

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

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

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RONALD ESTUARDO MÉNDEZ GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TITULO DE

INGENIERO QUÍMICO

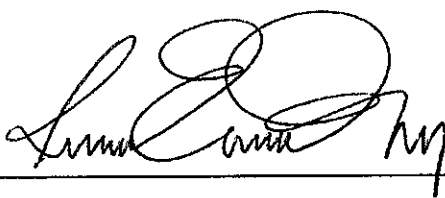
GUATEMALA, MARZO DE 1999

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 tesis titulado:

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,

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de noviembre de 1998.



Ronald Estuardo Méndez González

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV	Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera
VOCAL V	Br. José Enrique López Barrios
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León De Paz
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Espinoza Smith
EXAMINADOR	Ing. Antonio Del Cid Pacheco
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

Guatemala, 23 de Febrero de 1,999

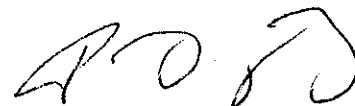
Ingeniero
Otto Raúl De León
Director
Escuela de Ingeniería Química
Ciudad

Ingeniero De León

Por este medio me permito hacer de su conocimiento que he asesorado el informe final de tesis del estudiante Ronald Estuardo Méndez González, carné 92-13300, titulado: ESTUDIO COMPARATIVO EN LA APLICACIÓN DE CELULASAS ACIDA Y NEUTRA, EN EL PASO DE ABRASION EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL A PANTALONES DE MEZCLILLA CON PIEDRA POMEZ, habiendo realizado la revisión, considero que dicha investigación es satisfactoria, por lo que otorgo la aprobación respectiva.

Agradeciendo la atención a la presente me suscribo de usted

Atentamente,



Ing. Oscar Paéz López

Asesor

Jefe de Planta

Koramsa

Oscar Paéz López
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO 366



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 25 de febrero de 1,999.

Ingeniero
Otto Raúl de León de Paz
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

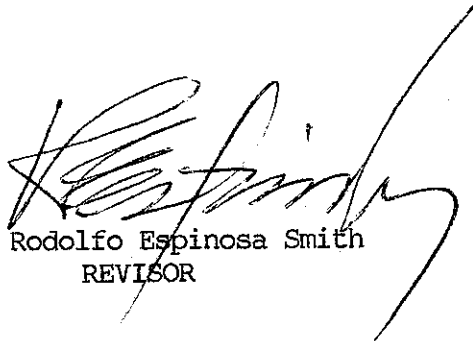
Estimado Ingeniero de León.

Por medio de la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el Informe Final de Tesis titulado: ESTUDIO COMPARATIVO EN LA APLICACION DEL CELULASAS ACIDA Y NEUTRA, EN EL PASO DE ABRASION EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL A PANTALONES DE MEZCLILLA CON PIEDRA POMEZ, del estudiante Ronal Estuardo Méndez González, dejo constancia de aprobación, para proceder a la autorización del respectivo trabajo.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, le saluda.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Rodolfo Espinosa Smith
REVISOR



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ingeniero Otto Raúl de León de Paz, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante **Ronald Estuardo Méndez González**, titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO EN LA APLICACION DE CELULASAS ACIDA Y NEUTRA, EN EL PASO DE ABRASION EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL A PANTALONES DE MEZCLILLA CON PIEDRA POMEZ**, procede a la autorizaci3n del mismo.


Ing. Otto Raúl de León de Paz
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERIA QUIMICA
U. S. A. C.

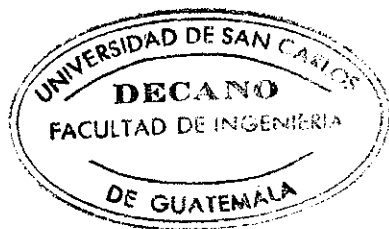
Guatemala, 17 de marzo de 1,999.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO EN LA APLICACION DE CELULASAS ACIDA Y NEUTRA, EN EL PASO DE ABRASION EN UN PROCESO DE LAVADO INDUSTRIAL A PANTALONES DE MEZCLILLA CON PIEDRA POMEZ** del estudiante **Ronald Estuardo Méndez González**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:




Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO

Guatemala, 18 de marzo de 1,999.

AGRADECIMIENTO

AL CREADOR

Por el entorno que me ha brindado para realizarme como persona y como profesional.

A MIS PADRES

Por su apoyo, confianza, comprensión y amor que me han brindado en todo momento.

A MIS HERMANOS

Por su apoyo y unión, en la integración de nuestro núcleo familiar.

AL ING. OSCAR PAEZ

Por su asesoría en la realización de este trabajo.

AL ING. RODOLFO ESPINOZA

Por su colaboración y tiempo dedicado en la revisión de esta tesis.

AL ING. PAULO BOJ

Por su asesoría, colaboración apoyo en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Agustina y Monico, con todo mi amor y respeto.

A MIS HERMANOS

Mónica, Claudia y Marlón, con cariño y respeto.

A MIS SOBRINOS

Mónica Gabriela, Marlón Estuardo, Luisa Fernanda, Alejandra Maricel y Rodrigo Andrés; con todo mi cariño.

A MI NOVIA

María Eugenia, con todo mi amor y esperanza de tenerla siempre a mi lado.

A MIS AMIGOS

Que me han brindado todo su apoyo, en especial a Jack, Alvaro, Daniel, J. Manuel, J. Pablo, René, Paulo, Laura, C. Alfredo, M. Tulio, Francel, Mario y Max; con el respeto y admiración de siempre.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VIII
INTRODUCCIÓN	X
JUSTIFICACIONES	XIV
OBJETIVOS	XVI
HIPÓTESIS	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Proceso de lavado	4
2.1.1. Desengome	4
2.1.1.1. Tipos de desengomantes	5
2.1.1.2. Desengome enzimático	5
2.1.1.3. Desengome oxidante	7
2.1.1.4. Stone wash (abrasión)	7
2.1.1.5. Abrasión mecánica	8
2.1.1.6. Abrasión química	8
2.1.2. Desactivación	9
2.1.2.1. Efecto del pH	9
2.1.2.2. Efecto de la temperatura	9
2.1.3. Blanqueo	9
2.1.3.1. Teñido índigo	10
2.1.3.2. Agentes blanqueadores	11
2.1.4. Neutralizado (limpieza)	12
2.1.4.1. Métodos de neutralizado	12
2.1.4.2. Agentes neutralizantes o reductores	13

2.1.5.	Suavizado	13
2.1.5.1.	Tipos de suavizantes	14
2.1.5.1.1.	Catiónicos	14
2.1.5.1.2.	Polietilenos	14
2.1.5.1.3.	Siliconados	14
2.1.5.2.	Ozono	15
2.1.5.2.1.	Influencia del ozono	15
2.1.5.2.2.	Formación de ozono en el ambiente	15
2.2.	Fundamentos de la abrasión mecánico – enzimática	15
2.2.1.	Abrasión enzimática	16
2.2.2.	Enzimas	17
2.2.2.1.	Celulasas	17
2.2.2.1.1.	Celulasas ácidas	18
2.2.2.1.2.	Celulasas neutras	19
3.	RESULTADOS	20
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
	CONCLUSIONES	38
	RECOMENDACIONES	40
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	APÉNDICE	44
A.	Diagrama del proceso de tinción de índigo	45
B.	Descripción del estudio, métodos de evaluación de propiedades físicas y visuales	46
C.	Análisis económico	63
D.	Equipo utilizado en el proceso de lavado industrial	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Gráfica del comportamiento en el porcentaje de pérdida de resistencia a la tensión en la urdimbre en función de la cantidad de celulasa.	27
2	Gráfica del comportamiento en el porcentaje de pérdida de resistencia a la tensión en la trama en función de la cantidad de celulasa.	28
3	Gráfica del comportamiento en el porcentaje de pérdida de resistencia al rasgado en la urdimbre en función de la cantidad de celulasa.	29
4	Gráfica del comportamiento en el porcentaje de pérdida de resistencia al rasgado en la trama en función de la cantidad de celulasa.	30
5	Gráfica del comportamiento en el porcentaje de pérdida de peso en función de la cantidad de celulasa	31
6	Gráfica del comportamiento promedio de las características visuales en función de la cantidad de celulasa	32

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Título	Pág.
I.	Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, 0% celulasa	20
II.	Resultados de los análisis físicos del producto, 0.5% celulasa ácida	20
III.	Resultados de los análisis físicos del producto, 1.0% celulasa ácida	20
IV.	Resultados de los análisis físicos del producto, 1.5% celulasa ácida	21
V.	Resultados de los análisis físicos del producto, 2.0% celulasa ácida	21
VI.	Resultados de los análisis físicos del producto, 2.5% celulasa ácida	21
VII.	Resultados de los análisis físicos del producto, 3.0% celulasa ácida	22
VIII.	Resultados de los análisis físicos del producto, 3.5% celulasa ácida	22
IX.	Resultados de los análisis físicos del producto, 4.0% celulasa ácida	22
X.	Resultados de los análisis físicos del producto, 0.5% celulasa neutra	23
XI.	Resultados de los análisis físicos del producto, 1.0% celulasa neutra	23
XII.	Resultados de los análisis físicos del producto, 1.5% celulasa neutra	23
XIII.	Resultados de los análisis físicos del producto, 2.0% celulasa neutra	24
XIV.	Resultados de los análisis físicos del producto, 2.5% celulasa neutra	24
XV.	Resultados de los análisis físicos del producto, 3.0% celulasa neutra	24
XVI.	Resultados de los análisis físicos del producto, 3.5% celulasa neutra	25
XVII.	Resultados de los análisis físicos del producto, 4.0% celulasa neutra	25
XVIII.	Resultados en escala gris de las propiedades visuales utilizando en el proceso celulasa neutra en concentraciones de 0.5 a 4.0%	25
XIX.	Resultados en escala gris de las propiedades visuales utilizando en el proceso celulasa ácida en concentraciones de 0.5 a 4.0%	26
XX.	Ahorro generado en la implementación de celulasa neutra	26
XXI.	Ahorro generado en la implementación de celulasa ácida	26

GLOSARIO

Abrasión	Al desgaste de la superficie de una prenda ocasionado por la fricción de la prenda, con la piedra pómez o con la superficie de la máquina y entre las mismas prendas.
Almidón	Fécula blanca, ligera y suave al tacto, que puede ser utilizada como engomante.
Algodón	Materia textil con la cual se elaboran tejidos, está compuesto en su mayor parte por celulosa.
Cast	Diferencia en color entre el estándar y la prenda en cuestión, por ejemplo, índigo puede tener un cast verdoso o rojizo.
Catalizador	Sustancia que acelera una reacción química y permanece inalterada en forma y cantidad
Celulosa	Cuerpo sólido, blanco, insoluble en el agua que forma la membrana envolvente de las células vegetales.
Celulasa	Enzima que es capaz de catalizar la degradación (reacción) de celulosa.
Decoloración	Acción de pérdida de color por la acción de un agente blanqueador (como el cloro).
Engomando	Acción por la cual se recubre la mezclilla para su protección y mejor manejo.

Engomante	Agente con el cual se lleva a cabo la acción de engomar o proteger prendas de mezclilla, por ejemplo Almidón, Carboximetil celulosa y Polivinil alcohol
Enzima	Proteína que funciona como catalizador biológico para reacciones específicas con una actividad regulada.
Escala de grises	Escala que consiste en pares de estándares grises que representa progresivamente diferencias en color, contraste (abrasión) y cast, correspondiente a grados numéricos de pérdida de color.
Índigo	Palabra usada en la industria lavandera para denotar color azul o añil,
Jeans	Prenda (pantalón) de vestir elaborado con mezclilla.
Mezclilla	Tela construida con hilo 100 % Algodón. También conocida como Lona.
Neutralización	Paso en el proceso de lavado, mediante el cual se reducen los agentes oxidantes que blanquean las prendas.
pH	Término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución. El término se define como el logaritmo inverso de la concentración de iones H^+ (cationes).
PVA	Polivinil alcohol (engomante).

Redeposición	Las prendas pueden no ser limpiadas suficientemente, el exceso de color de fondo (índigo) penetra nuevamente en la prenda y cubre la trama, ocultando el contraste provocado por la abrasión.
Surfactante	Compuesto sintético reductor de la tensión superficial del agua que ayuda a la humectación de prendas.
Tensión superficial	Fuerza molecular que actúa sobre la superficie de un líquido hacia el interior de la misma.
Tonalidad	Intensidad en el color que pueda tener un producto (prenda), en el desgaste del mismo.
Trama	Conjunto de hilos que cruzados con la urdimbre forman una tela.
Urdimbre	Conjunto de hilos paralelos entre los que pasa la trama para formar una tela. En prendas de lona estos hilos son pretratados y cubiertos con colorante índigo.

RESUMEN

Actualmente, la competitividad de mercado exige apertura comercial en el ámbito internacional como parte de la globalización industrial y comercial, así como, el despliegue tecnológico que dé soporte a los procesos industriales, tomando en cuenta la relación entre desarrollo y ambiente. Guatemala no está al margen de estos cambios, por lo que la industria nacional debe encaminar esfuerzos para no quedar rezagada en tan vertiginosa carrera hacia el desarrollo. En el caso de lavanderías industriales guatemaltecas, éstas han empezado a trabajar en su modernización, y para ello han necesitado recurrir a la tecnología que le brinde las directrices que le permitan hacer más productivos, eficientes, económicos y respetuosos al ambiente, los procesos de lavado.

El proceso de lavado de prendas de lona abarca varias etapas que permiten obtener un producto de calidad, cómodo, con las características que brinden la resistencia para realizar trabajos cotidianos. Dentro de estas etapas se tiene de gran importancia, el proceso de abrasión que es determinante en el acabado deseado y en los parámetros de calidad del producto.

Al utilizar celulasas en el proceso de abrasión, es posible proporcionar mejores características visuales y físicas que las logradas en un proceso de lavado industrial convencional sin la utilización de ellas. Este método adquiere más valor al considerar que con la adición de estas celulasas se puede favorecer en la disminución de los costos de operación y agilización del proceso al disminuir los tiempos de proceso.

Las celulasas estudiadas fueron una ácida y la otra neutra, que fueron utilizadas en forma separada en concentraciones de 0.5% a 4.0% en peso de las prendas tratadas en intervalos de 0.5% (es decir: 0.5%, 1.0%, 1.5%..., 3.5%, 4.0%), también se analizaron comparativamente cada uno de los procesos (diferentes

concentraciones) entre sí y contra el proceso convencional. Para cada proceso se evaluaron las propiedades físicas de resistencia al rasgado, resistencia a la tensión y pérdida de peso, su apariencia en la medición de niveles de abrasión, tonalidad y cast. Y el ahorro que implicó la utilización de cada celulasa en las concentraciones empleadas, logrando determinar que los mayores beneficios se obtuvieron a partir de la utilización de celulasa neutra, en el rango de concentraciones de 2.5% y 3.0%, dando ahorros de Q 0.21 y Q 0.14, respectivamente, se obtuvieron propiedades físicas superiores a las obtenidas por los procesos realizados con celulasa ácida y el proceso convencional de lavado industrial, con lo cual se lograron características deseadas de apariencia visual en el producto obtenido.

INTRODUCCIÓN

Desde años atrás, el ser humano ha tenido la necesidad de prendas de vestir que en su uso diario le permitan realizar actividades y que a su vez sean cómodas. Como solución a esta necesidad, se crearon productos que cumplieran con las características requeridas, y en este sentido se enfatizó en un tipo de prenda innovadora, que se caracterizó por tener una apariencia diferente, cómoda e informal con altas propiedades físicas. Estas prendas fueron creadas y dadas a conocer como "prendas lavadas con piedra (Stonewashing)", y a partir del cual fue creado el "proceso húmedo de prendas de mezclilla", el cual se ha desarrollado en producción en cadena, constituida tanto en lavanderías propias (casera) y lavanderías industriales, contratadas por la mayoría de los productores "de marca" de Jeans. La demanda de consumo está encabezada por una evolución en dicho proceso mediante la implementación de nuevos químicos y el mejoramiento de las condiciones del mismo.

Originalmente, todos los Jeans a la venta en el mercado eran rígidos e incómodos, debido al sistema de acabado para prendas de mezclilla. Normalmente, después de tejido, las prendas engomadas (con almidón) eran tratadas a elevadas temperaturas para eliminar el almidón y luego encogidas mecánicamente, para proporcionarle cierta suavidad, la cual no proporcionaba satisfacción aceptable. Pero ninguna otra técnica fue empleada para proveer esta sensación de suavidad. Muchos de los consumidores solamente lograban suavizar los Jeans practicándoles una o varias lavadas domésticas antes de usarlos por primera vez.

El primer paso en la evolución del proceso fue vender Jeans tratados por el fabricante, los cuales denotaban un desteñido leve en su apariencia y una sensación más satisfactoria de suavidad como si hubiesen sido lavados varias veces. Este efecto creó toda una revolución en el mercado de la confección de

Jeans, tanto que los consumidores estuvieron dispuestos a pagar el costo extra implicado por este proceso adicional.

No mucho tiempo después de la introducción del prelavado de Jeans, la idea de usar *piedras abrasivas* para acelerar el proceso fue desarrollada, y el lavado con piedra se convirtió en el *segundo paso* en la evolución de este proceso. Piedras volcánicas fueron incluidas en el lavado de las prendas (mojadas) para desgastar las porciones más duras del Jean, tales como el área de la cintura, ruedo, costuras y bolsas.

El *tercer paso* evolutivo, fue la introducción de cloro dentro de estas técnicas para el blanqueo de las prendas, y con esto una nueva familia de Jeans claros (*washed down*) fue el resultado. Finalmente, la cúspide comercial de la evolución, se logró en 1987-89, cuando el "Ice Washing" fue creado, en el cual la piedra pómez preabsorbía un agente blanqueador y entonces se bomboleaban con prendas secas o parcialmente húmedas. Este proceso ha recibido diferentes nombres incluyendo *acid wash, snow wash, white wash, frosted, etc.*

Una gama de estilos de una variedad sin fin ha sido producida, usando variaciones y combinaciones de estas técnicas creativas aplicadas al proceso de lavado. Cada fábrica involucrada en este proceso continuamente busca diferentes formas de lograr nuevos acabados únicos. Muchos de estos procesos tienen sus propias técnicas individuales, y los detalles de éstos no son divulgados por el fabricante.

