



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE TEXTILES

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO TEXTIL**

TEMA:

**“APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN TEJIDO DE PUNTO JERSEY
DE LANA PARA ACABADO ANTIPILLING.”**



AUTOR: Kevin Alejandro López Tobar

DIRECTOR: MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

Ibarra-Ecuador

2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, pongo a disposición el presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte con el propósito de su publicación en el Repositorio Digital Institucional, mediante la cual proporciono la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	040178653-8		
APELLIDOS Y NOMBRES	Kevin Alejandro López Tobar		
DIRECCIÓN	Ibarra		
EMAIL	kalopezt@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	-----	TEL. MÓVIL	0992267977

DATOS DE LA OBRA		
TÍTULO	Aplicación de silicato de sodio en tejido de punto jersey de lana para acabado antipilling.	
AUTOR	Kevin Alejandro López Tobar	
FECHA	12 de junio de 2025	
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		
CARRERA/PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL OPTA	Ingeniero Textil	
DIRECTOR	MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada	

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de junio de 2025

EL AUTOR

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kevin Alejandro López Tobar', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Kevin Alejandro López Tobar

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

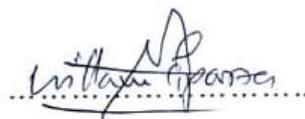
Ibarra, a los 25 días del mes de junio de 2025.

MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifica:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

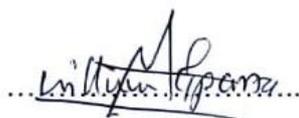


MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

C.C.: 100158901-7

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

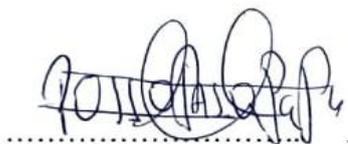
El Comité Calificado del Trabajo de Integración Curricular “Aplicación de silicato de sodio en tejido de punto jersey de lana para acabado antipilling “elaborado por Kevin Alejandro López Tobar, previo a la obtención del título de Ingeniero Textil, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Director

MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada

C.C.: 100158901-7



Asesor

MSc. José Rafael Posso Pasquel

C.C.: 100252578-8

DEDICATORA

Dedico esta tesis a cada momento de incertidumbre y a cada pensamiento de abandono. A ese "yo del pasado" que soñó con este logro, pero que en ocasiones dudó de su capacidad para alcanzarlo. Este trabajo es un sentido reconocimiento a la perseverancia y la determinación. Es el resultado de entender que el camino hacia una meta está lleno de desafíos, pero que con constancia, dedicación y la inquebrantable capacidad de creer en uno mismo, lo que alguna vez pareció un sueño lejano se convierte en una gratificante realidad. Esto es para ti, por tu esfuerzo, por tu resiliencia y por haber transformado cada duda en una victoria personal.

KEVIN ALEJANDRO LÓPEZ TOBAR

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a quienes hicieron posible esta investigación. De manera muy especial, a mi familia: a mis padres, por su amor y sacrificio incondicional, siendo mi fuente inagotable de motivación. A mi hermano y hermana, por su comprensión y ánimo constante. A mi hijo, mi motor más fuerte y por quien cada sacrificio es un privilegio.

A mis sobrinos, por sus sonrisas y alegría. A mis amigos y compañeros de clase, por el apoyo, las risas compartidas y hacer este trayecto más llevadero.

A mi director y asesor, por su invaluable guía, paciencia y constante apoyo, pilares fundamentales en cada etapa de este camino. A la Carrera de Textiles, por brindarme las herramientas, el conocimiento y el espacio para crecer. Y a todos los docentes que con generosidad compartieron sus conocimientos, inspirándome y desafiándome a ir más allá.

KEVIN ALEJANDRO LÓPEZ TOBAR

RESUMEN

Este estudio aplicó silicato de sodio en un tejido jersey de lana, utilizando el método de impregnación mediante el equipo foulard. El proceso experimental se llevó a cabo empleando concentraciones de silicato de sodio del 5%, 10%, 15% y 20%, basándose en referencias previas. Para garantizar una distribución uniforme, el tejido fue impregnado en el foulard a una presión de 2 bar y con una velocidad de 1 m/min. Posteriormente, las muestras se clasificaron según su concentración y se evalúa la formación de pilling en el equipo Martindale, siguiendo la norma ISO 12945-2. Los resultados mostraron que las concentraciones de 15% (MCL 3 y MSL 3) y el 20% (MCL 4 y MSL 4) son concentraciones que dieron mejor resultado en comparación a la muestra sin tratar y las concentraciones más bajas, incluso en los 5000 ciclos. La mejora del 20% sobre el 15% fue modesta al final del ensayo, lo que sugiere un rango óptimo de aplicación entre 15% y 20% para equilibrar eficacia y concentración. Esto indica que el efecto protector tiene un límite bajo en condiciones de desgaste prolongado.

Palabras claves: impregnación, pilling, fibras, finura, lana, lavado en seco, percloroetileno.

ABSTRACT

This study applied sodium silicate to a wool jersey knit fabric using the padding method with a foulard machine. The experimental process involved sodium silicate concentrations of 5%, 10%, 15%, and 20%, established based on previous references. To ensure uniform distribution, the fabric was padded in the foulard at a pressure of 2 bar and a speed of 1 m/min. Subsequently, samples were classified by concentration, and pilling formation was evaluated using a Martindale abrasion tester, following ISO 12945-2. The results showed that concentrations of 15% (MCL 3 and MSL 3) and 20% (MCL 4 and MSL 4) yielded the best results compared to the untreated sample and lower concentrations, even at 5000 cycles. The improvement of 20% over 15% was modest at the end of the test, suggesting an optimal application range between 15% and 20% to balance efficacy and concentration. This indicates that the protective effect has a low limit under prolonged wear conditions.

Keywords: impregnation, pilling, fibers, fineness, wool, dry cleaning, perchloroethylene.

LISTA DE SIGLAS

WO: Lana

PES: Poliéster

CO: Algodón

UTN: Universidad Técnica del Norte

TULSMA: Texto unificado de la Legislación Secundaria de Medio Ambiente

AITE: Asociación de Industriales Textiles del Ecuador

ANIQ: Asociación Nacional de la Industria Química

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Descripción del Tema	1
Antecedentes	2
Importancia del Estudio	4
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Hipótesis	6
Características del Sitio del Proyecto	6
CAPÍTULO I	7
MARCO TEÓRICO.....	7
1.1 Estudios Previos.....	7
1.1.1 Fibra de Lana y su formación de pilling	7
1.1.2 Pilling en el Tejido de Punto.....	9
1.1.3 Progresión del pilling.....	9
1.1.4 Factores Determinantes en la Generación de Pilling	10
1.1.5 Método de Impregnación	10
1.2 Marco Legal.....	11
1.2.1 Constitución de la República Del Ecuador	11
1.2.2 Líneas de Investigación Universidad Técnica Del Norte	12
1.2.3 Tulsma.....	13
1.3 Marco Conceptual.....	13
1.3.1 Fibra de Lana	13

1.3.2	Tejido de Punto	15
1.3.3	Acabados Textiles	16
1.3.4	Pilling.....	17
1.3.5	Silicato De Sodio	18
CAPÍTULO II		20
MARCO METODOLÓGICO.....		20
2.1	Enfoque de la Investigación.....	20
2.2	Tipos de Investigación a Aplicar	20
2.2.1	Investigación Bibliográfica.....	20
2.2.2	Investigación Analítica	21
2.2.3	Investigación Experimental	21
2.2.4	Investigación Comparativa	22
2.3	Flujogramas	22
2.3.1	Flujograma General	22
2.3.2	Flujograma Muestral.....	23
2.4	Equipos y Materiales	24
2.4.1	Equipo de laboratorio para el método de impregnación	24
2.4.2	Martindale	26
2.4.3	Norma ISO 12945-2.....	28
2.4.4	Túnel de secado.....	29
2.5	Procedimiento	29
2.5.1	Especificaciones de Tejido Jersey e Hilo.....	29
2.5.2	Selección de Muestras.....	31
2.5.3	Procedimiento de muestras para ensayos.....	33

2.5.4	Pruebas de Laboratorio	37
2.6	Determinación de la formación de pilling	38
CAPÍTULO III.....		40
Resultados y Discusión de Resultados.....		40
3.4	Resultados.....	40
3.4.1	Resultados de formación de pilling.....	40
3.5	Discusión de Resultados	42
3.6.1	Valoración de Resultados	42
3.6.2	Normalidad de los Datos.....	42
3.6.3	Varianza	42
3.6.4	Análisis de Resultados Mediante Estadísticas Descriptiva.....	44
Conclusiones y Recomendaciones.....		48
•	Conclusiones.....	48
•	Recomendaciones	49
Referencias bibliográficas.....		50
Anexos:		55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de pilling de tela de PES/CO.	8
Tabla 2 Especificaciones técnicas.....	19
Tabla 3 Parámetros de pick up.....	26
Tabla 4 Caracterización del hilo	30
Tabla 5 Caracterización del tejido	30
Tabla 6 Muestras utilizadas en el acabado antipilling	32
Tabla 7 Configuración de foulard y peso de muestras.....	33
Tabla 8 Dosificación de recetas	38
Tabla 9 Evaluación visual de pilling.....	39
Tabla 10 Resultados del grado de pilling.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de los laboratorios de la Carrera de Textiles.....	6
Figura 2 Fibra de lana	15
Figura 3 Tejido de punto.....	15
Figura 4 Tejido con acabado antipilling	18
Figura 5 Flujograma general.....	23
Figura 6 Flujograma de Muestra.....	24
Figura 7 Foulard Textil	25
Figura 8 Foulardado Textil	25
Figura 9 Equipo Martindale.....	27
Figura 10 Túnel de secado de la Carrera de Textiles- UTN	29
Figura 11 Escala de valoración de la formación de pilling.....	31
Figura 12 Muestra de tejido	33
Figura 13 Solución del producto de silicato de sodio.....	34
Figura 14 Colocación de muestras.....	35
Figura 15 Secado de muestras	35
Figura 16 Lavado en seco	36
Figura 17 Preparación de probetas.....	36
Figura 18 Análisis cualitativo microscopía tejidos de muestra	37
Figura 19 Muestras en el equipo Martindale	38
Figura 20 Normalidad de los datos según los datos obtenidos.	42
Figura 21 Varianza de las calificaciones de pilling en función del tratamiento (M0, MSL, MCL).....	43
Figura 22 Cambio del grado de pilling en diferentes tratamientos.....	44
Figura 23 Distribución del grado de pilling.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ficha técnica del silicato de sodio.....	55
Anexo 2 Ficha técnica del percloroetileno	56
Anexo 3 Ensayo a la resistencia de formación de pilling.....	57
Anexo 4 Análisis cualitativo microscopia	57
Anexo 5 Caracterización del hilo y tejido	58
Anexo 6 Proceso de lavado en seco.....	58
Anexo 7 Certificado de uso de laboratorio	59

INTRODUCCIÓN

Descripción del Tema

Este trabajo estudia el efecto del silicato de sodio sobre el pilling de un tejido de punto jersey de lana, que se someterá a un tratamiento químico mediante el método de impregnación en la máquina Foulard. El tejido jersey de lana es un de tejido simple, se distingue por tener un lado con textura. El método de impregnación consiste en aplicar silicato de sodio a diferentes concentraciones sobre la superficie del tejido, por medio de rodillos de presión, para luego eliminar el exceso de líquido mediante un proceso de secado en el túnel de secado.

