

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EL EFECTO DE LA ENZIMA LACASA EN LA REDUCCIÓN DEL
ÍNDIGO DURANTE EL LAVADO INDUSTRIAL DE PANTALONES
DE LONA (MEZCLILLA)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JADEL ROMAIN LAM HERRERA

ASESORADO POR: ING. OSCAR PÁEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2005

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EL EFECTO DE LA ENZIMA LACASA EN LA REDUCCIÓN DEL ÍNDIGO DURANTE EL LAVADO INDUSTRIAL DE PANTALONES DE LONA (MEZCLILLA)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 18 de agosto de 2004.

Jadel Romain Lam Herrera

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| DECANO: | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| VOCAL I: | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL II: | Lic. Amahán Sánchez Alvarez |
| VOCAL III: | Ing. Julio David Galicia Celada |
| VOCAL IV: | Bachiller Kenneth Issur Estrada Ruíz |
| VOCAL V: | Bachiller Elisa Yazminda Vides Leiva |
| SECRETARIO: | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|---|
| DECANO: | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| EXAMINADOR: | Ing. Jose Eduardo Calderón García |
| EXAMINADOR: | Ing. Orlando Posadas Váldez |
| EXAMINADOR: | Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez |
| SECRETARIO: | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |



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

**EL EFECTO DE LA ENZIMA LACASA EN LA REDUCCIÓN
DEL ÍNDIGO DURANTE EL LAVADO INDUSTRIAL DE
PANTALONES DE LONA (MEZCLILLA)**

JADEL ROMAIN LAM HERRERA

ASESORADO POR ING. OSCAR PÁEZ LÓPEZ

GUATEMALA, MARZO DE 2005

A MIS FAMILIARES

A todos en general, pero especialmente a mi cuñado Ricardo, a mis tíos Chepe, Julio y tía Martita; a mis primos Henry y Nelson; todos ocupan un lugar muy especial en mi vida.

A MIS AMIGOS

Todos, con la admiración y respeto que se merecen.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|------|
| INDICE DE ILUSTRACIONES..... | IV |
| GLOSARIO..... | VII |
| RESUMEN..... | XII |
| INTRODUCCIÓN..... | XIV |
| OBJETIVOS..... | XIX |
| HIPÓTESIS..... | XX |
| 1. ANTECEDENTES..... | 1 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1. Descripción general para la elaboración de mezclilla..... | 5 |
| 2.1.1. Hilatura..... | 5 |
| 2.1.1.1. Hilandería convencional de anillo (Ring) | 6 |
| 2.1.1.2. Hilandería de final abierto (Open End) | 6 |
| 2.1.2. Teñido..... | 6 |
| 2.1.2.1. Teñido de cadena larga (Rope Dye) | 7 |
| 2.1.2.2. Teñido de rollos por inmersión (Beam Dye)..... | 7 |
| 2.1.2.3. Teñido de tejido o tela (Piece Dye-Fabric)..... | 8 |
| 2.1.3. Tejido..... | 8 |
| 2.1.3.1. Cambray o tafeta..... | 9 |
| 2.1.3.2. Sarga..... | 9 |
| 2.1.3.3. Sarga interrumpida..... | 9 |
| 2.1.4. Terminado..... | 10 |
| 2.2. Proceso de lavado..... | 10 |
| 2.2.1. Desengomado..... | 11 |
| 2.2.1.1. Desengome enzimático..... | 12 |
| 2.2.1.2. Desengome oxidativo..... | 12 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2. Abrasión (Stonewash) | 13 |
| 2.2.2.1. Abrasión mecánica..... | 13 |
| 2.2.2.2. Abrasión química o con enzimas..... | 14 |
| 2.2.2.3. Abrasión combinada..... | 14 |
| 2.2.3. Desactivación..... | 14 |
| 2.2.3.1. Efecto de temperatura..... | 15 |
| 2.2.3.2. Efecto de pH..... | 15 |
| 2.2.4. Reducción..... | 15 |
| 2.2.5. Blanqueo..... | 16 |
| 2.2.5.1. Blanqueo con hipoclorito de sodio..... | 16 |
| 2.2.5.2. Blanqueo con permanganato de potasio..... | 16 |
| 2.2.6. Neutralizado..... | 17 |
| 2.2.7. Suavizado..... | 17 |
| 2.2.7.1. Suavizantes catiónicos..... | 18 |
| 2.2.7.2. Suavizantes siliconados..... | 18 |
| 2.2.7.3. Suavizantes de polietileno..... | 18 |
| 2.3. Biotecnología..... | 18 |
| 2.3.1. Enzimas..... | 19 |
| 2.3.1.1. Enzimas en la industria textil..... | 20 |
| 2.3.1.2. Alfa-amilasa..... | 20 |
| 2.3.1.3. Celulasas..... | 21 |
| 2.3.1.4. Lacasa..... | 22 |
| 3. METODO DE INVESTIGACIÓN..... | 24 |
| 3.1. Localización..... | 24 |
| 3.2. Recursos humanos..... | 25 |
| 3.3. Recursos materiales..... | 25 |
| 3.4. Equipos..... | 26 |
| 3.5. Metodología experimental..... | 27 |
| 4. RESULTADOS..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 38 |
| CONCLUSIONES..... | 43 |
| RECOMENDACIONES..... | 45 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 46 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 47 |
| APÉNDICE..... | 48 |
| APÉNDICE A. Registro de resultados físicos textiles..... | 49 |
| APÉNDICE B. Métodos de evaluación de pruebas físicos textiles..... | 53 |
| APÉNDICE B.1. Resistencia al rasgado..... | 53 |
| APÉNDICE B.2. Resistencia a la tensión..... | 56 |
| APÉNDICE B.3. Escala de grises..... | 59 |
| APÉNDICE C. Registro de resultados de análisis económico..... | 62 |
| APÉNDICE D. Muestra de cálculo; análisis económico..... | 63 |
| APÉNDICE E. Etapas generales en la elaboración de tela..... | 66 |
| APÉNDICE F. Diagrama de flujo de producción de enzimas..... | 68 |
| APÉNDICE G. Equipo utilizado en el proceso de lavado..... | 69 |
| APÉNDICE H. Equipo utilizado en el laboratorio textil..... | 71 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| No. | Titulo | Pág. |
|-----|---|------|
| 1. | Reacción de la alfa-amilasa sobre el almidón..... | 20 |
| 2. | Resumen del mecanismo de reacción de la celulosa en la celulosa..... | 21 |
| 3. | Resumen del mecanismo de reacción de la lacasa en el lavado de lona | 23 |
| 4. | Gráfica de resultados promedio de resistencia al rasgado de un lavado regular con piedra (MEDIUM STONEWASH)..... | 32 |
| 5. | Gráfica de resultados promedio de resistencia a la tensión de un lavado regular con piedra (MEDIUM STONEWASH)..... | 32 |
| 6. | Gráfica de resultados promedio de resistencia al rasgado de un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH STONEWASH)..... | 33 |
| 7. | Gráfica de resultados promedio de resistencia a la tensión de un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH STONEWASH)..... | 33 |
| 8. | Gráfica de comportamiento promedio de las características visuales de lavado de código 0361, en función de la aplicación de lacasa..... | 34 |
| 9. | Gráfica de comportamiento promedio de las características visuales de lavado de código 5546, en función de la aplicación de lacasa..... | 34 |
| 10. | Gráfica de comparación del porcentaje de pérdida de resistencia al rasgado; lavado de código 0361, en función de la aplicación de lacasa..... | 35 |
| 11. | Gráfica de comparación del porcentaje de pérdida de resistencia a la tensión; lavado de código 0361, en función de la aplicación de lacasa..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 12. Gráfica de comparación del porcentaje de pérdida de resistencia al rasgado; lavado de código 5546, en función de la aplicación de lacasa..... | 36 |
| 13. Gráfica de comparación del porcentaje de pérdida de resistencia a la tensión; lavado de código 5546, en función de la aplicación de lacasa..... | 36 |
| 14. Resultados de costo de proceso por kiogramo de prenda, en un lavado regular con piedra (MÉDIUM STONEWASH)..... | 37 |
| 15. Resultados de costo de proceso por kiogramo de prenda, en un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH STONEWASH) | 37 |

TABLAS

| No. | Titulo | Pág. |
|-------|---|------|
| I. | Formulación genérica para lavado de código 0361..... | 30 |
| II. | Formulación genérica para lavado de código 5546..... | 31 |
| III. | Resultados de análisis físicos de resistencia sin utilizar enzima lacasa, en un lavado regular con piedra (Médium-stonewash)..... | 49 |
| IV. | Resultados de análisis físicos de resistencia utilizando un paso de lacasa, en un lavado regular con piedra (Médium-stonewash)..... | 49 |
| V. | Resultados de análisis físicos de resistencia, que utiliza doble paso de lacasa, en un lavado regular con piedra (Médium-stonewash)..... | 50 |
| VI. | Resultados de análisis físicos de resistencia sin utilizar enzima lacasa, en un lavado regular con piedra y cloro (Bleach-stonewash). | 50 |
| VII. | Resultados de análisis físicos de resistencia, que utiliza un paso de lacasa, en un lavado regular con piedra y cloro (Bleach-stonewash) | 51 |
| VIII. | Resultados de análisis físicos de resistencia, que utiliza doble paso de lacasa en un lavado regular con piedra y cloro (Bleach-stonewash) | 51 |
| IX. | Resultados de apariencia visual respecto al estándar aprobado de código 0361, en un lavado regular con piedra (Medium-stonewash)... | 52 |
| X. | Resultados de apariencia visual respecto al estándar aprobado de código 5546, en un lavado regular con piedra y cloro (Bleach - stonewash)..... | 52 |
| XI. | Resultados de costo de proceso por kilogramo de prenda lavada de código 0361, en un lavado regular con piedra (Medium-stonewash).. | 62 |
| XII. | Resultados de costo de proceso por kilogramo de prenda lavada de código 5546, en un lavado regular con piedra y cloro (Bleach - stonewash)..... | 62 |

GLOSARIO

| | |
|---------------------|--|
| AATCC | Es el ente que se encarga de regular métodos y procedimientos en la industria textil; es la abreviatura de Asociación Americana de Textiles Coloristas y Químicos. |
| Abrasión | Es la apariencia de desvanecido o desgaste en la superficie de una prenda, como consecuencia de una fricción entre ellas mismas, con la superficie de la máquina, por efecto del uso de piedra pómez o por efecto químico ocasionado, a través del uso de enzimas. |
| Algodón | Es originario de una planta llamada algodón, que en la botánica recibe el nombre de <i>Gossypium</i> . Se ha convertido en la única fibra capaz de satisfacer las necesidades de la humanidad, gracias a su fácil producción y diversificación de usos. |
| Almidón | Es la fécula blanca, ligera y suave al tacto proveniente de diferentes productos, como la papa, arroz, maíz etc. Es utilizado en la industria textil como un agente engomante. |
| Alfa amilasa | Es una enzima que es capaz de catalizar la degradación (reacción) del almidón. |

| | |
|----------------------|--|
| Apariencia | Es el término de calidad que enmarca las propiedades visuales superficiales de la prenda, en cuanto a cast , contraste, tonalidad y alguna característica en especial (sucio, rayado etc.). |
| Biotecnología | Es la aplicación sistemática de la ciencia biológica, es decir, el uso de los sistemas vivos y sus derivados. |
| Blanqueo | Es el paso dentro del proceso de lavado industrial, en donde ocurre la decoloración del colorante índigo. |
| Caja gris | Es el área física en forma de cabina con especificaciones especiales de diseño, color y luces. Aquí es donde se evalúa la apariencia de las prendas lavadas. |
| Cast | Es la diferencia en el matiz del color entre el estándar, control y la prenda en evaluación. Este matiz puede ser rojizo, azulado, amarillo y verde. |
| Catalizador | Es la sustancia que acelera una reacción química y permanece inalterada en forma y cantidad. |
| Celulosa | Es el componente principal del algodón; blanco, insoluble en agua y es parte de la membrana envolvente de las células vegetales. |

| | |
|----------------------|--|
| Celulasa | Es una enzima que degrada la celulosa, y ofrece la apariencia de abrasión en los pantalones de mezclilla |
| CMC | Carboxi-Metil-Celulosa (Engomante de la tela). |
| Contraste | Es conocido como sal y pimienta. Es la diferencia en el color de fondo de las prendas y el color del hilo de la trama. |
| Denim | Es el término en inglés referido a la mezclilla (lona). |
| Desactivación | Es el paso en el proceso de lavado, en donde se inhibe la actividad enzimática de la celulasa. |
| Desengomado | Es el paso en el proceso de lavado, en donde se eliminan los engomantes aplicados a la mezclilla. |
| DNA | Es el Ácido Desoxiribonucleico responsable del almacenamiento de la información genética. Ha sido la herramienta fundamental en el desarrollo Biotecnológico. |
| Engomado | Es el proceso en el que se dosifican engomantes como almidón, PVA, PVOH, CMC etc., aplicados a los hilos de algodón y tejidos en las textileras, para optimizar su manejo. |

| | |
|-----------------------|--|
| Enzima | Es el tipo especial de proteínas que se encuentra en la materia viva y funcionan como catalizadores biológicos en reacciones específicas con una actividad regulada. |
| Índigo | Es el color azul o añil de la mezclilla. Es un colorante proveniente de la planta indigósfera originaria de la India. |
| Jeans | Es el término en inglés creado en Estados Unidos para referirse a los pantalones de mezclilla. |
| Neutralización | Es el paso en el proceso de lavado, en donde se neutraliza la acción de agentes oxidantes utilizados para el blanqueo. |
| pH | Es el término que indica la concentración de iones de hidrógeno en una disolución, y es el logaritmo inverso de dicha concentración, la medida de acidez de la disolución. |
| PVA | Polivinil acrilato (agente engomante textil). |
| PVOH | Polivinil alcohol (agente engomante tejido). |
| Rasgado | Es el parámetro de calidad en la industria textil, referido a la fuerza necesaria para propagar una ruptura sencilla tipo lengüeta, a partir de un corte en la tela. |

| | |
|------------------|---|
| Reducción | Es el paso en el proceso de lavado encargado de limpiar o reducir el color índigo en las prendas. |
| Sarga | Es la apariencia de hilos diagonales en la mezclilla, obtenidos como consecuencia del arreglo proporcionado en la etapa de tejido. |
| Stretch | Es el término referido a la propiedad de elasticidad en una prenda proporcionado por un elástano, Lycra. |
| Suavizado | Es el paso en el proceso de lavado, que provee de características confortables el contacto entre la piel y los pantalones. |
| Tracción | Es el parámetro de calidad en la industria textil referido a la fuerza efectiva de una tela durante su uso. Esto es la fuerza de los hilos de una anchura específica, junto con la fuerza adicional por los hilos adyacentes. |
| Trama | Son hilos dispuestos en el sentido horizontal del tejido (sentido de lo ancho), que entrecruzados con la urdimbre forman la tela. |
| Urdimbre | Son hilos dispuestos en el sentido vertical del tejido (sentido de la extensión), que entrecruzados con la trama forman la tela. |

RESUMEN

La globalización industrial es un hecho; estamos inmersos en un mundo cada vez más competitivo y demandante; esto hace necesario estar actualizado con herramientas tecnológicas a nivel mundial, que den soporte al desarrollo integral de los procesos industriales, para estar a la altura de empresas de categoría mundial. Guatemala, en el caso de lavanderías industriales, viene trabajando en su actualización y para ello ha necesitado recurrir a la biotecnología, cuyos productos han revolucionado la industria y han sido estandarte y han generado opciones, que hacen el proceso de lavado más productivo y respetuoso del medio ambiente.

Las nuevas etapas dentro del proceso de lavado de pantalones de lona tienen como finalidad dar una mayor calidad a la prenda, cuyas características particulares de modernidad, funcionalidad, diseño y creatividad distinguen a sus clientes y consumidores. Una de estas etapas es la de reducción, como una opción para alcanzar los acabados deseados mejorando los parámetros de calidad.

Al utilizar enzima lacasa, es posible lograr mejores características visuales y de parámetros textiles, que se logran en un proceso de lavado industrial que no la utilice. El efecto de la lacasa se evaluó aplicándola en el proceso de lavado en uno y en doble paso, en dos tipos de lavado medium-stonewash (lavado regular con piedra) y bleach-stonewash (lavado regular con piedra y cloro). Para cada proceso, se evaluaron las propiedades de resistencia al rasgado, tensión, apariencia visual y el costo que implicó la utilización de la lacasa, y lograr determinar que los mayores beneficios se obtuvieron al aplicarla

en ambos tipos de lavado en un solo paso. Aunque el costo se incrementa en el primero en un 3% y el segundo, en un 9%; esto es relativamente poco perceptible, considerando que con ello se realiza un proceso más seguro que elimina costos de la no calidad, lo cual permite considerar el uso de la lacasa como una nueva alternativa en los procesos de lavado industrial.

INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades básicas del ser humano es la del vestido, para lo cual el hombre ha buscado desde mucho tiempo atrás un producto versátil, que le permita realizar sus actividades en los diferentes ámbitos, en los que día a día se desenvuelve. Como una respuesta a dicha necesidad, surgieron los pantalones de mezclilla (jeans), originalmente creados como pantalones de trabajo, que han evolucionado desde ser utilizados por trabajadores de minas y del campo, hasta ser parte fundamental en las colecciones de los famosos diseñadores de moda. Dicha evolución ha demandado al mismo tiempo del desarrollo tecnológico de equipo, maquinaria y, por supuesto, productos químicos que vayan tras la mejora continua para satisfacer los requerimientos del mercado, no sólo con los fabricantes de tela, sino más importante aún, en las lavanderías industriales.

Los requerimientos originales de los pantalones de mezclilla, creados para trabajar, demandaban durabilidad, lo cual los hacía rígidos y en la actualidad se podría decir incómodos; esto es debido a que prácticamente una vez confeccionado el pantalón no se sometía a ningún proceso de lavado industrial. En el proceso de terminado de la mezclilla, en las textileras desde su origen, se requiere de la aplicación de almidón y engomantes, para dar consistencia y rigidez a la tela, y así poder manejarla en sus procesos así como en las etapas de corte y manufactura. Al mismo tiempo, se observaba que mediante las lavadas domésticas la tela adquiría mayor suavidad, aunque daba lugar a un impacto en el confort debido a que aún no se había desarrollado el proceso de sanforizado en las textileras, que es un proceso que controla el encogimiento máximo de la misma, le brinda un estado de estabilidad dimensional correcta, y se evitan así problemas de cambio en las medidas después de lavado.