Aunque hay muchos métodos de desarrollo para lograr efectos singulares en prendas de mezclilla, la secuencia más común de pasos en un proceso Químico/Mecánico es: *desengome, abrasión, desactivación, blanqueo, neutralización y el acabado (con un suavizante)*. Dentro de este marco de trabajo, algunos pasos se pueden combinar u omitir dependiendo de los requerimientos de mercado y de estilo.

Actualmente, la industria del lavado está alcanzando su período de madurez. Tanto fabricantes de Jeans, como lavanderías industriales en asociación con la AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorists) y sus grupos técnicos, a lo largo de grandes esfuerzos de control de calidad, investigación y desarrollo, buscan las condiciones necesarias para el mejoramiento de las propiedades físicas de las prendas, tales como resistencia a la tensión y al rasgado, pérdida de peso y de resistencia, solidez al frote, envejecimiento acelerado y otras características.

La industria de procesos de lavado cuenta ahora, con los elementos necesarios para desarrollar procesos más económicos y seguros que puedan producir mayor calidad en las prendas.

Dentro del proceso de lavado, el paso que incide directamente en la calidad del acabado, así como en la variación de los parámetros de las propiedades físicas, es el paso de abrasión. Se denomina abrasión al desgaste de la superficie de una prenda ocasionado por la fricción o rozamiento de la prenda, con la piedra pómez o con la superficie de la máquina y entre las mismas prendas. Pero también existen otros tipos de abrasión como, lo son abrasión por Acid-Wash, abrasión Sand-Blast, abrasión por infrarrojo, abrasión enzimática, así como la combinación de ésta última con la abrasión mecánica (con piedra). Con el objeto de evaluar el alcance de la abrasión enzimática aplicada en un proceso de lavado de jeans, el presente informe se centró en la optimización de dicho paso.

Un conjunto hilos llamados urdimbre (teñidos de índigo), que cruzados con otro conjunto llamado trama (blancos) forman la tela con la cual se elaboran Jeans. A la vez, éstos son 100% algodón, esta fibra natural posee un alto porcentaje de celulosa.

La abrasión enzimática se lleva a cabo mediante enzimas del tipo celulasas que hidrolizan los enlaces glucosídicos en la celulosa, produciendo una degradación (alta o baja) de la fibra de los tejidos teñidos con índigo. Las celulasas reducen (o

reemplazan) a la piedra pómez en los procesos de lavado que la utilizan, teniendo como resultado un lugar de trabajo limpio y seguro, y acabados consistentes sin daños en la prenda. Otra de las atracciones por la cual se utilizan celulasas, es la disminución del tiempo necesario para obtener la abrasión deseada.

La idea principal en la implementación de enzimas, fue la de reemplazar totalmente la piedra en la abrasión de Jeans, ya que la piedra es muy destructiva para el equipo. Pero debido a la elevada cantidad de tiempo y otras consideraciones, la tendencia de hoy es la de usar combinaciones de piedra y celulasas para lograr acabados de forma rápida y económica.

Durante los últimos 20 años, la aplicación de enzimas se ha desarrollado rápidamente, pero sigue habiendo posibilidad de crecimiento, nuevas enzimas abren nuevas posibilidades. En algunos sectores, la aplicación de éstas todavía se encuentra en su infancia. Las razones del éxito de las enzimas pueden resumirse en que son eficaces, específicas, cómodas y económicas, y forman parte de un medio ambiente sostenible.

Básicamente, las celulasas pueden ser divididas en dos grupos de acuerdo a su pH óptimo. El primer tipo es llamado celulasas ácidas, con un pH óptimo de 5.5, el otro grupo es llamado celulasas neutras, con un pH óptimo de 6.5.

El presente trabajo de investigación evaluó comparativamente estos dos tipos de celulasa ya mencionados e cuanto a a) características visuales, b) propiedades físicas, y c) análisis económico, así como las ventajas y desventajas que presente cada enzima, al modificar concentraciones para cada una de ellas, utilizando como método patrón, el proceso de abrasión mecánica (sin la adición de enzimas) y como referencia visual, el respectivo estándar (patrón de tela) para el lavado Stone-Bleach de un pantalón, con un estilo de tela del tipo de doce (12) onzas / yarda (0.408 kg/m^2) cuadrada de la gama de productos de una textilera tradicional con un código de producto 0435, con el objeto de optimizar el paso de abrasión mecánico-enzimática en un proceso de lavado industrial de jeans.

JUSTIFICACIONES

1. El estudio del proceso de lavado Industrial de prendas de vestir es importante debido a que existen escasas investigaciones en la industria textil en Guatemala, que aborden el tema sobre el proceso de lavado industrial de prendas de vestir, así como para el mejoramiento de su calidad, la cual incluye parámetros de propiedades físicas y características visuales, para ofrecer un producto resistente, cómodo y atractivo para el consumidor, en un mercado que crece cada día, ya que forma parte del diario vestir del ser humano alrededor de todo el mundo.
2. El uso de piedras en la abrasión de Jeans, representa en un grado considerable la destrucción del equipo, así como de las prendas, por lo que es necesario efectuar estudios comparativos entre químicos para el mejoramiento del proceso.
3. El incremento de la necesidad de creación de procesos cortos de lavado de Jeans, representa un interés elevado en la elaboración, así como en la evolución constante de productos químicos que sean capaces de disminuir tiempos y costos.
4. La industria lavandera afronta un gran reto en la manufacturación de productos y servicios hacia la sociedad. A medida que va creciendo la importancia de la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente, se irán presentando nuevas posibilidades para aplicaciones enzimáticas en los diferentes procesos que sean requeridas.

5. Por medio de investigaciones paralelas para el mejoramiento de los procesos convencionales establecidos, se promueve el desarrollo tecnológico del país, creándose medios para alcanzar un producto de alta calidad, rentabilidad y sin la alteración de las condiciones del medio ambiente.

6. No se han realizado estudios a nivel nacional que orienten al empresario, sobre el proceso de un lavado industrial, así como una carencia de información bibliográfica, que le brinde conocimientos generales y específicos sobre las diferentes técnicas que pueden sean aplicables a él.

OBJETIVOS

GENERALES

1. *Obtener una guía generalizada del proceso de lavado de prendas en una lavandería Industrial, que explique las condiciones que pueden ser modificadas para la optimización de dicho proceso.*
2. *Determinar el método de abrasión mecánico-enzimática que aplicado al proceso de lavado de prendas, mejore la calidad de la prenda de manera factible.*

ESPECÍFICOS

1. *Determinar cual de las enzimas, celulasas ácida o neutra, a diferentes concentraciones, es la más eficaz para lograr las características del acabado final, para el cual se evaluarán de forma subjetiva: la apariencia, abrasión, tonalidad y cast deseados, en el proceso de lavado del Jean con código de producto 0435 en una tela de 0.408 kg/m².*
2. *Encontrar los costos de operación de los procesos de lavado con abrasión mecánico-enzimática, y compararlos con el proceso de abrasión sin el uso de las enzimas, expresado en quetzales por kilogramo de la prenda (Q/kg.)*
3. *Evaluar la calidad de la prenda, analizando las propiedades físicas de resistencia a la tensión y al rasgado, así como la pérdida de peso y de resistencia, por medio del respectivo equipo de laboratorio de pruebas físicas .*

HIPÓTESIS

Si se determina la concentración óptima de Celulasas Ácida y Neutra en el paso de abrasión en un proceso de lavado Industrial tradicional con Piedra Pómez y condiciones apropiadas en el empleo de las técnicas establecidas para el lavado de Jeans con código de producto 0435, estilo de tela de 12 onzas por yarda cuadrada (0.408kg/m^2) de una textilera tradicional, entonces se puede obtener un proceso económicamente factible que aumenta los parámetros de propiedades físicas y de apariencia visual.

1. ANTECEDENTES

El uso de tratamientos con celulasa para obtener el efecto de lavado con piedra (Stonewash) en la apariencia final en jeans ha tenido un considerable interés en los últimos años. La atracción principal, es la de reducir o eliminar el uso de piedra y a la vez disminuir el tiempo necesario para obtener la abrasión deseada.

El uso de piedras para abradir jeans es demasiado destructiva para el equipo usado. Pero debido al tiempo tan prolongado y otras consideraciones, hoy en día se utiliza una combinación de piedra y celulasas, para alcanzar la "apariencia deseada" de forma rápida.

En el pasado, el desarrollo de enzimas deterativas (detergentes) se ocupaba principalmente de enzimas capaces de eliminar manchas. Sin embargo, se ha observado que el uso de celulasas permite modificar la estructura de las fibras celulósicas como las que se encuentran en el algodón y mezclas de éste.

En 1983, Godfrey y Reichelt publicaron su estudio sobre la composición de la fibra de algodón que esta constituida es su mayor parte por celulosa, un polisacárido formado por unidades de glucosa, las cuales están unidas por enlaces beta 1,4 glucosídicos. La celulosa es probablemente el compuesto biológico más abundante en la tierra, se encuentra como celulosa lignificada en madera, y en forma más o menos pura, en papel y textiles. Las enzimas que degradan celulosa, son las celulasas, y pueden atacarla de dos formas. Las endocelulasas son capaces de hidrolizar enlaces $\beta(1-4)$ al azar a lo largo de la cadena de celulosa y las exocelulasas que hidrolizan moléculas de glucosa en un extremo de la cadena de celulosa.

Boyce encontró en 1986, que en las preparaciones enzimáticas que contienen solamente endocelulasa tienen un efecto mínimo en la celulosa nativa.

Por otro lado, las que contienen tanto endo como exocelulasas la degradan significativamente.

Asferg en 1990, determinó que una pequeña cantidad de enzima puede reducir una cantidad de sustrato mucho mayor, por lo que sin control de la misma, ésta puede trasladarse a una posición distinta para iniciar la hidrólisis de otro enlace.

Para conseguir el efecto máximo de la enzima, es necesario optimizar el pH y la temperatura de la reacción. Generalmente, las Celulasas se clasifican en dos grupos comerciales principales, en base a los rangos de pH óptimos, ácidas (pH, 4.5-5.5; T, 45-55°C) y neutras (pH, 5.5-7.0). Los mejores resultados se obtienen ajustando el pH en un sistema de tampón apropiado que compensa por cualquier fluctuación, por ejemplo, la alcalinidad residual de la tela.

La hidrólisis de la celulosa no es instantánea. Además de un índice de pH y una temperatura óptimos, se requiere un período de incubación, cuya duración depende del sustrato y de la dosificación enzimática. Tras la incubación, se detiene la reacción desactivando la enzima. En 1991, Los textileros franceses Bazin y Sasserod patentaron el mecanismo de desactivación de enzimas Celulasas, la cual se consigue, ajustando el índice de pH a 10, o bien aumentando la temperatura a 75°C durante 15 minutos. Ambos métodos distorsionan la estructura física de la enzima, impidiendo una hidrólisis ulterior. La acción enzimática debilita los extremos, pero no los separa del hilo. Se necesita una acción mecánica para completar el proceso.

Las celulasas son proteínas naturales fácilmente biodegradables, que sólo reaccionan con Celulosa. Las celulasas actúan como catalizadores, aumentando la velocidad de la hidrólisis. Gracias a su efecto respetuoso por el medio ambiente, las enzimas representan beneficiosas alternativas a los productos químicos utilizados hoy en día para el acabado de prendas (Jeans).

En muchos lugares del mundo, y sobre todo a nivel latinoamericano incluyendo Guatemala, las Industrias que realizan el lavado de prendas con piedra, en la actualidad usan distintos tipos de enzimas a lo largo de todo el proceso, el cual día con día está expuesto a distintas modificaciones e inclusiones de nuevos químicos, así como la optimización de sus distintos pasos, de los cuales el paso de Abrasión, tiene la mayor incidencia en los resultados finales.

Hasta el momento, no se han elaborado estudios sobre procesos de lavado de prendas de vestir, los únicos trabajos de tesis que se han realizado, tratan sobre tejidos o hilos de algodón, como lo son: *Santizo, 1995* La importancia del descruce del hilo de algodón en el proceso de tintura artesanal, y *García, 1996* Optimización del grado de blanco y absorción de los tejidos de punto 100% Algodón. Por aparte, dichas tesis han podido efectuar tan solo uno de los por lo menos seis pasos con los que cuenta un proceso de lavado común (que podrían ser más). Por lo que el presente trabajo de Investigación describirá de manera generalizada: conceptos, procedimientos, equipo y químicos que se emplean en un proceso completo de lavado industrial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Proceso de lavado

Para el lavado industrial de pantalones de mezclilla hay incontable número de técnicas usadas por ingenieros y químicos para atractivos acabados que son únicos y exclusivos. Los pasos que en el proceso de lavado industrial pueden ser tomados dependiendo de los resultados deseados, pueden ser:

- Desengomado
- Stone Wash
- Desactivación
- Blanqueo
- Neutralizado
- Suavizado

2.1.1. Desengome

La mayoría de las prendas requieren este tratamiento, por lo cual es normalmente el primer paso a realizar. En el proceso de prendas de mezclilla, el desengomado suaviza la prenda al remover los engomantes, este paso posiblemente el único tratamiento que puede ser aplicado a algunos estilos.

El engomado de las prendas es aplicado por el manufacturero para tener una mejor eficiencia en el corte y elaboración de las mismas. Este engomado queda en el hilo después de ser tejido, lo cual provee la rigidez necesaria para un mejor manejo de las piezas en el ensamblaje de las prendas.

2.1.1.1. Tipos de desengomantes

Los engomantes que son utilizado con frecuencia en prendas de mezclilla, son el Almidón un polímero natural y el Polivinil alcohol (PVA) un polímero sintético. En prendas de lona elaboradas 100 % Algodón, una mezcla de engomantes es usualmente la que proporciona mayor protección al hilo. El Almidón, es quebradizo y puede literalmente astillar el hilo. Por consiguiente, una película protectora que puede hacerlo más fuerte y flexible (y más costosa), puede ser agregada a la fórmula de engomado.

El polivinil alcohol es el polímero sintético más utilizado para dar esta protección, y es el único que los fabricantes pueden comprar muchas veces a un bajo costo para ser usado adicionalmente con el Almidón. La utilización de ceras y lubricantes puede ser el complemento de la fórmula de una mezcla final para un engomante. Estos productos no solamente reducen los efectos dañinos provocados en el hilo por la acción mecánica de la costura, también disminuye el daño al material por el mal trato que pueda recibir a causa de las altas velocidades de costura en producción.

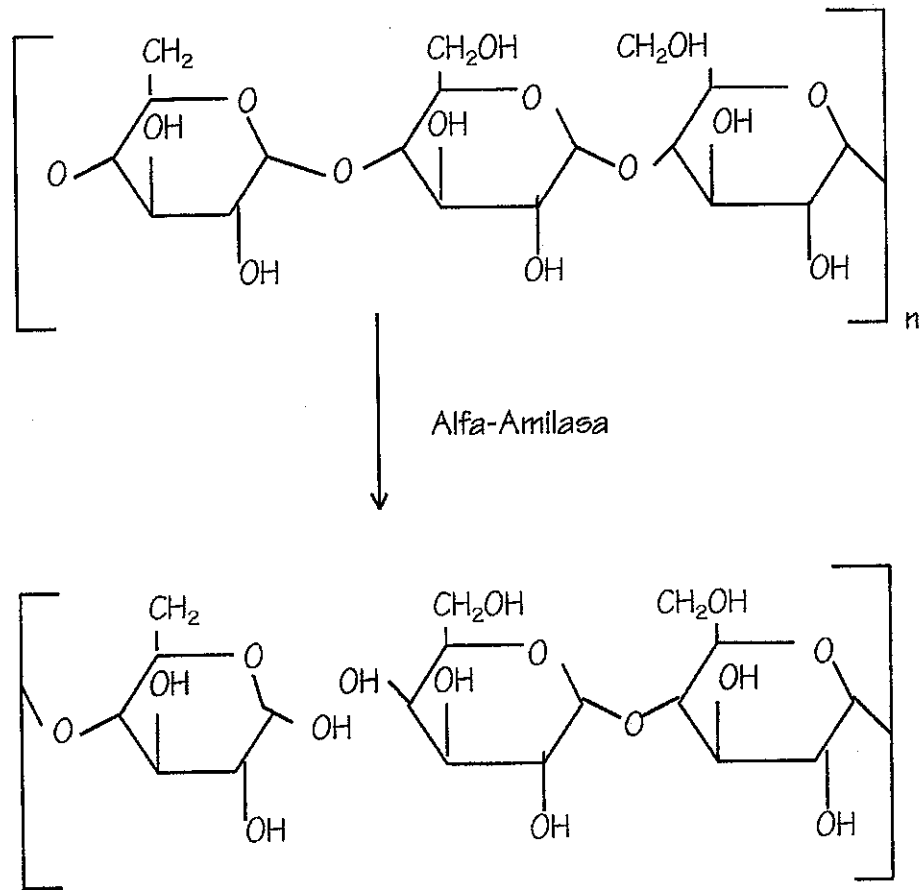
2.1.1.2. Desengome enzimático

El método más popular en el desengome para remover Almidón, es a través del uso de enzima amilasa. Este producto rompe la larga cadena molecular en pequeñas secciones, las cuales pueden ser fácilmente removidas de las prendas. Esto incluso puede dejar pequeñas cantidades de índigo en el baño, por lo cual un surfactante no iónico de pH neutro es utilizado para suspender el color perdido en el agua, para prevenir la redepositación sobre las prendas, y también como un auxiliar en la penetración del licor desengomante hacia el interior de las mismas.

Si las variables del paso de desengome tales como, enzima, pH, detergente, tiempo, temperatura y concentración de químicos se encuentran dentro de las tolerancias ya experimentadas, las pequeñas estructuras de Almidón serán convertidas en azúcares solubles en agua, las cuales conjuntamente con el color suspendido son drenadas del baño al final de paso. Es muy importante después del desengome enzimático, realizar un enjuague con agua caliente.

Debe tenerse cuidado en no utilizar vapor vivo para mantener la temperatura óptima a la que actúa la enzima, si se requiere calor deben usarse dispositivos de precalentamiento.

Reacción de alfa-amilasa con almidón:



Las enzimas alfa-amilasa atacan al almidón solamente en el enlace 1-4, produciendo azúcares reductores, de la siguiente manera:

Almidón → Maltosa → Glucosa.