El silicato de sodio es un compuesto químico utilizado en una variedad de aplicaciones, tal como menciona Flores (2021) en su publicación, los silicatos de sodio líquidos son soluciones acuosas producidas mediante la combinación de diferentes proporciones de óxido de sodio (Na_2O) y óxido de silicio (SiO_2). La composición de estos silicatos determina una amplia gama de características físicas y químicas.

Para evaluar el pilling del tejido tratado, se empleará la norma ISO 12945-2, que determina el grado de formación de pequeñas bolitas o motas en la superficie del tejido tras ser sometido al desgaste controlado en el equipo martindale, donde se evaluará de la formación de pilling en el tejido tratado con silicato de sodio, mediante ciclos de frotación, realizando un análisis visual en cada intervalo que varía de 1 a 5 según la escala de la norma.

Con este estudio, se espera obtener resultados precisos y confiables que permitan determinar la eficacia del tratamiento con silicato de sodio en el cambio de las propiedades del tejido jersey de lana. Además, los resultados obtenidos podrán servir como referencia para futuras investigaciones sobre la aplicación de este compuesto en otros tipos de tejidos.

Antecedentes

La lana es una fibra animal obtenida de las ovejas mediante el proceso de esquila. Esta fibra presenta características altamente distintivas que la convierten en un material ampliamente utilizado en la industria textil. Como menciona Esparza (2009): “La lana se refiere a los pelos obtenidos del corte de las ovejas, es una estructura organizada, crecida de una raíz situada en la dermis. Posee características especiales y únicas que le permiten ser procesadas con relativa facilidad” (pág. 3).

Entre las propiedades más destacadas se encuentran su capacidad térmica, lo que permite la confección de prendas cálidas y confortables. Además, posee un tacto suave y puede ser fácilmente teñida con colores vibrantes, entre sus muchas propiedades se menciona que: “la lana también conserva su forma original sin arrugarse y es una fibra que se presta fácilmente a los procesos textiles de hilado, tejido y acabado” (Pillajo et al., 2017, p. 24).

En cuanto a la resistencia de la lana frente a diferentes compuestos químicos, se destacan aquellos que pueden tener un impacto favorable o desfavorable en las fibras.

La lana exhibe una notable resistencia frente a ácidos suaves o diluidos, Yar (2020), se ve afectada por ácidos minerales concentrados, así como el sulfúrico y el nítrico, que pueden causar la ruptura y la descomposición en las fibras. No obstante, las soluciones diluidas de ácido sulfúrico se emplean en el procedimiento de la lana para la eliminación de materia vegetal que se adhiere en las fibras mediante la carbonización.

Lockuán (2012) hace énfasis en mencionar que los géneros de punto son tejidos elaborados a partir de hilos, los cuales pueden trabajarse manualmente o mediante el uso de maquinaria. En ambos casos, el proceso de confección se denomina tricotaje.

Mientras Ruiz (2013) indica:

Se considera que un tejido de punto es por trama cuando la orientación predominante de hilos que conforman sus mallas es horizontal. Para sus análisis, la disposición adecuada del tejido es con los vértices de las “v” que forman las mallas orientadas hacia abajo, tal como se presentan al salir de la máquina de tejer (p. 6).

En la descripción de etapas, Naik (1984) identifica tres etapas cualitativamente diferentes en el ciclo del pilling. En la primera etapa, las fibras cortas que se encuentran en los hilos se desplazan la superficie del tejido, como resultado de una acción abrasiva. Posteriormente, en la etapa siguiente, estas fibras se llegan a entrelazar, generando así la formación de las bolitas características del pilling. Finalmente, en la tercera etapa, dichas bolitas pueden desprenderse del tejido ya sea por el desgaste asociado al uso cotidiano de la prenda o por la acción de una fuerza externa inesperada. Este desprendimiento está determinado por la resistencia de las fibras que conforman la base de anclaje.

Solé (2014) menciona al pilling como un “efecto no deseado”, que trata acerca de la formación de pequeñas bolitas de fibras que se encuentran enmarañadas en la superficie del tejido, provocando la apariencia de envejecimiento o de uso prolongado, en periodos muy cortos de tiempo, cuando este efecto (defecto), es causado.

Hace referencia a la aparición de pequeñas bolitas de fibra enredadas en el exterior de los tejidos, implicando una apariencia de desgaste o uso prolongado durante cortos periodos de tiempo. Por lo tanto, evitar el pilling es fundamental, y esto implica considerar ciertos aspectos desde la etapa de diseño inicial del tejido.

El silicato de sodio es un compuesto químico versátil utilizado en diversos campos industriales. Se utiliza como aditivo en la producción de jabones, concretos, detergentes y adhesivos para la industria del cartón y papel. También encuentra aplicación para industrias

como la estabilización de suelos y en el proceso de *grouting*. Sus numerosas propiedades físicas y químicas lo hacen un material adecuado para la adhesión de partes como: tableros, madera enchapada, láminas de metal y pavimentos. Además, tiene un uso importante en fabricación de catalizadores básicos y también en la producción de gel de silicato (Martínez et al. 2009).

En el ámbito de los adhesivos, Alves et al. (2009) expresan que los silicatos solubles destacan como casi los únicos compuestos inorgánicos empleados como adhesivos, su uso es particularmente ventajoso debido a su notable capacidad de adhesión y su rápida transición a un estado semisólido, provocada por una mínima pérdida de agua.

De forma complementaria, Sáenz (2021) explicó: “En la zona del diagrama de fases donde el silicato de sodio tiene aplicación comercial, este se disuelve en agua, existiendo tanto en estado de solución como en estado coloidal” (pág. 4).

Importancia del Estudio

La evaluación de la eficacia del tratamiento con silicato de sodio para reducir el desgaste del tejido de punto jersey de lana es un desafío relevante en la industria textil. La aplicación de silicato de sodio en los tejidos puede mejorar significativamente su resistencia a la abrasión y a la formación de pilling. Sin embargo, la variabilidad en los resultados de diferentes muestras de tejido tratadas con silicato de sodio es un problema que debe ser estudiado para garantizar la eficacia y uniformidad del tratamiento. Estos resultados destacan la necesidad de realizar una investigación más detallada sobre sus efectos en tejidos de punto jersey de lana y de tener en cuenta diversos factores para garantizar la uniformidad del tratamiento y la calidad del producto final.

Estos factores interactúan y pueden afectar la eficacia del tratamiento, lo que puede conducir a resultados inconsistentes en diferentes muestras de tejido tratadas con silicato de sodio. Por tanto, este desafío puede inquietar negativamente el agrado final del cliente, y por

ende el prestigio de la empresa. Además, en cuanto a resultados del tratamiento, dificulta la implementación de procesos de producción eficientes y rentables, ya que podría ser complicado garantizar la calidad y la uniformidad del producto final si los resultados del tratamiento varían significativamente.

Entre los elementos que pueden afectar la diferencia en los resultados se incluyen la calidad de la lana, las condiciones ambientales, el tiempo de tratamiento y la concentración del silicato de sodio. Por tanto, es crucial asegurar la uniformidad del tratamiento en el tejido de punto jersey de lana para garantizar su eficacia. Es necesario realizar una investigación detallada sobre la variabilidad en la efectividad del tratamiento con silicato de sodio con diferentes concentraciones en un tejido de punto Jersey de lana 100%.

Objetivo General

Aplicar silicato de sodio en tejido de punto jersey de lana para acabado antipilling.

Objetivos Específicos

- Utilizar un tejido jersey de lana 100% aplicando silicato de sodio mediante el método de impregnación a diferentes concentraciones para la determinación de formación de pilling.
- Realizar pruebas de laboratorio utilizando el equipo martindale y siguiendo la norma ISO 12945-2 para comparar los resultados de tejidos tratados con silicato de sodio con el tejido sin tratar.
- Analizar los resultados obtenidos mediante técnicas estadísticas y análisis comparativo para determinar la concentración óptima de la aplicación de silicato de sodio.

Hipótesis

¿Con la aplicación de silicato de sodio se puede realizar un acabado antipilling para un tejido jersey de lana?

Características del Sitio del Proyecto

El estudio se realizó en la ciudad de Ibarra, la obtención del hilo de lana se realizó mediante la empresa IMBATEX, ubicado en la ciudad de Ibarra, con las coordenadas 0°20'39.0"N 78°08'04.1"W. El tejido de punto jersey de lana se realizó en la ciudad de Peguche, Barrio El Obrero. Tanto la etapa experimental como el análisis correspondiente se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte, específicamente dentro de los laboratorios de la Carrera de Textiles, ubicados en el sector de Azaya, calles Morona Santiago y Luciano Solano Sala con las coordenadas 0°22'40.9"N 78°07'24.0"W, como se observa en la **Figura 1**. La selección de este lugar se da debido a que los instrumentos y equipos necesarios se encuentran disponibles para el proceso de acabado y testeo para la determinación del pilling en el tejido.

Figura 1

Ubicación geográfica de los laboratorios de la Carrera de Textiles



Fuente: (Google maps, 2024)

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Estudios Previos

El fenómeno del pilling, caracterizado por la formación de pequeñas bolitas en la superficie de los tejidos, representa un desafío en la industria textil debido a su impacto negativo en la apariencia, textura y calidad de los productos terminados. La complejidad de esta problemática radica en la relación entre varios aspectos, incluyendo las propiedades de las fibras, y la forma en que están contruidos los hilos y los tejidos, así como los tratamientos de acabados aplicados. Diversos estudios han abordado estas variables, analizando las condiciones que propician el desarrollo de pilling y sugiriendo estrategias para mitigar su aparición. A continuación, se presentan análisis de investigaciones que contribuyen a la base teórica de la presenta investigación.

1.1.1 Fibra de Lana y su formación de pilling

Una causa por la que los hilos con combinaciones de fibras de diferentes masas lineales tienden a generar un mayor grado de pilling es debido a que las fibras presentes en las bolitas tienen una finura mayor en comparación con el valor promedio del hilo. Mumbrú y Naik (1976) hacen mención del estudio realizado por Westenberg, en el que se midieron las fibras de un hilo empleado en un tejido jersey de lana, con una finura media de 22,2 micras, estas presentaron un valor promedio de 18,6 micras en el caso de las fibras identificadas en las bolitas.

Los resultados obtenidos en este estudio respaldan la teoría de migración. Las mediciones realizadas en las fibras de las bolitas revelan que los valores promedio son inferiores en 5 a 7 micras en comparación con la finura media original.