Posteriormente se dio el primer paso en el desarrollo de lavanderías industriales, con el uso de máquinas lavadoras, para tratar los pantalones confeccionados en las mismas y dar la apariencia de haber sido lavados domésticamente una y otra vez. Con esto se llegó a obtener un producto más suave, que genera pequeñas diferencias de intensidades en el color, respecto al aspecto original antes de lavar. Continuando con el desarrollo del proceso de lavado, se inicia el uso de piedras abrasivas para acelerar el proceso, que da como resultado una nueva apariencia en la superficie de la prenda, que fue el desgaste. Luego se introdujo el uso de cloro para limpiar las prendas y decolorar el índigo de la mezclilla, que dará claras diferencias de intensidad de color.

De allí en adelante, una combinación en las técnicas permitirían incursionar en los mercados cada vez más demandantes respecto a las opciones que se podían crear en el proceso de lavado, a partir de una misma mezclilla. Esta situación hace que la industria, durante las últimas dos décadas y lo que va del nuevo milenio se venga desarrollando a pasos agigantados, con la implementación de la biotecnología, a través del uso de enzimas, y de diferentes técnicas de abrasión mecánica localizada, al mismo tiempo reguladas por parámetros de calidad establecidos por los clientes, no sólo de apariencia, sino también de resistencia, cuyos procedimientos se estructuran a través de la AATCC (Asociación Americana de Textiles Coloristas y Químicos).

Con esos elementos, se ha llegado a madurar en las lavanderías industriales y con esto diseñar una secuencia general de pasos para poder elaborar un proceso más productivo y con resultados de mejor calidad. Dentro de la secuencia tradicional se encuentran los siguientes pasos: desengomado, abrasión, desactivación, blanqueo y suavizado.

Los pasos fundamentales de lavado que inciden directamente en los parámetros de calidad, tanto de apariencia como de resistencia son el de abrasión y blanqueo. La abrasión es una apariencia de desgaste general o localizada. La abrasión general es consecuencia del uso de piedras pómez, tierra de deatomáceas, perlita expandida, rozamiento entre prendas y con la máquina, así como por el uso de agentes químicos, como las enzimas celulasas. La abrasión localizada es ocasionada por chorros de arena, (**Sand Blast**), papel de lija, (**Hand Sand**), láser, infrarrojo, efectos de temperatura, piedras impregnadas de permanganato de potasio, ozono, cuyas diferentes combinaciones abren un abanico de alternativas. Por otra parte, respecto al blanqueo o (**bleaching**) que se traduce en apariencia de limpieza, hasta la decoloración de índigo, se utilizan técnicas apoyadas por productos de detergencia, condiciones alcalinas, que se dan con el uso de soda cáustica y peróxido de hidrógeno, hipoclorito de calcio, ozono y la más común y más utilizada por medio de Hipoclorito de Sodio al 12%. Aquí también se dan diferentes combinaciones según sea el acabado final deseado.

Con el afán de optimizar los procesos de lavado en los pasos (abrasión y blanqueo), de mayor incidencia en los parámetros de calidad de apariencia visual y de resistencia, a través del desarrollo de la biotecnología mediante la aplicación de enzimas, cuyas cualidades de ser específicas, eficaces y que no deterioran el medio ambiente, se abren nuevas posibilidades. En el presente informe, se estudia el efecto de una nueva enzima, lacasa, para el proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla. Esta requiere de la implementación de un nuevo paso dentro de la secuencia tradicional, el cual es el de reducción, aplicado después de la desactivación y antes del blanqueo.

El **denim** o la mezclilla, que es la tela utilizada en la elaboración de jeans, es actualmente uno de los productos textiles de mayor producción a nivel

mundial nacido en el siglo XVII, en la ciudad Serge De Nim en Francia, de donde debe su nombre. Es un tejido constituido de hilo de urdimbre teñido principalmente de color azul proveniente del colorante índigo y trama de algodón crudo. El proceso general para la fabricación de mezclilla pasa por las siguientes etapas: hilatura, teñido, tejido y actualmente las textileras involucran el acabado en prendas, que, en otras palabras, es la consecuencia del proceso de lavado industrial.

En la abrasión enzimática, por medio de celulasas, se hidrolizan los enlaces glucosídicos en la celulosa, que es el principal componente del algodón utilizado para la elaboración de mezclilla. En el blanqueo de prendas, realizado a través de la aplicación de hipoclorito de sodio, se da una reacción de oxidación entre el ión de cloro y la molécula de índigo. Como consecuencia de las reacciones, en la aplicación de ambos pasos, se ocasiona un efecto directo en los parámetros de calidad en la apariencia y resistencia. Al agregar una reacción de oxido-reducción de la molécula de índigo por medio del uso de enzima lacasa y un cofactor (mediador, previamente estudiado), se debe de reducir el ciclo de abrasión, a través de una limpieza en la apariencia de la trama y, en otros casos, decolorar la intensidad de índigo. Es como cambiar el color azul oscuro original de la mezclilla hasta un azul claro (celeste), con el objeto de obtener una mejora en los parámetros de resistencia enmarcado en un proceso viable y aceptable apariencia visual.

En el presente trabajo de investigación, se estudia la secuencia tradicional de pasos de lavado industrial y el efecto de la introducción del paso de reducción, dentro de dicha secuencia, aplicado después de la desactivación y antes del blanqueo, en cuanto a: A) calidad en apariencia visual; B) calidad en parámetros textiles de resistencia; C) costo de producción. También se estudian las ventajas y desventajas que se presenten al utilizar como método

patrón, el proceso de lavado con su secuencia tradicional (sin el uso de enzima lacasa) y como referencia visual, el respectivo estándar (patrón de apariencia requerido en la mezclilla), para dos lavados, un lavado regular con piedra, **(Medium-stonewash)**, de código 0361 y un lavado regular con piedra y cloro, **(bleach-stonewash)**, de código 5546, sobre una mezclilla 98% algodón 2% **(stretch)** de 12 onzas /yarda cuadrada (0.408 kg/m²) de una textilera tradicional.

OBJETIVOS

Objetivos generales

1. Contribuir con el desarrollo de uno de los sectores industriales más importantes del país, actualizando y ampliando la información sobre el proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla, a través de una guía general que exponga las raíces, evolución, herramientas y condiciones actuales, que demandan la optimización de dicho proceso.
2. Determinar el efecto de la enzima lacasa en el proceso de lavado industrial de prendas.

Objetivos específicos

1. Analizar la eficacia del uso de enzima lacasa, en la reducción del ciclo del paso de abrasión, que alcanzan las características deseadas de calidad en cuanto a apariencia y parámetros de resistencia, en el proceso de lavado de pantalones de mezclilla, Jeans, con código 0361, en una tela tradicional 98% algodón 2% (**stretch**) de 0.408 kg/m².
2. Analizar la eficacia del uso de enzima lacasa en la decoloración de índigo, que alcanzan las características deseadas de calidad en cuanto a apariencia y parámetros de resistencia, en el proceso de lavado de pantalones de mezclilla, Jeans, con código 5546, en una tela tradicional 98% algodón 2% (**stretch**) de 0.408 kg/m².

3. Determinar y comparar los costos por kilogramo de prenda lavada, comparando la secuencia de pasos tradicional con la implementación del uso de enzima lacasa, en el desarrollo del proceso de lavado con código 0361.
4. Determinar y comparar los costos por kilogramo de prenda lavada, utilizando la secuencia de pasos tradicional, y con la implementación del uso de enzima lacasa, en el desarrollo del proceso de lavado con código 5546.

HIPÓTESIS

Si se implementa el uso de enzima lacasa en un proceso de lavado industrial regular con piedra (***medium-stonewash***), y en un lavado regular con piedra y cloro (***bleach-stonewash***), de códigos de producto respectivos 0361 y 5546; en una tela 98% algodón y 2% (***stretch***) de 12 onzas por yarda cuadrada (0.408kg/m²), se puede obtener un proceso viable, que incremente los parámetros de apariencia visual y de resistencia.

1. ANTECEDENTES

La aplicación de enzimas en los diferentes sectores industriales se ha convertido en una verdadera revolución industrial, no menor al impacto producido por el uso del poder energético del vapor y los microprocesadores. Al igual que éstos, se persigue encontrar nuevas posibilidades y productos que permitan hacer más eficientes los procesos productivos.

En el sector industrial textil y, específicamente en el proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla, la biotecnología ha permitido hacer evolucionar el proceso de producción, a través de la aplicación de enzimas como la alfa-amilasa, celulasa y la reciente incursión de la lacasa, todas ellas con las ventajas de trabajar sobre sustratos específicos, reemplazar técnicas o procesos costosos y siendo amigables con el medio ambiente. Actualmente estas enzimas se hacen indispensables en la caja de herramientas de químicos e ingenieros involucrados en el medio.

La mezclilla, “*denim*”, creada en el siglo XVII, debe su nombre a su lugar de origen Serge De Nim, en Francia. Un producto creado por los franceses, perfeccionado por los ingleses y convertido en prenda de vestir (pantalones) a finales del siglo XVIII, en Estados Unidos por dos inmigrantes un Báltico (David Jacob), su creador y un Babario (Levi Strauss), su comerciante.

Los pantalones de mezclilla (Jeans), creados para trabajar, en un inicio utilizados por los operadores mineros y granjeros han evolucionado al ser igualmente vestidos por presidentes, ministros etc., hasta formar parte en la colección de los famosos diseñadores de moda; esta evolución ha demandado

al mismo tiempo del desarrollo de la industria textil y más relevante, aun en el área de lavanderías industriales.

Cliff Abbey, dueño de Sutter Jeans en San Francisco, California, USA, otorga los créditos de la creación del proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla a Nudie Cohen, reconocido en Hollywood por sus tiendas Tailor y Western Wear, vendía sus productos a estrellas de cine. Nudie tenía una máquina lavadora y piedra pómez, en donde aplicando esta técnica suavizaba y abradía los pantalones, para tener una apariencia de desgaste natural y no se vieran nuevos al ser utilizados por los actores en las películas. Esto fue en 1973 y se cree que estuvo aplicando esta técnica desde aproximadamente quince años atrás.

El uso de piedras para abradir Jeans es un proceso de ciclos largos, que deprecia las máquinas lavadoras de forma acelerada. Actualmente gracias a los avances biotecnológicos a través del uso de enzimas, en este caso celulasa, combinadas con cantidades menores de piedra, producen el efecto de desgaste requerido, que hace un proceso más eficiente.

La historia moderna de las enzimas tiene información que data desde 1833 con Payen y Persoz y el uso de la diastasa, para convertir almidón en azúcar, primariamente maltosa. Estudios del uso de la malta por Berzelius en 1835 y los hermanos Buchner, responsables de la creación del término enzima en 1897, que proviene del griego “En” que significa dentro y “Zyme” que significa levadura; ellos usaron el término para describir las sustancias dentro de la levadura que eran responsables de la fermentación. En 1903 Victor Henri realizó estudios de la cinética involucrada. El postulado matemático de la acción enzimática $E + S \rightleftharpoons ES$ (E enzima y, S sustrato) junto con una

Segunda reacción $ES \rightleftharpoons P + E$ (P es producto) fue propuesto por Leonor Michaelis y Maud Menten, en 1913.

Sin embargo, el hecho de tratar las enzimas, como macromoléculas de proteínas, fue descubierto por James Sumner en 1926. El descubrimiento del almacenamiento de la información genética por medio de cromosomas como el Ácido Desoxiribonucleico (DNA) en 1944 y la propuesta de la estructura doble helicoidal en 1953 por James Watson y Francis Crick, son hechos trascendentes que han empujado la posterior producción a nivel industrial de enzimas. En 1952, la compañía Novozymes produjo la primera enzima producida por fermentación, que abrió paso a la producción a escala de esta importante industria.

Los fabricantes de enzimas, para aplicación textil, inician su producción formalmente en la década de los 80, y la industria de lavado industrial se ha adaptado rápida y fácilmente a sus productos. Por más de un siglo, el almidón ha sido un engomante común y esencial en la fabricación de textiles, sin embargo, para poder dar un acabado (teñido o blanqueo) a la tela y a prendas confeccionadas, es necesaria la eliminación del mismo. Esto hizo que desde la década de los 70s se utilizara alfa amilasa en las textileras, como medio de eliminación del almidón y más tarde, en los 80s, se introduce la aplicación de la técnica en los procesos de lavado industrial. En 1983, Godfrey y Reichelt publicaron su estudio sobre la composición del algodón (materia prima de la mezclilla) constituida mayormente por celulosa, un polisacárido formado por unidades de glucosa. Más tarde en 1986, Boyce analizó preparaciones de endocelulasas y exocelulasas, para aplicación sobre el algodón. En 1996, se realizaron los primeros estudios de aplicación de enzima lacasa para degradar el colorante índigo de la mezclilla, sin embargo, las condiciones extremas de operación y manejo no proporcionaban ninguna ventaja. Esta retroalimentación

permite que a finales de 1999 se hagan las mejoras correspondientes e inicie su respectiva comercialización, que ha tomado tiempo por sus antecedentes de operación.

Todas las enzimas, que son cadenas largas de proteínas, son específicas y biodegradables, para conseguir sus actividades máximas requieren de sus condiciones óptimas de operación, en cuanto a control de pH y temperatura.

Las lavanderías industriales tienen presencia alrededor del mundo y en las últimas dos décadas y lo que va del nuevo milenio, se han desarrollado a pasos agigantados, no sólo por la demanda del mercado, sino, con la implementación de máquinas de mayor capacidad y el desarrollo de nuevos productos químicos, como las enzimas.

Por otro lado, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sólo se han desarrollado dos estudios relacionados con el tema. Santizo, 1995 “La importancia del descruce del Hilo de Algodón en el proceso de tintura artesanal”, García, 1996 “Optimización del grado de blanco y absorción de los tejidos de punto 100% algodón”, y un estudio sobre el proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla, Méndez, 1999 “Estudio comparativo en la aplicación de celulasas ácida y neutra, en el paso de abrasión, en un proceso de lavado industrial a pantalones de mezclilla con piedra pómez”. Dichas tesis representan una evolución de los avances en la industria textil y el área de lavanderías en Guatemala. El presente informe describe, de manera general, el proceso de elaboración de tela, el proceso de lavado y la aportación de la biotecnología en el área textil, por medio de conceptos, técnicas, procedimientos y químicos utilizados, que permiten buscar nuevas opciones en el proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción general de la elaboración de mezclilla

La industria textil a nivel mundial ha estructurado, desde hace tiempo atrás una secuencia general de pasos en el proceso de fabricación de **(Denim)** o mezclilla como sigue:

- Hilatura
- Teñido
- Tejido
- Terminado

2.1.1 Hilatura

Este es el proceso de la industria textil, que transforma la materia prima en hilo. Un proceso previo a la fabricación del hilo es la abertura. El algodón llega a la fábrica en fardos, en forma de paca prensados, que son abiertos y pasan por un proceso de abertura y formación de camas de algodón automáticamente, para que las impurezas como cáscaras, tierra etc. puedan ser eliminadas. La siguiente etapa se conoce como cardadura **(carding)**, en donde se individualizan las fibras de algodón y comienza la paralelización de las mismas, hasta formar mechas. Posteriormente se incluye el estiramiento **(drawing)**, donde ocurre también la paralelización, la orientación y homogenización de las fibras; enseguida se da la primera pequeña torsión **(roving)**. Una vez realizadas estas etapas previas el hilo puede ser fabricado por dos procesos de Hilandería **(spinning)**, el de Hilandería convencional de anillo **(Ring)** o

Hilandería abierta al final (**Open End**). Por último, se da el devanado o embobinado.

2.1.1.1 Hilandería convencional de anillo (*Ring*)

Las fibras de algodón para hilaturas en proceso de anillo (**Ring**) son torcidas en una dirección uniforme. Esta torsión implica, en el acondicionamiento de las fibras, un aumento de la resistencia del hilo entre el 20-30% superior a la hilatura final abierta (**Open End**).

2.1.1.2 Hilandería de final abierta (*Open End*)

Las fibras de algodón, para hilaturas en proceso (**Open End**), sufren una falsa torsión a través del soplo de las fibras de algodón en dirección Atenas. Soplándolas juntamente, tienden a crear hilos voluminosos. Los hilos son de apariencia y toque áspero, sin torsión uniforme de las fibras. Los hilos OE no poseen la resistencia del (**Ring**). Representa un proceso más sencillo, y por tanto menos costoso que el (**Ring**). Asimismo al tener más fibras expuestas, se adhieren mejor los colorantes para obtener hilos teñidos con mayor intensidad, es decir, con tonos más oscuros.

2.1.2 Teñido

Como etapa previa al paso de teñido, es realizada la etapa de urdir, que es la reunión de los hilos para la formación de rollo de urdimbre parcial. Es necesario realizar una serie de rollos parciales para formar el rollo de urdimbre final, con el número total de hilos que corresponde a cada artículo. Los colorantes en el proceso pueden ser Reactivos, Naftoles, Directos y Sulfurosos.

La etapa de teñido, sin considerar el proceso de teñido de prendas terminadas en una lavandería industrial, se puede realizar en las textileras por tres vías.

2.1.2.1 Teñido de cadena larga *Rope Dye*

La mezclilla únicamente se puede producir bajo este proceso por las características de agotamiento del colorante principal, índigo. Esta técnica consiste en tener una serie de tinajas de remojo o inmersión, en paralelo con tensores cilíndricos giratorios, más o menos a una elevación de 2.5mts, respecto a las tinajas, que hacen transportar y exponer las mechas de hilo teñido al aire, con el objeto de hacer completar la reacción de oxidación, que necesita la molécula del colorante índigo, para unirse con la celulosa componente básico del algodón. En las tinajas, se coloca el índigo a una concentración por lo regular al 2% y no mayor, teniendo en el proceso un número máximo 16 tinajas, según la intensidad de color azul requerida; así se asigna la cantidad de tinajas que se va a utilizar, que por lo regular son 9 baños (en el lenguaje técnico 9 dips). Las ventajas de esta técnica es que producen un efecto de teñido de anillo, es decir, que el colorante se convierte en un anillo de color, que deja al centro el color natural del algodón y se puede combinar un baño al inicio o final de las tinajas, para que le brinde una característica especial. La desventaja es que no existen muchos colorantes que se puedan aplicar con esta técnica y se necesita que los hilos no deben ser muy gruesos.