Este proceso requiere una cantidad significativa de oxígeno para que lentamente continúe su degradación.

2.1.1.3. Desengome oxidante

El desengome oxidante se lleva a cabo con peróxido de hidrógeno, el cual ofrece muchas ventajas, en adición al rompimiento de la molécula en el enlace 1-4, también puede romper la estructura en pequeños fragmentos en estado elevado de oxidación, requiriendo menos oxígeno.

El peróxido de hidrógeno, no solamente permite romper múltiples puntos en la molécula de almidón, sino también rompe engomados de PVA (polivinil alcohol) que la amilasa no puede lograr, ya que muchas prendas son engomadas en combinaciones de almidón y polivinil alcohol. Los procesos oxidantes se consideran más rápidos y económicos que los procesos biológicos, lo que hace que se tengan procesos cortos, constituyéndolo en un factor muy importante.

2.1.1.4. Stone wash (abrasión)

El propósito de este paso es darle a la prenda una apariencia visual de desgaste (viejo) o abradida, la cual puede tomar varias características o acabados, como lo es que la abrasión sea pareja, con alto contraste o con un efecto Melón (como su nombre lo dice da una apariencia parecida a la cáscara del melón).

2.1.1.5. Abrasión mecánica

Antes que el lavado con piedra fuera desarrollado, muchos Jeans, eran dados a lavanderías comerciales, y vendidos como Jeans prelavados. El próximo paso fue el desarrollo de estilos con tratamientos adicionales para que los jeans fueran considerados para ser lavados con piedra, hasta lograr el acabado deseado y luego solamente ser secados y enviados a sus lugares de venta. Dentro del contexto para lograr una abrasión mecánica se puede manejar la variación de los siguientes parámetros:

- Cantidad de agua
- Cantidad de piedra
- Tamaño y forma de las piedras
- Tiempo del proceso
- Carga de lavado (peso)

Aparte de estas variables, la abrasión mecánica, también puede ser ocasionada por la fricción o rozamiento de la prenda con la superficie de la máquina, la cual está diseñada para que tenga un tomboleo adecuado para lograr los efectos deseados.

2.1.1.6. Abrasión química

El uso de tratamientos con celulasa para obtener efectos como los que se tienen con piedra en el acabado de jeans, es utilizado con la inquietud de reducir cantidades de ésta, así como de reducir el tiempo de proceso.

El uso de piedra para abradir Jean es muy destructivo para el equipo. Por otra parte, las piedras quedan atrapadas en los bolsillos de las prendas y en los drenajes, lo que representa un costo adicional para el proceso.

Para satisfacer esta necesidad se ha debido obtener los mismos efectos de abrasión por otros medios más efectivos y limpios. De lo cual nace la abrasión por medios químicos, específicamente por el empleo de enzimas, que atacan a la fibra de algodón, del cual está elaborada la tela con la que son confeccionadas las prendas.

2.1.2. Desactivación

La desactivación de las enzimas que se utilizan en el paso de Abrasión para el proceso de lavado con piedra, se puede realizar de dos formas:

2.1.2.1. Efecto del pH

El pH óptimo para la actividad enzimática de determinada enzima ya sea ácida (pH, 5.0) o neutra (pH, 6.5) puede modificarse para interrumpir su actividad más eficiente. De esta forma, el pH para cualquiera de los dos casos, debe elevarse a un valor no menor de $\text{pH} = 9$.

2.1.2.2. Efecto de la temperatura

Las enzimas también tienen una temperatura a la cual su actividad es óptima, tanto enzimas ácidas como neutras trabajan en un rango óptimo de 60 - 65 °C. Por lo que para disminuir y/o eliminar su actividad, se puede aplicar una temperatura alta no menor de 70 °C, y a la vez un baño alcalino.

2.1.3. Blanqueo

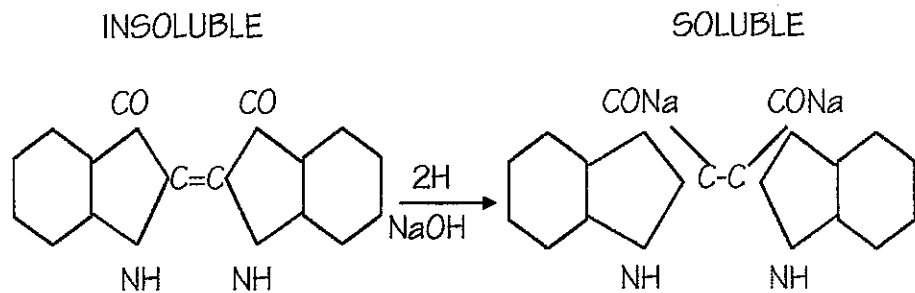
Hay muchas historias concernientes al desarrollo de las técnicas básicas para remover color de prendas de mezclilla a través del uso de piedras tratadas químicamente.

En la forma más antigua que existe, las técnicas consisten en un paso adicional al proceso de lavado con piedra, en el cual las piedras pómez son remojadas en una solución de un producto blanqueador, y luego bomboleadas con poca agua. Actualmente, se utilizan varios tipos de blanqueadores, de los cuales varía su uso debido a costos y características deseadas. Estos blanqueadores funcionan oxidando al índigo, tal y como se verá adelante cuando se refiera a los agentes blanqueadores.

2.1.3.1. Teñido índigo

La molécula objetivo en la mayoría de los procesos de blanqueo es la del índigo:

ÍNDIGO



Los hilos urdimbre de la prenda de mezclilla son teñidos, al ser sumergidos continua y repetidamente en un baño reductor de tinte índigo, seguido de una oxidación. Cuanto más frecuente se sumerge en el baño, resulta de mejor forma el color azul en la fibra, y el fabricante de tela puede comprar este hilo de tal forma que éste sea de 4 baños, 8 baños o el número que se desee.

El pigmento índigo se mantiene en un estado insoluble en agua, álcali o ácido, y no tiene afinidad por la fibra de Celulosa hasta que se hace soluble al ser reducido.

2.1.3.2. Agentes blanqueadores

Existen diversos tipos de agentes blanqueadores en procesos de prendas de mezclilla, los cuales actúan como agentes oxidantes.

La decoloración oxidativa (blanqueo) ha enfrentado muchos problemas, el más significativo es el remanente de residuos en las prendas de lona, éstos son una combinación de polvos provenientes de la piedra y del blanqueador utilizado, con pequeñas cantidades de índigo oxidado. Estos residuos son removidos luego por los químicos utilizados en los pasos de limpieza.

En el paso de decoloración, pueden ser utilizados tanto hipoclorito de sodio (NaOCl) como el permanganato de potasio (KMnO_4). El Hipoclorito fue el primer agente ampliamente utilizado, desafortunadamente éste está en equilibrio con el ácido hipocloroso sobre un extenso rango de pH. Este equilibrio hace uso de soluciones de hipoclorito, haciendo difícil el control del daño de la prenda, por tanto su limpieza subsecuente es más dificultosa que al tratarla con permanganato.

El permanganato de potasio ha reemplazado al hipoclorito de sodio como un agente de decoloración predominante, por una serie de razones. Por ejemplo se encuentra disponible en estado sólido, sus soluciones acuosas tienen una larga vida anaquel, y es menos dañino para la celulosa. En la práctica es más fácil controlar la decoloración con permanganato, lo que significa menos daño para el polímero de celulosa.

En contraste especies residuales de manganeso representan un potencial subsecuente para decoloraciones indeseables. La limpieza de estos residuos de permanganato, es más difícil que la neutralización del cloro. Generalmente los residuos consisten en permanganato y dióxido de manganeso (MnO_2), este último se encuentra presente como un sólido insoluble de color café, que puede ser removido efectivamente al solubilizarlo por reducción lo cual se visualiza al perder su color característico. Los niveles de Manganeso reducido deben ser menores a 100 ppm, de

lo contrario puede ser el causante de la suciedad presente en la prenda (manchas café-rojizas), dichas manchas pueden aparecer después secadas las prendas o bien en el almacenamiento de las mismas.

2.1.4. Neutralizado (limpieza)

La llave de calidad de las prendas que son sometidas a lavados industriales descansa en los pasos de limpieza usados después del paso de blanqueo o decoloración. Una baja resistencia al rasgado y a la tensión, así como amarillamiento u hoyos, y otros problemas de calidad pueden ser causados por inadecuados procedimientos en el paso de limpieza o neutralizado.

El proceso de limpieza consiste en una serie de pasos que remueven los productos utilizados en el paso de blanqueo. Típicamente, estos pasos incluyen la neutralización de permanganato de potasio o hipoclorito de sodio en la prenda, enjuagues (rinses), y la aplicación de suavizantes antiozanantes.

2.1.4.1. Métodos de neutralizado

Residuos de químicos y partículas de piedra quedan en las prendas al final del ciclo de abrasión (stone), las piedras han sido previamente remojadas en soluciones oxidantes (blanqueadores). Existen dos tipos de tratamientos para la limpieza de prendas, a) lavado con detergente en caliente, b) tratando las prendas con químicos neutralizantes (reductores).

La razón para utilizar la primera de éstas es porque mucho del material que queda como residuo, puede ser tirado al drenaje sin el uso de los más caros químicos requeridos para neutralizar al blanqueador. El empleo de agentes neutralizantes es utilizado muchas veces para evitar la pérdida de color o forma que ocurre si las prendas no son tratadas inmediatamente después de la oxidación en el blanqueo. El

procedimiento de neutralización normalmente es hecho en dos o tres pasos de reducción, lo cual es más eficiente el intercambio entre químico y prenda se realiza en baños cortos, lo que permite remover impurezas que quedan en cada baño con su eventual limpieza cada vez que se drena éste.

2.1.4.2. Agentes neutralizantes o reductores

El dióxido de manganeso residual insoluble, puede ser reducido a su forma soluble, mediante el uso primario de tres sistemas de agentes reductores:

- Bisulfito o metabisulfito de sodio
- Sulfato de hidróxilamina
- Peróxido de hidrógeno

El bisulfito o metabisulfito de sodio, ofrece la ventaja de un bajo costo, pero a cambio tiene la desventaja de tener olores nocivos y una alta demanda de oxígeno. El sulfato de hidróxilamina, ofrece bajos olores, pero es muy costoso y es irritante a la piel. El peróxido de hidrógeno, ofrece una baja demanda de oxígeno, es barato y no se tienen olores nocivos, pero requiere de auxiliares y de mucha precaución en su manejo a altas concentraciones.

El peróxido es muy efectivo en la reducción del dióxido de manganeso a su forma soluble. En esta situación, el peróxido actúa como un agente reductor, contrario a su usual empleo como agente oxidante.

2.1.5. Suavizado

El propósito de este paso como su nombre lo dice, es darle a las prendas una suavidad sedosa al tacto, así como también proveer protección contra el ozono, ya

que en algunos casos el cast puede variar. Para obtener la suavidad deseada, debe utilizarse la cantidad correcta de suavizantes en conjunción con el tiempo, pH y temperatura correctos.

2.1.5.1. Tipos de suavizantes

En general, los suavizantes trabajan a pH entre 4.5 y 7.0, con temperaturas entre 40 y 50 °C, un tiempo entre 5.0 y 10.0 minutos, con un nivel bajo de agua. Pero también se debe tomar en cuenta que el exceso de suavizantes, puede causar redepositación y en algunos casos fallos de en las pruebas de solidez al frote.

Los diferentes tipos de suavizantes, ayudan a la fibra a absorber más humedad del aire actuando como humectantes (la humedad hace al algodón sentirse más suave). Los suavizantes pueden clasificarse en tres grupos generales:

2.1.5.1.1. Catiónicos

En los cuales, el catión (+) se mueve hacia el centro de la fibra húmeda (-), dejando dos largas hileras expuestas, esto causa un toque lizo y suave en la prenda.

2.1.5.1.2. Polietilenos

Que son los suavizantes que ofrecen protección contra el ozono (altamente oxidante), que puede provocar manchas y/o un cast amarillento.

2.1.5.1.3. Siliconados

Ofrecen una textura aceitosa de la fibra de algodón, la suavidad producida por este suavizante, es mejor descrita como una pulición de la fibra. Normalmente son emulsiones no iónicas y tienen una pequeña afinidad por la prenda.

2.1.5.2. Ozono

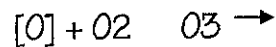
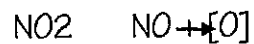
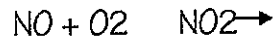
2.1.5.2.1. Influencia del ozono

El ozono es el agente oxidante más efectivo que se conoce. La presencia de metales en prendas a las que se les ha aplicado un lavado industrial, puede provocar problemas de amarillamiento en ellas por la acción de ozono sobre estos metales. Bajos niveles de hidrocarburos pueden acelerar la formación de concentraciones de ozono a niveles de 0.5 a 1.0 partes por millón. Siendo el nivel normal de 0.1 ppm

2.1.5.2.2. Formación de ozono en el ambiente

La formación de ozono se lleva a cabo durante el día, ya que necesita de la luz solar para llevar a cabo la reacción por la cual surge, y por la noche se degrada a óxido nitroso y oxígeno, tal y como sigue:

Día:



Noche:



2.2. Fundamentos de la abrasión mecánico - enzimática

El uso de piedra para abrader jeans es muy destructivo para el equipo. Por lo que se han implementado tratamientos con enzimas, para obtener efectos como los que se tienen con piedra en el acabado de jeans, es utilizado con la inquietud de reducir cantidades de ésta, así como de reducir el tiempo de proceso.

2.2.1. Abrasión enzimática

La abrasión enzimática se lleva a cabo mediante enzimas del tipo celulasas que hidrolizan los enlaces glucosídicos en la celulosa, produciendo una degradación (alta o baja) de la fibra de los tejidos teñidos con índigo. Las celulasas reducen (o reemplazan) a la piedra pómez en los procesos de lavado que la utilizan, teniendo como resultado un lugar de trabajo limpio y seguro, y acabados consistentes, sin daños en la prenda.

La idea principal en la implementación de enzimas, fue la de reemplazar totalmente la piedra en la abrasión de Jeans, ya que la piedra es muy destructiva para el equipo. Pero debido a la elevada cantidad de tiempo y otras consideraciones, la tendencia de hoy es la de usar combinaciones de piedra y celulasas para lograr acabados de forma rápida y económica.

Básicamente, las celulasas pueden ser divididas en dos grupos de acuerdo a su pH óptimo, uno de ellos es llamado celulasas ácidas, que tiene un pH óptimo de 5.0, y el otro llamado celulasas neutras que tiene un pH óptimo de 7.0

El teñido índigo tiene una profunda penetración dentro de la fibra de Algodón, y por la remoción del teñido de la superficie de la misma mediante el uso de piedra el efecto de abrasión es creado. La celulosa trabaja hidrolizando la superficie de la fibra haciéndola fácil la creación de la apariencia de abrasión. De tal forma que ambas abrasiones actúan directamente sobre la superficie de la fibra.

El tiempo del ciclo para el tratamiento de piedra / celulasa, depende de muchos factores:

- Tipo de tela
- Apariencia visual
- Carga del proceso
- Relación de baño
- Economía

En relación a la creación del contraste de color deseado durante el lavado piedra / enzima, es importante minimizar la redepositación de tinte índigo en la prenda, la cual está en función también del pH.

2.2.2. Enzimas

Las enzimas son la clase más numerosa y especializada de las proteínas que funcionan como catalizadores biológicos para las reacciones celulares. Las enzimas tienen enorme poder catalítico, gran especificidad y actividad regulada, intervienen en la transformación de la energía en diversas formas de trabajo. Los catalizadores son sustancias que alteran la velocidad de una reacción química bajando la energía de activación que se requiere para que las moléculas en estado energético metaestable cambien a la configuración más estable.

El mecanismo de acción enzimática consiste en que la enzima forma un complejo con el sustrato combinándose por el sitio activo y que secuestra a los reaccionantes en un espacio restringido y en la orientación favorable para que ocurra la colisión molecular efectiva en la reacción.

Se ha aislado y descrito un número enorme de enzimas que se nombran y clasifican de acuerdo con los lineamientos establecidos en 1961 por la Comisión de Enzimas de la Unión Internacional de Bioquímica. El nombre se deriva del sustrato o tipo de reacción química que catalizan y termina en -asa ureasa, glucosidasa, celulasa, maltasa, peptidasa, esterasa, fosfodiesterasa, etc.

2.2.2.1. Celulasas

Las enzimas que degradan celulosa se llaman celulasas y se requieren diferentes enzimas para hidrolizar la celulosa nativa hasta glucosa. Estas enzimas pueden atacar a la celulosa de dos modos, las endocelulasas son capaces de

hidrolizar enlaces β (1-4) al azar a lo largo de la cadena de celulosa. Las Exocelulasas hidrolizan moléculas de glucosa en un extremo de la cadena de celulosa. Estos modos de acción también se observan en amilasas y pectininas en sus respectivos sustratos.

Se ha encontrado que las preparaciones enzimáticas que contienen solamente Endocelulasas tienen un efecto mínimo en la celulosa nativa. Por otro lado, las que contienen tanto endo como exocelulasas la degradan significativamente.

El producto de la hidrólisis simultánea de endo y exocelulasas es el disacárido celobiosa. Conforme su concentración se incrementa en la mezcla, la actividad de las exocelulasas se inhibe. Para obtener una hidrólisis extensiva de la celulosa se requiere remover la celobiosa. La enzima celobiasa puede descomponer el disacárido en dos moléculas de glucosa.

Aunque un gran número de microorganismos produce celulasas, sólo unos cuantos dan altos rendimientos de la enzima. Se ha señalado que el mejor productor de celulasa es *trichoderma viride* también conocido como *T. Reeser*. La mayor parte de los estudios de la fisiología de formación de Celulasas se han llevado a cabo en este organismo, sin embargo, no se debe ignorar que existen otros microorganismos que también las producen.

2.2.2.1.1. Celulasas ácidas

Las enzimas ácidas, llevan a cabo su actividad de manera rápida y agresiva, sus condiciones óptimas son de temperatura 60 °C y pH = 5, produce un bajo contraste en la fibra, y causa altas redepositaciones en la prenda.

Un control de la temperatura estricto es requerido para obtener reproduciblemente resultado, la actividad enzimática se puede ver seriamente

afectada en cambios radicales de temperatura provocados posiblemente por la adición de vapor vivo, lo cuál desnaturaliza a la enzima.