Tusief, Mahomood y Muhammad (2011), llevaron a cabo un estudio donde evidenciaron que los tratamientos anti-pilling muestran diferentes niveles de eficacia en la reducción del pilling en los tejidos. Entre los compuestos químicos analizados, el Appretan N 9211 destacó por ofrecer los mejores resultados en cuanto a disminuir este problema. Así también, se determinó que las concentraciones aplicadas tienen un impacto significativo en la efectividad del tratamiento, siendo la de 80g/l, como se menciona en la **Tabla 1**. La que obtuvo los mejores resultados en esa investigación. Por otro lado, se evidencia que las variaciones en el nivel de pH no influyen de manera relevante en la capacidad del tratamiento para reducir el pilling.

Tabla 1

Clasificación de pilling de tela de PES/CO.

Tipo de Acabado (Producto)	Concentración (g/l)	pH
Metastab ZC	30	3.5
Teexicil Gc	40	4.5
Appretan N 9211	50	5.5
Knittex RCT	60	6.5
Dicrylan PSF	70	6.5
Wuxizyme RCL	80	6.5

Fuente: (Tusief, 2011)

Además, en la investigación de Guerrero (2005) se encontró que, al analizar los tejidos de poliéster/lana y poliéster/rayón, la resistencia al pilling disminuye a medida que aumenta el número de ciclos, alcanzando su punto máximo a los 2000 ciclos. Por otro lado, encontró que en los tejidos de algodón y poliéster/acrílico, la resistencia aumenta hasta los 4000 ciclos y luego disminuye a los 6000 ciclos. Dependiendo de la composición del tejido, se observan diferencias en los resultados en función del número de ciclos aplicados.

1.1.2 Pilling en el Tejido de Punto

El fenómeno conocido como "pilling" se manifiesta en la superficie de los tejidos de punto debido a diversas acciones o factores, y su consecuencia es la formación de pequeñas esferas en la superficie del tejido. Esto lleva a un deterioro del aspecto visual, la textura al tacto y, sobre todo, la calidad de los tejidos y/o productos confeccionados (Pocoroba, 2006).

Solé (2014) señala:

Una estructura más relajada en los tejidos aumenta su densidad, lo que a su vez disminuye la tendencia a la formación de pilling. Contrariamente, un incremento de la longitud del hilo utilizado para la confección está asociado con una mayor probabilidad de aparición de este fenómeno. Además, los hilos diseñados para tejidos de punto suelen presentar menor torsión en comparación con los destinados a tejidos calados. (p. 23)

De manera similar, un mayor factor de cobertura también disminuye esta tendencia. Por último, la galga del telar, que guarda una relación directa con el gramaje del tejido, también juega un papel importante en la formación de estas bolitas.

1.1.3 Progresión del pilling

Naik, (1984) describe tres etapas cualitativas:

En la primera, las fibras rotas de los hilos tienden a desplazarse en dirección a la superficie del tejido, como consecuencia de dicha acción de abrasión. Posteriormente, las fibras son entrelazadas formando las bolitas características. Finalmente, estas bolitas pueden desasirse del tejido durante el uso cotidiano de la prenda, o incluso ser removidas por alguna acción externa inesperada, lo cual depende de la resistencia de las fibras que las sostienen. (p. 34)

El desprendimiento de la formación de “bolitas” es resultado de la abrasión, que se puede producir por la acumulación de fibras, manteniendo un equilibrio entre las bolitas que se forman y las que se eliminan con el uso. Así, el estado final del pilling en una prenda se ve reflejado en un balance constante entre su formación y desprendimiento, influenciado por la frecuencia de uso y la fricción de la fibra.

1.1.4 Factores Determinantes en la Generación de Pilling

Solé, (2014) describe que:

Ciertos factores pueden influenciar la formación del pilling, por lo que resulta fundamental comprender tanto características de las fibras utilizadas como la estructura de los hilos y del tejido en su conjunto, para minimizar su aparición se destacan los siguientes factores:

- Fibra: naturaliza, finura, sección transversal, longitud, rigidez, tenacidad.
- Hilo: título, torsión, vellosidad, migración y mezclas de fibras.
- Tejido: estructura, textura, factor de cobertura y masa laminar.
- Tintura y acabados: procesos de descrude, tipo de colorante, pH del baño, perchado y termofijado. (p.14)

Según lo señalado por Solé, (2014), se puede aseverar que la lana, debido a su estructura rizada, es propensa a este fenómeno. Estos factores servirán como base para esta investigación. No obstante, solo se consideran aquellos parámetros relacionados con los procesos de acabados, dado que se aplicará un tratamiento antipilling sobre el tejido jersey de lana.

1.1.5 Método de Impregnación

De acuerdo con (Pineda, 2010, pág. 48) para “el método se debe cumplir con las siguientes etapas, se debe colocar el sustrato sobre la fibra o tela de manera uniforme y bien

distribuida, seguido de la fijación de la solución sobre el textil” posteriormente, se puede realizar tratamientos adicionales para proporcionar solidez y eliminar impurezas; sin embargo, esta etapa es opcional y depende del tipo de material que se esté tiñendo.

Si las etapas se ejecutan todas en una sola máquina corresponde a un proceso continuo; si por la naturaleza de las fibras cada etapa se sucede en máquinas diferentes, es discontinuo.

Este método se lleva a cabo utilizando una máquina foulard, la cual desenrolla una bobina de tela y la vuelve a enrollar en el extremo opuesto. La tela se sumerge en un recipiente con una solución y luego se comprime entre dos rodillos. Sin embargo, este método no es recomendable para colorantes y fibras que no tienen afinidad, ya que puede ocasionar irregularidades en el material textil, dejando parches visibles.

1.2 Marco Legal

En esta sección se proporciona un análisis detallado de la investigación propuesta en relación con la normativa vigente a nivel nacional, así como las distintas líneas de investigación disponibles en la Universidad Técnica del Norte.

1.2.1 Constitución de la República Del Ecuador

A continuación, se enumeran los artículos de la Constitución de la República del Ecuador que guardan relación con la protección del medio ambiente. (Constitución de la República del Ecuador, 2008):

Art. 83.- Literal 6 detalla: Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

El Art. 395.- Literal 1 menciona: el Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras (p. 36, 42, 176).

1.2.2 Líneas de Investigación Universidad Técnica Del Norte

De acuerdo con la Universidad Técnica del Norte (2022), se han definido 10 líneas de investigación que están vigentes en la actualidad y son aplicadas por todas las distintas disciplinas en el ámbito universitario.

1. Producción Industrial y Tecnología Sostenible.
2. Desarrollo agropecuario y Forestal Sostenible.
3. Biotecnología, Energía y Recursos Naturales Renovables.
4. Soberanía, Seguridad e Inocuidad Alimentaria Sustentable.
5. Salud y Bienestar Integral.
6. Gestión, Calidad de la Educación, Procesos Pedagógicos e Idiomas.
7. Desarrollo Artístico, diseño y publicidad.
8. Desarrollo Social y del Comportamiento Humano.
9. Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico.
10. Desarrollo, Aplicación de Software y *Cyber Security* (seguridad cibernética).

Dentro del ámbito de la Carrera de Textiles, la atención se concentra en dos áreas de investigación específicas, correspondientes a las líneas número 1 y 9. Estas se orientan, respectivamente hacia la producción industrial y tecnología sostenible, así como en la gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo socioeconómico.

1.2.3 Tulsma

En base a la información de (Tulsma, 2017) menciona que:

La norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión tiene como objeto principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente (pág. 308, 309).

1.3 Marco Conceptual

La lana, como una de las fibras con mayor antigüedad y más valoradas en el ámbito de la industria textil, ha desempeñado un papel fundamental en la producción de productos innovadores y sostenibles.

Ruiz (2013) resalta que su origen natural, sus características únicas y su versatilidad la convierten en una opción destacada no solo para prendas y tejidos, sino también para aplicaciones alternativas como filtros biodegradables. En el contexto del tejido de punto, su estructura de mallas entrelazadas aporta elasticidad y resistencia, convirtiéndolo en una opción destacada en la producción de textiles flexibles y adaptables.

Además, los acabados textiles, esenciales para optimizar las propiedades de las telas, juegan un papel clave en mejorar la apariencia, funcionalidad y calidad del tejido de lana.

1.3.1 Fibra de Lana

Desde tiempos antiguos, la lana ha sido apreciada y ampliamente utilizada en la fabricación de diversos productos textiles junto con otras fibras. Debido a su naturaleza, la lana

se considera una opción destacada para la creación de filtros biodegradables. En particular, se ha evaluado como una alternativa al acetato de celulosa en la fabricación de filtros para la producción de cigarrillos (AITE, 2008, parr. 1).

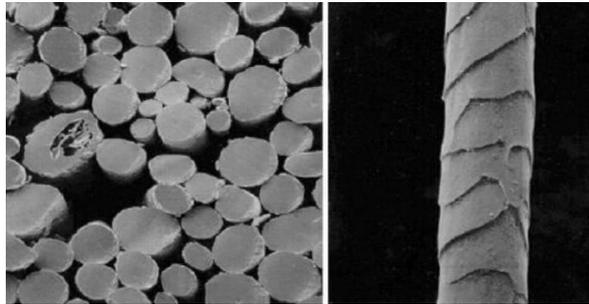
Al ser una de las fibras que más reconocimiento tiene en el sector textil, (Esparza 2009) menciona que la lana se obtiene del corte del vellón de las ovejas y se trata de una estructura organizada que se origina en la dermis. La lana cuenta con características distintas y excepcionales, las cuales facilitan su procesamiento en comparación con otros materiales.

La fibra de lana se distingue de otras fibras por su amplia gama de características y propiedades. Así también, Lockuán (2013) señala que es una fibra valiosa que se origina en la parte del folículo piloso de la oveja, y se compone de un material orgánico complejo conocido como queratina. Además, exhibe una variación significativa en términos de finura, longitud y rizo, lo cual depende de factores como la raza de la oveja, su dieta y las condiciones climáticas. Estas características morfológicas de la fibra tienen un impacto directo en la voluminosidad, la textura y el aspecto general del vellón de lana.

Desde una perspectiva química, la lana es una fibra compuesta principalmente por queratina, una proteína. Tal como se presenta en la **Figura 2**, esta fibra se distingue por características como: su elasticidad, (puede extenderse hasta un 50% de su longitud sin llegar a romperse), longitud (que varía entre 35 y 350 mm) y su capacidad para enfieltrarse. Estas propiedades son atribuibles a la presencia de pequeñas escamas, abundantes y puntiagudas en la superficie externa de las fibras de lana. Estas escamas están unidas únicamente en su base y se encuentran ajustadas a presión unas contra otras.

Figura 2

Fibra de lana



Nota. Microfotografías de fibras de lana, observadas en sección transversal (izq.) y longitudinal (der.)

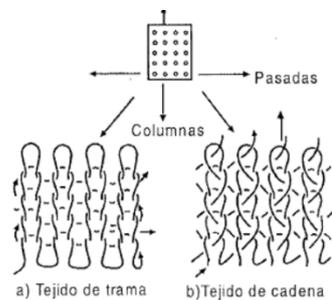
Fuente: Lockuán, (2013)

1.3.2 Tejido de Punto

En términos generales, el tejido de punto se caracteriza por ser altamente elástico gracias a su estructura de mallas entrelazadas formadas por uno o más hilos como se muestra en la **Figura 3**. Esta configuración le otorga una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación al movimiento del cuerpo.