2.1.2.2 Teñido de rollos por inmersión *Beam Dye*

Esta técnica utiliza un contenedor, por lo regular cilíndrico, en donde se encuentra una solución con el colorante indicado, según el color final deseado. Una vez ajustadas las condiciones, se procede a sumergir el rollo con hilo. Las ventajas de este proceso son que el colorante penetra completamente el hilo, y

se puede utilizar una gama extensa de colorantes; las desventajas son que el proceso no es continuo, sino por lotes, y el ajuste, en las condiciones de temperatura y presión, para completar las reacciones de adhesión de los colorantes, lo hacen costoso.

2.1.2.3 Teñido de tejido o tela *Piece Dye-Fabric*

Esta técnica se aplica una vez que se ha fabricado el tejido (tela) y se utiliza cuando se desea un color uniforme en la urdimbre y trama. Los rollos de tela sin teñir son sometidos a cilindros giratorios, que la hacen pasar en forma extendida por las diferentes tinas de pretratamiento, hasta llegar a la tina donde se encuentra el colorante, y posteriormente pasar los baños finales de fijación y suavizado. Una de las ventajas es que existe una penetración completa de los colorantes y además se puede utilizar una gama amplia de éstos, cuyo proceso es continuo y de bajo costo de operación.

2.1.3 Tejido

En esta etapa del proceso, se entrelazan, según una unión determinada, los hilos de urdimbre con los hilos de trama. En el caso específico de la mezclilla, los de urdimbre teñidos de índigo y los de trama del color natural de algodón, en la trama, según sean las propiedades que se le deseen dar al tejido, se le puede introducir y mezclar, por ejemplo, **spandex**, que es un elastano conocido como lycra, que provee propiedades de expansión (**stretch**) al tejido. Esta etapa debe tomar en consideración el efecto de desviación (**Skew**), para evitar que una vez se hayan confeccionado las prendas, se dé un efecto de piernas torcidas (**Twisted Legs**). Todo tejido plano está compuesto de dos grupos de hilos: los de urdimbre, hilos compuestos en el sentido vertical del tejido (sentido a lo largo), y la trama, hilos dispuestos en el

sentido horizontal del tejido (sentido de lo ancho). Los arreglos más comunes son los siguientes:

2.1.3.1 Cambray o tafeta

El arreglo más sencillo, que no aplica para mezclilla, es el de aspecto plano o cuadrado (1X1), básicamente utilizado en camisas o telas de pesos livianos. Aunque también son un poco más pesados, conocidos como Canvas, y sirven para elaborar pantalones, bermudas, vestidos etc.

2.1.3.2 Sarga

La unión sarga produce una línea diagonal, que se sobresale en la superficie del tejido, que es la más utilizada e importante en el mundo de la mezclilla (lona). Dentro de la sarga, existen innumerables opciones; la más usual es la unión 3X1, que significa que el hilo de trama pasa una vez por arriba y tres veces por abajo del hilo de urdimbre; asimismo ésta puede ser sarga derecha o izquierda. Según el sentido de la construcción, se ocasiona un impacto en la suavidad superficial. La sarga también puede ser 2X1 (***Fineline Twill***) y el efecto visual de la diagonal es menor; también se puede realizar en ambos sentidos. Este tipo de construcción se utiliza para tejidos más livianos, menores de 12 onzas por yarda cuadrada. Según el arreglo de las sargas, se pueden presentar diferentes aspectos y características, después del lavado industrial.

2.1.3.3 Sarga interrumpida (*Broken Twill*)

Es una sarga que no sigue el patrón diagonal; ésta es una sarga interrumpida y que más bien se puede observar un efecto de zig-zag. Se ha

desarrollado; y utilizado mayormente en el medio oriente con el aumento de su popularidad en este hemisferio. Con este arreglo, se previene, en los pantalones confeccionados, el efecto de torsión o piernas torcidas.

2.1.4 Terminado

En esta última etapa, se pueden realizar varios procesos, según los requerimientos dos de ellos se aplican generalmente, el suavizado que sirve para dar el tacto requerido y el proceso de sanforizado, que consiste en tensionar a través de dos extremos cilíndricos giratorios así como los rollos de tela aplicando vapor; esto es con el objetivo de dejar la tela en su estado de estabilidad dimensional correcta, y para tener control de los encogimientos, que son posteriores a los tratamientos a los que se somete la tela. Existen otras técnicas que se pueden aplicar como el cepillado, el quemado, y aplicación de otros aprestos para brindar características particulares al tejido. Una vez realizado este proceso, también se realiza un proceso de inspección de calidad.

2.2 Proceso de lavado

El proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla consiste y depende de los diversos patrones de efecto requeridos en la apariencia. En el mismo, se involucra la calidad del agua que se va a utilizar en el proceso, las condiciones y tipo de maquinaria, con sus indicadores de temperatura, nivel o volumen de agua, velocidad de rotación, control del tiempo de ciclos y, en algunas, el pH; y finalmente lo más relevante, que marca la diferencia entre una y otra lavandería. La formulación del proceso, en donde utilizando herramientas químicas, como las enzimas, tensoactivos, agentes oxidantes, bases, polímeros (humectantes, lubricantes, dispersantes, suavizantes etc.), entre otros, y físicas como la piedra pómez, perlita expandida, tierra de deatomáceas etc., se

imprime una cantidad incontable de técnicas aplicadas por ingeniosos y químicos, que involucra cada quien su toque personal, que crea una tendencia que puede llegar a ser única y exclusiva, que generalmente se ha estructurado en la siguiente secuencia de pasos:

- Desengomado
- Abrasión
- Desactivación
- Reducción
- Blanqueo
- Neutralizado
- Suavizado

2.2.1 Desengomado

El objetivo de este paso es remover y eliminar los agentes engomantes, que han sido aplicados al hilo de urdimbre, así como otros productos aplicados en el paso de terminado del tejido. Los engomantes comúnmente utilizados son: a) el almidón natural proveniente de arroz, maíz o papa, según sea la región en donde opera la textilera, b) PV-OH (Polivinil Alcohol), polímero sintético de bajo costo, c) CMC (CarboxiMetilCelulosa) d) PVA (Polivinil Acrilato); e) ceras, que pueden ser naturales o sintéticas, y f) surfactantes, humectantes o lubricantes. Para la remoción de los distintos engomantes, se utilizan en algunos casos productos químicos específicos y en otros en conjunto, que permiten eliminar las gomas utilizadas y obtener mejores resultados en las etapas subsiguientes. Dentro de los agentes químicos utilizados para el efecto, se encuentran: 1) alfa amilasa, 2) álcalis, 3) peróxidos, 4) surfactantes, 5) ácidos. Cada uno de éstos, según se requiera, debe de trabajar en sus condiciones óptimas de operación (temperatura,

relación de baño, tiempo). Es importante realizar un buen trabajo en esta etapa, ya que un mal desengome puede rayar las prendas y hacer que tengan apariencia de quiebres visibles por el cambio de color, respecto a la apariencia global de las prendas, así como consecuencias en el ciclo de la siguiente etapa, la abrasión.

Los engomantes mayormente utilizados son una combinación de almidón y polivinil alcohol o polivinil acrilato y surfactantes, para lo cual se han diseñado dos tipos de desengome, ambos normalmente con una relación de baño 1:8, el enzimático y el oxidativo.

2.2.1.1 Desengome enzimático

Este consiste en retirar almidón, a través de una reacción química, es decir, romper la estructura química del almidón por “digestión enzimática” de la alfa amilasa, con la formación de pequeñas cadenas de materiales solubles (dextrinas, maltosas y azúcares). Este paso requiere normalmente de una temperatura entre 50-65° C, un pH 7-8.5, un ciclo de 10 a 15 minutos, y es auxiliado por dispersantes de algodón, humectantes y lubricantes, para completar efectivamente el proceso.

2.2.1.2 Desengome oxidativo

Este tipo de desengomante consiste regularmente en un agregado de productos, como el peróxido de hidrógeno y su estabilizador, combinado con álcalis. En otras ocasiones, combinado con detergentes y humectantes, se requiere de una temperatura entre 60-75° C, un pH alcalino y un ciclo mediano entre 15 y 20 minutos. El peróxido de hidrógeno no solamente permite romper

múltiples puntos de la molécula de almidón, sino también es efectivo ante engomados de polivinil alcohol y polivinil acrilato.

2.2.2 Abrasión “*StoneWash*”

Esta etapa persigue dar un aspecto de envejecimiento a las prendas, una apariencia de desgaste homogénea, que deja puntos más blancos en su superficie de manera aleatoria. El contraste, entre esos puntos blancos adicionales y la superficie azul normal, indica la intensidad del lavado. Se puede obtener este efecto por medio de tres técnicas, la abrasión mecánica, la abrasión química o enzimática y la combinada.

2.2.2.1 Abrasión mecánica

Es pura abrasividad, en que se usa normalmente piedra pómez, aunque en la actualidad también se puede incluir perlita expandida o tierra de diatomáceas. Es un proceso que requiere ciclos largos, con una relación de baño baja 1:5. Fue el primer método de abrasión para obtener el efecto de desgaste. La abrasividad sobre la superficie del tejido lleva a una liberación de fibrilas, que dan al tejido la suavidad conocida como peletización o piel de durazno. A pesar de hermoso efecto alcanzado, la principal desventaja de las piedras es el daño que se le ocasiona a la maquinaria, que periódicamente requieren el cambio de las láminas de la canasta; asimismo demandan una mayor mano de obra para sacar las piedras, las cuales en algunas ocasiones llegan contaminadas al proceso, por medio de otros materiales que provocan daños a las prendas.

2.2.2.2 Abrasión química o con enzimas

Las enzimas biológicas del tipo de celulasas son utilizadas; éstas atacan la superficie de los hilos de algodón, y hacen que el colorante índigo se escame. Existen las del tipo ácidas, que trabajan a pH de 4.5-5.5; las de tipo Neutras, que trabajan a pH de 6.5-7.5, y las híbridas, que trabajan a pH de 5.5-6.5. Regularmente estas enzimas trabajan con nivel bajo de agua en relación con 1:5, a temperatura de 50-60° C. Se debe evitar que, para tener constante la temperatura del proceso, se aplique vapor vivo a la máquina, ya que esto inhibe o destruye la actividad de las enzimas. La aplicación de estas ha colaborado en la reducción de los ciclos de esta etapa.

2.2.2.3 Abrasión combinada

La abrasión combinada no es más que combinar la aplicación de agentes abrasivos mecánicos, como la piedra pómez, con los agentes químicos, las enzimas celulasas, etc. Esta mezcla ha permitido evolucionar la industria de lavado y obtener productos de mejor calidad, con un mejor costo y en un medio más sustentable.

2.2.3 Desactivación

Este paso se hace necesario para inhibir y parar la actividad de las enzimas celulasas, que pueden llegar a destruir el tejido ocasionando una pérdida considerable en los parámetros físicos de resistencia; ésta se puede realizar de dos formas, por efecto de la temperatura y / o por el pH.

2.2.3.1 Efecto de la temperatura

Como se conoce en el medio, las enzimas tienen una temperatura óptima de operación, en la que su actividad es la máxima, que oscila en la actualidad de 45-60° C. Sin embargo, fuera de ese rango y especialmente a mayor temperatura regularmente 70° C, se consigue la inhibición de dicha actividad. Es mejor realizar este incremento de temperatura por medio de la alimentación de vapor vivo o directo.

2.2.3.2 Efecto del pH

Al igual que la temperatura, el pH también juega un papel importante para obtener las condiciones óptimas de actividad de las enzimas utilizadas en el proceso. Éste, como se mencionó en la etapa de abrasión química o enzimática, puede variar según la familia de celulasas, ácida, neutra o híbrida. Sin embargo, para ambos casos, se puede incrementar el pH arriba de 9 por medio de detergentes o álcalis, para que se inhiba la actividad enzimática.

2.2.4 Reducción

Recientemente fue introducido en la formulación del proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla, persigue por medio de la reducción de la molécula del colorante de índigo, a través de la enzima lacasa, para obtener una apariencia más limpia de la trama, que hace que se realce el contraste o abrasión en la superficie de la prenda, y decolora o reduce el color original del índigo, al utilizar menos oxidantes, hipoclorito de sodio, en la etapa de blanqueo. En esta etapa, también se ha evaluado el uso de dextrosa anhidra grado industrial, en condiciones alcalinas de pH mayor que 12 y a alta

temperatura 85-90° C , que por sus condiciones de operación, se convierte en un paso de alto riesgo, ya que puede provocar accidentes, lo cual limita su uso.

2.2.5 Blanqueo

En esta etapa, se pueden utilizar diferentes agentes oxidantes de índigo, los cuales varían en función de sus características finales y costos de operación. En este paso de decoloración, pueden ser utilizados el hipoclorito de sodio (NaOCl) y el permanganato de potasio (KmnO4).

2.2.5.1 Blanqueo con hipoclorito de sodio

Éste fue el primer agente oxidante utilizado en el proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla; para su mejor control debe de aplicarse en condiciones alcalinas, con una relación de baño alta 1:10 y a temperatura de 60° C. Desafortunadamente éste está en equilibrio con el ácido hipocloroso sobre un extenso rango de pH. Dicho equilibrio provoca daños a la fibra de algodón de la tela, 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 reducción de la intensidad de índigo, por lo que su aplicación se hace necesaria para determinadas apariencias de color.

2.2.5.2 Blanqueo con permanganato de potasio

En la práctica, este agente es más eficiente en la reducción de color y daña menos la celulosa del algodón,. 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 las prendas.

2.2.6 Neutralizado

La función básica de este paso consiste en la eliminación de los productos utilizados en la etapa de blanqueo, ya que su presencia puede provocar, no sólo problemas de calidad en apariencia, sino de resistencia al mismo tiempo. Para el caso de neutralización de hipoclorito de sodio, es común utilizar meta bisulfito de sodio, o peróxido de hidrógeno en condiciones alcalinas. Para el caso del permanganato de potasio, aparte de los dos ya mencionados para el cloro, se puede agregar el sulfato de hidroxilamina.

2.2.7 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, a través del tacto suave de las mismas, y al mismo tiempo proveer ciertas características de protección a las prendas, contra el efecto de oxidación del ozono. Para obtener las propiedades de suavidad deseada, debe de controlarse la relación de baño 1:5; la temperatura, regularmente de 50° C y pH óptimos, normalmente entre 4.5 y 7; en la actualidad, se han desarrollado algunos suavizantes, que en combinación con algún colorante, proveen una tonalidad especial en la apariencia.

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, entre los diferentes tipos tenemos los catiónicos, los siliconados y polietilenos, así como los productos que conllevan la combinación de los mismos, para poder ser multifuncionales.

2.2.7.1 Suavizantes catiónicos

Éstos brindan a la prenda una mejor caída, es decir, el desdoblamiento de la prenda; esto es como consecuencia de la unión del catión de la molécula del suavizante y el centro de la fibra humedad cargada negativamente; en la práctica, se elimina la sensación de acartonamiento de la prenda.

2.2.7.2 Suavizantes siliconados

Éstos proporcionan un efecto sedoso u oleoso sobre la superficie de la prenda; los cuales normalmente son de carácter aniónico y se unen por una pequeña afinidad con la fibra.

2.2.7.3 Suavizantes de polietileno

Son los que regularmente crean una película superficial en las prendas, que le dan protección a la misma, contra el efecto del ozono, cuya reacción crea un amarillamiento a las prendas.

2.3 Biotecnología

Ésta es considerada la tercera revolución industrial, comparada con el poder energético del vapor y los microprocesadores, ya que al igual que éstos ha transformado el mundo en el que vivimos actualmente; ha creado nuevos productos y posibilidades, a través de la aplicación sistemática de la ciencia biológica, es decir, con el uso de los sistemas vivos y sus productos. Por muchos años, el hombre ha utilizado organismos celulares simples como la levadura, en la producción de pan, cerveza y vino. Otro caso es el de los microbios utilizados para elaborar alimentos y que han sido la base del

desarrollo de la industria farmacéutica, aun en ese momento con la ignorancia, en muchos casos, de la ciencia involucrada; por eso la ciencia biológica y lo más reciente la ingeniería genética han tomado parte en investigaciones, que ayuden a comprender y manejar sistemática e inteligentemente a estos seres vivos y sus derivados.

La explotación comercial de las células o de las enzimas, tomadas de las células, está restringida a las condiciones óptimas, en las que pueden funcionar los sistemas biológicos (pH, temperatura etc.). La ingeniería genética ha realizado avances en la estabilidad, economía, especificidad y campos de aplicación de las enzimas.

2.3.1 Enzimas

Las enzimas son un tipo especial de proteínas de cadena larga de aminoácidos, que se encuentran en la materia viva. El ser humano, los animales, las plantas etc., todas las células vivas necesitan enzimas para vivir y crecer y, aunque son fundamentales para la vida, no son sustancias vivas. Estas también pueden ser producidas por microorganismos, como las bacterias y los hongos, mediante la degradación de un sustrato. Las enzimas son catalizadores, es decir, sustancias que en cantidades muy pequeñas aceleran las reacciones químicas; son específicas, ahorran energía y son biodegradables. Pueden producirse de forma industrial y tienen una variedad de aplicaciones en el sector industrial, como son la industria farmacéutica, alimenticia (humana y animal), cervecera, viñerías, pulpa y papel, destilación/combustibles de alcohol y textil, entre otras.

