *light* con aplicación de ozono se esperan obtener los siguientes resultados, respecto al mismo tipo de lavado sin la aplicación de ozono.

- Disminución de un 15 % en el tiempo de la etapa de blanqueo en el proceso de lavado industrial.
- Aumento de un 10 % en la resistencia física a la tensión medida de lbf.
- Aumento de un 10 % en la resistencia física al rasgado medida de lbf.
- Disminución en un 50 % en el costo por concepto de re-procesos para lavados *light*.
- Variación de color (tonalidad y matiz) DECMC menor a 1,5.

## 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El estudio de investigación está diseñado para que el análisis de la información sea por medio comparativo. Para tal efecto, se definirán como parámetros estándar de comparación los datos de resistencia a la tensión (RTstd), resistencia al rasgado (RRstd) y las lecturas colorimétricas (DECMCstd) obtenidas a partir del análisis de la primera carga de pantalones de lona procesada con el lavado tipo light convencional, sin ozono.

Definidos los parámetros estándar para cada una de las pruebas de resistencia y color, se analizará la resistencia y el color de las 8 cargas tratadas con ozono, y los resultados obtenidos se compararán contra los estándares, y determinar así, el efecto de la aplicación de ozono sobre: el tiempo en la etapa de blanqueo ( $t_n$ ), sobre la resistencia física de las prendas y sobre la variación de color.

Los parámetros estándar de comparación se establecen a partir de una media aritmética de 3 lecturas realizadas para cada una de las variables a analizar, es decir, el estándar de la prueba de resistencia a la tensión quedaría definida por

$$RTstd = \frac{RT1 + RT2 + RT3}{3}$$

de la misma forma se procede para establecer el parámetro estándar para la resistencia al rasgado y para el estándar de color.

De igual manera, para cada una de las 8 pruebas con ozono, se tomarán 3 lecturas de cada variable, las cuales se promediarán, y esta media aritmética es el dato a comparar contra los estándares.

La comparación entre medias aritméticas estándar y las medias aritméticas de las pruebas con ozono se realizará mediante la fórmula

$$\text{Variación RT} = \frac{| \text{RTstd} - \text{RTO}_3 | * 100}{3}$$

Siendo:

RT = resistencia a la tensión.

RTstd = resistencia a la tensión estándar.

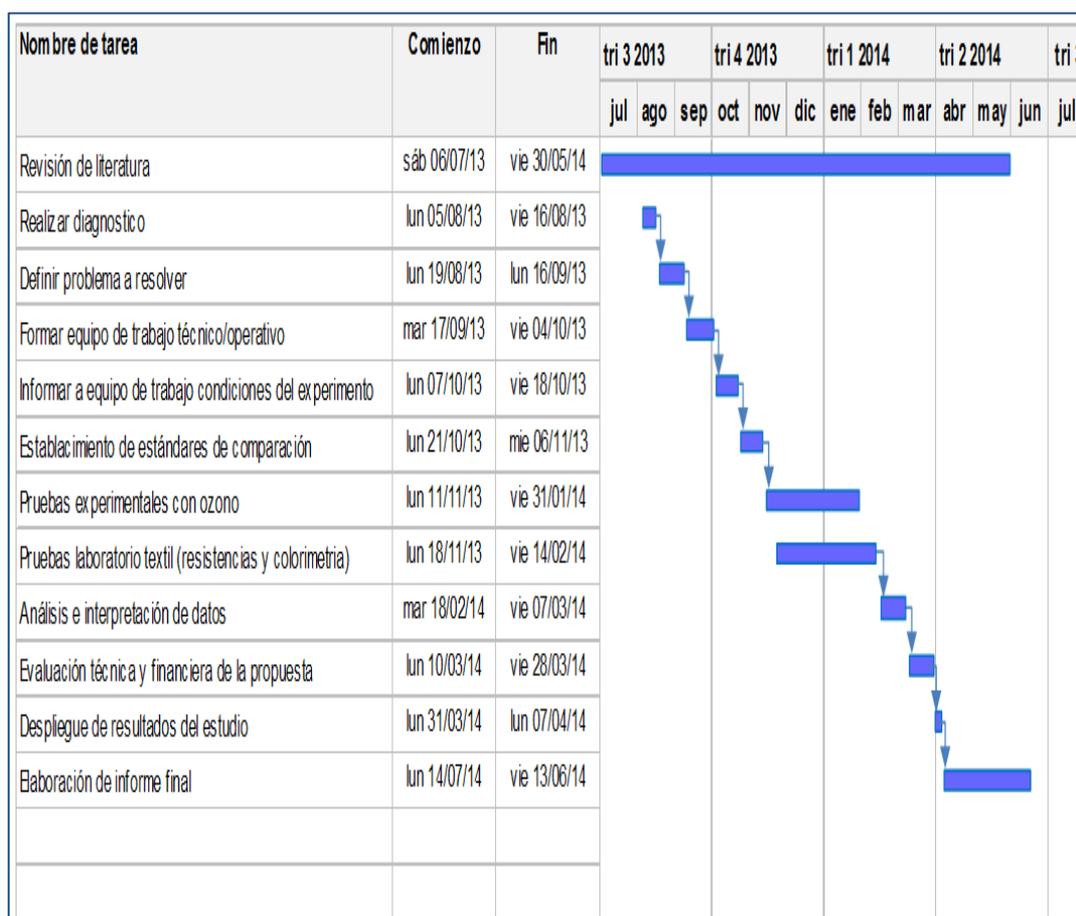
RTO<sub>3</sub> = resistencia a la tensión muestras con ozono.