Figura 3

Tejido de punto



Nota. Tipos de tejidos de punto: a) Tejido de punto de trama, b) Tejido de punto de Urdimbre.

Fuente: (Ruiz, 2013)

De acuerdo con McKee (2017), quien describe:

El tejido jersey se caracteriza por un patrón de tejido relativamente sencillo en el que los bucles de hilo se entrelazan. Este tejido se destaca por su flexibilidad, resistencia y notables propiedades mecánicas biaxiales. Además, la curvatura del hilo para esta estructura otorga una capacidad de estiramiento, aunque se utilice un hilo con alta resistencia a la tracción.

También son reconocidos por su comodidad, debido a que se ajustan al movimiento del cuerpo. La estructura que tienen los bucles ayuda en la elasticidad incluso superando lo que los hilos o fibras podrían ofrecer de manera individual. Sin embargo, los tejidos de punto tienen mayor propensión a engancharse y pueden encogerse más fácilmente en comparación con otros tipos de tejidos. (p.39)

1.3.3 Acabados Textiles

Lockúan (2012), define el ennoblecimiento textil como un conjunto de procesos realizados en telas que ya han sido blanqueadas, teñidas o estampadas, con el propósito de optimizar sus propiedades y, en algunos casos, incorporar nuevas funcionalidades.

Los procesos de acabado en la industria textil deben ser seleccionados considerando las necesidades específicas de cada producto, teniendo en cuenta su uso previsto. Entre los principales parámetros que inciden en la selección del método de acabado más apropiado se encuentra la naturaleza de las fibras o tejidos. Los procesos de acabado tienen la capacidad de mejorar en la apariencia, la textura y rendimiento de un tejido específico. Además, pueden ser utilizados para atenuar propiedades no deseadas o para resaltar aquellas cualidades que se consideren beneficiosas para la tela.

Tusief (2011) señala que los acabados anti-pilling varían en su efectividad para reducir el pilling en los tejidos, particularmente identifican al Appretan N9211 como uno de los mejores para el desempeño del tejido frente a la formación de estas bolitas. Además, menciona las distintas concentraciones del agente químico, siendo de 80 g/l la que produjo los resultados óptimos. Por otro lado, el estudio reveló que los diferentes niveles de pH en el proceso de acabado no afectaron de manera significativa la eficacia de anti-pilling en la tela.

Este estudio, que se centró en una mezcla de poliéster y algodón, proporciona una referencia valiosa para esta investigación, dado que comparte el mismo objetivo de minimizar la formación de pilling. No obstante, el enfoque está dirigido al tejido jersey de lana.

1.3.4 Pilling

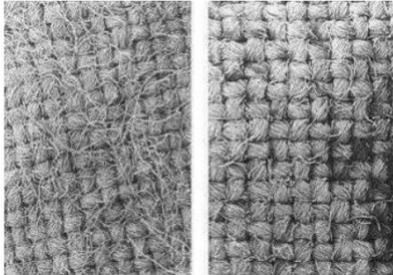
El efecto conocido como pilling se presenta como un fenómeno indeseable que afecta a tejidos, caracterizado por la aparición de pequeñas acumulaciones de fibras enredadas en su superficie. Estas bolitas dan la impresión de que el tejido está envejecido o ha sido sometido a un uso prolongado, incluso en períodos de tiempo relativamente cortos. Por lo tanto, es importante evitar la aparición del pilling desde las etapas iniciales del diseño del tejido. Se alcanza mediante la adecuada elección de las fibras, con la configuración estructural de los hilos empleados en el tejido y la correcta aplicación de los procesos finales de ennoblecimiento. Solé (2014).

De tal manera, Lockuán (2012) explica que el pilling hace referencia a la aparición de bolitas en la superficie de los tejidos, provocada por la aglomeración de fibras. Este fenómeno es causado por la fricción constante y suele ser más común en tejidos que contienen fibras sintéticas o mezclas que las incluyen. El pilling es un efecto persistente que se produce cuando las fibras se enredan entre sí y forman pequeñas bolitas en el tejido como resultado del roce durante su uso. Este aspecto de envejecimiento que se genera puede afectar la apariencia del

producto. En la **Figura 4** se presenta dos distintos casos de tejidos donde a uno se le aplica un tratamiento mientras que el otro no.

Figura 4

Tejido con acabado antipilling



Nota. Tejido previo al tratamiento antipilling (izq.) y posterior del tratamiento (der.).

Fuente: (Lockuán, 2012a)

1.3.5 Silicato De Sodio

Según ANIQ (2018) los silicatos de sodio líquido son soluciones acuosas producidas mediante la combinación de diferentes proporciones de óxido de sodio (Na_2O) y óxido de silicio (SiO_2). Este material se presenta tanto en estado sólido como en soluciones acuosas, siendo clave en múltiples aplicaciones industriales. Su síntesis resulta de la reacción entre el carbonato de sodio y el dióxido de silicio, generando silicato de sodio y liberando dióxido de carbono como subproducto.

Posee una amplia gama de usos en distintos sectores en el ámbito de la industria textil, se utiliza en procesos como el blanqueo de telas de lana y algodón, así como en la producción de la pulpa de papel. En el sector alimentario, su aplicación incluye el blanqueo de quesos, carnes, pollos, huesos y en la elaboración de aceites vegetales. En la industria química, es esencial como reactivo y en la fabricación de fármacos. Todo esto tiene relación con las especificaciones técnicas del silicato de sodio las cuales determinan su correcto uso, tal como

se indica en la **Tabla 2**

Especificaciones técnicas Su uso también se ha extendido al blanqueo dental y como endurecedor de hormigón, donde contribuye en procesos de aislamiento y sellado.

Según lo señalado en Silíceas (n.d.), “durante el proceso de teñido de fibras como algodón y lana con colorantes ácidos, se utiliza silicato de sodio en porciones que oscilan entre el 5 % y el 10 % del peso de la fibra”. Este compuesto mejora la distribución del colorante en la fibra, especialmente en los casos de tonos oscuros, donde se requiere una mayor cantidad en comparación con los tonos claros.

Tabla 2

Especificaciones técnicas

Categoría	Estándar
SiO ₂	30 - 32,5 %
Na ₂ O	13 - 14,5 %
Relación SiO ₂ /Na ₂ O	2,2 – 2,4
Densidad. °Be	48 - 52

Fuente: (Relubquím, n.d.)

Desde una perspectiva teórica, es posible combinar los óxidos de sodio y silicio en diversas proporciones. No obstante, en la práctica, los productos líquidos disponibles deben mantener una relación molar SiO₂ a Na₂O que no supere 3.5 a 1 ni sea inferior a 1.6 a 1. Este producto actúa como agente de recubrimiento, sellando las fibras y disminuyendo el contacto entre ellas.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación se centra en analizar la aplicación del silicato de sodio como tratamiento anti-pilling en tejidos de unto jersey compuestos por lana. A través de un enfoque multidisciplinario, se busca identificar cómo este compuesto químico influye en las propiedades del tejido, reduciendo la formación de pilling y mejorando su desempeño general. Para ello, se emplearon metodologías analítica, experimental y comparativa, que permitieron evaluar de manera detallada los resultados obtenidos en las muestras tratadas. Estas herramientas contribuyen a establecer parámetros precisos para el tratamiento anti-pilling, garantizando la fiabilidad de los resultados

2.2 Tipos de Investigación a Aplicar

Esta investigación combina metodologías bibliográfica, analítica, experimental y comparativa para analizar la aplicación del silicato de sodio como acabado anti-pilling en tejidos jersey de lana. A través de estas técnicas, se buscó comprender las propiedades de la lana, los tejidos de punto y los acabados textiles, identificando oportunidades para mejorar su resistencia al pilling y optimizar su desempeño en aplicaciones.

2.2.1 Investigación Bibliográfica

La revisión bibliográfica desempeña un papel fundamental en la realización de trabajos de investigación. En ese sentido, sin llevar a cabo una búsqueda exhaustiva de fuentes, cualquier proyecto perderá su validez. La revisión bibliográfica permite al investigador definir y delimitar el tema y las hipótesis de estudio. Esto se debe a que, a través de la investigación,

se identifican las brechas existentes en la literatura del área temática y se pueden identificar nuevas oportunidades de investigación (Gómez et al., 2014).

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron de fuentes bibliográficas, revistas, artículos científicos y libros de los estudios realizados a los acabados anti-pilling y silicato de sodio en diferentes aplicaciones, además de los temas relacionados que aporten al desarrollo de esta investigación.

2.2.2 Investigación Analítica

Labajo (2016), describe que la investigación analítica se define como un enfoque que consiste en dividir un todo en sus componentes o elementos, con el fin de analizar sus causas, naturaleza y efecto.

Permite obtener un mayor conocimiento sobre el objeto de estudio, lo que facilita la realización de analogías, explicaciones, la comprensión de su comportamiento y, en última instancia, la formulación de nuevas teorías.

En este caso, se aplicó la investigación analítica para analizar la base de datos obtenida de los ensayos respectivos sobre el pilling. Asimismo, se llevó a cabo un análisis y comparación de las muestras, lo que hizo posible una mejor interpretación de los resultados y sustentó una discusión basada en los datos obtenidos.

2.2.3 Investigación Experimental

McLeod (2018) señala:

La investigación experimental se basa en la modificación de variables con el fin de establecer relaciones de causa y efecto. Se distingue por utilizar métodos controlados y asignar aleatoriamente a los participantes en grupos control y

experimental. Este enfoque permite recopilar datos relevantes y tomar decisiones más informadas. (p.17)

En el contexto específico de este estudio, la investigación experimental resultó fundamental. Se llevó a cabo el proceso de aplicar silicato de sodio en el tejido jersey compuesto por un 100% de lana. El objetivo fue determinar si la aplicación de silicato de sodio mejoraría la formación del pilling en el tejido.

2.2.4 Investigación Comparativa

Este enfoque se centra en examinar dos aspectos similares basados en la realidad con el objetivo de identificar similitudes y diferencias. Según Baena (2017), “la comparación implica encontrar semejanzas y diferencias entre las cosas comparadas, pero no se trata de comparar objetos idénticos ni completamente diferentes” (p. 12). En este proceso de comparación, se necesita una cierta analogía entre los elementos analizados, y la dificultad radica en determinar el grado de esa analogía.

El contexto particular de este estudio, este método se utiliza para comparar los diferentes datos con el fin de evaluar y obtener resultados precisos en relación con la resistencia que tendrá a la formación de pilling en el tejido jersey de lana. Además, permite establecer la posible combinación más adecuada en esta investigación.