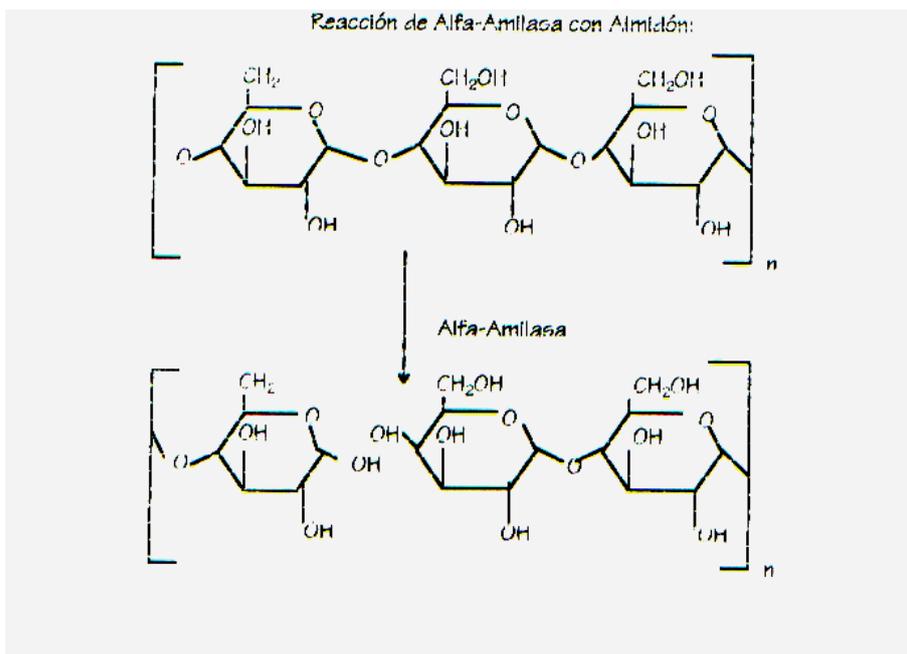
2.3.1.1 Enzimas en la industria textil

Las enzimas tienen una aplicación amplia en este sector industrial y han hecho eficientes los métodos de producción y acabado en las telas. Las principales en el proceso de lavado industrial son la alfa amilasa, celulasas y la lacasa; en el área de detergentes para lavados caseros, también se utiliza las proteasas y lipasas.

2.3.1.2 Alfa amilasa

El almidón es uno de los compuestos más comunes en el engomado de tela, y la amilasa ha sido el producto más eficiente para eliminarla sin dañar la fibra, la cual se aplica en el paso de desengomado bajo las condiciones óptimas. Esta actúa sobre la molécula de almidón hidrolizándolo, es decir, rompiendo la cadena larga en pequeñas secciones.

FIGURA 1 Reacción de la alfa-amilasa sobre el almidón



La alfa amilasa ataca al almidón, en el enlace 1-4, Y produce azúcares reductores de la siguiente manera:

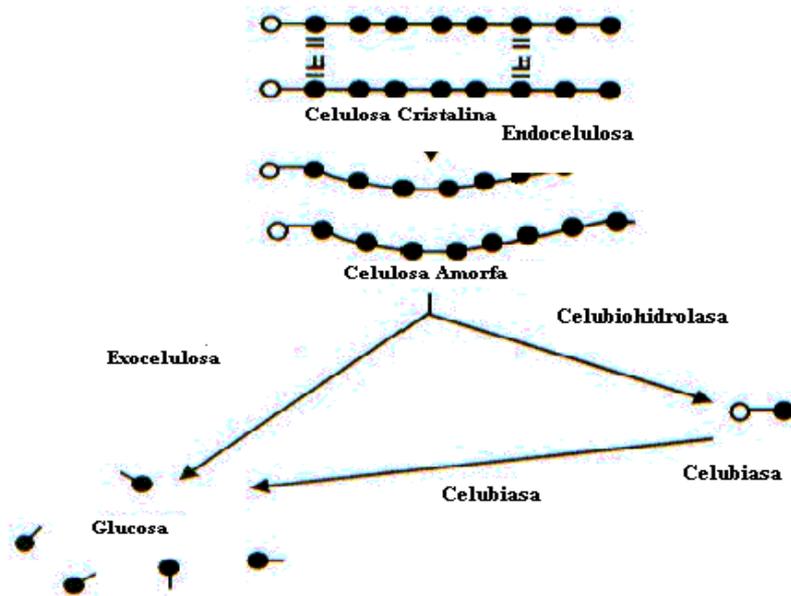
ALMIDÓN -----> MALTOSA -----> GLUCOSA

Esta reacción requiere de una cantidad significativa de oxígeno, para que lentamente continúe su degradación.

2.3.1.3 Celulasas

Las celulasas son una herramienta fundamental en el proceso de lavado industrial de pantalones de mezclilla, y han sido un bastión en la evolución del desarrollo de esta industria, ya que permiten obtener la apariencia de desgaste superficial, abrasión, sin dañar la maquinaria, como ocurría al realizarlo únicamente con piedra, y a la vez han contribuido con la reducción de ciclos de proceso. Las celulasas hidrolizan los enlaces glucosídicos en la celulosa del algodón, al igual que la amilasa en el almidón.

FIGURA 2 Resumen del mecanismo de reacción de la celulosa en la celulasa



Las celulasas se pueden clasificar en tres tipos, de acuerdo con el pH óptimo, en el que alcancen su máxima actividad, ácidas pH 4.5-5.5, neutras pH 6.5-7, e híbridas 5.5-6.5; debido a las características del acabado y las propiedades remanentes de resistencia, son las celulasas neutras las más utilizadas.

2.3.1.4 Lacasa

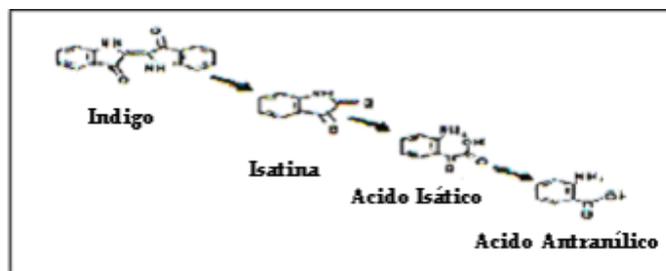
La enzima lacasa es la más reciente herramienta de trabajo en las lavanderías industriales. Es una oxidoreductasa, conocidas también como Redox; como su clasificación lo indica, este tipo de enzimas cataliza reacciones químicas de reducción y oxidación. Esta se produce por medio de un microorganismo llamado Lacquer tres (***Rhus Vernicifera***), aunque se han realizado estudios para obtener otras fuentes como el ***fungus Trametes villosa***.

La lacasa es una oxidasa multicomponente, que cataliza la oxidación de una gama amplia de fenoles y otras sustancias; acompañado con la reducción de oxígeno del agua, ha encontrado aplicación en la delignificación y detoxificación, y recientemente en el blanqueo de índigo. La molécula de índigo sobre la superficie de la tela está empaquetada y densa; este ambiente de hidrofobicidad hace inaccesible la acción de la enzima sobre el colorante. De cualquier forma, cuando la enzima se hace acompañar por un mediador apropiado, la decoloración toma lugar, ya que el índigo transfiere electrones al oxígeno, vía la enzima y el mediador. El mediador es un compuesto orgánico de bajo peso molecular, que hace accesible la insoluble molécula de índigo.

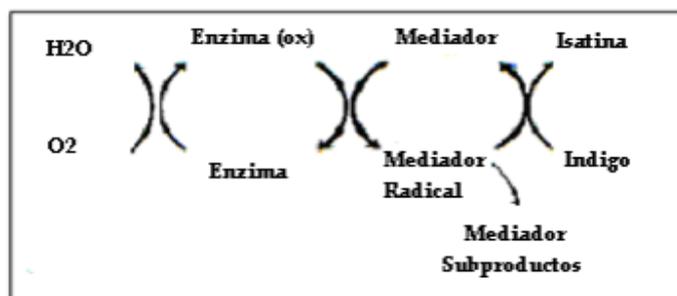
Al igual que las otras enzimas utilizadas en el proceso, se requiere el control de las condiciones óptimas del proceso, como son la relación de baño

regularmente 1:7, la temperatura óptima sugerida por los proveedores es de 70° C y el pH 4.5. La actividad enzimática puede ser seriamente afectada por cambios radicales de temperatura, al introducir vapor vivo al sistema, lo cual desnaturaliza las enzimas.

FIGURA 3 Resumen del mecanismo de reacción de la lacasa en el lavado de lona



Camino de oxidación de índigo



Resumen del mecanismo de reacción de la lacasa en el lavado de lona

La reacción de decoloración se detiene por sí misma, cuando la actividad del mediador es consumida por la reacción.

3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La parte experimental de la investigación se realizó dentro del área de lavandería, en el complejo industrial de una empresa tradicional, dedicada al servicio de paquete completo de pantalones de lona, donde se hizo uso de las siguientes instalaciones:

- Área de lavandería. En esta área, se encuentran las lavadoras industriales, centrifugas y secadoras, por medio de las cuales se harán las corridas necesarias en las que se aplicará el uso de enzima lacasa en el proceso de lavado industrial.
- Laboratorio textil de pruebas físicas; allí se evalúan las propiedades físicas de resistencia de el tejido (urdimbre y trama) de las prendas terminadas, como tensión o tracción, y rasgado.
- Departamento de Control de Calidad, auditoría de lavandería, en donde se encuentra una área denominada caja de tonalidades (caja gris), que es diseñada para evaluar la apariencia visual de los pantalones de mezclilla.

3.2. Recursos humanos

- Autor de la investigación: Br. Jadel Romain Lam Herrera
- Asesor en la investigación: Ing. Q. Oscar Páez López
- Asesoría en distintas pruebas para el proceso por parte del Ing. Darío de León, producción en lavandería, Ing. Ronald Méndez coordinador de desarrollo y el Ing. Alfredo Ruiz, coordinador de laboratorio textil de pruebas físicas.

3.3 Recursos materiales

A. Materia prima

Pantalones de mezclilla (Jeans) para mujer, con código de producto 0361 y 5546, en un estilo de tela 98% algodón 2% **stretch** de 12 onzas por yarda cuadrada (0.408kg/m²).

B. Insumos

- Agua
- Vapor
- Electricidad
- Tiras de papel universal indicador de pH Merck

C. Reactivos químicos de proceso

- Desengomante (lubricante (Lub-ID) / humectante (Wet-Kor) enzima alfa-amilasa; desize 30HP)
- Soda cáustica en escamas grado industrial (NaOH)
- Peróxido de hidrógeno al 50% (H₂O₂)
- Ácido acético grado industrial al 98% (CH₃COOH)
- Enzima celulasa neutra (Hipozyme EMB, BJ Quantum)
- Dispersante de algodón (PromoScour)
- Bloqueador de poliéster (Promoco)
- Detergente alcalino (ACU)
- Enzima lacasa (Granzyme LXM)
- Carbonato de sodio/ soda ash (CaCO₃)
- Hipoclorito de sodio al 12% (NaOCl)
- Meta bisulfito de sodio (NaHSO₃)
- Suavizante antiozono, catiónico, siliconado (VircoSoftOPS 1)

D. Agentes físicos (abrasivos mecánicos)

- Piedra pómez

3.4. Equipos

A. Equipo de proceso

- Balanza (Revuelta)
- Carrito de transporte (buggie)
- Máquina lavadora con capacidad para 56.6Kg

- Centrifuga (extractora) con capacidad para 40Kg
- Secadora con capacidad para 56.6Kg

B. Equipo de laboratorio

- Scott tester (Tensile)
- Heavy duty elmendorf (Tear)
- Plantillas/moldes de corte
- Tijeras

C. Equipo del Departamento de calidad

- Estándar de lavado para código de productos 0361 y 5546
- Caja de tonalidades (Caja gris) con especificaciones AATCC.

3.5. Metodología experimental

A. Diseño de tratamientos

La eficacia del uso de enzima lacasa, en los procesos de lavado industrial, se evaluará respecto al proceso tradicional (sin uso de lacasa), en los parámetros de calidad de apariencia visual y resistencia, al someter pantalones de mezclilla, de una tela tradicional con un 98% algodón y un 2% stretch de 12 onzas por yarda (0.408kg/m²), para agregar al proceso de lavado un nuevo paso incursionado después de la desactivación y antes del blanqueo.

B. Unidad experimental

Las unidades experimentales que se van utilizar son pantalones de mezclilla (Jeans) de mujer de código de producto 0361 y 5546, en una tela tradicional con un 98% algodón y un 2% stretch de 12 onzas por yarda cuadrada, con un peso aproximado de 0.800kg por prenda manejadas, hasta completar 20kg de carga para lavar.

C. Manejo del experimento

La tela que se va a utilizar es un tejido tradicional de un proveedor regular de producción textilera extranjera, que pasa por las etapas de corte y manufactura de una empresa tradicional, que ofrece el servicio de paquete completo, para elaborar finalmente los pantalones que se necesitaran en el proceso de lavado. Los pantalones fueron divididos en 10 cargas: dos que aplican el proceso de lavado tradicional (sin el uso de enzima lacasa), las cuales se usaron, una en un lavado regular con piedra (**Medium-Stonewash**) y la otra en un lavado regular con piedra y cloro (**Bleach-Stonewash**). Luego se hicieron dos corridas (para corroboración de datos) de un paso de aplicación de lacasa y dos (para corroboración de datos) de un doble paso de aplicación de lacasa, para un lavado regular con piedra de código 0361. Asimismo se hicieron dos corridas (para corroboración de datos) de un paso de aplicación de lacasa y dos (para corroboración de datos) de un doble paso de aplicación de lacasa, para un lavado regular con piedra y cloro de código 5546. Es sumamente importante la toma de datos de las condiciones óptimas de relación de baño, temperatura, pH y los tiempos de duración de cada uno de los pasos en el proceso, para tener control del mismo, así como los elementos de juicio en la interpretación de los resultados.

Al concluir el proceso de lavado, las prendas fueron analizadas y evaluadas con los parámetros de calidad de apariencia visual en la caja de tonalidades, con la aplicación de la respectiva escala de grises, así como de los parámetros físicos de resistencia a la tensión y el rasgado en el laboratorio textil.

D. Descripción del método

Se manejaron cargas de 20kg por corrida; el peso de cada prenda es de 0.800Kg., por lo que se requirieron 25 prendas por corrida y se realizaron 10 corridas, para un total de 250 pantalones de lona, mezclilla. Se utilizó una formulación genérica de referencia para cada uno de los procesos, respectivamente, para el ***Médium-Stonewash*** y para el ***bleach-stonewash***. Se hicieron en total 6 formulaciones, una por cada proceso, sin incluir el uso de la enzima lacasa y luego se corrió el proceso con la implementación de un paso de reducción con lacasa para cada uno de los procesos (0361 y 5546); las últimas dos son las que corresponden a la implementación de un doble paso de reducción con lacasa, para cada uno de los procesos (0361 y 5546). Para evitar agregar variables al proceso, se utilizó la misma maquinaria para todas las corridas, respetando al mismo tiempo las condiciones óptimas de niveles de agua, temperatura y pH.

A continuación, se presentan las fórmulas genéricas de referencia utilizadas para los lavados de código 0361 y 5546, respectivamente.

TABLA No. 1

FORMULACIÓN GENÉRICA PARA LAVADO DE CÓDIGO 0361

| | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------|---|-------------|------------------|------|----------------------|--------|
| LAVANDERÍA: | Desarrollo | | | | | PESO POR UNIDAD (Kg) | 0.8 |
| CLIENTE | | | | | | PESO Kg: | 20 |
| LAVADO/EDP: | 361 | | | | | UNIDADES | 25 |
| COLOR: | INDIGO | | | | | PROCESO: | MDSTW |
| TELA: | ALGODÓN 98% STRETCH 2% | | | | | OBSERVACIÓN | |
| FECHA: | 07/08/2004 | | | | | LAVADORA: | TUPESA |
| OPERACIÓN | Agua (Lts) | Temp. °C | Tiempo Min. | Cantidad (Gr-Ml) | % | QUÍMICOS | PH |
| DESENGOME | 160 Lts | 60 ° | 10 min | 200 | 1 | LUBID | 7.5 |
| | | | | 160 | 0.8 | WETKOR | |
| | | | | 400 | 2 | DESIZO 30 HP | |
| | | | | 60 | 0.3 | POMOCO 5962 30% | |
| | | | | 70 | 0.35 | POMOSCOUR CL 35 | |
| ENJUAGUE | 160 Lts | 25 ° | 2 min | 0 | 0 | | |
| ABRASIÓN | 100 Lts | 60 ° | M min | 300 | 1.5 | BUFFER 6.5 | 6.5 |
| | | | | 100 | 0.5 | POMOSCOUR CL 35 | |
| | | | | 70 | 0.35 | POMOCO 5962 30% | |
| | | | | 30 | 0.15 | BJ Quantum Max 100 | |
| | | | | 4000 | 20 | PIEDRA PÓMEZ | |
| ENJUAGUE | 200 Lts | 25 ° | 2 min | 0 | | | |
| LAVADO | 160 Lts | 60 ° | 5 min | 80 | 0.4 | HIPOCHEM ACU | 9.5 |
| | | | | 60 | 0.3 | POMOSCOUR CL 35 | |
| ENJUAGUE X 2 | 160 Lts | 25 ° | 2 min | 0 | | | |
| REDUCCIÓN POR N VECES | 120 Lts | 70 ° | 15 min | 60 | 0.3 | ACIDO ACÉTICO | 4.5 |
| | | | | 80 | 0.4 | GRANZIME LXM | |
| ENJUAGUE | 160 Lts | 25 ° | 2 min | 0 | | | |
| LAVADO | 140 Lts | 60 ° | 8 min | 80 | 0.4 | HIPOCHEM ACU | 9.5 |
| | | | | 60 | 0.3 | POMOSCOUR CL 35 | |
| ENJUAGUE X 2 | 160 Lts | 25 ° | 2 min | 0 | | | |
| SUAVIZADO | 100 Lts | 50 ° | 5 min | 40 | 0.2 | ACIDO ACÉTICO | 5.5 |
| | | | | 200 | 1 | VIRCO SOFT OPS 1 | |
| EXTRACTADO | | | 5 min | | | | |
| SECADO | | 75 ° | 50 min | | | | |
| DONDE : | M | Es igual a 75 minutos para proceso tradicional y 45 minutos para implementación de lacasa | | | | | |
| REDUCCIÓN POR | N | Es igual a 0 para proceso tradicional (no lleva el paso) y para la investigación es 1 y 2 | | | | | |