De esta forma se determinará el porcentaje de variación para cada una de las variables a analizar, estableciendo así, un valor numérico para el efecto que tiene la aplicación de ozono.

## 12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El seguimiento de las actividades encaminadas al logro de los objetivos establecidos, se describen en el siguiente cronograma.

Figura 15. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.



## **13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **13.1. Acceso a la información**

La información será generada experimentalmente a lo largo del estudio bajo supervisión del maestrando y se tendrá acceso a estos registros para su análisis e interpretación bajo las condiciones siguientes:

- Se podrá disponer de recurso humano, maquinaria, equipo, materiales, instalaciones e insumos de la lavandería industrial acorde a lo descrito en la tabla II.
- No se puede publicar en el estudio el nombre de la lavandería industrial.
- No se puede publicar en el estudio marca, modelo y especificaciones técnicas detalladas de la maquinaria y equipo a utilizar. Solo se podrán publicar detalles generales como: lavadora industrial, secadora industrial, generador industrial de ozono, etc.
- Solo se pueden publicar nombres genéricos de químicos e insumos, y características generales de la tela a utilizar.
- Para el estudio de investigación, deberá aplicarse una fórmula de lavado industrial tipo light genérica, es decir, que no esté registrada o asociada a ningún estilo de producción, esto por privacidad del cliente. Esta condición no limita el estudio porque lo que se quiere evaluar es una

posible mejora a partir de la comparación de datos entre la fórmula genérica con ozono y sin ozono.

### 13.2. Disponibilidad de recursos

La disponibilidad de recursos se analiza en la tabla II.