2.3 Flujogramas

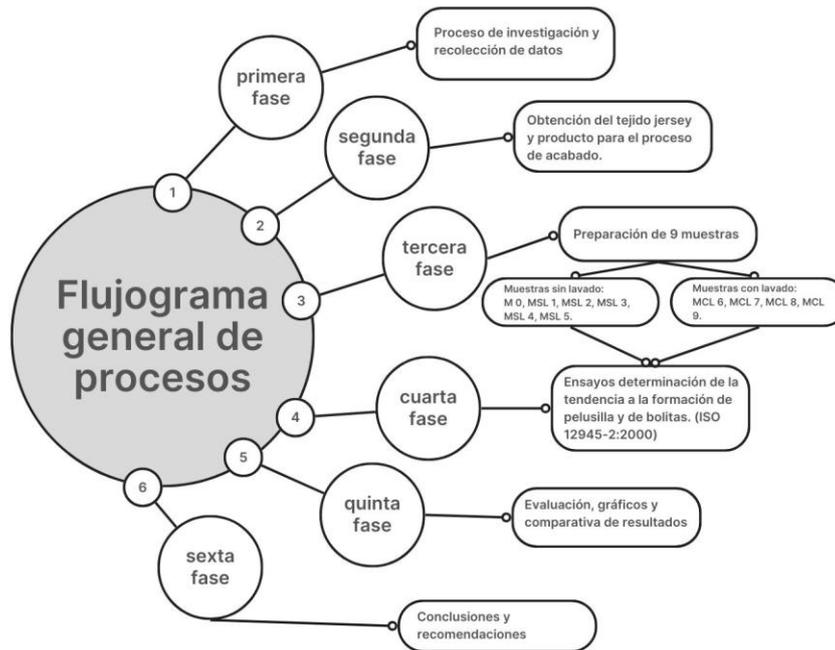
Mediante distintas herramientas digitales se puede detallar la información de forma más óptima y simplificada en cuanto a los procesos abordados en el estudio.

2.3.1 Flujograma General

El siguiente flujograma en la **Figura 5**, detalla la forma estructurada de las fases que tuvo esta investigación para realizar el acabado antipilling.

Figura 5

Flujograma general



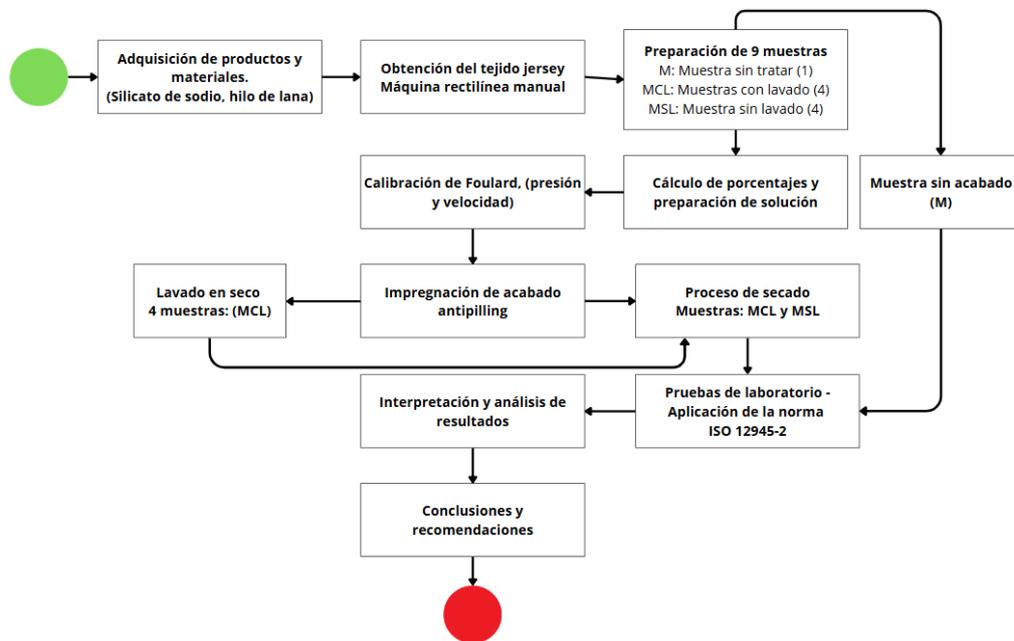
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Flujograma Muestral

En el flujograma muestral se destacan las cuatro concentraciones, que son: 5 %, 10 %, 15 % y 20 %, para el acabado anti pilling en el tejido. Cada una de las recetas fue ajustada de acuerdo con el producto químico.

Figura 6

Flujograma de Muestra



Fuente: Elaboración propia

2.4 Equipos y Materiales

2.4.1 Equipo de laboratorio para el método de impregnación

El foulardado se considera la técnica más empleada en experimentos donde se requiere adherir compuestos químicos a diversos sustratos, principalmente en procesos en húmedo. Entre los parámetros clave a controlar se encuentra el pick up, que, según Lockuán (2012, p.23) “depende del tipo de material trabajado, para que pueda resultar más conveniente utilizar la técnica de impregnación con foulard o recurrir a una hidroextractora para optimizar el proceso”. Este determinará la cantidad de solución absorbida por el tejido entre los rodillos de la máquina que se muestra en la **Figura 7**.

Figura 7

Foulard Textil

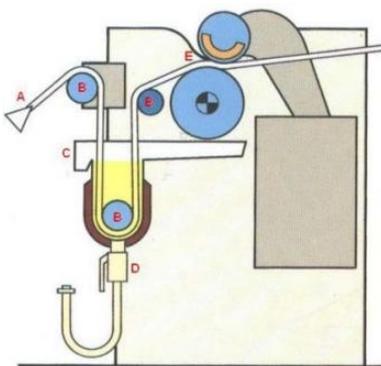


Fuente: CTEX-UTN

El foulard textil consiste en el uso de rodillos de presión regulables que permiten aplicar soluciones químicas sobre el sustrato. Durante el proceso, el tejido pasa por estos rodillos, asegurando una distribución uniforme de los solventes necesarios para la operación, como se indica en la **Figura 8**. Lockcuán, (2012) menciona que el flujo básico de este procedimiento incluye: el tejido (A) desplazándose a través de polines (B), ingresando posteriormente a una tina que contiene la solución química (C), y finalmente pasando por un dispositivo de evacuación (D).

Figura 8

Foulardado Textil



Fuente: (Lockcuán, 2012)

Este método es mayormente utilizado en acabados químicos, siendo aplicable en una amplia variedad de operaciones húmedas. Uno de los factores más relevantes de este es el pick up, que representa el porcentaje de solución impregnada en el tejido, como se menciona en la **Tabla 3** . La obtención de valores óptimos de pick up depende de ciertos factores, como el tipo de tejido.

Tabla 3

Parámetros de pick up

Factor	Efecto pick up
Mojabilidad	A mayor facilidad de mojado, mayor es el pick up
Presión de los rodillos	Con mayor presión, el pick up disminuye
Naturaleza de los rodillos	A mayor dureza de los rodillos, mayor es el pick up
Tiempo de inmersión	Cuanto más tiempo se aplica, más alto es el pick up
Tipo de resino y ligante	A mayor viscosidad, mayor es el pick up
Tipo de fibra	En fibras hidrofílicas, el pick up es mayor
Tipo de hilo	Con menor torsión, el pick up es mayor

Nota: fuente extraída de (Schindler y Hauser, 2004)

2.4.2 Martindale

El instrumento de prueba conocido como Martindale es utilizado para evaluar la resistencia a la abrasión y el pilling de tejidos, tal como se muestra en la **Figura 9**.

Figura 9

Equipo Martindale



Fuente: Heal (2008)

La resistencia a la abrasión es la capacidad que tiene un tejido para soportar el desgaste ocasionado por la fricción constante. Por su parte, el pilling se define como la formación de pequeñas bolitas de fibras en las zonas del tejido que experimentan mayor abrasión durante el uso cotidiano.

Heal (2008) resalta la relevancia del instrumento Martindale en la industria textil. Este proceso resulta fundamental, ya que permite verificar la resistencia de los tejidos y garantizar la calidad antes de su fabricación.

Durante la realización de una prueba en el equipo martindale, se encuentran varias terminologías que forman parte del proceso de prueba. Estas incluyen el concepto de "roce", que se refiere a una revolución de los dos accionamientos exteriores del equipo, que se cuentan para determinar el número de frotaciones completadas.

Además, explica que un ciclo en las pruebas realizadas con el Martindale comprende 16 movimientos de abrasión que trazan un patrón conocido como figura de Lissajous. Este patrón, generado por movimientos perpendiculares, alcanza una longitud de 3,02 metros por ciclo. Las pruebas usualmente contemplan 20.000 frotamientos, lo que equivale a 1.250 figuras

de Lissajous y una distancia acumulada de 3.776,25 metros, comparable a la longitud de 755 piscinas olímpicas, 687 furgonetas Ford Transit o la altura de 39 Big Bens. (párr. 4)

2.4.3 Norma ISO 12945-2

Esta norma se aplica para la determinación de la tendencia a la formación de pelusilla y de bolitas utilizando el método Martindale modificado, esta versión es de la Norma Europea EN ISO 12945-2 de julio de 2000, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 12945-5:2000.

Se examinará un fragmento de la norma empleada como base para llevar a cabo las pruebas de pilling en el tejido compuesto por un 100% de lana. Dicho extracto se enfoca en la determinación de la propensión del tejido a la formación de irregularidades en su superficie, así como al fenómeno de pilling.

Durante la prueba de fricción, se realiza el desplazamiento de la muestra de prueba circular en contacto con una superficie que genera fricción la cual puede consistir en el propio tejido o, si fuera necesario, un tejido abrasivo de lana. Esta fricción se aplica mediante una fuerza controlada que sigue un patrón de movimiento en forma de figura de Lissajous. La muestra testigo está diseñada de tal manera que pueda moverse libremente en torno a un eje central, el cual es perpendicular al plano de la muestra. Después de los ciclos definidos de la prueba de frotación, tanto el empañamiento como el pilling son evaluados visualmente, y calificados según la **Tabla 9**.

La calificación se debe realizar calculando el promedio de todas las evaluaciones realizadas. Cuando el resultado no sea un número entero, deberá redondearse al medio grado más cercano. Por tanto, la variación del resultado en relación con la media no debe superar la mitad de un grado, en el caso de que la variación sea superior a la mitad de un grado, se indicará la clasificación de cada muestra. Por ejemplo, 3-4.

2.4.4 Túnel de secado

Esta máquina tal como su nombre lo indica cumple la función de secado, el cual forma parte de los procesos de fabricación y acabado de diversos materiales, a través de un secado eficiente, tal como se ve en la **Figura 10** tiene la finalidad de dar paso a subprocesos.

Figura 10

Túnel de secado de la Carrera de Textiles- UTN



Fuente: Propia

2.5 Procedimiento

En este segmento se presenta el procedimiento de ensayo. Antes de llevar a cabo el proceso de acabado, se realizó la caracterización tanto del hilo como del tejido. En la fase de ensayos, se inició con la toma de muestras del tejido, las cuales fueron posteriormente sometidas al proceso de foulardado. Las muestras fueron sometidas a un proceso de secado para ser finalmente utilizadas en el equipo Martindale, con el objetivo de evaluar su formación de pilling de acuerdo con los cinco ciclos establecidos.

2.5.1 Especificaciones de Tejido Jersey e Hilo

El tejido que se observa en la **Figura 12** comprende a un tejido jersey 100 % de lana, dicho material es el que se utilizará para el desarrollo de esta investigación para lo cual se identifican los siguientes parámetros.