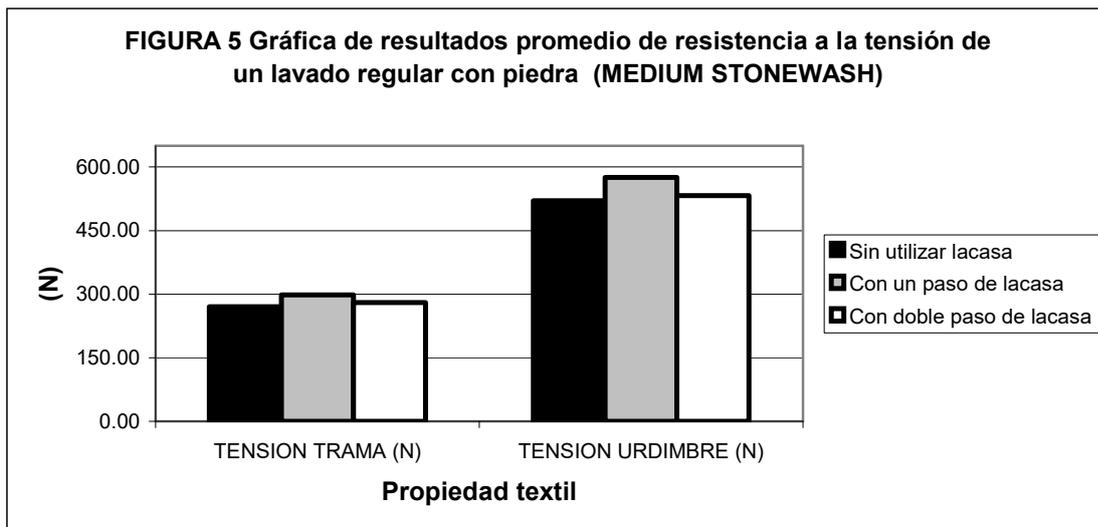
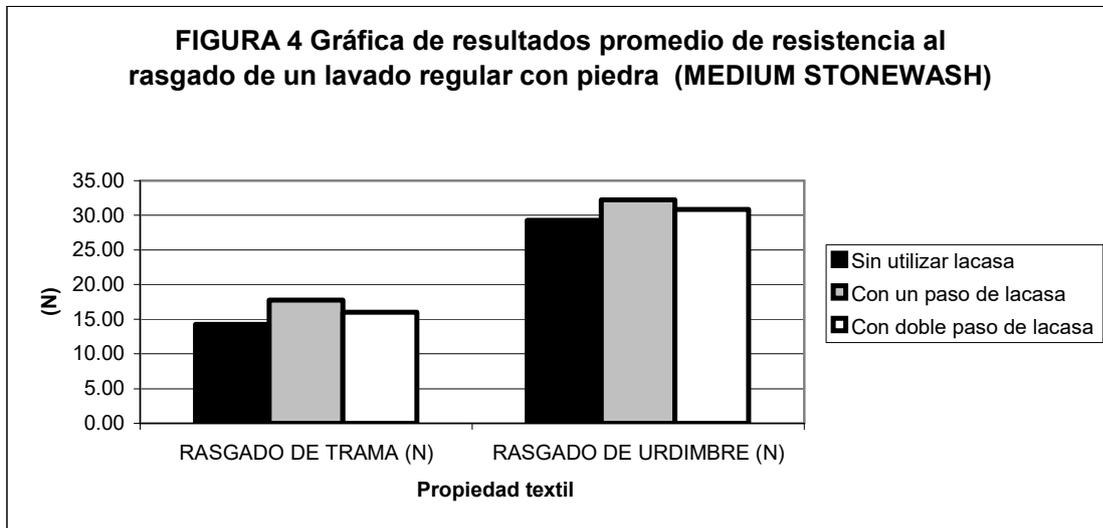
TABLA No. 2

FORMULACIÓN GENÉRICA PARA LAVADO DE CÓDIGO 5546

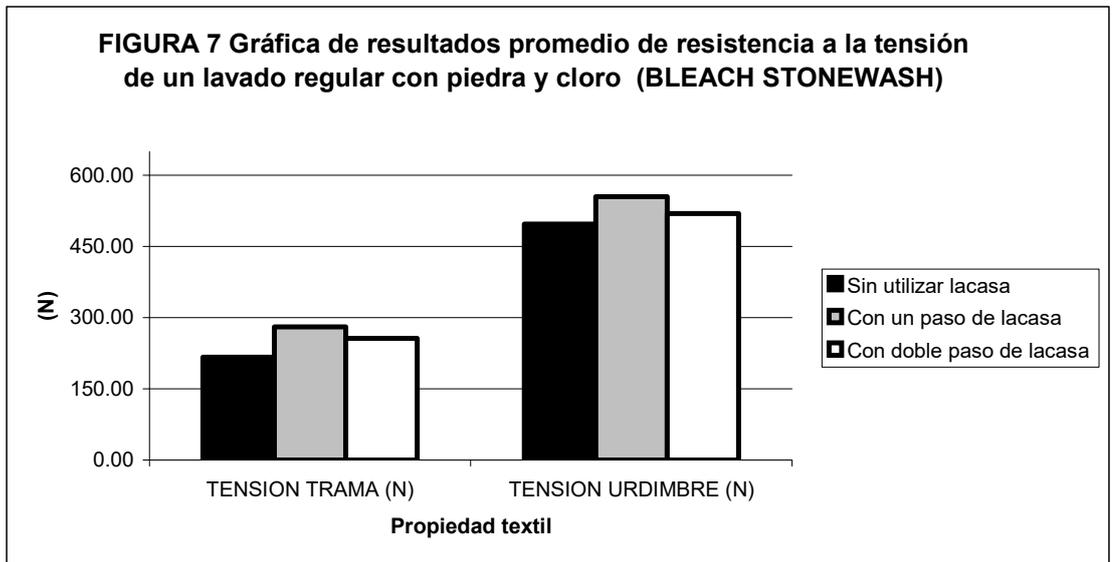
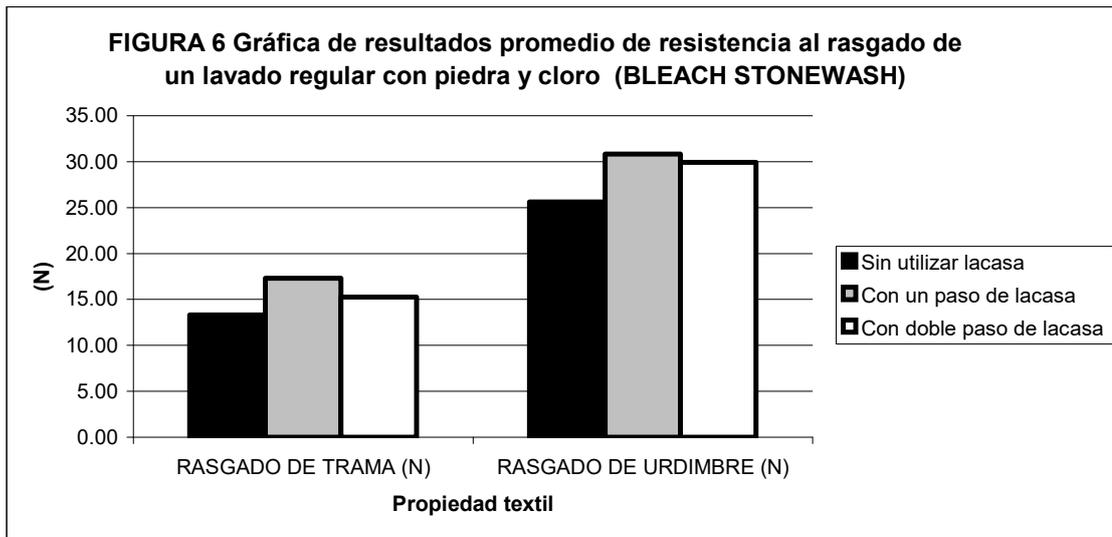
| | | | | | | | | |
|--------------------------|------------|---|-----------|----------------------|------------------|---|----------|------------|
| LAVANDERÍA: | | Desarrollo | | PESO POR UNIDAD (Kg) | | 0.8 | | |
| CLIENTE: | | | | PESO: | | | | 20 |
| LAVADO/EDP: | | | | UNIDADES | | | | 25 |
| COLOR: | | | | PROCESO: | | | | Bleach-Stw |
| TELA: | | | | OBSERVACIÓN | | | | |
| FECHA: | | | | LAVADORA: | | | | TUPESA |
| OPERACION | | Agua (lts) | Temp. ° C | Tiempo Min. | Cantidad (Gr-Ml) | % | QUÍMICOS | PH |
| DESENGOME | 140 lts | 60 ° | 15 min | 200 | 1 | LUB-ID WETKOR POMOCO 5962 30% POMOSCOUR CL 35 DESIZO 30 HP | 7.5 | |
| | | | | 160 | 0.8 | | | |
| | | | | 60 | 0.3 | | | |
| | | | | 70 | 0.35 | | | |
| | | | | 400 | 2 | | | |
| DESENGOME | 160 lts | 70 ° | 5 min | 200 | 1 | SODA CÁUSTICA PEROXIDO DE HIDROGENO | 11 | |
| | | | | 200 | 1 | | | |
| ENJUAGUE | 180 lts | 60 ° | 2 min | 0 | | ACIDO ACETICO | | |
| ENJUAGUE | 180 lts | 60 ° | 2 min | 130 | 0.65 | | | |
| ABRASIÓN | 100 lts | 60 ° | Z min. | 25000 | 125 | PIEDRA POMEZ LAVADA HIPOZYME EMB POMOCO 5962 30% POMOSCOUR CL 35 BUFFER 6.5 | 6.5 | |
| | | | | 100 | 0.5 | | | |
| | | | | 50 | 0.25 | | | |
| | | | | 80 | 0.4 | | | |
| | | | | 200 | 1 | | | |
| DESACTIVACIÓN | 160 lts | 60 ° | 5 min | 130 | 0.65 | HIPOCHEM ACU POMOCO 5962 30% POMOSCOUR CL 35 | | |
| | | | | 20 | 0.1 | | | |
| | | | | 30 | 0.15 | | | |
| RETIRAR PIEDRA | | | | 0 | | | | |
| ENJUAGUE | 160 lts | 50 ° | 2 min | 0 | | | | |
| REDUCCIÓN POR I VECES | 120 lts | 70 ° | 15 min | 200 | 1 | GRANZYME LXM ÁCIDO ACÉTICO | 4.5 | |
| | | | | 80 | 0.4 | | | |
| LAVADO | 160 lts | 25 ° | 5 min | 60 | 0.3 | HIPOCHEM ACU | 10 | |
| BLANQUEO | 160 lts | 60 ° | X min | 2000 | 10 | HIPOCLORITO DE SODIO SODA ASH | 10 | |
| | | | | 100 | 0.5 | | | |
| NEUTRALIZADO | 160 lts | 25 ° | 4 min | 240 | 1.2 | BISULFITO DE SODIO | 8 | |
| ENJUAGUE X 2 | 180 lts | 60 ° | 2 min | 0 | | | | |
| TINTE | 120 lts | 60 ° | 3 min | 4.8 | 0.024 | DIRTY STONE BE4 | 7 | |
| SUAIVIZADO | MISMO BAÑO | 60 ° | 5 min | 160 | 0.8 | VIRCO SOFT OPS 1 | 7 | |
| EXTRACTADO | | | 5 min | | | | | |
| SECADO | | 75 ° | 50 min | | | | | |
| DONDE : | Z | Es igual a 75 minutos para proceso tradicional y 45 minutos para implementación de lacasa | | | | | | |
| EN EL BLANQUEO | X | Es igual a 15 minutos para proceso tradicional y 10 minutos para implementación de lacasa | | | | | | |
| REDUCCIÓN POR | I | Es igual a 0 para proceso tradicional (no lleva el paso) y para la investigación es 1 y 2 | | | | | | |

4. RESULTADOS

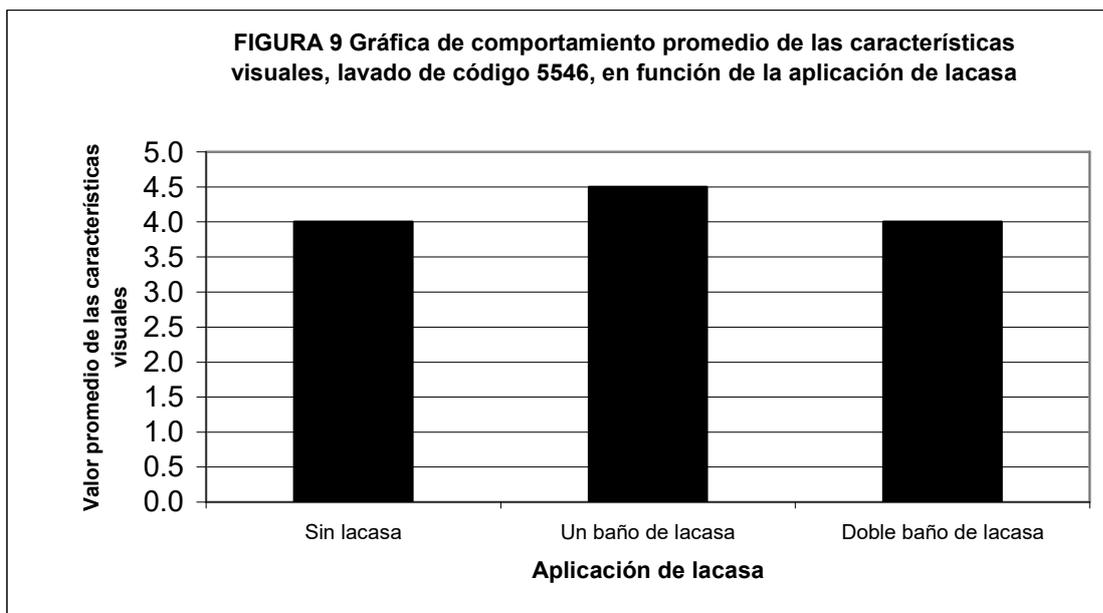
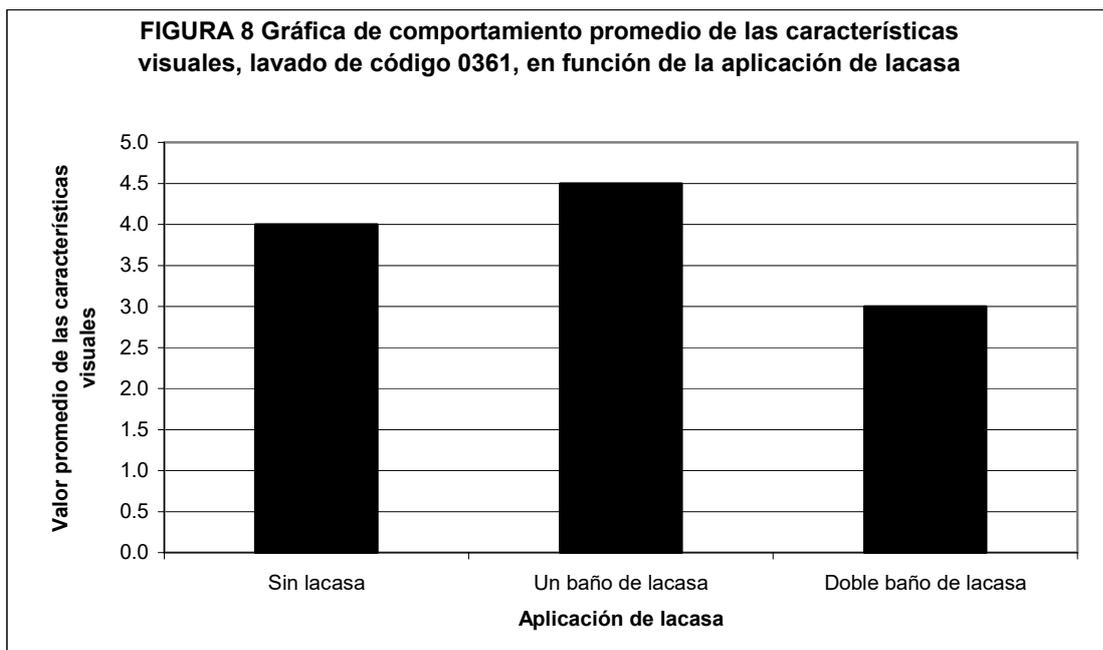
Se presentan a continuación los resultados promedio de los análisis físicos de resistencia, para un lavado regular con piedra (*Medium-stonewash código-0361*).



Se presentan a continuación los resultados promedio de los análisis físicos de resistencia, para un lavado regular con piedra y cloro (*bleach-stonewash* código- 5546).



Se presentan a continuación las gráficas de comportamiento promedio de las características visual, para un lavado regular con piedra (*medium-stonewash código 0361*) y un lavado regular con piedra y cloro (*bleach-stonewash código 5546*), en función de la aplicación de lacasa.