2.2.2.1.2. Celulasas neutras

Estas enzimas mantienen su actividad a una velocidad moderada y sutil, que provoca un alto contraste y una baja redepositación, para lo cuál sus condiciones óptimas son una temperatura de 60°C y un pH = 7.0.

Al igual que las enzimas ácidas, las enzimas neutras necesitan llevar un control de la temperatura para que no sufra una desnaturalización, aunque ésta esté en función del tiempo que pueda mantener esa temperatura no adecuada. Una simple limpieza es necesaria para que el alto contraste que pueda producir sea visible.

3. RESULTADOS

Tabla I. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 0% de celulasa.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
1	684.43	475.59	50.86	43.02	0.3972
2	680.02	475.59	48.41	41.16	0.3969
3	697.76	475.59	47.92	40.18	0.3972
4	711.09	471.09	48.90	39.69	0.3952
5	702.27	457.76	46.45	39.20	0.3955
6	671.10	453.35	47.43	38.71	0.3955
Promedio	691.10	468.15	48.31	40.28	0.3963

Donde N: 1 Newton = kg.m/s²

Tabla II. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 0.5% de celulasa ácida.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
7	672.18	439.92	46.84	39.69	0.4045
8	676.00	450.60	47.14	38.71	0.3998
9	684.92	453.05	44.59	38.42	0.4003
10	696.19	466.58	46.16	38.71	0.3955
11	695.41	472.46	47.92	36.16	0.3989
12	689.82	447.76	46.94	39.79	0.3996
Promedio	685.80	455.11	46.65	38.61	0.3998

Tabla III. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 1.0 % de celulasa ácida.

Prueba #	Tensión de Urdimbre (N)	Tensión de Trama (N)	Rasgado de Urdimbre (N)	Rasgado de Trama (N)	Peso (Kg/m ²)
13	671.89	441.29	44.69	37.04	0.3961
14	670.03	443.65	46.94	37.24	0.3951
15	669.54	433.65	46.45	39.69	0.3941
16	686.29	432.08	43.32	33.71	0.3959
17	680.32	456.78	44.49	35.67	0.3978
18	690.61	428.16	44.59	36.65	0.3945
Promedio	678.16	439.24	45.08	36.65	0.3956

Tabla IV. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 1.5% de celulasa ácida.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
19	654.44	439.73	44.59	34.69	0.3948
20	666.69	430.81	44.00	36.16	0.3956
21	681.79	420.91	44.88	35.67	0.3955
22	645.23	426.99	45.47	37.34	0.3939
23	671.10	437.67	42.53	36.06	0.3936
24	682.77	429.93	44.49	34.99	0.3952
Promedio	666.99	431.00	44.30	35.87	0.3948

Tabla V. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 2.0% de celulasa ácida.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
25	655.52	418.26	42.63	33.61	0.3938
26	653.37	422.18	43.61	35.18	0.3932
27	646.51	426.69	42.34	34.20	0.3935
28	665.32	419.24	44.20	35.87	0.3965
29	658.07	430.12	43.02	35.18	0.3936
30	667.58	431.69	44.69	36.36	0.3955
Promedio	657.78	424.73	43.41	35.08	0.3944

Tabla VI. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 2.5% de celulasa ácida.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
31	633.28	423.56	42.83	34.30	0.3909
32	670.81	422.28	42.04	34.79	0.3942
33	626.71	426.69	42.14	34.79	0.3935
34	657.97	420.03	43.51	33.81	0.3952
35	656.40	417.28	42.53	35.08	0.3952
36	654.44	422.18	43.90	34.50	0.3951
Promedio	649.94	421.99	42.83	34.59	0.3940

Tabla VII. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 3.0% de celulasa ácida.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
37	622.20	550.86	39.69	33.81	0.3923
38	681.79	553.41	42.04	33.03	0.3932
39	635.53	563.01	42.63	34.79	0.3941
40	640.04	559.97	41.55	34.10	0.3935
41	644.45	521.46	42.04	34.79	0.3942
42	653.37	531.26	44.49	34.59	0.3945
Promedio	646.21	546.64	42.04	34.20	0.3936

Tabla VIII. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 3.5% de celulasa ácida.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
43	640.04	418.85	40.87	35.97	0.3931
44	652.48	418.26	41.26	34.01	0.3933
45	629.85	412.29	41.36	34.79	0.3931
46	644.45	429.93	45.77	32.63	0.3932
47	650.82	404.45	40.96	31.75	0.3931
48	630.24	426.01	40.38	34.99	0.3935
Promedio	641.31	418.26	41.75	34.01	0.3932

Tabla IX. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 4.0% de celulasa ácida.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
49	631.90	424.44	42.53	31.85	0.3969
50	632.49	394.35	41.16	34.30	0.3891
51	654.44	417.68	42.53	35.77	0.3947
52	644.64	418.17	40.67	34.30	0.3897
53	641.61	418.85	42.04	32.83	0.3904
54	634.45	432.28	39.69	34.30	0.3958
Promedio	639.94	417.68	41.45	33.91	0.3928

Tabla X. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 0.5% de celulasa neutra.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
55	674.04	476.77	49.78	40.08	0.3998
56	675.02	481.67	48.41	39.89	0.3970
57	709.72	462.36	44.79	38.91	0.3974
58	710.21	459.42	47.73	38.71	0.3999
59	693.35	462.66	46.84	40.38	0.4003
60	683.45	472.65	47.14	37.04	0.4032
Promedio	691.00	469.22	47.43	39.20	0.3996

Tabla XI. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 1.0% de celulasa neutra.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
61	680.02	439.24	46.45	37.24	0.3987
62	680.81	478.04	45.47	37.73	0.3952
63	698.25	445.02	47.73	40.67	0.3966
64	673.95	456.39	46.94	37.73	0.3962
65	680.02	433.26	46.45	37.24	0.3954
66	689.53	424.54	48.41	36.65	0.3996
Promedio	683.75	446.10	46.94	37.93	0.3970

Tabla XII. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 1.5% de celulasa neutra.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
67	710.01	424.63	46.94	39.40	0.3977
68	669.24	435.81	47.24	35.18	0.3945
69	662.87	447.76	46.84	39.00	0.3986
70	688.84	430.61	44.59	36.46	0.3959
71	666.69	440.51	45.86	36.16	0.3969
72	671.10	447.57	46.84	37.44	0.3925
Promedio	678.16	437.86	46.35	37.24	0.3960

Tabla XIII. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 2.0% de celulasa neutra.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
73	667.58	448.94	46.26	39.10	0.3931
74	688.84	426.69	46.94	38.61	0.3969
75	699.33	431.00	47.43	35.18	0.3941
76	649.15	426.69	46.45	34.69	0.3955
77	675.02	448.94	45.47	37.73	0.3959
78	688.84	426.69	45.47	35.67	0.3955
Promedio	678.16	434.83	46.35	36.85	0.3952

Tabla XIV. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 2.5% de celulasa neutra.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
79	688.35	444.82	44.88	36.95	0.3917
80	683.65	432.87	44.49	37.34	0.3993
81	648.86	426.69	46.94	35.18	0.3924
82	686.88	422.18	46.26	36.16	0.3941
83	658.66	426.69	43.90	36.06	0.3959
84	657.78	439.92	47.92	36.16	0.3958
Promedio	670.71	432.18	45.77	36.36	0.3949

Tabla XV. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 3.0% de celulasa neutra.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
85	671.10	403.47	46.75	37.44	0.3925
86	657.78	439.73	45.57	35.67	0.3945
87	671.10	433.65	43.02	35.18	0.3958
88	657.78	439.63	41.75	35.97	0.3948
89	654.35	394.25	48.41	34.20	0.3955
90	650.52	405.33	45.96	36.95	0.3952
Promedio	660.42	419.34	45.28	35.87	0.3947

Tabla XVI. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 3.5% de celulasa neutra.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
91	657.78	431.10	43.51	35.67	0.3942
92	635.53	423.85	47.43	34.20	0.3934
93	667.28	426.69	42.04	35.67	0.3955
94	640.43	408.86	44.98	35.97	0.3947
95	658.36	431.98	44.49	36.65	0.3949
96	665.91	429.63	46.94	35.38	0.3929
Promedio	654.25	425.32	44.88	35.57	0.3943

Tabla XVII. Resultados de los análisis físicos aplicados al producto, utilizando en el proceso un 4.0% de celulasa neutra.

Prueba #	Tensión de urdimbre (N)	Tensión de trama (N)	Rasgado de urdimbre (N)	Rasgado de trama (N)	Peso (Kg/m ²)
97	662.19	406.11	43.22	35.67	0.3927
98	645.43	422.18	46.94	35.18	0.3943
99	672.67	407.48	44.00	35.18	0.3965
100	644.45	435.51	46.94	35.67	0.3917
101	635.53	436.39	44.30	34.69	0.3955
102	659.34	417.77	43.02	36.16	0.3932
Promedio	653.27	420.91	44.79	35.48	0.3940

Tabla XVIII. Resultados en escala gris de apariencia visual aplicados al producto, utilizando en el proceso celulasa neutra.

% Celulasa	Abrasión	Tonalidad	Cast	Promedio
0.00	2.0	3.0	3.5	2.83
0.50	2.5	3.5	4.0	3.33
1.00	3.0	4.0	4.5	3.83
1.50	4.5	4.0	4.5	4.33
2.00	4.5	4.5	5.0	4.67
2.50	5.0	5.0	5.0	5.00
3.00	4.5	5.0	5.0	4.83
3.50	4.5	4.5	4.5	4.50
4.00	3.5	4.0	4.5	4.00

Tabla XIX. Resultados en la escala gris de apariencia visual aplicados al producto, utilizando en el proceso celulasa ácida.

% Celulasa	Abrasión	Tonalidad	Cast	Promedio
0.00	2.0	3.0	3.5	2.83
0.50	3	3.5	4.0	3.50
1.00	3.5	4.0	4.5	4.00
1.50	3.5	4.5	5.0	4.33
2.00	4.5	5.0	5.0	4.83
2.50	4	5.0	4.5	4.50
3.00	4.0	4.5	4.0	4.17
3.50	3.5	4.0	3.5	3.67
4.00	3.0	3.5	4.0	3.50

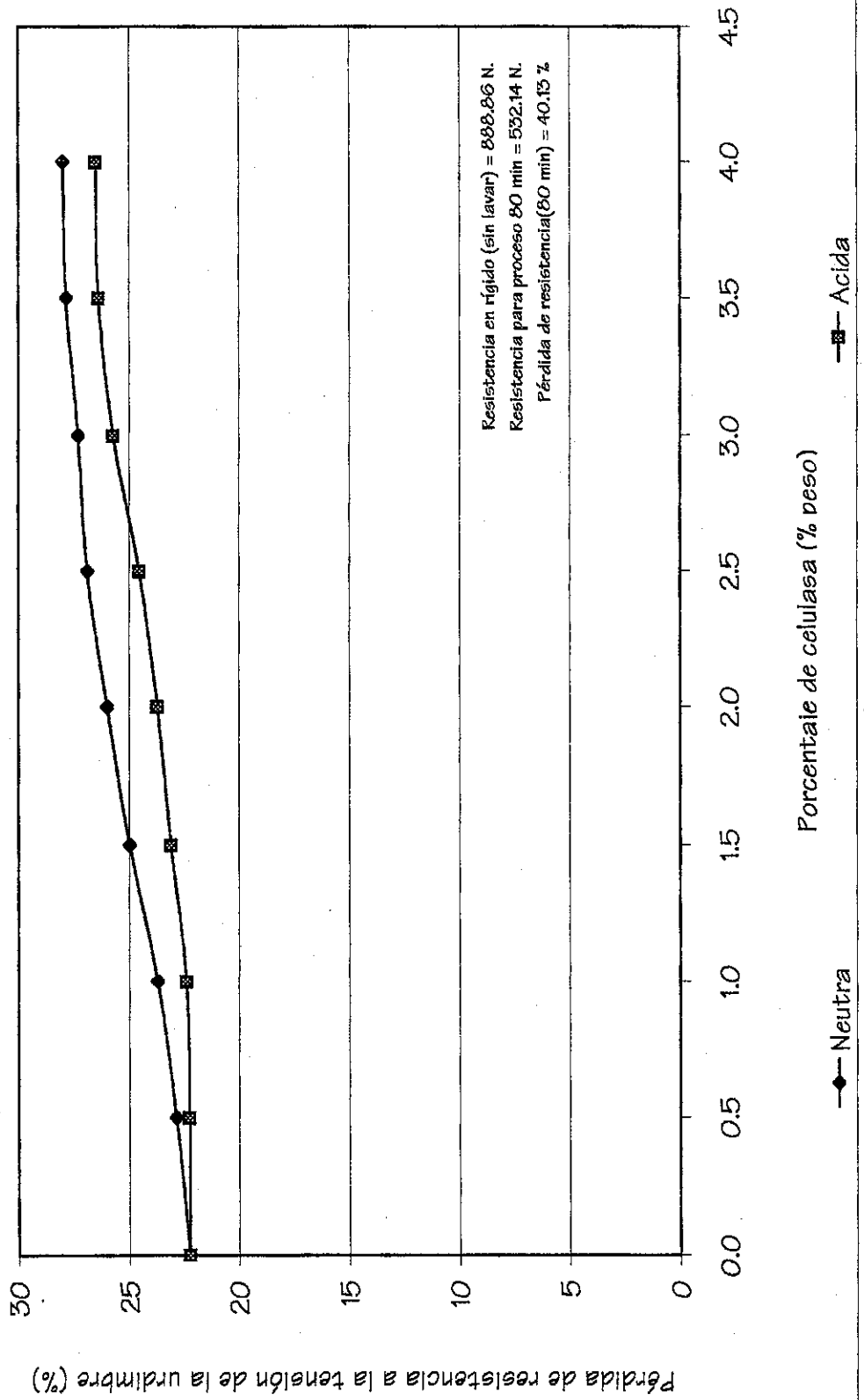
Tabla XX Ahorro en el costo por el uso de Celulasa neutra en el paso de abrasión para una carga de 20 kilogramos.

% Celulasa	Cantidad de celulasa agregada (Kg)	Costo de celulosas agregada (Q)	Costo de celulosas agregada por carga (Q/Kg)	Ahorro real (Q/Kg)
0.50	0.10	1.29	0.0645	0.47
1.00	0.20	2.58	0.1290	0.40
1.50	0.30	3.87	0.1935	0.34
2.00	0.40	5.16	0.2580	0.27
2.50	0.50	6.45	0.3225	0.21
3.00	0.60	7.74	0.3870	0.14
3.50	0.70	9.03	0.4515	0.08
4.00	0.80	10.32	0.5160	0.01

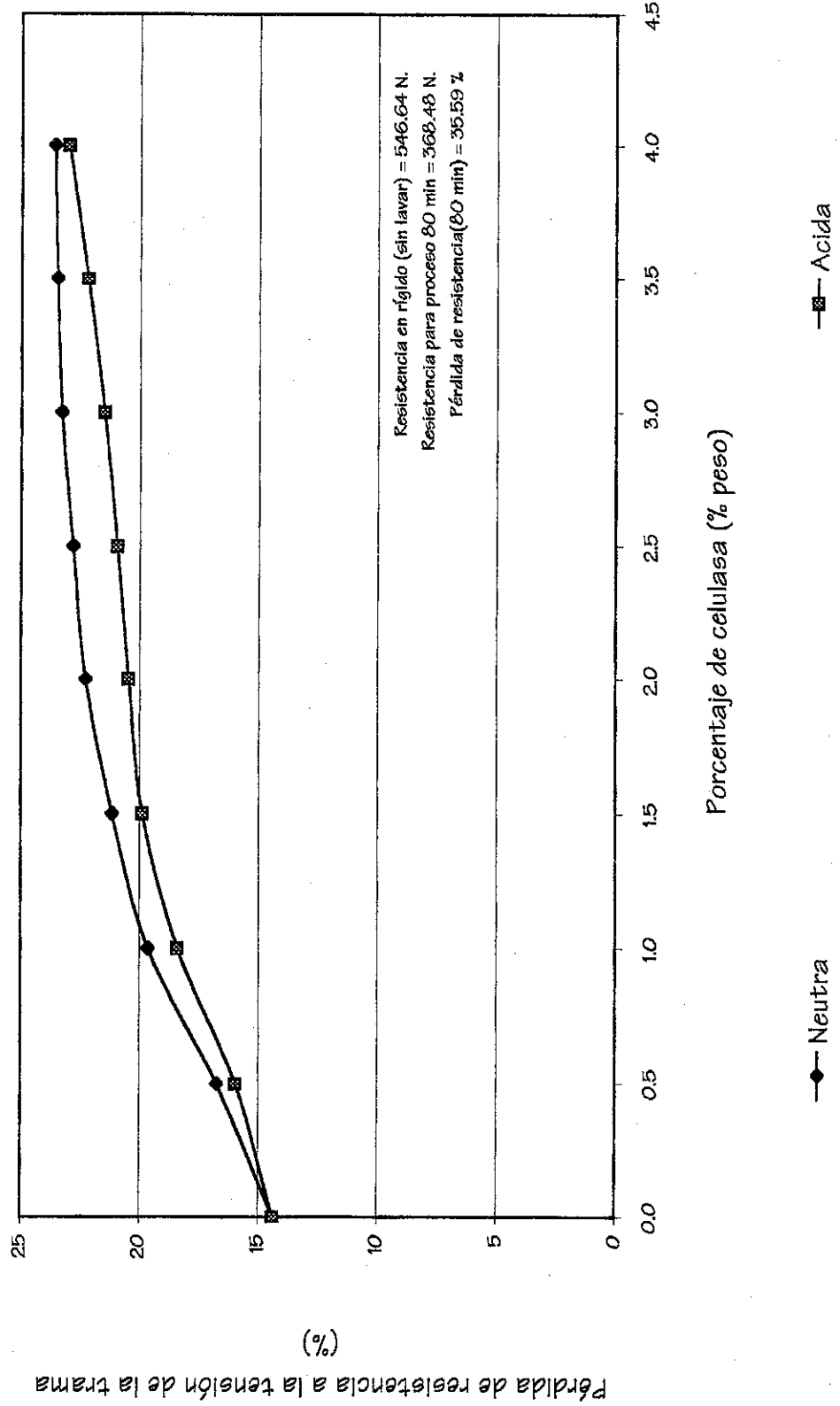
Tabla XXI Ahorro en el costo por el uso de Celulasa ácida en el paso de abrasión para una carga de 20 kilogramos.