Tabla II. Disponibilidad de recursos

	Cantidad requerida	Cantidad disponible	Tiempo requerido	Tiempo disponible	Estatus de disponibilidad
<b>Recurso humano</b>					
Maestrando	1	1	3 h /semana	5 h /semana	cubierto
Asesor de trabajo de graduación	1	1	n /a	n /a	cubierto
Operador de generador de ozono	1	2	1 h /semana	2 h /semana	cubierto
Técnico de lavado	1	3	1 h /semana	2 h /semana	cubierto
Técnico de laboratorio textil	1	2	1 h /semana	2 h /semana	cubierto
<b>Instalaciones</b>					
Lavandería industrial	1	1	1 h /semana	2 h /semana	cubiererto
Laboratorio de pruebas físicas	1	1	1 h /semana	2 h /semana	cubiererto
<b>Materiales e Insumos</b>					
Pantalones de lona	60	60	n /a	n /a	cubierto
Formatos registro de información	25	50	n /a	n /a	cubierto
Agua	2 m <sup>3</sup> /h	3 m <sup>3</sup> /h	1 h /semana	48 h /semana	cubierto
Vapor	1 m <sup>3</sup> /h	2 m <sup>3</sup> /h	1 h /semana	48 h /semana	cubierto
Ozono	60 g /m <sup>3</sup> /carga	100 g /m <sup>3</sup> /carga	1 h /semana	1 h /semana	cubierto
Aire comprimido	1 m <sup>3</sup> /h	1.5 m <sup>3</sup> /h	1 h /semana	48 h /semana	cubierto
Electricidad	1 kV /h	4 kV /h	5 h /semana	48 h /semana	cubierto
Químicos para lavado	5 lt /carga	5 lt /carga	n /a	n /a	cubierto
<b>Maquinaria y equipo</b>					
Generador de ozono	1	1	1 h /semana	1 h /semana	cubierto
Lavadora industrial	1	5	1 h /semana	1 h /semana	cubierto
Centrifugadora	1	2	1 h /semana	1 h /semana	cubierto
Secadora industrial	1	5	1 h /semana	1 h /semana	cubierto
Tensiómetro (Tensile tester)	1	1	1 h /semana	2 h /semana	cubierto
Elmendorf (Tear tester)	1	1	1 h /semana	2 h /semana	cubierto
Espectrofotometro	1	1	1 h /semana	2 h /semana	cubierto
Balanaza	1	1	1 h /semana	2 h /semana	cubierto

Fuente: elaboración propia.

### 13.3. Inversión requerida

La inversión requerida para la realización del estudio de investigación aparece detallada a continuación en la tabla III.

Tabla III. Inversión requerida

Rubro	Cantidad requerida	Tiempo requerido	Costo (Q)	Total (Q)
<b>Recurso humano</b>				
Maestrando	1	3 h/semana	500,00/mes	3 000,00
Asesor de trabajo de graduación	1	n/a	2 500,00	2 500,00
Operador de generador de ozono	1	1 h/semana	150,00/mes	900,00
Técnico de lavado	1	1 h/semana	250,00/mes	1 500,00
Técnico de laboratorio textil	1	1 h/semana	250,00/mes	1 500,00
<b>Instalaciones</b>				
Lavandería industrial	1	1 h/semana	1 500,00/mes	9 000,00
Laboratorio de pruebas físicas	1	1 h/semana	500,00/mes	3 000,00
<b>Materiales e insumos</b>				
Pantalones de lona	60	n/a	75,00/unidad	4 500,00
Formatos registro de información	25	n/a	0,50/ unidad	12,50
Agua	2 m <sup>3</sup> /hora	1 h/semana	250,00/mes	1 500,00
Vapor	1 m <sup>3</sup> /hora	1 h/semana	400,00/mes	2 400,00
Ozono	60 gr/m <sup>3</sup> /carga	1 h/semana	200,00/mes	1 200,00
Aire comprimido	1 m <sup>3</sup> /hora	1 h/semana	200,00/mes	1 200,00
Electricidad	1 kV/hora	5 h/semana	350,00/mes	2 100,00
Químicos para lavado	5 lt/carga	n/a	250,00/mes	1 500,00
<b>Maquinaria y equipo</b>				
Generador de ozono	1	1 h/semana	despreciable	-
Lavadora industrial	1	1 h/semana	despreciable	-
Centrifugadora	1	1 h/semana	despreciable	-
Secadora industrial	1	1 h/semana	despreciable	-
Tensiómetro (Tensile tester)	1	1 h/semana	despreciable	-
Elmendorf (Tear tester)	1	1 h/semana	despreciable	-
Espectrofotómetro	1	1 h/semana	despreciable	-
Balanza	1	1 h/semana	despreciable	-

Fuente: elaboración propia.