En la caracterización de la muestra de tejido e hilo utilizado se procede a determinar los parámetros que se identifican en la **Tabla 4** y **Tabla 5**. Basándose en las normas ISO 3801-1977 (E) para la determinación de la masa por unidad de superficie, COVENIN 58-80 para la determinación del título del hilo en base a la norma, y NTE INEN-ISO 2061 en la determinación de la torsión de los hilos.

Tabla 4

Caracterización del hilo

Composición	Título (Nm)	Nro. Torsiones T/m	Sentido de torsión
Lana 100 %	3/15	231.3	S

Nota. Caracterización de factores técnicos en condiciones normales, basadas en las normas COVENIN 58-80 y la ISO 3801-1977 (E)

Tabla 5

Caracterización del tejido

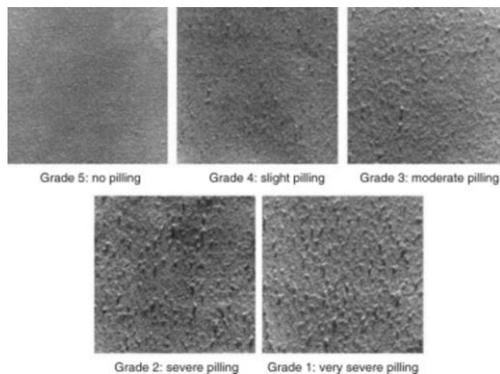
Material	Composición	Densidad	Nro. de Galga	Gramaje (g/m²)
Tejido Jersey	Lana 100%	Columnas 9 Pasadas 13	7	332

Este jersey se realizó en una galga 7, en una máquina rectilínea manual, permitiendo tejerlo con un hilo retorcido, de 3 cabos, en sentido S.

Durante el proceso del ensayo, se obtuvo una muestra circular del tejido, la cual se evalúa mediante el equipo Martindale, las probetas tienen un diámetro de 145 mm, y son extraídas de forma aleatoria del tejido. Se efectúa el ensayo hasta completar los 5 ciclos, donde por cada muestra se realiza una calificación visual para determinar la formación de bolitas, tal como se indica en la **Figura 11**, las probetas son evaluadas de acuerdo con el rango en el que se encuentre el grado de pilling.

Figura 11

Escala de valoración de la formación de pilling



Fuente: (Binjie, 2008)

El equipo está equipado con un sistema de conteo para selección previa, el cual registra cada giro de uno de los elementos de rotación de extremos. Cada ciclo de rotación es considerado un frotamiento que contribuye a la formación de bolitas Carrera (2015). Las probetas para las pruebas serán extraídas de manera aleatoria para proceder con el ensayo.

Con respecto a la segunda fase, se obtuvo el hilo 100% de lana en la empresa IMBATEX, con el cual se realizó la elaboración del tejido de jersey, mismo que se utilizó en la aplicación del acabado.

2.5.2 Selección de Muestras

Con el propósito de obtener las muestras, se elaboró un tejido en una máquina rectilínea manual, utilizando una galga número 7, haciendo uso de hilo de lana peinada.

Los tejidos fueron elaborados en una dimensión de 30 cm x 50 cm, tal como se ve en la **Figura 12** consiguiendo un área total de 1500 cm², un área suficiente para el uso del análisis realizado en el equipo Martindale. Las 9 muestras de tejido presentan las mismas características.

Mientras que en la **Tabla 6** se especifica el número de muestras utilizadas con el silicato de sodio con sus porcentajes de aplicación. Y utilizando la codificación en el siguiente orden: **M**: Muestra sin acabado, **MSL**: Muestra sin lavado, **MCL**: Muestra con lavado. Seguido de una numeración del 1 al 4 que va de forma ascendente de acuerdo con los porcentajes aplicados.

Complementariamente, España (1988) indica que los procesos contienen entre un 4% y un 5% de silicato de sodio en su forma soluble, por tanto, los porcentajes de aplicación utilizados serán de 5% al 20%.

Tabla 6

Muestras utilizadas en el acabado antipilling

Nº de muestras	Observación
M 0	Muestra sin acabado
MSL 1	Acabado con silicato de sodio al 5% sin lavado
MSL 2	Acabado con silicato de sodio al 10% sin lavado
MSL 3	Acabado con silicato de sodio al 15% sin lavado
MSL 4	Acabado de silicato de sodio al 20% sin lavado
MCL 5	Acabado con silicato de sodio al 5% con lavado
MCL 6	Acabado con silicato de sodio al 10% con lavado
MCL 7	Acabado con silicato de sodio al 15% con lavado
MCL 8	Acabado de silicato de sodio al 20% con lavado

Fuente: Elaboración propia

Nota: La codificación se expresa de la siguiente forma: MSL (muestra sin lavado), MCL (muestra con lavado).

Figura 12

Muestra de tejido



Fuente: Propia.

2.5.3 Procedimiento de muestras para ensayos

Para realizar el ensayo bajo la norma ISO 12945-2, se optó por utilizar el método de impregnación para el acabado antipilling, para lo cual se consideraron los parámetros que se ven en la **Tabla 7**.

Tabla 7

Configuración de foulard y peso de muestras

Muestras	Peso seo (g)	Peso húmedo (g)	Pick Up (%)	Velocidad (m/min)	Presión (Bar)
M 0	94.934	0	0	0	0
M 1	66.345	121.155	82.61	1	2
M 2	98.526	187.536	90.34	1	2
M 3	83.377	158.259	89.81	1	2
M 4	98.486	187.020	89.89	1	2

a) Preparación de muestras

Se procede a realizar los cortes de las muestras tomando en cuenta una longitud que permita el proceso de foulardado.

b) Preparación de solución

La **Figura 13** muestra el proceso de preparación de silicato de sodio en agua destilada, el cual mantiene un pH de 12.

Figura 13

Solución del producto de silicato de sodio



Fuente: Propia.

c) Configuración del equipo

La configuración que tuvieron las muestras se detalla en la **Tabla 7**, considerando tener un pick up de 85% con una tolerancia de $\pm 5\%$.

d) Proceso de foulardado

En la **Figura 14** se ilustra el procedimiento de colocación de la muestra, destacando los pasos involucrados en el método de impregnación el proceso de foulardado.

Figura 14

Colocación de muestras



Fuente: Propia.

e) Secado

En la **Figura 15** se presentan los ajustes realizados en los parámetros del túnel de secado, donde se utilizó una velocidad de 10 m/min, a una temperatura de 120 °C, con 3 a 4 pasadas dependiendo si la muestra salía completamente seca en sus costados.

Figura 15

Secado de muestras



Fuente: Propia.

f) Lavado de muestras

En **Figura 16** se realizaron los lavados de 4 muestras con acabado, utilizando la norma ISO 105 D01 como referencia para obtener un lavado en seco, utilizando percloroetileno como disolvente, se dejaron secar las muestras a temperatura ambiente durante 2 días.

Figura 16

Lavado en seco



g) Troquelado de muestras de tejidos

La **Figura 17** muestra el proceso de troquelado de las probetas del tejido con acabado, para lo cual tiene 14 cm de diámetro en cada corte.

Figura 17

Preparación de probetas

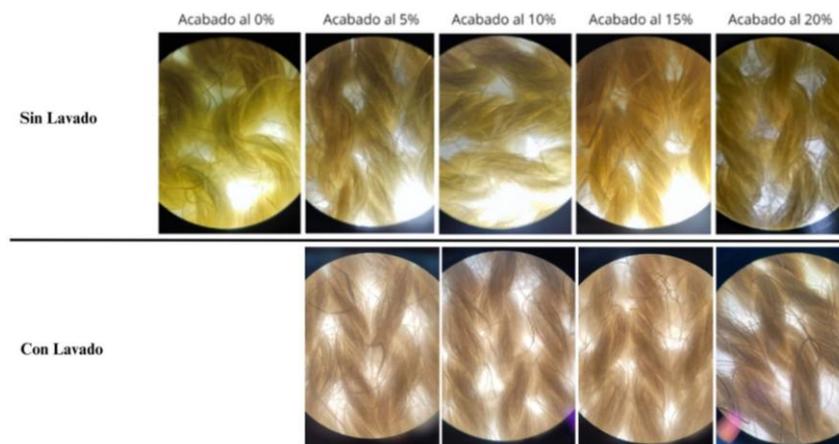


h) Análisis cualitativo

En la **Figura 18** se muestran los cambios visuales observados a través del microscopio, en función del incremento de los porcentajes de aplicación, destacando la formación ligeramente más compacta tras el acabado al 15 %.

Figura 18

Análisis cualitativo microscopía tejidos de muestra



Fuente: Propia.

2.5.4 Pruebas de Laboratorio

Respecto a las pruebas de laboratorio, se realizaron ensayos con concentraciones variadas, que van del 5 % hasta el 20 %, en intervalos de 5. En la **Tabla 8** se presentan las diferentes dosificaciones utilizadas mediante el método de impregnación, sin tener ningún tipo de auxiliar y manteniendo únicamente el silicato de sodio como producto principal y único para el acabado.

Tabla 8

Dosificación de recetas

Nro. Receta	Porcentaje (%)	Concentraciones (g/l)	pH
1	5	43.614	12
2	10	95.673	12
3	15	128.97	12
4	20	162.422	12

2.6 Determinación de la formación de pilling

Para el testeó de las muestras en base a la Norma ISO 19475-2, que establece el método para determinar la formación de bolitas mediante el del equipo Martindale, tal como se puede ver en la **Figura 19**, en la ubicación de las muestras en el equipo. De acuerdo con lo indicado en la metodología, se procedió a colocar las probetas tratadas con anterioridad, para lo cual fueron sometidas a 500, 1000, 2000, 5000, y 7000 frotaciones, y su grado se evaluó según la **Tabla 9**. Se procedió a evaluar visualmente el grado de pilling.

Figura 19*Muestras en el equipo Martindale*

Fuente: Propia

Tabla 9

Evaluación visual de pilling

Grado	Descripción
5	Ningún cambio
4	Ligera pelusa superficial y/o pastillas parcialmente formadas.
3	Moderada pelusa superficial y/o formación de bolitas moderadas.
2	Distintas pelusas en la superficie y/o bolitas distintivas.
1	Superficie densa con pelusas y/o bolitas severas.

Fuente: Tomado de Tendencia a la formación de bolitas (ISO, 2000, p.11)

Además, ISO (2000, p.11) menciona cómo debe ser la calificación para cada grado evaluado: si el resultado promedio no sea un número entero, este debe redondearse al medio grado más cercano. Por tanto, la variación respecto a la media de las muestras no debe ser superior a medio grado. En caso de ser superior, se debe informar la clasificación de cada muestra.

CAPÍTULO III

Resultados y Discusión de Resultados

3.4 Resultados

En el siguiente capítulo se detallan los resultados obtenidos en la etapa del proceso de aplicación del acabado, conforme a las normativas establecidas para las pruebas de formación de pilling. Asimismo, se presenta un análisis de dichos resultados, representados mediante gráficos y tablas estadísticas.