% Celulasa	Cantidad de celulasa agregada (Kg)	Costo de celulasa agregada (Q)	Costo de celulasa agregada por carga (Q/Kg)	Ahorro real (Q/Kg)
0.50	0.10	1.13	0.0565	0.47
1.00	0.20	2.26	0.1130	0.42
1.50	0.30	3.39	0.1695	0.36
2.00	0.40	4.52	0.2260	0.30
2.50	0.50	5.65	0.2825	0.25
3.00	0.60	6.78	0.3390	0.19
3.50	0.70	7.91	0.3955	0.13
4.00	0.80	9.04	0.4520	0.08

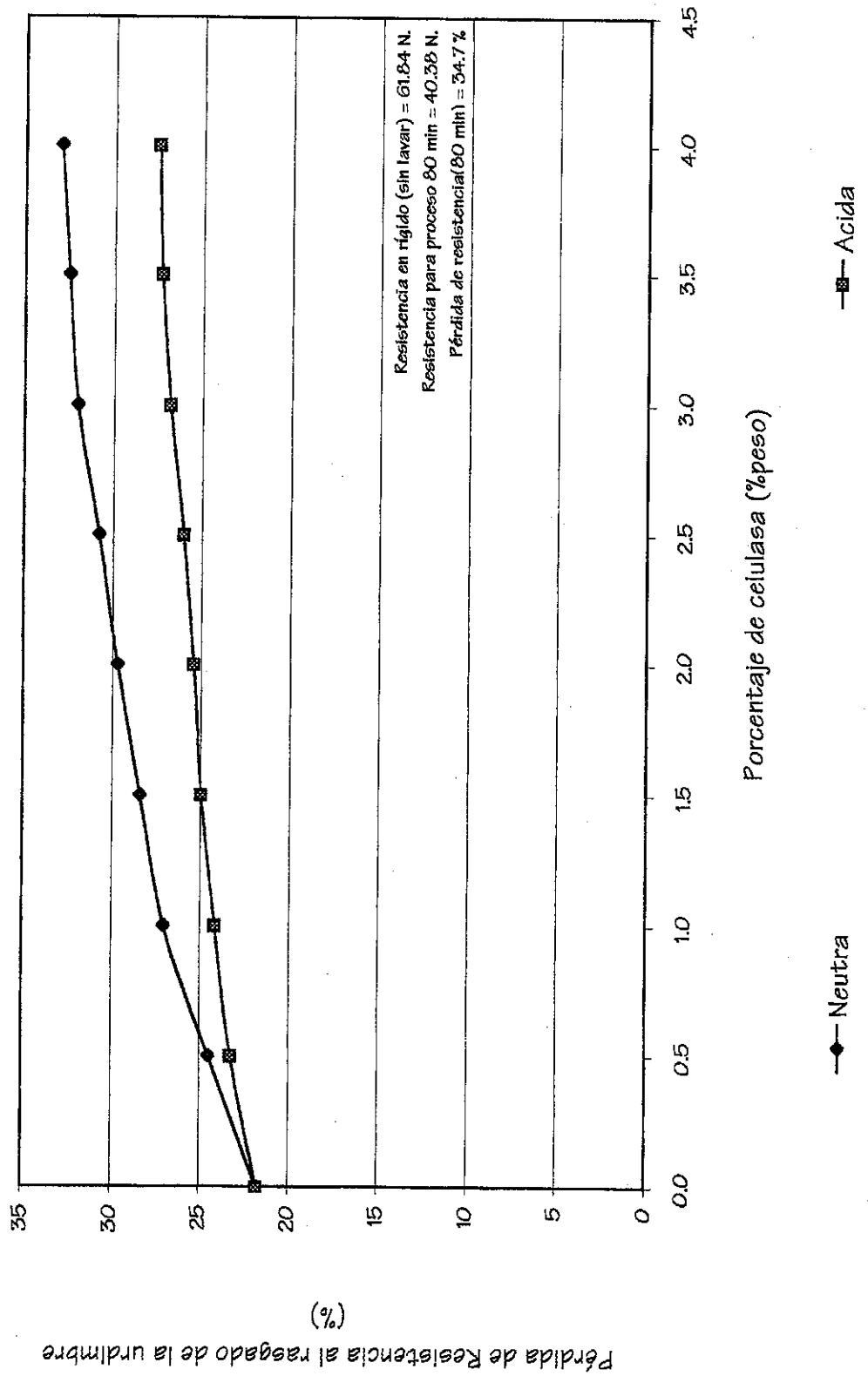
GRÁFICA No. 1. Comportamiento en el porcentaje de pérdida de resistencia a la tensión en la urdimbre en función de la cantidad de celulasa



GRÁFICA No. 2. Comportamiento en el porcentaje de pérdida de resistencia a la tensión en la trama en función de la cantidad de celulosa



GRÁFICA No. 3. Comportamiento en el porcentaje de pérdida de resistencia al rasgado en la urdimbre en función de la cantidad de celulosa



GRÁFICA No. 4. Comportamiento en el porcentaje de pérdida de resistencia al rasgado en la trama en función de la cantidad de celulasa

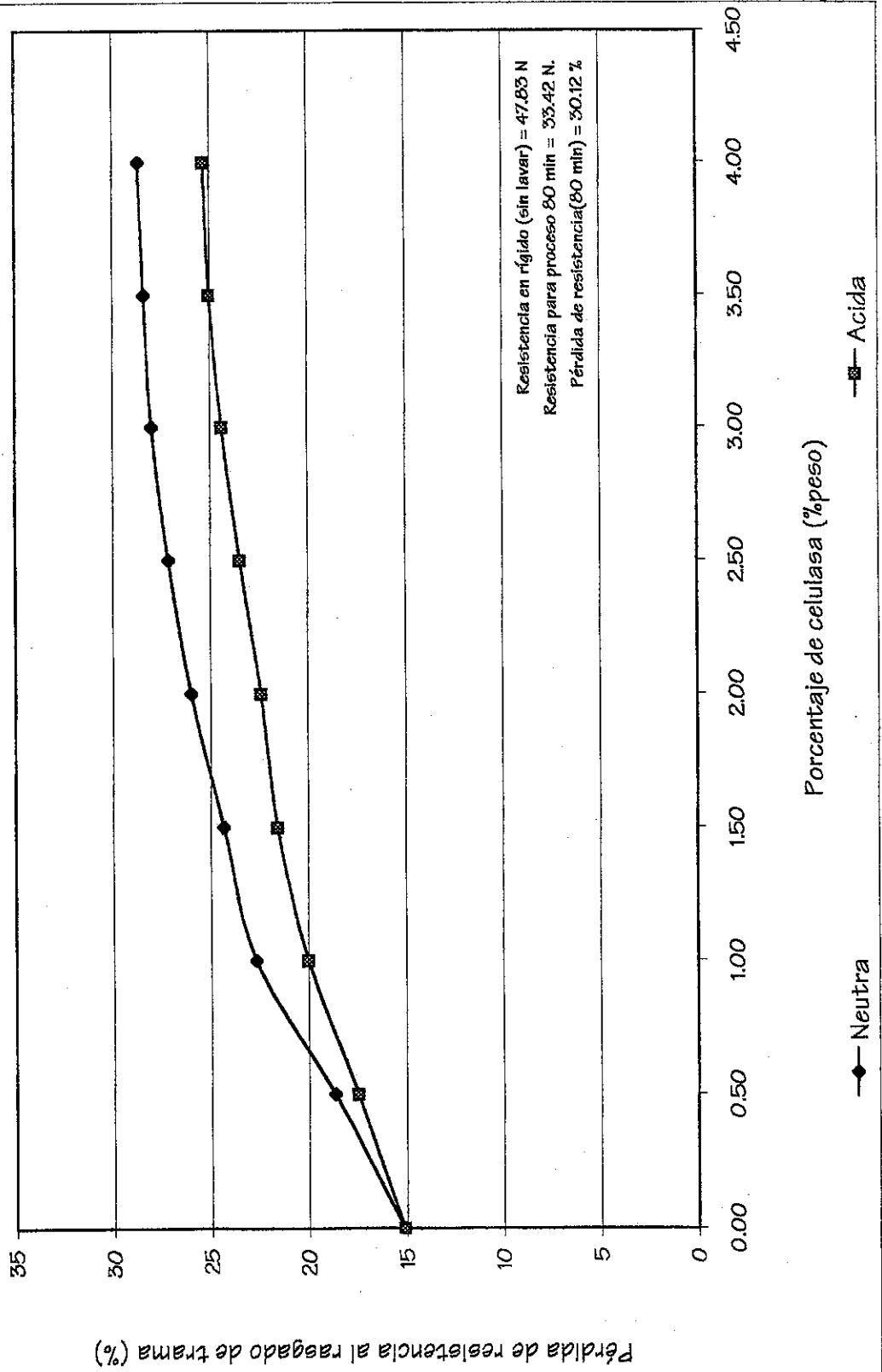
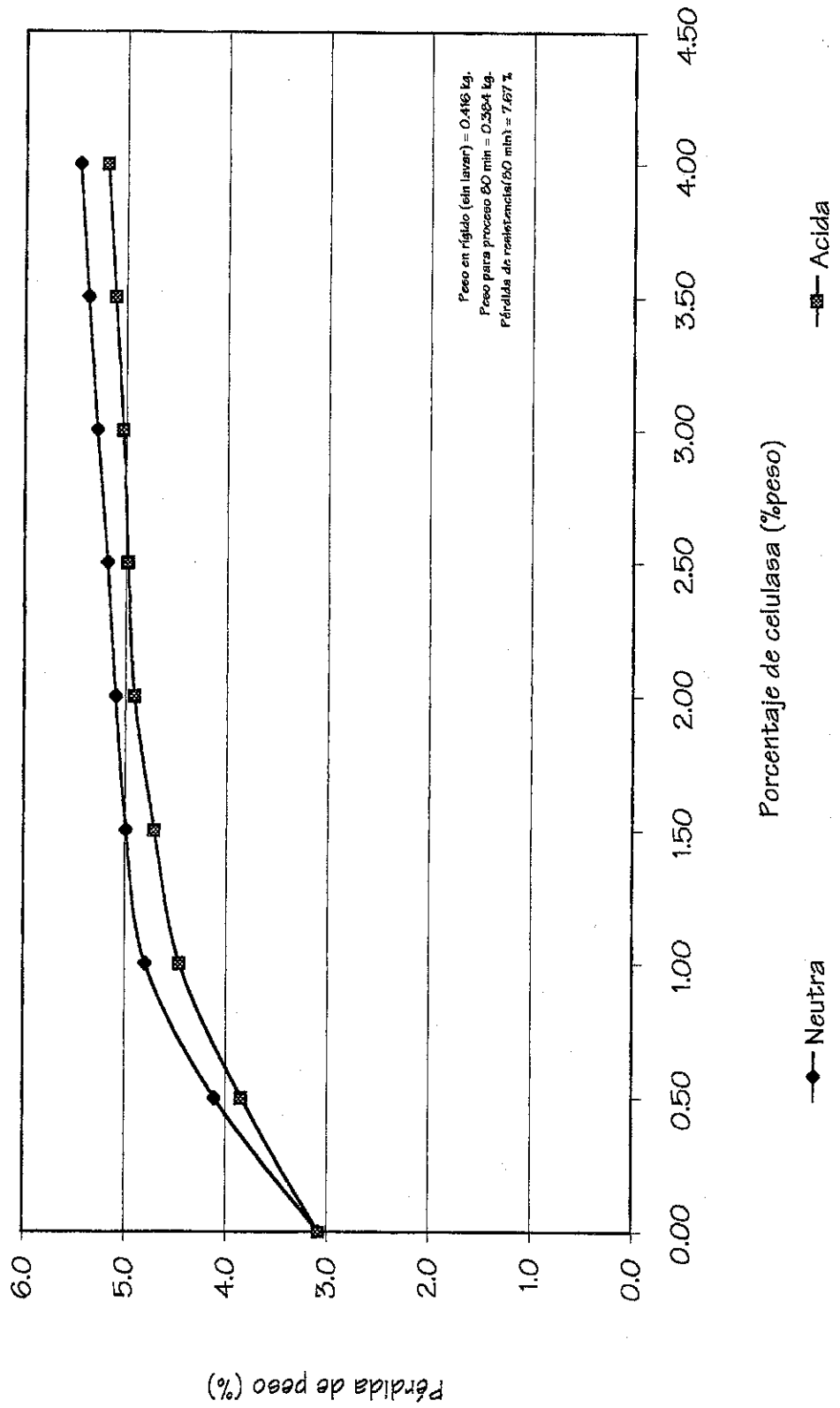
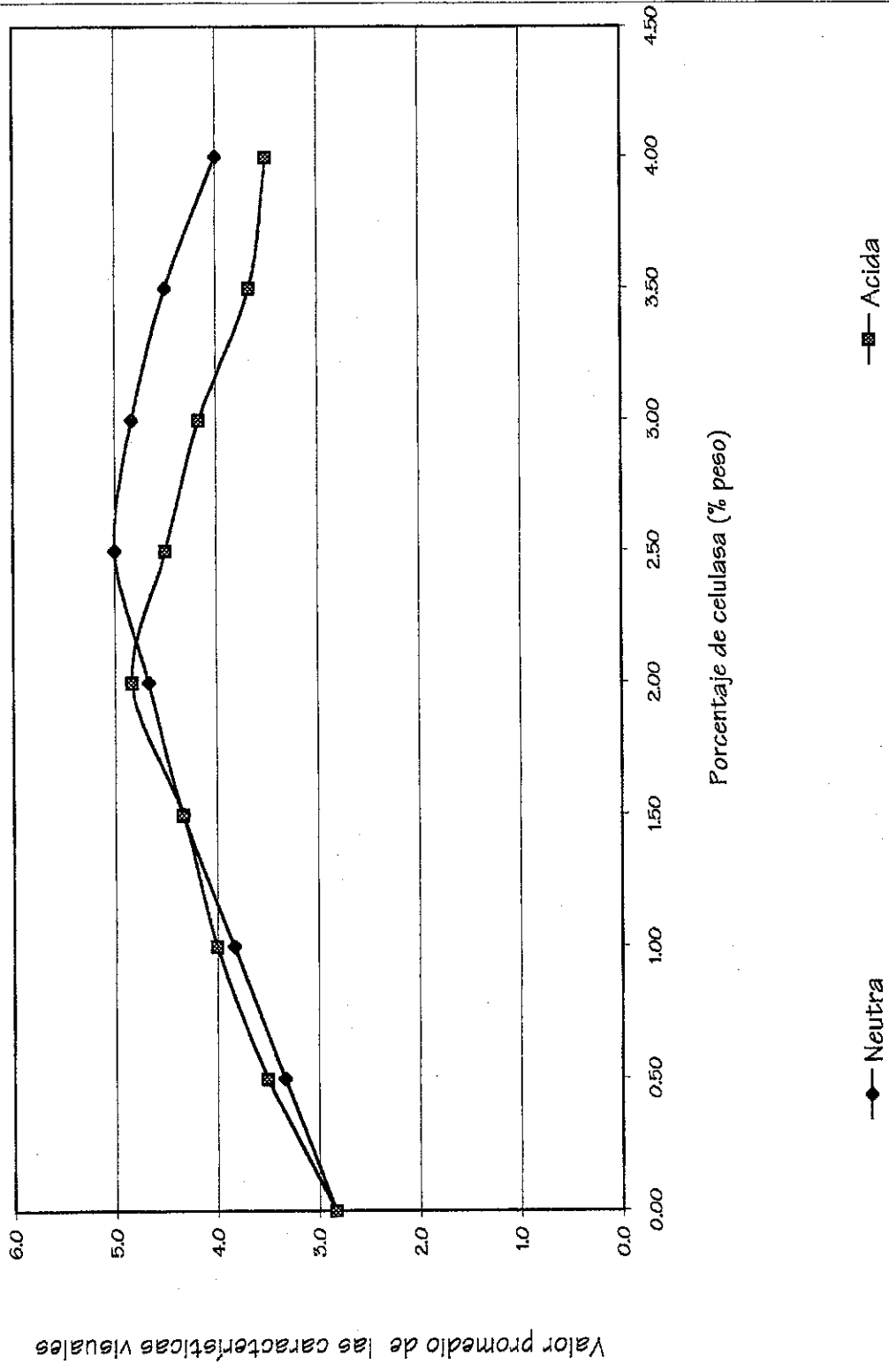


GRÁFICO No. 5. Comportamiento en el porcentaje de pérdida de peso en función de la cantidad de celulasa



GRÁFICA No. 6. Comportamiento promedio de las características visuales en función de la cantidad de celulasa



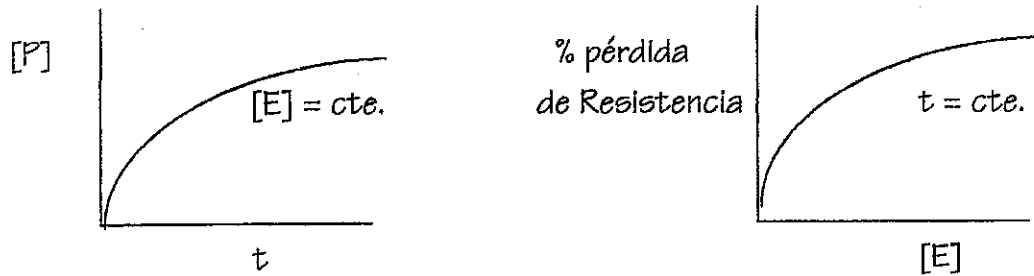
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación se presentan en forma tabulada en las tablas I a XVII, y representaciones esquemáticas promedio en las gráficas No. 1 a 5. Las celulasas evaluadas ácida y neutra, se trabajaron con iguales condiciones es decir misma maquina lavadora, temperatura nivel de agua, peso de la carga, cantidad de abrasivo mecánico (50 %) y tiempo de abrasión (45 min), en concentraciones desde 0.5% hasta un 4.0% en incrementos de 0.5% en cada una de ellas, con la única variante en el pH óptimo del baño, 5.5 para la ácida y 6.5 para la neutra. Por otro lado, se realizó el proceso convencional de lavado industrial de jeans, en cual en el paso de abrasión realizado sin celulasa, se trabajó por un tiempo de 80 minutos, con un porcentaje en peso de piedra del 90%, este paso y el producto final que se obtiene del mismo, se constituyeron en patrones de comparación para la evaluación visual y física de las prendas.