## 14. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, J. (2010). *La mejora continua*. Network de Psicología Organizacional. México: Asociación Oaxaqueña de Psicología A.C.
2. Alvear S. (2001). *Calidad total I*. México: Limusa.
3. ASTM International (2006). *Annual Book of ASTM Standards*. (Vols. 07,01-07,02) Pennsylvania: ASTM International.
4. Bautista, L. (2012). *Tratamiento de tejidos de algodón con ozono: Análisis de las variables de proceso, aproximación cinética, estudio del envejecimiento y caracterización superficial*. (Tesis de doctorado). Universitat Politècnica de Catalunya. España.
5. Erhardt, T. (1980). *Tecnología textil básica*. México: Trillas.
6. González, H. (2010). *Ciclo PDCA – Estrategia para la mejora continua*. *Calidad & Gestión*, 4(58).
7. González, R., y Gibler, N. (2003). *Manual de Administración de la Calidad Total y Círculos de Control de Calidad*. (Vol.2). México: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de [http://www.inacal.org.uy/files/userfiles/file/VII\\_%20ManualACTyCCC.pdf](http://www.inacal.org.uy/files/userfiles/file/VII_%20ManualACTyCCC.pdf)

8. Guarquila, M. (2013). *Tratamiento de efluentes industriales mediante procesos avanzados de oxidación – Sector textil*. (Tesis de licenciatura). Universidad Central del Ecuador. Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1307/1/T-UCE-0017-28.pdf>.
9. Jeanología, S.L. (sf). *Water is over, air is the future*. España: Jeanología.
10. Castillo, Y. (2003). *Comportamiento del grado de degradación del colorante índigo en denim 100 por ciento algodón debido a un lavado industrial enzimático utilizando variables colorimétricas*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.
11. Lam, J. (2005). *El efecto de la enzima lacasa en la reducción del colorante índigo durante el lavado industrial de pantalones de lona (mezclilla)*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.
12. Lockuán, F. (2012). *La industria textil y su control de la calidad*. (vols. 2, 3,5). Perú: Autor.
13. Martínez de las Marías. (1976). *Química y física de las fibras textiles*. España: Alambra.
14. Méndez, R. (1999). *Estudio comparativo en la aplicación de celulasas acida y neutra, en el paso de abrasión en un proceso de lavado industrial a pantalones de mezclilla con piedra pómez*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.

15. Pérez, M. (2008). *El ahorro de agua en lavanderías industriales con la tecnología del ozono*. Ponencia presentada en el 9º Congreso nacional del medio ambiente. España: Conama. Recuperado de [http://www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/2687\\_MPérez.pdf](http://www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/2687_MPérez.pdf)
16. Prideux, V. (2007). *A handbook of índigo dyeing*. United Kingdom: Search Press.
17. Quintero, L. y Cardona, S. (2009). *Tecnologías para la decoloración de tintes índigo e índigo carmín*. Revista Gestión y Ambiente. Medellín: Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4846/>.
18. Rai, S. (2009). *Denim Washing – Basic Steps and Guide*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de <http://www.denimsandjeans.com/denim/manufacturing-process/denim-washing-basic>.
19. Strickland, A., & Perkins, W. (1995). *Decolorization of Continuous Dyeing Wastewater by Ozonation*. Textile Chemist and Colorist, 27(5).



## 15. ANEXOS

TELA:	TIPO DE LAVADO: Light / Super light
PESO DE LA TELA: 10 oz/yd <sup>2</sup>	OBSERVACION: PANTALON
CONTENIDO DE FIBRA: 98% algodón / 2% spandex	DIVISION: MUJERES
ESTILO:	
TEMPORADA:	PESO Kg
FECHA DE DESARROLLO:	
FECHA INGRE. CENTROFO:	

Operación	Temp (°C)	Tiempo (min.)	Cantidad (gr-ml)	%	Químico	pH	Observaciones
<b>Aplicación de Ozono</b>							
Pre Ciclo	0 minutos						
Ciclo	0 minutos		T1 / T2				
Revoluciones X Minuto	20 rpm						
Concentración Ozono			C1 / C2		Ozono		
Quemado	0 minutos						
<b>Lavado Industrial</b>							
Desengome							
Enjuague							
Abrasión							
Enjuague							
Preparación de Blanqueo							
Adición de Cloro					Hipoclorito de Sodio		
Tiempo Blanqueo		tn					
Enjuague							
Neutralizado							
Centrifugado							
Secado							
<b>Análisis de Laboratorio</b>							
Resistencia a la tensión							
Resistencia al rasgado							
Colorimetría							