3.4.1 Resultados de formación de pilling.

La siguiente tabla nos permite visualizar las probetas con el acabado, incluyendo la muestra 0, que no contiene ningún acabado. Esta disposición facilita la diferenciación de los porcentajes de aplicación utilizados en cada probeta.

Tabla 10

Resultados del grado de pilling

CICLOS	M	MSL	MSL	MSL	MSL	MCL	MCL	MCL	MCL
	0	1	2	3	4	1	2	3	4
500	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1000	4	4	4.5	4.5	4.5	4	4	4.5	4.5
2000	2	2	2.5	3	3.5	3	3	3	3
5000	1	1	1.5	1.5	2	1	1	1	1
7000	1	1	1	1.5	1.5	1	1	1	1

La evaluación de pilling en las nueve muestras de tejido, tanto lavadas (MCL) como sin lavar (MSL), evidenció un comportamiento diferencial en función de los ciclos de frotación. En los primeros 500 ciclos, todas las muestras alcanzaron un grado de pilling 5, sin evidencia de cambios superficiales. Esto demuestra una resistencia inicial uniforme entre los tejidos, independientemente del tratamiento de lavado en seco realizado según la norma ISO 105 D01. Sin embargo, a partir de los 1000 ciclos, se evidenció una disminución en el grado de pilling a valores entre 4 y 4-5, indicando el inicio del desgaste superficial. Este comportamiento fue similar en ambos grupos (MSL y MCL), sugiriendo que el lavado en seco no tuvo un impacto significativo en la etapa inicial de los ciclos de frotación.

En los ciclos avanzados de 2000 y 5000, las muestras comenzaron a presentar mayores diferencias en su resistencia al pilling. En los 2000 ciclos, las calificaciones oscilaron entre 2 y 3-4, donde las muestras lavadas (MCL) mostraron un desempeño ligeramente superior respecto a las muestras sin lavar (MSL). Este ligero incremento en la resistencia al pilling en las muestras lavadas podría atribuirse a la eliminación, durante el proceso de lavado en seco, de aquellas fibras superficiales que no estaban firmemente unidas a la estructura del tejido. Estas fibras sueltas son más propensas a enredarse bajo la fricción, actuando como puntos iniciales para la formación de bolitas. En los ciclos extremos 5000, todas las muestras alcanzaron grados entre 1 y 2, representando una formación severa de bolitas y pelusas en la superficie. En el último ciclo de 7000 existen diferencias en las muestras MSL 3 y 4, destacando su valoración entre 1-2, lo que no sucede con el resto de las muestras que obtuvieron una valoración de 1. Estas formaciones en etapas finales indica que, aunque el lavado en seco puede mejorar la resistencia al pilling en ciclos intermedios, no es suficiente para prevenir el desgaste severo en condiciones de frote prolongado, destacando la importancia de los materiales y procesos empleados.

3.5 Discusión de Resultados

3.6.1 Valoración de Resultados

El análisis realizado sobre los resultados conseguidos se llevó a cabo mediante estadística descriptiva, con un análisis comparativo de los datos asociados a cada concentración de silicato de sodio aplicada al tejido. Finalmente, se comparan los resultados entre las muestras que son sometidas a un proceso de lavado y aquellas que no fueron sometidas

3.6.2 Normalidad de los Datos

La **Figura 20** presenta la prueba de normalidad con el propósito de determinar cuáles datos eran los más confiables y si existían diferencias significativas con base a la **Tabla 10**. Los resultados obtenidos en todos los métodos indican una confiabilidad de los datos de $p > 0.05$.

Figura 20

Normalidad de los datos según los datos obtenidos.

Tests for normal distribution									
	M 0	MSL 1	MSL 2	MSL 3	MSL 4	MCL 1	MCL 2	MCL 3	MCL 4
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,8668	0,8668	0,901	0,8696	0,9229	0,8939	0,8939	0,8643	0,8643
p(normal)	0,2538	0,2538	0,4152	0,2647	0,5487	0,3772	0,3772	0,2441	0,2441
Anderson-Darling A	0,3653	0,3653	0,2987	0,3466	0,2535	0,3068	0,3068	0,3571	0,3571
p(normal)	0,2715	0,2715	0,4247	0,3083	0,5451	0,4026	0,4026	0,2871	0,2871
p(Monte Carlo)	0,2995	0,3054	0,492	0,3495	0,6522	0,4631	0,4614	0,3288	0,3243
Lilliefors L	0,2294	0,2294	0,2154	0,236	0,2031	0,2428	0,2428	0,2434	0,2434
p(normal)	0,527	0,527	0,6278	0,4807	0,7156	0,4347	0,4347	0,4312	0,4312
p(Monte Carlo)	0,5334	0,516	0,6457	0,4891	0,7464	0,4269	0,4298	0,4346	0,4339
Jarque-Bera JB	0,6262	0,6262	0,6088	0,6023	0,5601	0,5218	0,5218	0,6086	0,6086
p(normal)	0,7312	0,7312	0,7376	0,74	0,7557	0,7704	0,7704	0,7376	0,7376
p(Monte Carlo)	0,3497	0,3313	0,372	0,3707	0,4367	0,5157	0,5008	0,3715	0,368

Fuente: Past 4

3.6.3 Varianza

En la **Figura 21** se indica el análisis de la varianza en la formación del pilling, evaluada tras la aplicación del silicato de sodio y el proceso de lavado. Para comprender la dispersión de los resultados del pilling entre las diferentes concentraciones de silicato de sodio y el efecto del lavado posterior, se analizó la varianza de las calificaciones obtenidas en las pruebas en el

equipo Martindale. Las muestras se agruparon en tres categorías: la muestra sin acabado (M0), las muestras sin lavado posterior al acabado (MSL 1-4), y las muestras con lavado (MCL 1-4).

Figura 21

Varianza de las calificaciones de pilling en función del tratamiento (M0, MSL, MCL).

	M0	MSL 1	MSL 2	MSL 3	MSL 4	MCL 1	MCL 2	MCL 3	MCL 4
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Min	1	1	1	1.5	1.5	1	1	1	1
Max	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sum	13	13	14.5	15.5	16.5	14	14	14.5	14.5
Mean	2.6	2.6	2.9	3.1	3.3	2.8	2.8	2.9	2.9
Std. error	0.8124038	0.8124038	0.7968689	0.7314369	0.6819091	0.8	0.8	0.842615	0.842615
Variance	3.3	3.3	3.175	2.675	2.325	3.2	3.2	3.55	3.55
Stand. dev	1.81659	1.81659	1.781853	1.635543	1.524795	1.788854	1.788854	1.884144	1.884144
Median	2	2	2.5	3	3.5	3	3	3	3
25 prntil	1	1	1.25	1.5	1.75	1	1	1	1
75 prntil	4.5	4.5	4.75	4.75	4.75	4.5	4.5	4.75	4.75
Skewness	0.5671632	0.5671632	0.2717688	0.1342834	-0.1621935	0.05240784	0.05240784	-0.02242584	-0.02242584
Kurtosis	-2.231405	-2.231405	-2.680265	-2.762687	-2.500867	-2.324219	-2.324219	-2.835747	-2.835747
Geom. mean	2.091279	2.091279	2.427967	2.730846	2.983145	2.267933	2.267933	2.321992	2.321992
Coeff. var	69.86885	69.86885	61.44321	52.75944	46.20591	63.88766	63.88766	64.9705	64.9705

Fuente: Past 4

El análisis estadístico de la varianza en las calificaciones de pilling reveló diferencias significativas en la dispersión de los resultados entre los distintos tratamientos aplicados. El coeficiente de variación (CV), un indicador de la variabilidad relativa de los datos mostró que la muestra sin tratamiento (M0) presentó la mayor dispersión, alcanzando un valor de 69.87 %.

En contraste, la muestra tratada con la concentración más alta de silicato de sodio y sin lavado posterior (MSL 4) exhibió el menor coeficiente de variación, con un 46.21%. Esta reducción del 23.7 puntos porcentuales respecto a la muestra control (M0) indica una mayor consistencia en el desempeño antipilling logrando con este tratamiento específico.

Por otro lado, la muestra tratada con la concentración más alta de silicato de sodio y con lavado posterior (MCL) también mostró una reducción en la variabilidad (CV del 64.9%), aunque en menor medida (4.9 puntos porcentuales) en comparación con la muestra sin tratar. Esta observación sugiere que el proceso de lavado podría influir en la uniformidad del efecto de silicato de sodio en la resistencia al pilling.

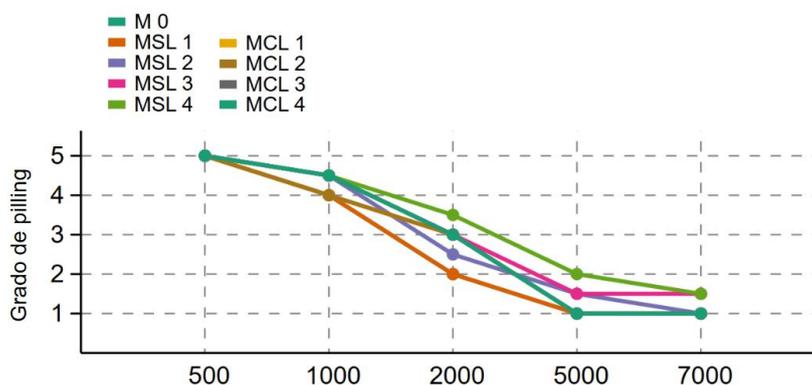
3.6.4 Análisis de Resultados Mediante Estadísticas Descriptiva.

Los resultados de la evaluación de la resistencia al pilling, basados en la estadística descriptiva, se visualizaron utilizando gráficos de líneas para visualizar la evolución del grado de pilling a lo largo de los 7000 ciclos de frotación y un gráfico de cajas para resumir la distribución de los resultados para cada tratamiento. En este análisis se determinará la efectividad del silicato de sodio como acabado antipilling, identificando la concentración óptima de aplicación y evaluando el impacto del proceso de lavado posterior.

El análisis de las muestras tratadas con silicato de sodio sin lavado posterior MSL 1, MSL 2, MSL 3 y MSL 4, revela una clara tendencia de mejora en la resistencia al pilling con el aumento de la concentración del tratamiento. El gráfico de la **Figura 22** indica como las muestras con las concentraciones más bajas MSL 1 y MSL 2 experimentaron una disminución más rápida en el grado de pilling a medida que avanzaban los ciclos de frotación, comportándose de manera similar a la muestra sin tratar (M 0). En contraste las muestras con las concentraciones más altas (MSL 3 y MSL 4) mantuvieron grados de pilling significativamente más altos durante los ciclos intermedios (hasta 2000 ciclos) y mostraron una degradación más lenta en las etapas finales de la prueba.