Se presentan a continuación las gráficas de comparación del porcentaje de pérdida de resistencia al rasgado y pérdida de resistencia a la tensión, para un lavado regular con piedra (*medium-stonewash código 0361*) y un lavado regular con piedra y cloro (*bleach-stonewash código 5546*), en función de la aplicación de lacasa

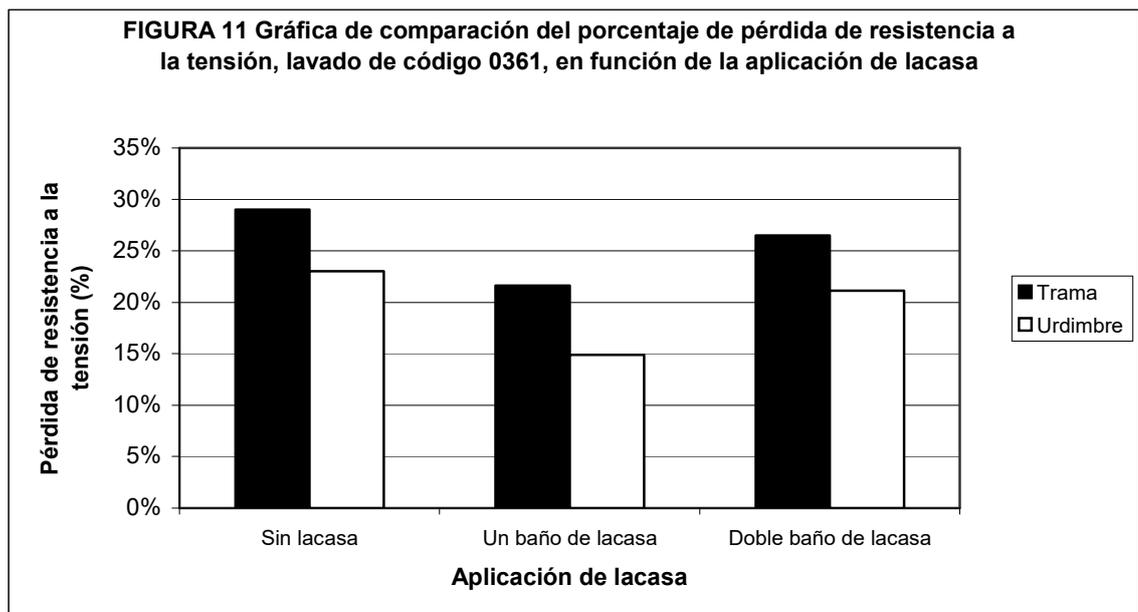
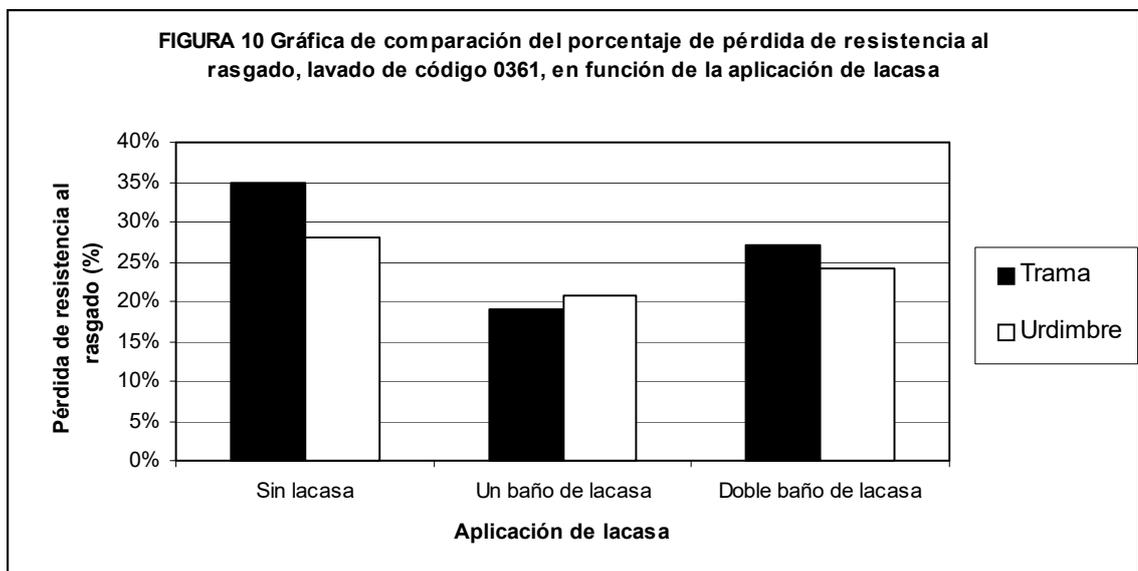


FIGURA 12 Gráfica de comparación del porcentaje de pérdida de resistencia al rasgado, lavado de código 5546, en función de la aplicación de lacasa

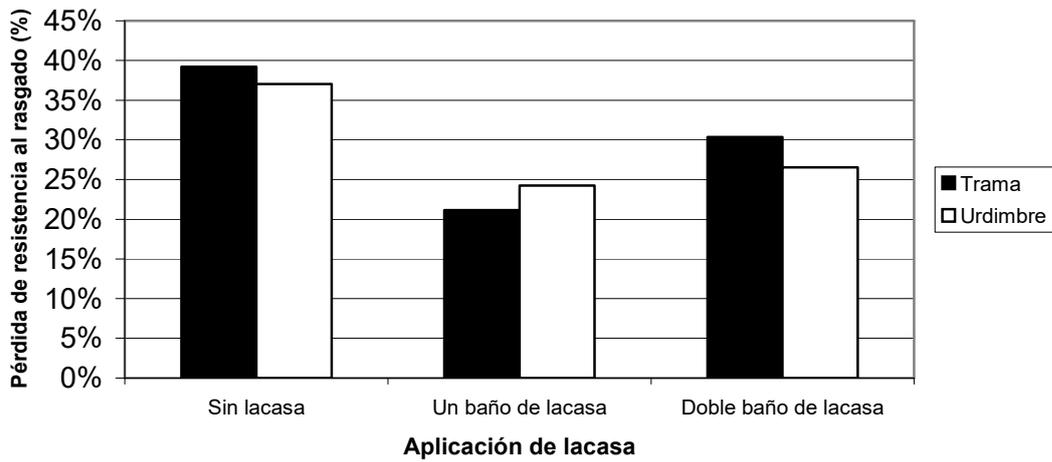


FIGURA 13 Gráfica de comparación del porcentaje de pérdida de resistencia a la tensión, lavado de código 5546, en función de la aplicación de lacasa

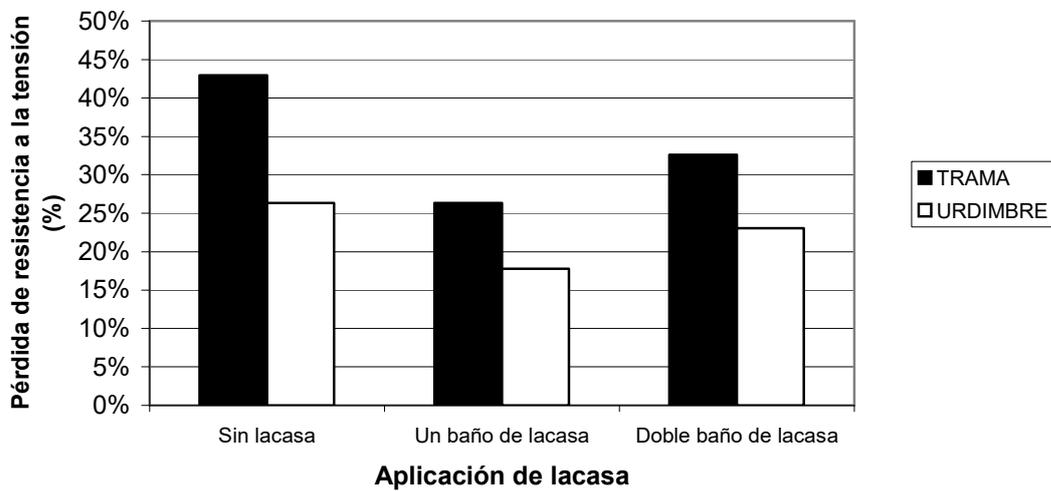


FIGURA 14 Gráfica de resultados de costo de proceso por kilogramo de prenda lavada, para un lavado regular con piedra (MEDIUM STONEWASH)

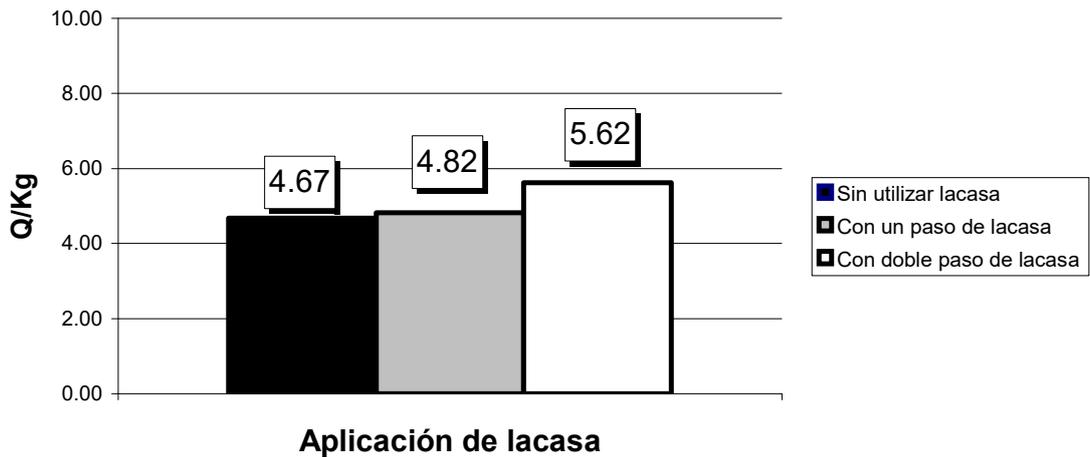
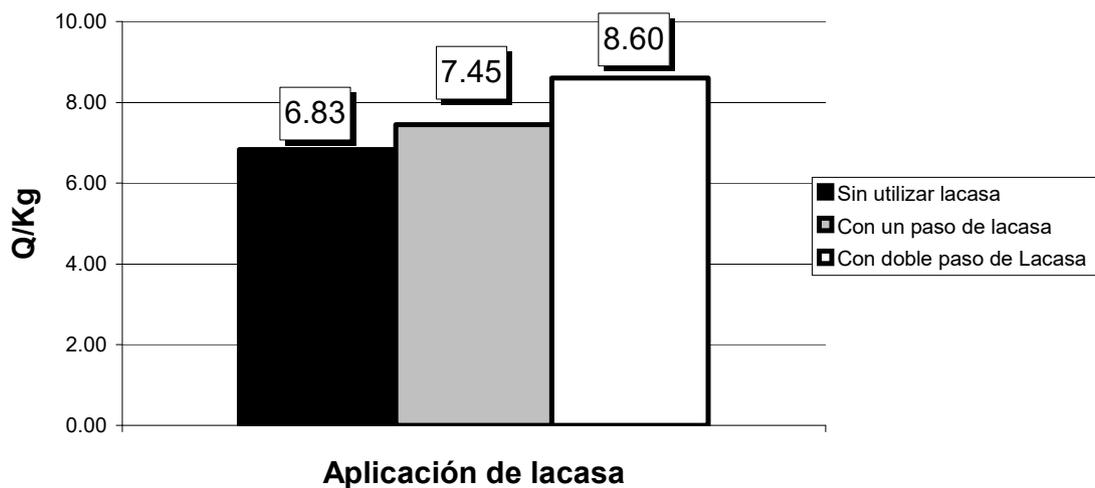


FIGURA 15 Gráfica de resultados de costo de proceso por kilogramo de prenda lavada, para un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH STONEWASH)



5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación se presentan en representaciones esquemáticas en las gráficas No.1 a 12. La enzima lacasa, evaluada, se trabajó en sus condiciones óptimas de desempeño, es decir, pH de 4.5, temperatura de 70° C y relación de baño 1:6, respecto a peso de prenda; en el caso del **medium-stonewash** (lavado regular con piedra) a una concentración del 0.4% y para el **bleach-stonewash** (lavado regular con piedra y cloro) el 1% con un tiempo de 15 minutos, en ambos casos, y con aplicaciones de uno solo y de doble paso de lacasa. Por a parte, se realizó el proceso tradicional de lavado de pantalones de lona, en el cual no se utiliza la lacasa, lo que constituyó un patrón de referencia de evaluación visual y de parámetros físicos textiles, para estudiar el efecto del uso de la lacasa.

Los aspectos más importantes que se van a evaluar en un pantalón de lona son su apariencia visual y sus propiedades físicas de resistencia. La evaluación de apariencia visual puede ser de orden subjetivo, aunque una vez establecido un estándar, la evaluación se hace objetiva, y con la ayuda de la escala de grises, se establece un método sistemático fundamental para obtener conclusiones; de las propiedades físicas de resistencia, se evaluó la resistencia a la tensión y el rasgado, que pueden representar la durabilidad de un pantalón.

En este orden, en las figuras 4 y 5, se exponen los resultados de las propiedades físicas de resistencia al rasgado y a la tensión para la trama y urdimbre, en un proceso de lavado regular con piedra, medium-stonewash, y en las figuras 10 y 11, se observa que el efecto de la enzima lacasa con un paso de aplicación es positivo, en cuanto a ocasionar menos daño a la fibra, que se denota por su menor porcentaje de pérdida de resistencia, respecto a un doble

paso de aplicación y más aún sobre el proceso tradicional que no utiliza lacasa. asimismo, en las figuras 6 y 7, se exponen los resultados de las propiedades físicas de resistencia al rasgado y a la tensión para la trama y urdimbre, en un proceso de lavado regular con piedra y cloro, stone-bleach, y en las figuras 12 y 13, se observa que el efecto de la enzima lacasa, con un paso de aplicación, es satisfactorio en cuanto a provocar menos daño a la fibra, que es denotado por su menor porcentaje de pérdida de resistencia, respecto a un doble paso de aplicación, y más aún sobre el proceso tradicional que no utiliza lacasa. Comparando ambos procesos, se observa que para el medium-stonewash y el stone-bleach, se obtiene para el primero una mejora promedio en los parámetros de resistencia del 10%, mientras que para el segundo el 17%, respecto a los procesos tradicionales que no utilizan lacasa.

La mejora en los parámetros de resistencia en el medium-stonewash responden a la reducción del ciclo de abrasión mecánico-enzimática, que ataca directamente la fibra de algodón debilitando la misma, mientras que al introducir la aplicación de lacasa se consigue el mismo efecto de apariencia (contraste), con la diferencia de que la lacasa y su mediador realizan un ataque a la molécula del colorante índigo, limpian la prenda y hacen que el efecto visual de contraste o abrasión sea el mismo, sin provocar daño alguno a la fibra del algodón. El incremento en parámetros para el bleach-stonewash se hace aún más palpable, ya que aparte del ataque de abrasión mecánico-enzimática a la fibra de algodón, ésta recibe el ataque del cloro que, además de actuar sobre la molécula de índigo, oxida parte de la molécula de la celulosa del algodón y debilita más aún, por lo que al aplicar el uso de la lacasa a una mayor concentración; respecto al proceso médium-stonewash, se logra no sólo el efecto de abrasión, sino al mismo tiempo la reducción de color, que ocasionando una disminución, no sólo en el ciclo de abrasión, sino en el paso de blanqueo a través de cloro.

Las pruebas de resistencia, tanto a la tensión como al rasgado para el hilo de urdimbre, son más altos que para el hilo de trama en el tejido, ya que el hilo de urdimbre posee el recubrimiento del colorante índigo, que los hilos de trama, que no lo poseen, lo que los hace estar más expuestos al ataque enzimático de la celulasa en el paso de abrasión.

Por otro lado, los resultados de la evaluación de apariencia visual como tonalidad, cast y nivel de abrasión, se encuentran de forma promedio en las figuras 8 y 9, respectivamente, para el médium-stonewash y el bleach-stonewash. Esta evaluación se hizo por medio del método de la escala de grises (Apéndice A.3), aplicado en una caja de luces, para el médium-stonewash, donde se comparan los productos obtenidos con la aplicación de lacasa en uno solo, doble paso, y sin lacasa, contra una prenda estándar establecida de código 0361 en una tela de 12 onzas por yarda cuadrada (0.408kg/m²) 98% algodón y 2% stretch de una textilera tradicional. De esta forma, en las evaluaciones realizadas, partiendo de que si la lectura promedio en la escala es mayor que 3.5 es aceptable, para el medium-stonewash, sobre los productos obtenidos, se observa que el proceso tradicional sin lacasa tiene una apariencia aceptable, con una calificación promedio de 4 sobre 5 y que, para el proceso que incluye la aplicación de un paso de lacasa, se obtiene la mejor apariencia con una calificación de 4.5 sobre 5, la cual mejora por las características especiales de efecto gris que da la lacasa y permite una mejora general de cast, abrasión y tonalidad y que, para el caso de doble aplicación de lacasa, se hace excesivo al incrementar la abrasión (contraste) y amarillentar el cast, con lo que se obtiene una apariencia visual no deseada con una calificación de 3. De la misma forma, se realizó la evaluación en la escala de grises para el bleach-stonewash comparando los productos obtenidos con la aplicación de uno solo, doble paso y sin lacasa, contra una prenda estándar

establecida de código 5546, en una tela de 12 onzas por yarda cuadrada (0.408 kg/m²) 98% algodón y 2% stretch de una textilera tradicional. Se hace de tal forma que, bajo los parámetros de calificación en la escala de grises, los tres procesos se encuentran aceptados visualmente, aunque el que tiene la mejor apariencia visual es el de un paso de aplicación de lacasa con 4.5 de 5, que al igual que en el médium-stonewash, por las características de efecto gris que ocasiona la lacasa; mientras que el proceso tradicional tiene 4 y el de doble paso de lacasa, igualmente, aunque el promedio es el mismo; se podría en este caso hablar de dos cosas diferentes, es decir, que en este caso se obtuvo un mejor cast en el segundo, pero una mejor tonalidad en el primero; en otras palabras, en función de lo que un cliente priorice, ya sea la tonalidad o el cast, se podría decir cuál está mejor.

Cabe hacer mención que se observó una apariencia general más limpia (hilo de trama parte interna del pantalón, material de bolsas delanteras y algunas etiquetas internas), en los procesos que utilizaron la enzima lacasa, esto nuevamente como efecto de que dicha enzima trabaja sobre el índigo, con la cual se remueven los residuos del mismo en las áreas señaladas.

Se realizó un análisis económico de los procesos, para poder evaluar la viabilidad de la aplicación de la enzima lacasa; los datos fueron calculados según el apéndice D y se exponen en las gráficas No. 11 y 12. El análisis involucró el ciclo del proceso, la cantidad de agua y los químicos utilizados; de estos últimos, la diferencia era el costo de la lacasa utilizada. De los resultados obtenidos, en el caso del medium-stonewash, para la aplicación de un paso de lacasa, se obtuvo un incremento en el costo del 3%, lo que significa Q0.15/Kg de prenda lavada y, para la aplicación de dos pasos, un incremento del 20%; para el caso del bleach-stonewash, el incremento en el costo fue del 9%, lo que significa Q0.61/Kg de prenda lavada, para la aplicación de un paso de lacasa y

del 23% para dos pasos. Estos incrementos se hacen relativamente poco perceptibles, en relación con ocasionar o declarar prendas de segunda calidad por parámetros físicos textiles bajos, ya que una vez se hace esta declaración, la lavandería debe de asumir la responsabilidad con algunos clientes de aceptar un descuento del 50% del precio total de los pantalones y, en otros casos, los clientes no compran las segundas; lo anterior hace que la balanza de la evaluación costo-beneficio se incline por evitar costos de la no calidad en el proceso, y se opta por realizar procesos más seguros de producción.