Las características de la lona son variadas, sin embargo, debido a la utilidad que se da a este producto, los aspectos más importantes por evaluar son sus propiedades físicas y su apariencia (o propiedades visuales). De las propiedades físicas, se evaluó la resistencia a la tensión y rasgado así como de la pérdida de peso, y por otro lado la evaluación de apariencia, se hizo por medio de la comparación del producto estudiado contra el producto patrón.

En este sentido, en las tablas I a XVIII, se exponen los resultados de las propiedades físicas de resistencia a la tensión para la urdimbre y la trama, resistencia al rasgado de la urdimbre y la trama así como de la pérdida de peso de los productos de las pruebas realizadas (Ver procedimiento en apéndice B.5). Representadas en forma individual en las gráficas No. 1 a No. 5, en donde, partiendo del proceso con el 0% de celulasa, la neutra presentó menos daño a la fibra denotado por su menor porcentaje de pérdida de resistencia del producto respecto a la ácida, notoriamente en el intervalo entre 1.5% y 3.0% de celulasa. Se observó que la representación gráfica de las propiedades físicas, tienden a comportarse como una

curva característica de actividad enzimática de orden cero, presentada por concentración de producto versus tiempo a una concentración de enzima constante. Con la variante que en este caso se tuvo un tiempo constante y concentración de celulasa variable, como puede observarse en las siguientes ilustraciones:



Concentración de producto en el tiempo a una concentración determinada de enzima

Pérdida de resistencia al aumentar la concentración de enzima en procesos de igual tiempo

Este comportamiento en el aumento de la pérdida de resistencia aumenta ya que en incrementos de celulasa la fuerza necesaria para vencer dicha resistencia disminuye, esto por la cantidad de fibra de algodón o concentración de celulosa sigue siendo la misma, o sea que se tiene la misma cantidad de sustrato e incrementos de celulasa que lo degradan a glucosa. A porcentajes mayores de 3.5% de celulasa, el incremento en la pérdida de resistencia no es significativo, ésto debido al exceso del disacárido celobiosa, producto de la hidrólisis simultánea de endo y exocelulasas. Conforme se incrementa la concentración de Celobiosa en el baño, la actividad de la exocelulasas se inhibe. Para lo que es necesario la utilización de Celobiasa para descomponer el disacárido en dos moléculas de glucosa. (Boyce, 1986, 288)

Las pruebas de resistencia a la tensión presentan datos mucho mayores para el rompimiento de los hilos tanto de trama como de urdimbre de la tela, que para las pruebas de resistencia al rasgado, por tal razón, los porcentajes de pérdida de resistencia sean mayores. Donde el punto de referencia esencial es la diferencia de la fuerza utilizada para urdimbre y trama en ambas pruebas. Los hilos de urdimbre de la tela presentan mayor resistencia por el pretratamiento que

estos reciben al ser cubiertos de añil (ver procedimiento en apéndice A) o colorante índigo que los hilos de la trama no reciben y son ensamblados en su forma natural algodón (celulosa) y siendo más susceptibles a su degradación en contacto con cualquier tipo de celulasa.

La otra prueba física realizada es la pérdida de peso en Kg/m², resultados que se encuentran tabulados en la gráfica No. 5, el comportamiento de dicha pérdida no fue significativo entre ambas enzimas a iguales concentraciones de celulasa, pero sí en el rango utilizado entre cada enzima, esto quiere decir que para el producto de la prueba para una abrasión sin celulasa y el producto con 4.0% de la misma, se tiene porcentajes de 3.0 y 5.5 de pérdida de peso respectivamente, para ambas enzimas. Es entonces esta prueba un parámetro de evaluación de la calidad del producto respecto a la cantidad de celulasa a utilizar, y no para la obtención comparativa de resultados de las enzimas para este estudio.

Por otro lado, los resultados de la evaluación de la apariencia como abrasión, tonalidad y cast, se encuentran en las tablas XVIII y XIX, y de forma promedio en la gráfica No. 6. Esta evaluación se hizo por medio del método de escala de grises (apéndice B.8), comparando los productos obtenidos tanto con el uso de las celulasas como sin él, contra una prenda estándar establecida con código 0435 en estilo de tela de 12 onzas por yarda cuadrada (0.408kg /m²) de una textilera tradicional. De esta forma, en las apreciaciones realizadas sobre los productos obtenidos se observó que los datos comprendidos en el rango entre 2.0% y 3.5% de celulasa, la curva de los procesos tratados con celulasa neutra, tiene un mayor acercamiento que la ácida sobre las características que provee el estándar; dentro de dicha curva, la concentración que coincide directamente con el grado de abrasión, tonalidad y cast es la de 2.5%, mientras que para la ácida la más cercana es 2.0%. En la gráfica No. 6, donde se encuentran los valores promedio de las propiedades visuales, se puede observar el ascenso y descenso vertiginoso que presenta la celulasa ácida. Ésto es debido a que este valor promedio comprende los valores que representa el grado de abrasión, tonalidad y cast en escala de grises, teniendo como valor óptimo 5.0.

Estas propiedades fueron promediadas, con el objeto de reconocer de las pruebas realizadas, el producto más cercano al estándar o acabado deseado en cada una de las propiedades evaluadas. Cada propiedad visual varía independientemente una de la otra, caso que fue altamente afectado en el valor de abrasión para dicha enzima ya que ésta actuó con mayor agresividad sobre la celulosa, lo cual provocó una elevación acelerada en el nivel de abrasión y redepositación Incidiendo en los niveles de tonalidad y cast. En el rango entre 0.5% a 2.0 % se acercó al nivel de 5.0 en la escala de grises, luego de 2.5% a 4.0 tendió a alejarse de dicho valor óptimo por el exceso de abrasión, un contraste bajo y la redepositación acumulada afectando directamente los valores de las propiedades visuales evaluadas. En la misma gráfica puede observarse que en la Celulasa neutra, tuvo un comportamiento más uniforme al acercarse y alejarse del valor 5.0 en el rango de 2.0% a 3.5%, lo que demuestra que la Celulasa neutra puede ser mejor controlada en el rango de concentraciones estudiado en un tiempo constante que en la ácida. Esto por la velocidad moderada con la que actúa, el alto contraste que esta genera y el bajo nivel de redepositación sobre la prenda.

La redepositación tuvo un papel muy importante en la incidencia de los niveles de las propiedades visuales evaluadas, ya que refleja una falta de contraste, lo cual no permite la apreciación de la abrasión obtenida. Además, provoca que los hilos de la trama (blancos) sean teñidos en el baño de índigo desprendido por los hilos de la urdimbre (azul) lo que demuestra un cambio en el grado en escala de grises de la tonalidad o intensidad del color. El color de la trama teñida en la mezcla de índigo y blanco (azulado) provoca que los productos de las pruebas obtengan un cast o diferencia de color, no de intensidad reflejado por la prenda respecto al estándar.

Se realizó un análisis económico de los procesos, par poder evaluar la rentabilidad de la aplicación de estas celulasas en sus diferentes concentraciones. Los datos que facilitaron este análisis se calcularon en el apéndice C y se exponen en las tablas XX y XXI, debido a que el proceso de lavado industrial fue prácticamente el mismo que el convencional, con la diferencia de la adición de las

celulasas. El análisis se hizo basándose en el incremento que representó la utilización dichas enzimas, el costo adicional se expuso en quetzales por kilogramo (Q/Kg.), debido a que de esta manera se comercializa el lavado industrial de prendas. De los resultados obtenidos, el ahorro real menos significado fue el proceso con 4.0% de Celulasa neutra que ascendió a Q 0.01/kg en relación al proceso convencional que utiliza solamente una abrasión mecánica, tomando en cuenta que en su utilización disminuye la cantidad de piedra pómez utilizada para la abrasión mecánica, así como una disminución en el tiempo de proceso respecto del proceso convencional. Lo que afecta de manera sustancial los costos de producción reflejando un beneficio económico adicional.

Con los análisis comparativos anteriores, se puede obtener una guía generalizada del proceso de lavado industrial en condiciones óptimas para el mismo, aplicando un método de abrasión mecánico-enzimática en prendas para el mejoramiento de la calidad del producto, tomando en cuenta los costos de operación, determinando el tipo de celulasa neutra y el porcentaje de la misma a utilizar en dicho proceso. El empleo de celulasa neutra fue la que presentó mejores resultados en las pruebas visuales realizadas con mejores propiedades físicas, aunque con un incremento en el costo de operación mayor que la ácida, por lo se determina como la mejor opción en su implementación a un proceso de abrasión.

Ya que su comportamiento en general físicamente es aceptable bajo los parámetros requeridos, además del mejoramiento de sus propiedades físicas respecto al proceso convencional, y aceptada visualmente en el rango entre 2.5% a 3.0% de celulasa. Se determinó que por su menor costo debe ser la prueba realizada con el 2.5% de celulasa neutra la óptima para dicho proceso. La determinación de utilizar la celulasa neutra es fácil de justificar, ya que la misma da un mejor acabado sobre la prenda sin dañarla excesivamente, mejorando la calidad del producto y disminuye los costos de operación respecto al proceso convencional disminuyendo el tiempo necesario y la cantidad de abrasivo mecánico para alcanzar dicho acabado contra un mínimo costo en la implementación de celulasa. Aunado a esto se tiene la gran ventaja que el uso de dicha enzima no es perjudicial para el medio ambiente.

CONCLUSIONES

1. El proceso que utiliza celulasa, ya sea ácida o neutra, tuvo un efecto positivo en el mejoramiento de las propiedades visuales de abrasión cast y tonalidad, evaluadas en prendas en relación al proceso convencional (sin la implementación de celulasa).
2. La concentración óptima de celulasa neutra en el paso de abrasión en un proceso de lavado industrial con piedra pómez para el lavado de jeans con código de producto O435, estilo de tela de 12 onzas por yarda cuadrada de una textilera tradicional, es entonces 2.5 por ciento en peso de la carga.
3. El uso de celulasas neutra y ácida en un proceso de lavado industrial para prendas de mezclilla, disminuye los costos de operación, lo que representa ahorro para beneficio al empresario.
4. Después de comparar los resultados obtenidos de los procesos de abrasión, (las celulasas utilizadas; neutra y ácida), se determinó que el proceso de abrasión con celulasa neutra presentó mejores propiedades físicas y características visuales obteniendo un producto con mejor apariencia y de alta calidad.
5. La utilización de celulasa, ya sea neutra o ácida disminuye los costos de operación, ya que éstas ayudan en la disminución del tiempo de proceso y la cantidad de piedra pómez utilizada para alcanzar los acabados deseados sin

dañar excesivamente el producto. Obteniendo un proceso económicamente factible.

6. La celulasa ácida provoca excesiva redepositación en las prendas, mientras que la neutra no ensucia la trama de las mismas, incidiendo directamente en la apreciación de las características visuales evaluadas con un mayor índice en la abrasión y tonalidad de las prendas.
7. La celulasa ácida actúa más rápidamente que la neutra, reflejado en los niveles de abrasión alcanzados por esta celulasa a bajas concentraciones, así como en la pérdida de resistencia física de las prendas. Para la neutra deben utilizarse porcentajes más elevados para alcanzar los mismos resultados.
8. La utilización de celulasas en cantidades mayores a 4.0% en peso, afectan severamente las propiedades de resistencia a la tensión y rasgado, sin lograr características visuales significativas, y aumentan considerablemente los costos de producción.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar celulasa neutra como abrasivo químico en un rango de 2.5 a 3.0% del peso prenda, en un proceso de abrasión para un lavado industrial utilizando el mismo procedimiento del proceso de lavado de lona convencional, con la variante de agregar la celulasa en los porcentajes recomendados, tomando un criterio basado en el costo que ésta representa en su implementación.
2. Estudiar y aplicar métodos de prevención de la contaminación del proceso de lavado industrial, puesto que es más rentable evitar la contaminación que depurar, ya que a la disminución de costos de depuración de la mayoría de las medidas preventivas que se puedan tomar, llevan aparejados recuperación o ahorro en agua productos químicos con el consiguiente abaratamiento del costo de producción. Como opción para alcanzar esta prevención, puede ser la reducción del volumen de agua residual y de las materias contaminantes. Esto se logra con la recuperación o un mayor agotamiento de los agentes químicos utilizados.
3. Utilizar celulasa ácida para reducir del tiempo de proceso o para alcanzar acabado con niveles elevados de abrasión que puedan ser requeridos, con el criterio de cuidar las propiedades físicas por la agresividad de esta enzima. Además, se recomienda que sea utilizada en prendas que contengan tipos de lona o mezclilla con alto onzaje, o sea que tengan un mayor peso en kilogramos por metro cuadrado, para que las mismas cumplan con los niveles de aceptación para las propiedades de resistencia a la tensión, al rasgado y a la pérdida de peso.

4. Estudiar la optimización del proceso de desengome para lavados industriales, ya que de éstos depende la representación que pueda generar las características de abrasión cast y tonalidad. Si no se aplica un buen desengomante al tratamiento de estas prendas, los residuos de éstos pueden interferir con la acción enzimática e inhibir a la celulasa. Para lo cual se recomienda se realicen pruebas de identificación de aprestos o engomantes que puedan estar presentes en la lona, para aplicar de forma efectiva diferentes tipos de desengomantes y concentraciones de los mismos.

5. Estudiar la implementación de aceleradores o cofactores enzimáticos para celulasas, ya que con ésto se tendrían mayores opciones para la presentar acabados con niveles altos de abrasión tanto empleando celulasas ácidas como neutras, y a la vez realizar pruebas físicas para la determinación del efecto que tengan estos sobre las fibras de algodón. Si los cofactores aumentan la acción enzimática, se pueden reducir tiempos de proceso y disminución de cantidad de enzima y piedra empleadas para los lavados industriales de prendas de lona o mezclilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. E. Cantarow & L. Schepartz. *Biochemistry*. (3ª. Edición, USA: WB Saunders Company, 1992), pp. 232-236.
2. AATCC. *Book of papers*. (International Conference & Exhibition, USA: AATCC, 1997), pp. 24-123.
3. B. Sandoz. *Manual de teñidos*. (1ª. Edición, México: Editorial Harla, 1982), pp. 8-67.
4. C. Boyce. *Novo's handbook of practical biotechnology*. (2ª. Edición, USA: Reinhold Publishing, 1986), pp. 284 - 293.
5. D. Durham. *Utility of subtilisin detergent additive*. (USA: J. Of Appl. Bacterial, 1987), pp. 381 - 386.
6. Godfrey & Reichelt. *Industrial enzymology*. (USA: Stockton Press, 1983), pp. 284 - 293.
7. L. Asefeg & T. Videbaek. *International textile bulletin*, (USA: Novo, 1990), pp 25-30.
8. A. Vides. *La tintura con colorantes reactivos sobre fibras celulósicas por el método de agotamiento de baño*. (tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1980), pp. 1-32.

9. G. Zalaya. *Tintura artesanal en la industria de tejidos típicos de Guatemala, proposición de métodos más eficientes y económicos*. (tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1977), pp. 1-24.

10. AATCC. *Garment wet processing technical manual*. (USA: AATCC, 1994), pp. 4-49.

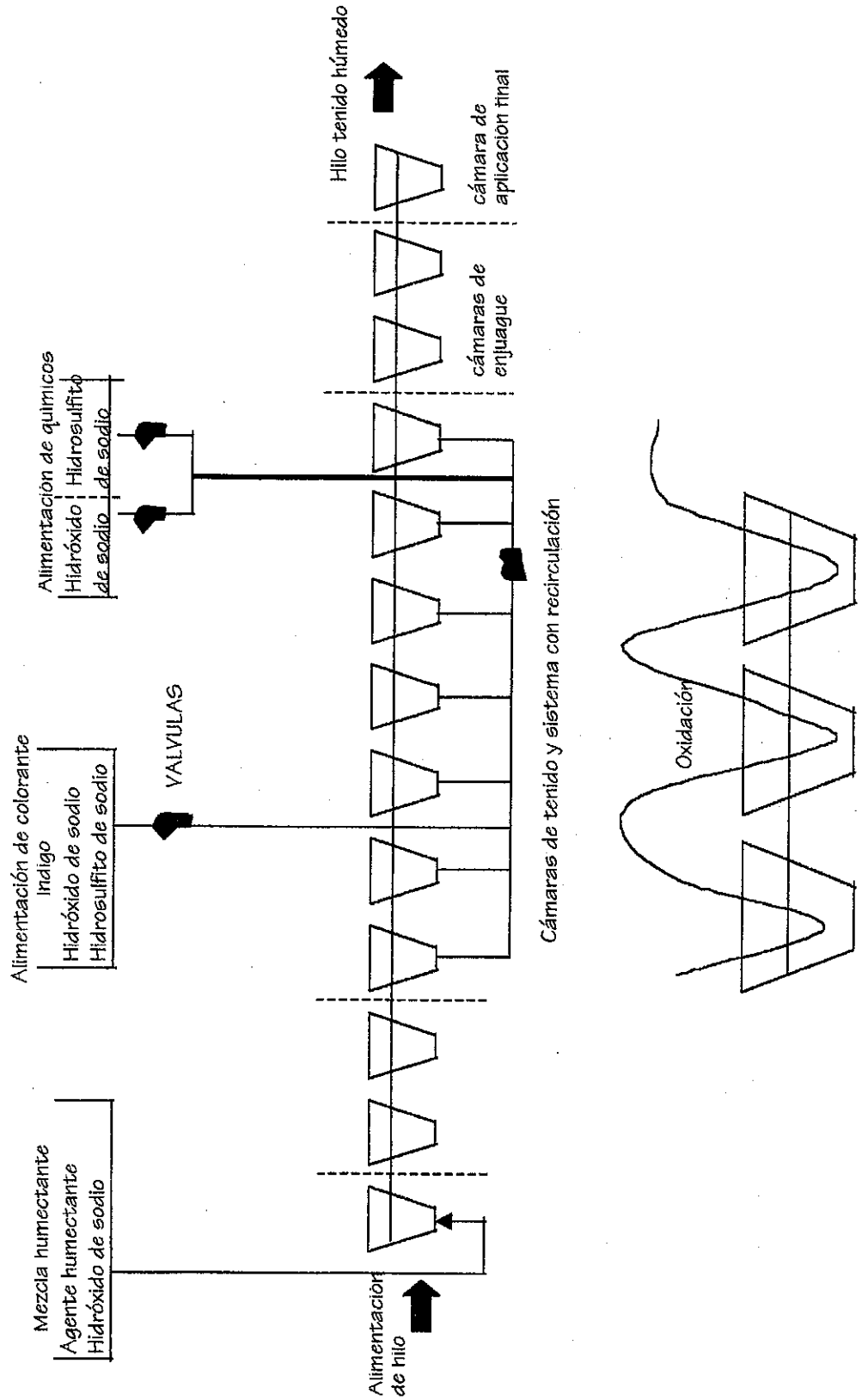
11. ASTM. *Book of ASTM standards*. (USA: ASTM, 1991), Vol. Sec. 07.02, 07.01).