Con los datos obtenidos, se tienen nuevas herramientas para realizar el proceso de lavado industrial de pantalones de lona en condiciones óptimas, que permitan utilizar la biotecnología, para el mejoramiento de la calidad del producto, tomando en consideración los costos de operación y los costos de la no calidad. La implementación de un paso de lacasa, en procesos de lavados regulares con piedra (medium-stonewash) y piedra y cloro (stone-bleach), la convierten en la mejor opción, ya que presentó los mejores resultados, en cuanto a apariencia visual y parámetros de resistencia física, aunque con un incremento en el costo de operación, respecto al proceso tradicional que aun así, por ser un proceso más seguro, permite considerar el uso de la lacasa como una nueva alternativa en los procesos de lavado industrial de pantalones de lona.

CONCLUSIONES

- 1.- El proceso que utiliza lacasa, en un solo paso o en doble paso, tuvo un efecto positivo en el mejoramiento de los parámetros físicos de calidad en resistencia, para los procesos de un **medium-stonewash y bleach-stonewash**, que fue evaluado en prendas en relación con el proceso convencional (sin el uso de lacasa).
- 2.- La implementación de un solo paso de lacasa es la mejor opción para procesos de lavado industrial de jeans, con códigos de producto 0361 y 5546, en una tela tradicional 98% algodón 2% stretch de 0.408 kg/m².
- 3.- El uso de un paso de lacasa en el proceso de lavado de jeans, con código de producto 0361, en una tela tradicional 98% algodón 2% stretch de 0.408 kg/m², reduce el ciclo del paso de abrasión, en un 40%, alcanza la apariencia de calidad visual requerida y mejora los parámetros de resistencia en un 10%.
- 4.- En el lavado de jeans, con código de producto 0361, se determinó un incremento en el costo por kilogramo de prenda lavada, para la aplicación de un paso de lacasa del 3% y para un doble paso de lacasa del 20%, respecto a el proceso tradicional (sin lacasa).
- 5.- El uso de un paso de lacasa en el proceso de lavado de jeans, con código de producto 5546, en una tela tradicional 98% algodón 2% stretch de 0.408 kg/m², reduce el ciclo de abrasión en un 40% y el de

blanqueo, en un 25%; alcanza la apariencia de calidad visual requerida y mejora los parámetros de resistencia en un 17%.

- 6.- En el lavado de jeans, con código de producto 5546, se determinó un incremento en el costo por kilogramo de prenda lavada, para la aplicación de un paso de lacasa del 9% y para un doble paso de lacasa del 24%, respecto a el proceso tradicional (sin lacasa).
- 7.- El uso de lacasa produce un efecto de limpieza general en la prenda y colabora con la limpieza de etiquetas, bolsas interiores e hilo de trama interno.
- 8.- Lacasa produce un efecto característico de color gris en el cast de los pantalones de lona.
- 9.- El uso de lacasa en los procesos de lavado industrial de pantalones de lona los convierte en procesos más seguros, y así evita costos de la no calidad.

RECOMENDACIONES

- 1.- Se debe utilizar lacasa dosificada en un solo paso, en los procesos de lavado industrial de pantalones de lona, como una opción para mejorar los parámetros físicos de resistencia.
- 2.- Es conveniente realizar un estudio a detalle de los costos ocultos, porque no se cumple con los parámetros de calidad requerida, en un proceso de lavado industrial de pantalones de lona.
- 3.- Hay que utilizar lacasa en los procesos de lavado industrial de pantalones de lona, que requieran en apariencia un gris.
- 4.- Se debe estudiar y evaluar el uso de cofactores o aceleradores enzimáticos para la lacasa. Si los cofactores aumentan la actividad enzimática, se pueden reducir los tiempos de proceso y disminuir la cantidad de enzima empleada, para disminuir el costo de la aplicación de la lacasa, en los procesos de lavado industrial de pantalones de lona.
- 5.- Es necesario reallizar estudios que conjuguen la aplicación de lacasa, en función de la técnica de acabado, en el que sólo haya sido sometida la tela en su proceso de producción (sulfuro arriba, sulfuro abajo, número de dips, etc).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cone Mills. **A special educational suplement lesson 1: Fabric.** (USA: Denim Collegue 101, USA: Cone Mills 2004) pp. 2-11
2. C. Bauab y Asistencia Técnica, Vicunha Textiles. **Como utilizar los tejidos vicunha en su confección.** (Brasil: Vicunha Nordeste S.A., 2000) pp. 7-14
3. R. Méndez. Estudio comparativo en la aplicación de celulasas ácida y neutra, en el paso de abrasión en un proceso de lavado industrial a pantalones de mezclilla con piedra pómez. (tesis Ing. Químico. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999) pp. 3-14
4. C. Bauab y Asistencia Técnica, Vicunha Textiles. **Lavados índigos y brines** (Brasil: Vicunha Nordeste S.A., 2001) pp. 26-30
5. Montega. **Fundamentals of enzymes.** (Italy: www.montegauno.com/enzymes.html, 9/10/2002) pp. 1-5
6. H. Sejr Olsen. **Enzymes at work.** (Denmark: Novo Nordisk A/S, 2000) pp. 7-58
7. AATCC. **Value added innovations in garment wet processing technology** (Symposium, USA: AATCC, August 2001) pp. 23-31
8. G. Marsh & P. Trynka. **Denim.** (Singapore: CS Graphics, 2002) pp. 4-127
9. Cone Mills. **A special educational suplement lesson 3: Finish.** (Denim College 101, USA: Cone Mills, 2004) pp. 2-11
10. C.Boyce. **Novo's handbook of practical biotechnology.** (Segunda Edición, USA: Reinhold Publishing, 1986) pp. 284-293
11. Godfrey & Reichelt. **Industrial enzymology.** (USA: Stockton Press, 1983) pp. 280-284

BIBLIOGRAFÍA

1. AATCC. **Technical Manual**. (USA: AATCC, 1998), pp. 341-348.
2. A. Vides. La tintura con colorantes reactivos sobre fibras celulosicas por el método de agotamiento de baño. (tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1980), pp. 1-32.
3. Perry & Chilton. **Manual del Ingeniero Químico**. (Tercera Edición, México: Editorial McGraw-Hill, 1990) pp. 27-3 – 27-5.
4. W. Weaver. **Analytical Methods for a Textile Laboratory**. (Tercera Edición, USA: AATCC, 1984), pp. 36-41.

APÉNDICE

APÉNDICE A. REGISTRO DE RESULTADOS FÍSICOS TEXTILES

TABLA III. Resultados de los análisis físicos de resistencia, sin utilizar enzima lacasa en el proceso para un lavado regular con piedra (MEDIUM STONEWASH)

| Prueba # | Rasgado de trama (N) | Rasgado de urdimbre (N) | Tensión de trama (N) | Tensión de urdimbre (N) |
|-----------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1 | 14.65 | 19.54 | 279.72 | 532.80 |
| 2 | 15.14 | 34.19 | 284.16 | 510.60 |
| 3 | 13.68 | 29.30 | 261.96 | 510.60 |
| 4 | 13.68 | 31.26 | 270.84 | 532.80 |
| 5 | 13.76 | 32.23 | 266.40 | 532.80 |
| 6 | 14.65 | 29.30 | 257.52 | 501.72 |
| Promedio | 14.26 | 29.30 | 270.10 | 520.22 |

Condiciones de temperatura y humedad controladas (70°F/21.11°C, 65%)

(N) = Newton = Kg.m/s²

FUENTE: LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS TEXTILES DE Koramsa

TABLA IV. Resultados de los análisis físicos de resistencia, con un paso de enzima lacasa en el proceso para un lavado regular con piedra (MEDIUM STONEWASH)

| Prueba # | Rasgado de trama (N) | Rasgado de urdimbre (N) | Tensión de trama (N) | Tensión de urdimbre (N) |
|-----------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 7 | 16.61 | 29.84 | 315.24 | 541.68 |
| 8 | 19.54 | 32.23 | 297.48 | 577.20 |
| 9 | 16.96 | 31.88 | 301.92 | 568.32 |
| 10 | 17.45 | 31.26 | 266.40 | 599.40 |
| 11 | 17.63 | 33.83 | 306.36 | 577.20 |
| 12 | 18.56 | 34.19 | 301.92 | 586.06 |
| Promedio | 17.79 | 32.20 | 298.22 | 574.98 |

Condiciones de temperatura y humedad controladas (70°F/21.11°C, 65%)

(N) = Newton = Kg.m/s²

FUENTE: LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS TEXTILES DE Koramsa

TABLA V. Resultados de los análisis físicos de resistencia, con doble paso de enzima lacasa en el proceso para un lavado regular con piedra (MEDIUM STONEWASH)

| Prueba # | Rasgado de trama (N) | Rasgado de urdimbre (N) | Tensión de trama (N) | Tensión de urdimbre (N) |
|-----------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 13 | 15.63 | 31.26 | 270.84 | 568.32 |
| 14 | 16.61 | 31.08 | 293.04 | 541.68 |
| 15 | 15.63 | 31.26 | 279.72 | 528.36 |
| 16 | 15.98 | 30.28 | 253.08 | 532.80 |
| 17 | 15.63 | 30.19 | 301.92 | 501.72 |
| 18 | 16.61 | 31.26 | 279.72 | 523.92 |
| Promedio | 16.01 | 30.89 | 279.72 | 532.80 |

Condiciones de temperatura y humedad controladas (70°F/21.11°C, 65%)

(N) = Newton = Kg.m/s²

FUENTE: LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS TEXTILES DE Koramsa

TABLA VI. Resultados de los análisis físicos de resistencia, sin utilizar enzima lacasa en el proceso para un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH-STONEWASH)

| Prueba # | Rasgado de trama (N) | Rasgado de urdimbre (N) | Tensión de trama (N) | Tensión de urdimbre (N) |
|-----------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 19 | 15.14 | 25.40 | 204.24 | 470.64 |
| 20 | 13.14 | 24.42 | 230.88 | 475.08 |
| 21 | 14.65 | 28.82 | 217.56 | 497.28 |
| 22 | 11.72 | 22.47 | 213.12 | 510.60 |
| 23 | 12.70 | 26.37 | 222.00 | 519.48 |
| 24 | 12.61 | 26.37 | 213.12 | 510.60 |
| Promedio | 13.33 | 25.64 | 216.82 | 497.28 |

Condiciones de temperatura y humedad controladas (70°F/21.11°C, 65%)

(N) = Newton = Kg.m/s²

FUENTE: LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS TEXTILES DE Koramsa

TABLA VII. Resultados de los análisis físicos de resistencia, con un paso de enzima lacasa en el proceso para un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH-STONEWASH)

| Prueba # | Rasgado de trama (N) | Rasgado de urdimbre (N) | Tensión de trama (N) | Tensión de urdimbre (N) |
|-----------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 25 | 17.40 | 30.06 | 261.96 | 559.44 |
| 26 | 17.32 | 30.55 | 284.16 | 563.88 |
| 27 | 17.18 | 31.04 | 270.84 | 550.56 |
| 28 | 17.54 | 31.08 | 301.92 | 541.68 |
| 29 | 17.27 | 31.30 | 288.60 | 555.00 |
| 30 | 17.09 | 30.99 | 275.28 | 559.44 |
| Promedio | 17.30 | 30.84 | 280.46 | 555.00 |

Condiciones de temperatura y humedad controladas (70°F/21.11°C, 65%)

(N) = Newton = Kg.m/s²

FUENTE: LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS TEXTILES DE Koramsa

TABLA VIII. Resultados de los análisis físicos de resistencia, con doble paso de enzima lacasa en el proceso para un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH-STONEWASH)

| Prueba # | Rasgado de trama (N) | Rasgado de urdimbre (N) | Tensión de trama (N) | Tensión de urdimbre (N) |
|-----------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 31 | 15.45 | 29.79 | 230.88 | 550.56 |
| 32 | 16.21 | 28.86 | 253.08 | 541.68 |
| 33 | 15.98 | 28.33 | 239.76 | 537.24 |
| 34 | 14.21 | 30.72 | 284.16 | 523.92 |
| 35 | 15.01 | 31.12 | 266.40 | 497.28 |
| 36 | 14.74 | 30.64 | 261.96 | 466.20 |
| Promedio | 15.27 | 29.91 | 256.04 | 519.48 |

Condiciones de temperatura y humedad controladas (70°F/21.11°C, 65%)

(N) = Newton = Kg.m/s²

FUENTE: LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS TEXTILES DE Koramsa

TABLA IX. Resultados de apariencia visual respecto a estandar aprobado de código 0361, en un lavado regular con piedra (MEDIUM-STONEWASH)

| PROCESO | TONALIDAD | CAST | ABRASIÓN | PROMEDIO |
|-------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| SIN LACASA | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| UN PASO LACASA | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 |
| DOBLE PASO LACASA | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |

TABLA X. Resultados de apariencia visual respecto a estandar aprobado de código 5546, en un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH-STONEWASH)

| PROCESO | TONALIDAD | CAST | ABRASIÓN | PROMEDIO |
|-------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| SIN LACASA | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| UN PASO LACASA | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 |
| DOBLE PASO LACASA | 4.5 | 3.5 | 4.0 | 4.0 |

APÉNDICE B. METODOS DE EVALUACIÓN DE PRUEBAS FÍSICAS TEXTILES

APÉNDICE B.1. RESISTENCIA AL RASGADO

1. Alcance

- Este método cubre un procedimiento para la determinación del promedio de la fuerza requerida, para ocasionar un rasgado sencillo, tipo lengüeta, que empieza desde un corte en el tejido de la tela, por medio de un péndulo que baja (Elmendorf).

2. Aparatos

- Tipo de péndulo que baja (Elmendorf)
- Pesos de calibración.
- Moldes de corte y tijeras.
- Regulador de presión de aire, capaz de controlar entradas de 60 psi o 90 psi (410 kpa y 620 kpa), para mordazas neumáticas.

3. Preparación del especimen

- Cortar 3 especímenes en cada dirección, usando la plantilla de dimensiones requeridas y una cuchilla.
- Colocar el corte de urdimbre con la orientación del lado más corto del especimen a los hilos de trama, de manera que sean aquéllos los rasgados y no éstos.

- La dimensión crítica de la prueba del especimen es la distancia $43 \pm 0.15\text{mm.}$, el cual será rasgado durante la prueba.

4. Preparación del aparato

- Seleccionar la capacidad, de manera que los especimenes se rasquen entre 40% al 80% de la escala del valor.
- Examinar la orilla del cuchillo para filo, centrar alineamiento y usar, como es dirigido en los procedimientos de calibración.
- Para las mordazas neumáticas se coloca la presión del regulador de aire entre 60 a 80 psi. (410kpa a 550kpa).

5. Procedimientos

- Acondicionar todos los especímenes por un periodo apropiado, en función de los contenidos de la fibra en las muestras.
- Subir el péndulo a la posición inicial y colocar el apuntador contra su propia parada (cuando se esté operando sin un sistema de grabado digital).
- Sujetar el especimen acondicionado y asegurarlo en las mordazas, de tal forma que esté bien centrado en la orilla inferior, cuidadosamente colocada contra las paredes, de manera que la orilla superior esté paralela a las mimas y observar que el ancho del hilo esté exactamente perpendicular a las mordazas.
- Si los especímenes son cortados con patrón y con Tijeras, empujar la palanca de la cuchilla, se produce un corte de $20 \pm 0.15\text{mm.}$ y se extiende hacia arriba de la orilla inferior y deja un balance en la tela de $43.0 \pm 0.15\text{mm.}$, donde debe permanecer el rasgado.

- Oprímase el botón liberador del péndulo hasta donde llegue, luego se suelta y así en el balance de regreso se sujeta con la mano, sin perturbar la posición del indicador.
- Leer la escala, en donde la aguja indicadora esté lo más cerca a la siguiente división.
- Las lecturas se pueden rechazar cuando el espécimen se resbala, en las mordazas o donde el rasgado se desvía más de 6mm., lejos de la proyección del corte original.

6. Reporte

Reportar el promedio de la fuerza en gramos (o en libras fuerza), que son necesarios para rasgar el espécimen en cada dirección.

7. Referencia

Libro anual de estándares de la ASTM, Standard test method for tearing strength of textile fabrics by falling-pendulum type (Elmendorf) D1424-96 Vol 07.02, Pág. 373.

APÉNDICE B.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN

1. Alcance

Para determinar la fuerza eficaz de la tela en uso, que es la fuerza de los hilos en un ancho específico, junto con la fuerza adicional contribuida por hilos adyacentes.

2. Aparato

- CRE Modelo de Mesa Instron 4411, basado en el puesto de control microprocesado (Dinamómetro Instron Modelo 1130 o Similar), con velocidad de cruce de cabeza de 12 +/- 0.5 plg/min. (305 +/- 10 mm/min).
- CRT Modelo Scott J con velocidad de cruce de cabeza de 12 + 0.5 plg/min. (305 + 10 mm/min).

Ambos aparatos están con A-420 sujetadores neumáticos con 3" x 1" (76.2mm x 25.4mm) mordaza de metal en trasera y 1" x 1" (25.4mm x 25.4mm), mordaza de caucho en la delantera. Otra combinación de 1" (25.4mm), al ancho de las mordazas de caucho, puede utilizarse, que permite un desprendimiento mínimo (disminuir resbalamiento) del espécimen.

1. Preparación del espécimen

Tres especímenes son preparados para la dirección completa y torcida (trama y urdimbre). Se corta cada espécimen de 100mm + 1mm (4" +/- 0.05") de ancho y por lo menos 150 mm (6") de largo, con la dimensión paralela larga a la dirección, por la cual la carga es requerida. Dibujar una línea 37mm +/-

1mm (1.5"±0.02") desde la orilla de especimen, paralelo a la dirección de la prueba usada para centrar el especimen en los sujetadores. No hay que cortar dos especímenes paralelos; no debe de cortarse a la orilla ni deben contener el mismo grupo de hilos en urdimbre y trama. Las muestras deben de tomarse, por lo menos, a un décimo del ancho de la tela. En lugar de cortar tres especímenes simples, en cada dirección, un especimen continuo de 300 mm (12") de un mínimo de 150 mm (6"), en cada dirección, puede ser cortado.