12. AATCC. *Technical manual*. (USA: AATCC, 1998), pp. 341-348.

13. William Weaver. *Analytical methods for a textile laboratory*. (3ª. Edición, USA: AATCC, 1984), pp. 36-41.

APÉNDICE

APÉNDICE A. TEÑIDO ÍNDIGO DE HILO



APÉNDICE B. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO, MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y VISUALES

1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN{PRIVADO }

1.1. LOCALIZACIÓN

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en la Lavandería piloto de una lavandería Industrial tradicional. Se usaron sus distintas áreas para el proceso de lavado industrial de prendas, donde se encuentran:

- Área de una lavandería industrial tradicional. En este lugar se encuentran las lavadoras industriales, centrífugas y secadoras, con las que se realizó el proceso de lavado de Jeans utilizando dos tipos distintos de enzimas celulasas.
- Departamento de control de calidad de una lavandería industrial tradicional, en el cual se evaluaron las propiedades de apariencia visual y de suavidad, tales como: abrasión, cast y tonalidad.
- Laboratorio de pruebas físicas, allí se llevaron a cabo las pruebas de medición de parámetros de las propiedades físicas, tales como: resistencia al rasgado y a la tensión (tanto en urdimbre como en trama), pérdida de peso y porcentaje de pérdida de resistencia.

2. RECURSOS MATERIALES:

2.1. Materia prima:

2.1.1. Prendas de vestir (Jeans) con un código de producto 0435 con un estilo de tela de 12 onzas/yarda cuadrada.

2.2. Reactivos químicos de proceso:

- 2.2.1. Agente lubricante (Lubriguz)
- 2.2.2. Agente humectante (Etoxil)
- 2.2.3. Enzima amilasa (Desize GC2X)
- 2.2.4. Ácido acético (CH_3COOH)
- 2.2.5. Soda Ash (CaCO_3)
- 2.2.6. Sosa cáustica (NaOH)
- 2.2.7. Hipoclorito de sodio (NaOCl)
- 2.2.8. Bisulfito de sodio (NaHSO_3)
- 2.2.9. Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)
- 2.2.10. Enzima celulasa ácida (Excel 2000)
- 2.2.11. Enzima celulasa neutra (Denimax 302-S)
- 2.2.12. Detergente alcalino (Triton)
- 2.2.13. Agente suavizante catiónico (Quimsoft KP 550)
- 2.2.14. Agente suavizante siliconado (Quimsoft KP 707)
- 2.2.15. Tiras de papel indicador de pH Liphan

2.3. Agente físico del proceso:

- 2.3.1. Piedra pómez (Abrasivo mecánico)

3. EQUIPOS:

3.1. Equipo de proceso:

- 3.1.1. Máquina lavadora con capacidad para 38.5 kilogramos
 - 3.1.2. Extractora (centrífuga) con capacidad para 40 kilogramos
 - 3.1.3. Secadora con capacidad para 60 kilogramos
- 3.2. Equipo en el departamento de control de calidad:
- 3.2.1. Caja gris con especificaciones requeridas por el cliente
 - 3.2.2. Prenda estándar con código de producto 0435, con estilo de tela de 12 onzas / yarda cuadrada.
- 3.3. Equipo de laboratorio:
- 3.3.1. Heavy Duty Elmendorf (resistencia al rasgado)
 - 3.3.2. Scott Tester (resistencia a la tensión)
 - 3.3.3. Balanza analítica Orion (pérdida de peso)

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1. DISEÑO DE TRATAMIENTOS

La calidad, eficiencia y funcionalidad de las enzimas celulasas utilizadas, en el proceso de lavado industrial, se evaluó al someter Jeans de especificaciones 0435, estilo de tela de 12 onzas / yarda cuadrada, a un proceso de lavado con piedra pómez en adición con una de las celulasas y posteriormente determinar el proceso de lavado

que permite obtener la máxima calidad del producto, esto a la vez, se encontró al precisar la mejor apariencia visual y los mayores parámetros de las propiedades físicas, manipulando la variable concentración de la enzima celulasa en el paso de abrasión.

4.2. UNIDAD EXPERIMENTAL

Las unidades experimentales que fueron utilizadas, son jeans con código de producto 0435 con estilo de tela de 12 onzas por yarda cuadrada de la gama de productos de una textilera tradicional, las cuales tienen un peso aproximado de 0.270 Kg.

4.3. MANEJO DEL EXPERIMENTO

La tela, se obtuvo del proveedor habitual, textilera que se dedica a la elaboración de este estilo de tela (28-7285), y posteriormente de la planta de costura, la cual realizó la construcción de las prendas utilizadas en el lavado. Las prendas fueron divididas en veinte cargas, ocho con cada una de las enzimas, de las cuales se trabajó con ocho diferentes concentraciones. Cada una de ellas fue sometida a un diferente proceso de abrasión, pero con iguales condiciones en sus etapas previas y posteriores a dicho paso. Las cantidades de reactivos, enzimas, aditivos, etc., fueron medidos con la mayor exactitud posible. Por otro lado se realizaron dos pruebas sin la utilización de celulasas, una con el mismo tiempo de abrasión (45 min) que las que si las emplearon, y otra con un tiempo de abrasión de 80 minutos, la cual fue tomada como patrón de referencia.

Luego de obtener las prendas al final del proceso de lavado, se procedió a evaluar su calidad en base a procesos visuales y táctiles (formas subjetivas), de igual forma en base a sus parámetros físicos. Durante el proceso de lavado, se tomaron lecturas de temperatura y tiempos de duración en cada una de las etapas del proceso, para mantener de esta manera, un control del mismo, y tener elementos de juicio en la interpretación de los resultados que se obtengan.

4.4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Se trabajaron cargas de 20 kilogramos para cada corrida utilizando la siguiente fórmula como referencia:

OPERACIÓN	CONDICIÓN	QUÍMICO	%	pH
DESENGOME	160 Lt	Amilasa	3.0	7.3
	60°C	Lubricante	1.0	
	10 min	Humectante	2.0	
ENJUAGUE	200 Lt			7.1
	25°C			
	2 min			
ABRASIÓN	120 Lt	Buffer	1.5	X
	60°C	Celulosa	Y	
	X min	Piedra pómez	Z	
		Dispersante	1.0	
DESACTIVACIÓN	160 Lt	Soda cáustica	1.0	9.5
	70°C			
	10 min			
ENJUAGUE	160 Lt			8.0
	25°C			
	4 min			
BAJADO	160 Lt	Hipoclorito de sodio	15.0	10.5
	60°C	Soda Ash	1.0	
	5 min			
NEUTRALIZACIÓN	160 Lt	Bisulfito de sodio	2.0	
	25°C			11.0
	4 min			
WASH	160 Lt	Dispersante	1.0	10.5
	60°C	Detergente	0.5	
	5 min			
ENJUAGUE	220 Lt			8.0
	25°C			
	2 min			
SUAVIZADO	120 Lt	Suavizante catiónico	1.0	6.0
	50°C	Suavizante siliconado	2.0	
	3 min	Suavizante antiozono	1.5	
EXTRACTADO	3 min			
SECADO	45 min			

Los valores X, Y, y Z corresponden a datos específicos de cada procedimiento realizado

Proceso	pH	%Piedra	Tiempo (min)
C. Ácida	5.5	50	45
C. Neutra	6.5	50	45
Tradicional	7.0	90	80

PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE LAS PRUEBAS FÍSICAS A PRENDAS TEXTILES

APÉNDICE B.5. PRUEBA DEL PESO DE LA TELA

1. Propósito:

Este procedimiento determina el peso por unidad de área de telas en condiciones antes y después del lavado.

2. Aparatos:

2.1. Balanza que lea con una exactitud de 0.01g.

2.2. Moldes de corte: círculos de diámetro 11.286 +/- 0.002 cm ó
4.997 +/- 0.0005 pulg.

3. Preparación del espécimen

Se acondicionan todos los especímenes por un mínimo de 4 a 6 horas bajo condiciones controladas de temperatura (21 +/- 1°C o 70 +/- 2°F) y humedad (65 +/- 2%).

Córtense 4 círculos usando los moldes

4. Procedimiento

4.1 Póngase en ceros la balanza

4.2 Pése los cuatro círculos en gramos, lo más cerca a 0.01g

5. Cálculos

5.1 Para moldes con diámetro en pulgadas:

El peso de los cuatro círculos en gramos se multiplica por 19.8 y dará el peso de la tela en gramos por metro cuadrado.

El peso de los cuatro círculos en gramos se multiplica por 0.583 y dará el peso de la tela en onzas por yarda cuadrada.

5.2 Para moldes con diámetro en centímetros:

El peso de los cuatro círculos en gramos se multiplica por 25 y dará el peso de la tela en gramos por metro cuadrado.

El peso de los cuatro círculos en gramos se multiplica por 0.7375 y dará el peso de la tela en onzas por yarda cuadrada

MÉTODO ALTERNO (A):

a.1. Propósito:

Este procedimiento determina el peso en onzas por yarda cuadrada de prendas procesadas.

a.2. Aparatos:

a.2.1. Balanza que lea con una exactitud de 0.01g

a.2.2 Molde cuadrangular de 152.4 mm x 152.4 mm (6" x 6")

a.3. Preparación del espécimen:

Se acondiciona el espécimen por un mínimo de 4h bajo condiciones controladas de temperatura (21+/-1°C) y humedad (65+/-2%).

a.4. Preparación del equipo:

a.4.1. Póngase en ceros la balanza

a.4.2. Pése el espécimen en gramos

a.5. Cálculos:

El peso del espécimen en gramos se multiplica por el factor de 1.26, lo cual dará el peso en onzas por yarda cuadrada.

El factor de 1.26 se obtiene de la siguiente manera:

Se tiene un molde de 6 X 6 pulgadas, es decir con una área constante de 36 plg².

Tomando en cuenta la equivalencia de 1 yarda = 12 pulgadas, se obtiene que 36 plg²=0.02777 yd², que es el área de la muestra.

Por otro lado, la equivalencia en peso de gramos a onzas es de 1g=0.03527 onz.

El peso por unidad de área será: $\text{Peso en gramos} \times \frac{0.03527 \text{ onz.}}{0.02777 \text{ yd}^2}$

es decir:

$\text{Peso por unidad de área} = \text{Peso en gramos} \times 1.269 \text{ onz./ yd}^2$

Referencias:

1. El contenido de este texto para esta prueba es una traducción al español de *Weight of fabrics based on ASTM D3776-90* el cual constituye el método 21-95 de Levi Strauss & Co. El original del mismo se encuentra en LSNA Physical Testing Laboratory, Certification Manual Pág. VI-14.0
2. Libro anual de Estándares de la ASTM, vol. 07.02, *Standard test method for mass per unit area (weight) of fabric*, Pág. 85, Método 3776-96.
3. Norma Mexicana D.G.N.A. - 72 - 1964, Prueba del peso por metro cuadrado de la tela de la prenda.

APENDICE B.6. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, MÉTODO GRAB (TENSIÓN)

1. Propósito:

Esta prueba es para determinar 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 contribuida por los hilos adyacentes.

2 Aparatos:

- Máquina de prueba para el rasgado (CRE ó CRT)
- Dinamómetro Instron Modelo 1130 (o similar) con velocidad de cabeza cruzada de 12 ± 0.5 pulg/min (305 ± 10 mm/min)
- Dinamómetro de péndulo o de desplazamiento constante, Scott Tester modelo J con velocidad cruzada de 305 ± 10 mm/min (12 ± 0.5 pulg/min).
- Ambos aparatos tienen mordazas de 1X1" recubiertas como parte frontal y mordazas de 3X1" en la parte posterior. Pueden usarse mordazas anchas para disminuir el resbalamiento de la tela.

3. Preparación del espécimen:

Se preparan tres especímenes en cada dirección, urdimbre y trama. Se corta cada espécimen de 100 ± 1 mm (4") de ancho por al menos 150 mm (6") de largo con el lado más largo paralelo al sentido de los hilos o bien en la dirección que se va a ejercer la fuerza. Se dibuja una línea a 37 mm (1.5") desde la orilla del espécimen paralela a la dirección de prueba la cual se usará para centrar el espécimen en las mordazas. Dos especímenes paralelos no deben de contener el mismo grupo de hilos, ni en urdimbre ni en trama. Los especímenes no deben de ser cortados muy cerca de la orilla. En lugar de cortar tres especímenes sencillos, puede cortarse un espécimen continuo de 300 mm (12") por mínimo 150 mm (6") en cada dirección.

4. Procedimiento:

- Todos los especímenes de prueba deben acondicionarse en un período apropiado dependiendo del contenido de las fibras en la tela.
- Se prepara el aparato se checa en cero de la escala antes de cada serie de pruebas. Se checa la distancia entre las mordazas semanalmente, para asegurar que la distancia entre ellas no varíe. Tal distancia es de 76 ± 1 mm (3 ± 0.05 ”).
- Se selecciona el rango de carga tal que el rompimiento ocurra entre 10 y 90% de la escala.
- Se inserta el espécimen de prueba en las mordazas tal que la línea dibujada en la muestra corra paralelamente a la dirección de la prueba, la línea deberá estar adyacente al lado izquierdo entre la mordaza superior e inferior.
- Se opera la máquina y se lee la carga de ruptura. Si el espécimen se rompe a la altura de las mordazas, si se resbala o si el resultado cae marcadamente por abajo de los demás, se desecha el resultado y se toma otro espécimen.
- El criterio de rompimiento en la mordaza es que no ocurra dentro de los 5 mm cercanos a la mordaza lo cual resulta en un valor 50% abajo del promedio de los demás.

5. Reporte:

Se reporta el promedio de tres especímenes en cada dirección (urdimbre y trama), redondeando a la unidad de libra más cercana.

6. Referencias:

- 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.
- Norma Mexicana Determinación de la resistencia a la Tracción y Alargamiento de las Telas NOM-A-59-1964.
- LSNA Physical Testing Laboratory, Certification Manual, Tensile Strength/Breaking Load - Grab Method / ASTM D5034-95 pág VI-13.0

APÉNDICE B.7 PRUEBA DE RESISTENCIA AL RASGADO

1. Propósito:

Este método determina la fuerza promedio necesaria para propagar una ruptura sencilla del tipo de lengüeta a partir de un corte en la tela, por medio de una columna de péndulo Elmendorf.

2. Aparato:

- Columna de péndulo de descenso libre tipo Elmendorf modelo para trabajo pesado (Heavy Duty).
- Pesos de calibración.
- Moldes de corte y tijeras, Regulador de Presión de aire de entre 60 y 90 psi para mordazas neumáticas.

3. Preparación del espécimen:

- Se cortan tres especímenes en cada dirección, utilizando el molde.
- Para el grupo de la urdimbre, se orienta el lado más corto del espécimen a los hilos de trama tal que sean aquellos los rasgados y no éstos.
- La dimensión crítica del espécimen es la distancia de 43 ± 0.15 mm, la cual será rasgada durante la prueba.

4. Preparación del aparato:

- Selecciónese la capacidad del aparato tal que el rasgado ocurra entre el 20% y el 80%.
- Se verifica la alineación de la navaja, como se describe en el procedimiento de calibración.
- Para las mordazas neumáticas, la presión debe de estar entre 60 y 80 psi.

5. Procedimiento:

- Los especímenes de prueba deben acondicionarse apropiadamente de acuerdo al contenido de la fibra.
- Se levanta el péndulo a su posición de comienzo.

- Colocar el espécimen entre ambas mordazas de tal forma que quede perpendicular a las mismas y procurando que el cuadro medio del espécimen este centrado entre ambas; cerrar las mordazas usando el dispositivo para ello. Los hilos a ser rasgados quedarán perpendiculares a las mordazas.
- Con la cuchilla efectúese un corte de 20 ± 0.15 mm en el borde inferior del espécimen. La distancia a ser rasgada deberá de ser de 43 ± 0.15 mm.
- Suéltese el péndulo oprimiendo a fondo el botón liberador y deténgase al final de su carrera, después de que se efectuó el rasgado.
- Tómate la lectura donde se encuentre la aguja indicadora lo más cercano a la siguiente división.
- Cuando el espécimen resbala de las mordazas o cuando el rasgado se desvía 6 mm desde el corte hasta el final entonces la lectura obtenida no se toma en cuenta.

6. Reporte

Se reporta la fuerza promedio en gramos (o libras fuerza) necesaria para el rasgado del espécimen en cada dirección.

7. Referencias:

Libro anual de Estándares de la ASTM, Standard Test Method for Tearing Strength of Fabrics by Falling-Pendulum Type (Elmendorf) Apparatus D1424-96 Vol 07.02, Pág. 373

Norma Mexicana Método de Prueba para determinar la resistencia al rasgado - Método del péndulo de descenso libre INNTEX-NMX-A-109-1995

LSNA Physical Testing Laboratory, Certification Manual, Tearing Resistance of Textile Fabrics / ASTM D1424-96 pág VI-12.0

APÉNDICE B.8 ESCALA DE GRISES

1. Propósito

Este procedimiento de evaluación describe el uso de la escala de grises para evaluar abrasiones, tonalidades, redepositación y cast resultantes de una prueba de pérdida de color en prendas. Una especificación colorimétrica precisa de las diferencias entre la referencia y la escala del noveno paso es dada como un récord permanente para poder comparar la nueva escala de grises con la vieja escala que pudo haber cambiado.

2. Principio

El resultado de las propiedades visuales de la prueba de pérdida de color es valorado por comparación visual en la diferencia en color o contraste entre estándar y textil tratado. La diferencia entre grados es representada en la escala. El grado de pérdida de color es igual en el paso para la escala de grises que está calibrada para tener el mismo color o diferencia en el contraste.

3. Terminología

3.1 Colorante redepositado

El recogimiento no deseado de colorante por medio del sustrato debido a (1) exposición a un baño con colorante, o (2) contacto directo con colorantes o pigmentos, por una transferencia por medio de sublimación o acción mecánica.

3.2 Pérdida de color

La resistencia del material a cambiar en cualquiera de sus características colorimétricas, para transferencia hacia otros materiales o ambos como

resultado de la exposición a cualquier ambiente que pueda tener durante el proceso, evaluación, almacenamiento o uso del material.

3.3 Escala gris

Una escala que consta de pequeños pares de estándares grises representando diferencias progresivas en color o contraste correspondiente al grado numérico de pérdida de color.

4. Descripción de la escala

Los grados de coloración de los pasos de la escala y las tolerancias correspondientes de diferencia de color, son determinados por CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (CIELAB) formula, que esta dada en la siguiente tabla (ver 7.2)

Grado colorimetrico	Unidades CIELAB De diferencia	Tolerancia 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

Grado 5 es representado en la escala por dos astilla de referencia de color gris neutro montada una a la para de la otra, teniendo un valor de 12 +/- 1 TRT. La diferencia de color es 0.0 + 0.2.

Grados de coloración entre 4.5 y 1 inclusive están representados por una referencia de astilla blanca idéntica con a los usados en el grado 5, pares con astillas de color gris neutro de dimensiones y brillos similares. Las diferencias visuales en global en los pares de cada paso (grados 4,3,2,1) están en los pasos geométricos de la diferencia de color, o contraste como se muestra en la tabla. Las diferencias entre los grados de color, 4.5, 3.5, 2.5 y 1.5 son intermedios entre todos los grados ver fig.

5. Uso de la escala

Coloque la pieza original y su test correspondiente lado con lado en el mismo plano, orientado hacia la misma dirección. Tenga especial cuidado en crear una unión entre las dos piezas del material. Coloque la escala gris a lo largo de las esquinas del test y la muestra con las uniones alineadas a la escala. Ponga la máscara gris provista en la escala sobre las muestras y la escala para eliminar cualquier influencia en las áreas de alrededor.

Haga hacia atrás las muestras, tanto la original como la que está siendo analizada, con un material blanco teniendo un tristímulo Y de por lo menos 85. Si los especímenes están montados en una cartulina o cartón, el valor deberá ser de por lo menos 85.

Ilumine la superficie con luz del norte o su fuente de luminosidad de 538 Lux La luz debe ser incidente a la superficie de 45° y la dirección de 9°0. Compare visualmente la diferencia entre la muestra original y la que está siendo analizada.

6. Describiendo cambios de color en tests de desteñido.

- En el uso de la escala gris, el carácter para el cambio de color, si es en claridad, tono, croma, o alguna combinación de esas, no es valorado; la diferencia del

total, o contraste, entre el original y especímenes examinados es la base para la evaluación.

Si hay un récord del carácter para el cambio en el color del textil evaluado es necesario, agregar términos cualitativos apropiados para la calidad numérica, como está ilustrado en la Tabla II.

7. Especificación colorímetra de diferencias de color para la escala gris

- Las diferencias y tolerancias de color entre la referencia gris y el paso nueve para la escala son expresadas como diferencia del color total usando el CIE 1976 $L^*a^*b^*$ fórmula de diferencia de color:

Los valores estimulantes X, Y, Z definen para el color del estimulante del objeto de color blanco nominalmente.

- Tolerancias permisibles para las escalas Gris usadas como trabajos estándares son dadas en última columna del la Tabla I.

8. Notas

- Disponibilidad de AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel.: 919/549-8141; fax: 919/549-8933.
- Las medidas del espectrofotómetro para los chips deben ser tomadas con el componente especular incluido. Los datos colorímetros deben ser calculados usando el CIE 1964 10 observar datos para iluminante D.
- Provisión para calidad desteñida más bajo que 1 es proporcionado para una nomenclatura de procesos subjuntivos valorados en cualquier parte de este

MANUAL. Cualquier espécimen evaluado el cual tenga un cambio en el color o Contraste decididamente mayor que la calidad 1 puede ser valorado a 0.

- La limpieza y condición física para la escala gris son extremadamente importantes en obtener resultados consistentes. La Escala debería ser inspeccionada frecuentemente por identificaciones y algunas otras marcas. Si las marcas son consideradas para interferir con el proceso de valoración, entonces la Escala debería ser reemplazada. La Escala puede también ser físicamente dañada a través del manejo. Al mismo tiempo, si el daño físico para la Escala interfiere con el proceso de valoración, esto debería ser reemplazado. Periódicamente, la Escala puede ser medida en un espectrofotómetro o colorímetro para asegurar que el total de diferencias de color son dentro de una especificación. Mantenga la Escala en su caso cuando esto no está en uso.

APÉNDICE C. ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo de abradir prendas de lona involucra varios factores como:

- Costo de la mano de obra para operar la máquina lavadora.
- Costo de energía eléctrica consumida por la máquina.
- Costo de vapor producido por la caldera y energía eléctrica consumida por la misma, para aumentar la temperatura del licor.
- Costo de agua utilizada en el baño.
- Costo por depreciación del equipo.
- Costo de agentes químicos utilizados en el paso de abrasión.
- Costo del agente abrasivo mecánico (piedra pómez).
- Costo del agente abrasivo químico (Celulosa).

La implementación del uso de celulosa en el paso de abrasión fue la que aportó la diferencia de costo para cada proceso, ya que el resto de costos fue constante en todos los procesos de abrasión, y el único que varió fue el rublo relacionado a la inversión adicional por concepto de utilización de abrasivo químico.

Se procede calculando la cantidad de celulosa agregada, esto se hizo en base a la carga de prendas tratadas, es decir, 20 kilogramos; de manera que para un porcentaje de celulosa de 0.5 %, la cantidad agregada al licor de abrasión fue:

$$20 \text{ kg de prendas} \times \frac{0.5 \text{ kg celulosa}}{100 \text{ kg prendas}} = 0.10 \text{ kg celulosa}$$

Y así para el resto de porcentajes utilizados de celulosa.

El precio de las celulasas de las empresas proveedoras de agentes químicos de la industria textil, ofrece los siguientes precios:

Celulasa ácida:	Q 11.30/kg
Celulasa neutra:	Q12.90/kg

Con estos datos, y utilizando los valores antes determinados de la cantidad de celulasa agregada al paso de abrasión, se puede calcular el costo adicional que implica la utilización de estas enzimas, únicamente multiplicando el costo de cada una por la cantidad utilizada de la misma:

$$0.10 \text{ kg celulasa neutra} \times \frac{Q 12.90}{\text{kg Celulasa neutra}} = Q 1.29$$

Para que este costo sea aplicable, se procedió a dividir dentro de la cantidad de lona abradida, y de esta manera determinar el costo de la celulasa por kilogramo de prendas abradidas.

$$\frac{Q 1.29}{20 \text{ Kg prenda}} = Q 0.0645/\text{Kg prenda}$$

De esta forma se establece la forma tradicional de comercialización en el tratado de mezclilla para un lavado industrial en una lavandería tradicional.

Todos los resultados obtenidos de las operaciones realizadas en este apéndice, se dan a conocer en las tablas XX y XXI de la sección de resultados, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Costo Abrasión (Q/Kg)} = x (\% \text{ celulasa})$$

Donde: X: Costo de la celulasa (Q/Kg)

#: Porcentaje en peso (prenda) de celulasa agregada a una carga de 20 kilogramos.

Debido a que el patrón de referencia fue tomado de la prueba que representa un aumento en la cantidad de tiempo y de piedra en el lavado, este análisis económico, se centrará en la incrementación al costo del paso de abrasión, para lo cual se pueden agrupar un número de factores como el agua, vapor, depreciación del equipo, cantidad de componentes químicos, y otros recursos para ser tomados como otro costo fijo (R), y ser diferenciados de los dos factores principales de este estudio: tiempo, cantidad de abrasivo mecánico (piedra) y cantidad de celulasa, para lograr una ecuación matemática que simplifique el costo que representa un paso de abrasión para un lavado industrial convencional de prendas sin la utilización de celulasas:

$$\text{Costo abrasión (Q/Kg)} = R + x(t) + y(c)$$

Donde: x: valor que representa la mano de obra por carga y energía eléctrica consumida (Q/hr.Kg)

t: tiempo de abrasión (min)

y: Costo de la piedra pómez (Q/Kg)

c: (por prenda) de piedra agregada a la carga.

Costo proceso

$$\begin{aligned} \text{tradicional (Q/kg)} &= R + 0.34(1.33 \text{ hr}) + 0.637(0.9) \\ &= R + 1.02 \end{aligned}$$

Costo proceso

$$\begin{aligned} \text{mecánico-enzimático (Q/kg)} &= R + 0.25 (0.75 \text{ hr}) + 0.637(0.5) \\ &= R + 0.49 \end{aligned}$$

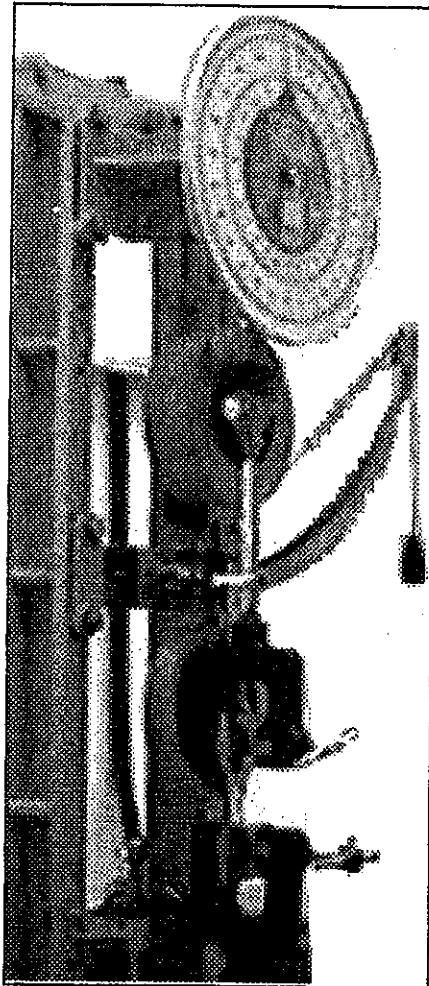
Ahorro en la implementación del nuevo proceso será la diferencia entre los dos costos de operación para cada proceso.

$$\text{Ahorro (Q/kg)} = (1.02 - 0.49) \text{ Q/kg} = 0.53$$

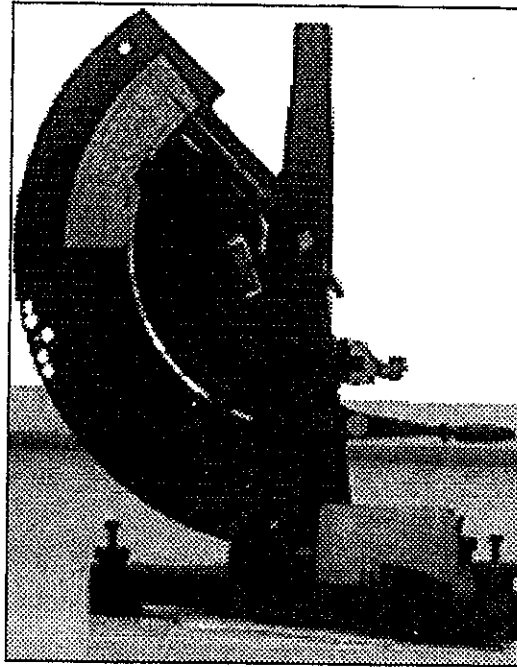
El ahorro real del proceso de abrasión será la diferencia entre el ahorro por disminución en la cantidad de piedra y tiempo de proceso, y el costo en la implementación de las celulasas de este estudio.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro Real Q/Kg} &= (0.53 - 0.0645) \text{ Q/kg} \\ &= \text{Q } 0.047 \text{ /kg} \end{aligned}$$

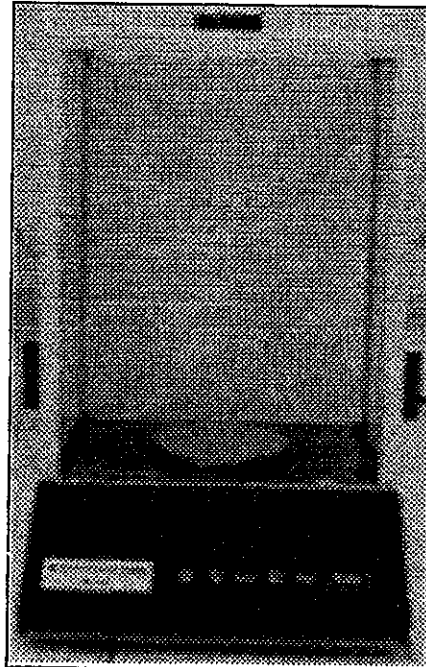
APÉNDICE D. Equipo utilizado en el
Proceso de lavado



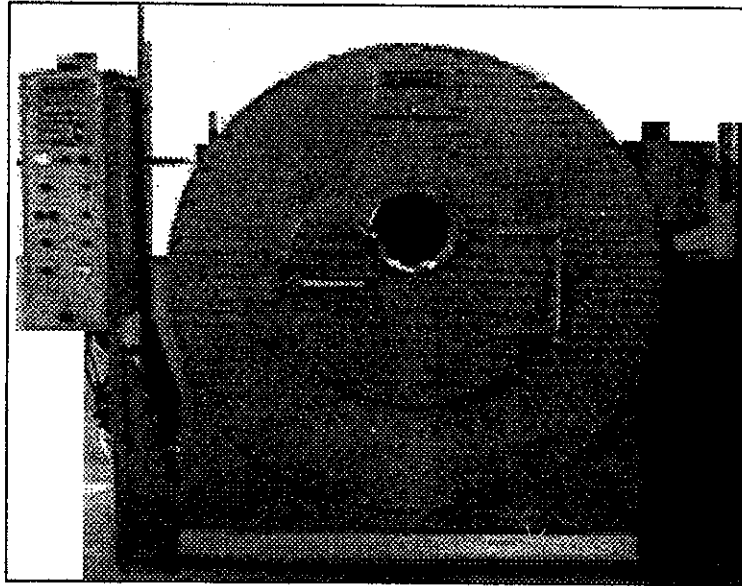
Heavy duty elmendorf (tensión)



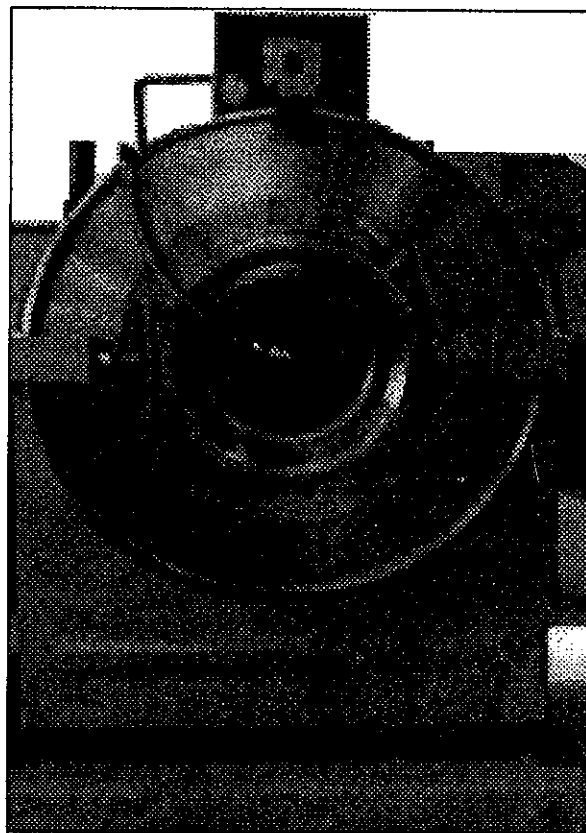
Scott tester (rasgado)



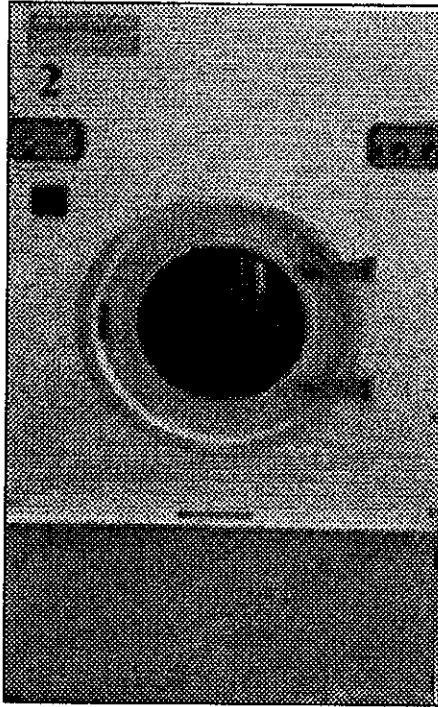
Balanza analítica



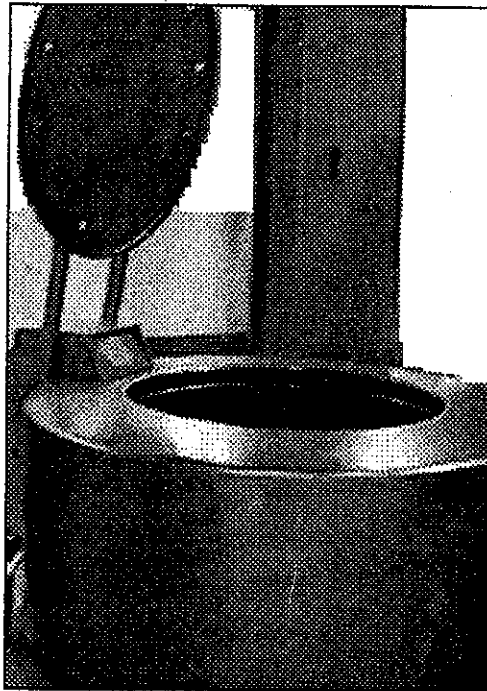
Lavadora piloto (automática)



Lavadora piloto (manual)



Secadora



Extractora