4. Procedimiento

- Se deben de acondicionar todos los especímenes de prueba, por un periodo apropiado, en función los contenidos de la fibra de la muestra.
- Preparar los aparatos. Verificar el punto cero de la escala, antes de cada serie de prueba. Verificar la distancia entre los sujetadores en el inicio del set de prueba en $76 + 1\text{mm}$ ($3 \pm .005$). Para el usuario de Instron 4411 o un modelo similar, hay que seguir las instrucciones en el manual.
- Seleccionar un rango de carga de la máquina de prueba, de manera que el quiebre ocurra entre 10% y 90% de la escala completa de carga.
- Insertar el especimen de prueba en las mordazas, de manera que la línea dibujada en la muestra esté paralela con la dirección de la prueba, que está adyacente al costado de la mandíbula superior e inferior.
- Operar la máquina y leer la carga de ruptura. Si el especimen se resbala, se rompe, o si el resultado está notablemente debajo del promedio, para el set de especímenes, se desecha el resultado y se toma otro especimen.
- El criterio para una ruptura en la mordaza es algún quiebre ocurrido dentro de 5 mm (0.25) de la mandíbula, la cual resulta en un valor debajo del 50% del promedio de todos los otros quiebres.

5. Reporte

Reportar el promedio de los tres especímenes, en cada dirección (trama y urdimbre), y redondear a la unidad de libra más cercana.

6. Referencia

Libro anual de estándares de la ASTM, Standard test method for breaking strength and elongation of textile fabrics (Grab test) D5034-95 Vol 07.02, Pág. 674

APÉNDICE B.3. ESCALA DE GRISES

1. Alcance

Este procedimiento de evaluación de apariencia provee resultados más objetivos, ya que la apariencia general de una prenda puede ser en algún momento un parámetro subjetivo; describe el uso de la escala de grises para evaluar abrasiones, tonalidades, cast y redepositación, respecto a un patrón establecido.

2. Principio

Una especificación colorimétrica precisa de las diferencias entre la referencia y la escala del noveno paso; la escala de grises es dada como récord permanente para poder comparar la nueva escala que se crea análogamente entre un patrón y los resultados obtenidos en las prendas en evaluación. La escala de grises consta de pequeños pares de estándares grises y representa diferencias progresivas en intensidad de color o contraste, correspondiente a un grado numérico de diferencia de color.

3. Descripción de la escala

Los grados de coloración en la escala y sus tolerancias correspondientes de diferencias de color son determinados por CIE 1976 L*a*b (CIELAB). Los valores estimulantes X y Z se definen para el color estimulante del objeto de color blanco nominalmente, así como sus tolerancias permisibles. Las lecturas

de color que utiliza un espectrofotómetro e integra datos utilizando el centro en un cubo, arrojan los datos que se muestran en la siguiente tabla.

| Grado colorimétrico | Unidades CIELAB de diferencia | Tolerancia de unidades CIELAB +/- |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 5 | 0 | 0.2 |
| 4-5 | 0.8 | 0.2 |
| 4 | 1.7 | 0.3 |
| 3-4 | 2.5 | 0.3 |
| 3 | 3.4 | 0.4 |
| 2-3 | 4.8 | 0.5 |
| 2 | 6.8 | 0.6 |
| 1-2 | 9.6 | 0.7 |
| 1 | 13.6 | 1.0 |

Refiriéndose al grado 5 en la escala por dos astillas de referencia de color gris neutro montada, una a la par de la otra, teniendo un valor de 12 +/- 1 TRT. La diferencia de color es 0.0 + 0.2, es decir, la diferencia en intensidad mínima y, conforme el grado decrece, la diferencia en intensidad aumenta, con un incremento constante y acumulativo entre grados.

4. Uso de la escala

El área de evaluación debe de ser la caja gris de evaluación apariencia y se utiliza la luz correspondiente, según el parámetro específico en ponderación (contraste o abrasión, tonalidad y cast).

Para proceder a utilizar la escala, coloque la pieza original y su prueba correspondiente, lado con lado en el mismo plano, orientado en la misma dirección.

Coloque la escala gris a lo largo de las esquinas del test y la muestra con las uniones alineadas a la escala; ponga la plantilla gris provista en la escala sobre las muestras y la escala, para eliminar cualquier influencia de las áreas alrededor; de la misma manera, se sugiere el uso de un material blanco para obtener un trístimulo.

APÉNDICE C. REGISTRO DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ECONÓMICO

TABLA XI.

Resultados de costo de proceso por kilogramo de prenda lavada en un lavado regular con piedra (MEDIUM STONEWASH), código 0361

| PROCESO | CICLO PROCESO (MIN) | CONSUMO DE AGUA (LTS) | Q/Kg |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|
| SIN LACASA | 115 | 1500 | 4.67 |
| UN PASO LACASA | 100 | 1620 | 4.82 |
| DOBLE PASO LACASA | 115 | 1740 | 5.62 |

TABLA XII.

Resultados de costo de proceso por kilogramo de prenda lavada en un lavado regular con piedra y cloro (BLEACH-STONEWASH), código 5546

| PROCESO | CICLO PROCESO (MIN) | CONSUMO DE AGUA (LTS) | Q/Kg |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|
| SIN LACASA | 137 | 2040 | 6.83 |
| UN PASO LACASA | 117 | 2160 | 7.45 |
| DOBLE PASO LACASA | 122 | 2280 | 8.60 |

APÉNDICE D. MUESTRA DE CALCULO DE ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo de fabricación o del proceso de lavado industrial está determinado por los siguientes factores:

- Costo de fabricación = Costo primo + Gastos de fabricación
- Costo primo
- Material directo (productos químicos utilizados en la formulación del proceso)
- Mano de obra directa (operadores involucrados en el proceso)
- Gastos de fabricación

Son conocidos, como gastos indirectos, los siguientes:

- Energía eléctrica (consumida por la máquina lavadora y caldera)
- Combustible (para generación de vapor)
- Agua (utilizada en el proceso)
- Agua tratada
- Varios (depreciación, mantenimiento, desarrollo, reprocesos, renta etc.)

La implementación del uso de enzima lacasa da lugar a una diferencia en el costo de productos químicos, volumen de agua y ciclo de proceso, aunque el impacto se medirá respecto a kg de prenda lavada, para efectos de comparación. De esa forma, se puede manejar la siguiente información, usando de referencia la planta piloto, que tiene una relación aproximada de 1:8 – 1:12 (en lo que se refiere a tamaño de máquinas, insumos y varios), respecto a una planta de producción de tamaño regular.

Material directo (es la sumatoria del producto entre la cantidad de productos utilizados en cada paso del proceso, según los kilogramos de prenda y el costo de los mismos). Q / kg de prenda.

$MD = \Sigma (\% \text{ en peso, kg de químico/kg prenda} * \text{kg prenda} * \text{precio Q químico/kg de químico}) / \text{kg de prenda.}$

Mano de obra directa (es el producto de las horas hombre utilizadas, ciclo del proceso, por el costo por hora hombre de operación, equivalente a Q18.00, con pasivo laboral incluido, para lavar una carga determinada de kg de prenda). Q / kg de prenda.

$MOD = (\text{tiempo de proceso (t) Hr} * Q18.00 / \text{Hr}) / \text{kg de prenda}$

Electricidad (se tiene un consumo de 1.5Kw/Hr; esto es por el tiempo de operación a una tarifa de Q1.04 / Kw-Hr, para lavar una carga determinada de kg de prenda). Q / kg de prenda.

$EE = (\text{tiempo de proceso (t) Hr} * 1.5 \text{ Kw-Hr} / \text{Hr} * Q1.04 / \text{Kw-Hr}) / \text{kg de prenda}$

Combustible (se tiene un consumo de 0.271gal/Hr esto por el tiempo de operación a Q11.00/gal, para lavar una carga determinada de kg de prenda). Q / kg de prenda.

$$\text{COM} = (\text{tiempo de proceso (t) Hr} * 0.271 \text{ gal / Hr} * \text{Q11.00 / gal}) / \text{kg de prenda}$$

Agua limpia y tratada (se tiene un consumo dado para lavar una cantidad de Kg de prenda y se tiene un promedio ponderado Q0.0560/gal de agua utilizada y tratada, para lavar una carga determinada de kg de prenda). Q / kg de prenda.

$$\text{H2O} = (\text{volumen de agua gal} * \text{Q0.0560 /gal}) / \text{kg de prenda}$$

Varios (se tienen datos de gastos que se pueden denominar fijos, respecto al tiempo Q3.50/Hr, por el tiempo de operación, para lavar una carga determinada de kg de prenda). Q / kg de prenda.

$$\text{VAR} = (\text{tiempo de operación (t) Hr} * \text{Q3.50 / Hr}) / \text{kg de prenda.}$$

$$\text{Costo de proceso} = \text{MD} + \text{MOD} + \text{EE} + \text{COM} + \text{H2O} + \text{VAR}$$

Simplificando la ecuación, se tiene:

$$(\text{MD} + \text{H2O} + \text{tiempo de operación (t) Hr} * \text{Q26.04/Hr}) / \text{kg de prenda lavada}$$

APÉNDICE E.
FIGURA 16 ETAPAS GENERALES EN LA ELABORACIÓN DE TELA

Algodón limpio



Cardadura (*Carding*)



Hilado (*Spinning*)



Embobinado



Teñido inicio (*Rope dye*)



Teñido final (*Rope dye*)



Tejido (*Weaving*)



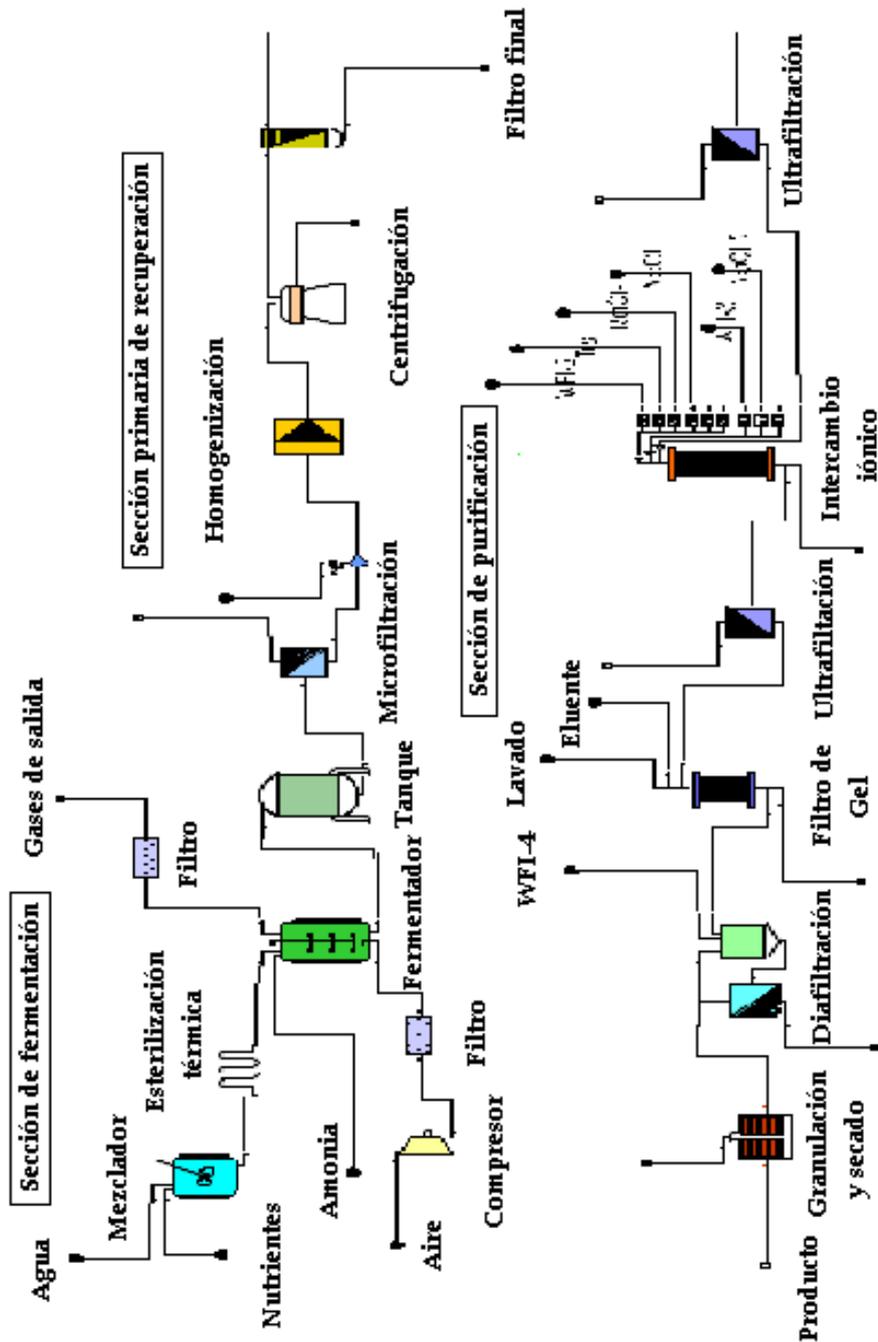
Rollo terminado



APÉNDICE F.

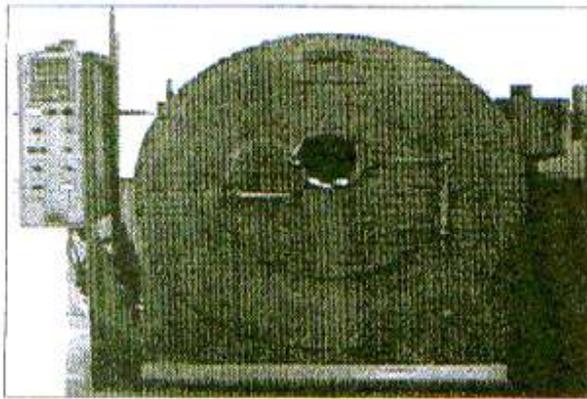
FIGURA 17 DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO PARA PRODUCCIÓN DE ENZIMAS

FLUJO DE PROCESO DE PRODUCCION INDUSTRIAL DE ENZIMAS

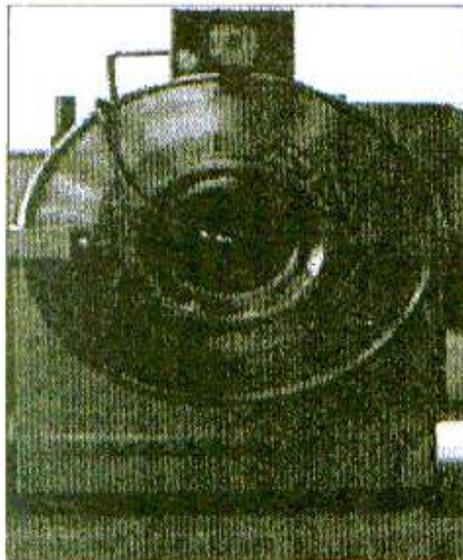


APÉNDICE G.

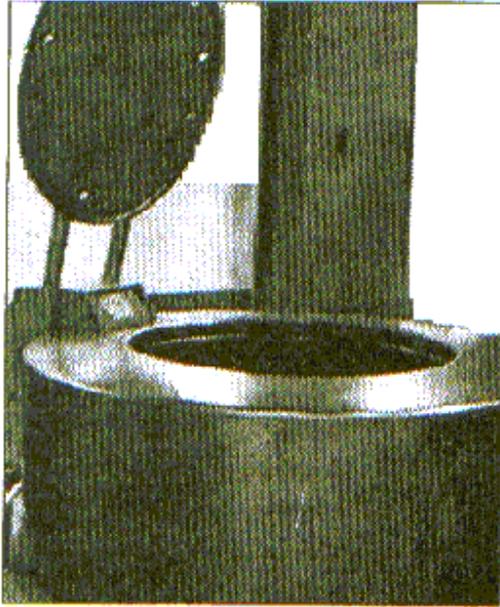
FIGURA 18 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE LAVADO



Lavadora piloto automática



Lavadora piloto manual



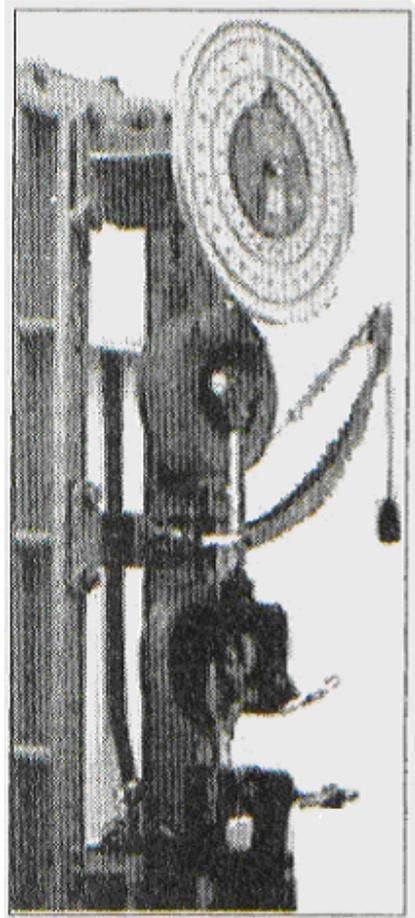
Extractor



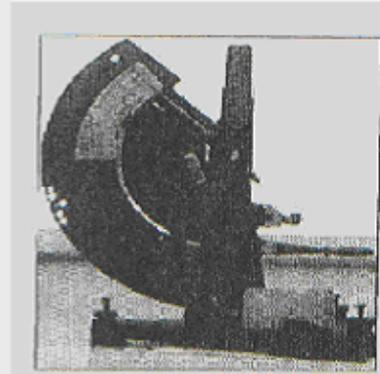
Secadora

APÉNDICE H.

**FIGURA 19 EQUIPO UTILIZADO PARA PRUEBAS DE
LABORATORIO TEXTIL**



Elmendorf (tensión)



Scott tester (rasgado)