Figura 22

Cambio del grado de pilling en diferentes tratamientos



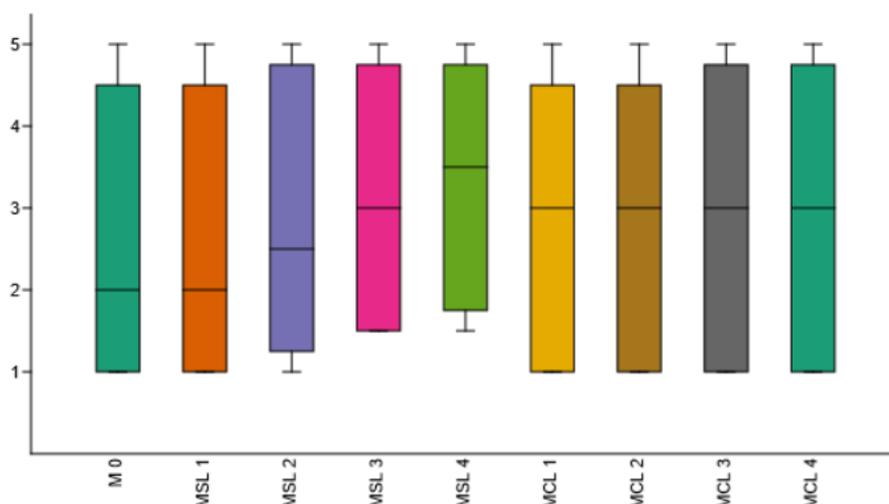
Fuente: Past 4

En cuanto al comportamiento de las muestras con lavado posterior (MCL 1, MCL 2, MCL 3, y MCL4), también se exhibe una relación entre la concentración del tratamiento y la resistencia al pillig. Las muestras con concentraciones más bajas como MCL 1 y MCL 2 representan una disminución en el grado de pillig comparado con la muestra sin trata (M0) y a las muestras MSL con concentraciones bajas. Por otro lado, las muestras con las concentraciones más altas y con lavado posterior (MCL 3 y MCL 4) demostraron una mejor resistencia al pillig, manteniendo grados más altos durante los ciclos intermedios y mostraron una degradación más lenta hacia el final de la prueba.

Esta observación se ve reforzada por el gráfico de cajas de la figura **Figura 23**. Las medianas del grado de pillig para MSL 3 y MSL 4 son notablemente más altas que las de MSL 1 y MSL 2, indicando una mejor resistencia general al pillig a lo largo de todos los ciclos. Además, la variabilidad en los resultados representada por la altura de las cajas, tiende a ser menor en MSL 4 en comparación con las muestras MSL, lo que sugiere una mayor consistencia en el rendimiento antipilling con la concentración más alta sin lavado.

Figura 23

Distribución del grado de pillig



Fuente: Past 4

En los resultados de las muestras MCL, la mejora es consistente según este gráfico, donde las medianas para MCL 3 y MCL 4 son superiores a las MCL 1 y MCL 2, indicando una mayor resistencia general al pilling. Sin embargo, la variabilidad en los resultados de las muestras MCL, según el gráfico de cajas, parece ser ligeramente mayor en comparación con las muestras MSL con concentraciones similares.

Estos resultados obtenidos sugieren que la aplicación de silicato de sodio sí puede realizar un acabado antipilling en un tejido jersey de lana. Las muestras tratadas con concentraciones más altas de silicato de sodio (específicamente MSL 3, MSL 4, MCL 3 y MCL 4) demostraron una resistencia significativamente mayor a la formación de bolitas y pelusas en comparación con la muestra sin tratar (M 0) a lo largo de los 7000 ciclos de frotación.

La concentración adecuada de aplicación, basándose en la mayor resistencia y, en algunos casos, la menor variabilidad, parece estar en los niveles más altos probados (correspondientes a las muestras etiquetadas como '3' y '4' tanto en las series MSL como MCL).

El lavado en seco posterior al tratamiento con silicato de sodio, si bien no resultó en una mejora o detrimento general consistente de la resistencia al pilling a lo largo de los ciclos. En la figura **Figura 22** sí pareció modular el proceso, especialmente en las etapas intermedias. En las concentraciones más elevadas (15% y 20%), la resistencia final al pilling fue similar entre las muestras lavadas y sin lavar. No obstante, en la figura **Figura 23** el gráfico de cajas revela una tendencia hacia una mayor dispersión en el rendimiento de las muestras lavadas a partir de los ciclos intermedios (alrededor de 2000 ciclos), indicando que el proceso de lavado influyó en la uniformidad del acabado superficial.

Esto podría deberse a la capacidad del percloroetileno para remover selectivamente residuos de silicato de sodio no firmemente adheridos o fibras sueltas. Si bien este químico, al ser un solvente no polar, es poco probable que elimine el silicato de sodio firmemente adherido a las fibras, podría haber afectado la manera en que las fibras interactuaron durante la abrasión temprana, de tal modo que llevó a un comportamiento menos homogéneo en las muestras lavadas. Sin embargo, a medida que la formación de pilling progresó, dominada por el entrelazamiento de las fibras, este efecto inicial del lavado se atenuó, resultando en una resistencia final comparable con las muestras sin lavar.

En relación con la hipótesis planteada, los resultados de esta investigación respaldan la afirmación de que la aplicación de silicato de sodio puede realizar un acabado antipilling para un tejido jersey de lana, especialmente cuando se utiliza en concentraciones adecuadas. Los datos demuestran una mejora en la resistencia al pilling en las muestras tratadas en comparación con el tejido sin tratamiento.

Conclusiones y Recomendaciones

- **Conclusiones**

- La aplicación de silicato de sodio en un tejido de lana influyó en la resistencia al pilling, con una relación directa entre concentración y ciclos de frotación. Las concentraciones intermedias (10% y 15%) mostraron mejor resistencia en ciclos medios (hasta 2000), en comparación con el 5% y la muestra M 0. Aunque el 20% alcanzó la mejor calificación intermedia (3, 3-4), su ventaja sobre el 15% fue mínima, convergiendo los resultados en valores bajos de (1, 1-2) en los ciclos finales para todas las concentraciones tratadas.
- La comparación de las muestras lavadas (MCL) y sin lavar (MSL) tratadas con silicato de sodio reveló que el lavado en seco no ofreció una ventaja consistente en la resistencia al pilling durante los 7000 ciclos. Si bien en los ciclos intermedios de (1000 y 2000) se observaron diferencias sutiles entre MCL y MSL, posiblemente debido a la remoción de residuos superficiales por el lavado, estas se minimizaron hacia los ciclos finales (5000 y 7000), donde el rendimiento en las concentraciones más efectivas (15% y 20%) fue similar para ambos grupos. Esto sugiere que el lavado en seco tuvo un impacto limitado en la resistencia final al pilling.
- El análisis estadístico y comparativo permitió identificar que las concentraciones de silicato de sodio más efectivas en la formación de pilling son las de: 15% (MCL 3 y MSL 3) y 20% (MCL 4 y MSL 4). Estas concentraciones mostraron consistentemente la mejor resistencia en comparación con la muestra sin tratar y las concentraciones más bajas. Para los ciclos de 5000, la del 20% sobre el 15 % fue modesta al final del ensayo, sugiriendo un rango óptimo de aplicación entre 15% y 20% para equilibrar

eficacia y concentración, indicando así que el efecto protector tiene un límite bajo en condiciones de desgaste prolongado.

- **Recomendaciones**

- Se recomienda utilizar concentraciones intermedias de silicato de sodio 10%, 15% y 20%, ya que estas proporcionaron los mejores resultados en términos de resistencia al pilling sin alterar significativamente las propiedades del tejido. Además, se sugiere combinar este tratamiento con un lavado en seco inicial para maximizar la resistencia al pilling y mejorar la uniformidad del tejido.
- Para fortalecer los resultados, se sugiere ampliar el estudio a otros tipos de tejidos y fibras, evaluando si el efecto protector del silicato de sodio y el lavado en seco es consistente en diferentes materiales. Esto permitirá determinar la versatilidad del tratamiento y su aplicabilidad en la industria textil.
- Se recomienda analizar cómo el tratamiento con silicato de sodio y el lavado en seco afectan otras propiedades del tejido, como la resistencia al desgaste, la suavidad, la permeabilidad al aire y la apariencia estética. Esto garantizará que el tratamiento no comprometa otras características importantes del material. Además, se podría realizar pruebas piloto en entornos industriales para evaluar la viabilidad del tratamiento con silicato de sodio a gran escala, combinado con el lavado en seco. Esto incluiría la evaluación de costos, tiempos de procesamiento y compatibilidad con otros procesos textiles

Referencias bibliográficas

- AITE. (n.d.). *Asociación de industriales Textiles del Ecuador*. Retrieved June 18, 2023, from <http://aite.com.ec/industria.html>
- Alves Pereira, F., de Cássia Oliveira Carneiro, A., Rocha Vital, B., Marius Della Lúcia, R., Patrício Júnior, W., & Jerásio Bianche, J. (2009). *Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio*. *Floresta e Ambiente*, 16(1), 23–29. <https://floram.org/article/588e221ce710ab87018b4661/pdf/floram-16-1-23.pdf>
- Andres Amaris Martinez, N., & Rondon Panqueva, V. (2009). *Uso del silicato de sodio como adición natural del concreto hidráulico*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil
- ANIQ, (Asociación Nacional de la Industria Química). (2018). *Silicatos de sodio líquido*. Silicatos y Derivados. [https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/folleto%20silicatos%20general%20\(LIT\).pdf](https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/folleto%20silicatos%20general%20(LIT).pdf)
- Baena, Guillermina. (2017). *Metodología de la investigación*. Grupo Editorial Patria. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- Binjie, H. (2008). *Pilling escala*. <https://ars.els-cdn.com/content/image/3-S2.0-B9781845692971500061-F06-01-9781845692971.jpg>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-La-Republica-Del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Esparza, D. (2009). *Hilatura lanera*.
- Gómez, E., Fernando, D., Aponte, G., & Betancourt, A. (2014). *Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su*

estructuración y sistematización. DYNA, 81(184), 158–163.

<http://dyna.medellin.unal.edu.co/>

Google maps. (2024). *Google maps.* https://www.google.com.ec/maps/@0.3441537,-78.13447,18z?hl=es&entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTEyNC4xIKXMDS0JLDEwMjExMjM0SAFQAw%3D%3D.

Guerrero, K. (2005). *Valoración objetiva del pilling en tejidos de calada por análisis de imagen.* Instituto Politécnico Nacional.

International Standard. (2000). *Tendencia a la formación de bolitas. ISO 12945-2. Parte 2.*

James Heal. (2008). *Lo esencial: Martindale - Qué hace y cómo funciona | James Heal.* <https://www.jamesheal.com/es/essentials-martindale-what-it-does-and-how-it-works>

Jesús España Ortiz. (1988). *Obtención experimental de silicato de sodio y sus aplicaciones en la industria.* Universidad Nacional Autónoma de México.

Labajo, E. (2016). *El Método Científico (II) Prácticas.*

Lockcuán, F. (2012). *IV. La industria textil y su control de calidad. Tejeduría.* https://www.google.com.ec/books/edition/IV_La_industria_textil_y_su_control_de_c/mHP7oAunq8C?hl=es-419&gbpv=1&dq=Urdido,+textil&pg=PA7&printsec=frontcover

Lockcuán, F. (2012a). *IV. La industria textil y su control de calidad. Tejeduría. Vol. Cuatro.* https://www.google.com.ec/books/edition/IV_La_industria_textil_y_su_control_de_c/mHP7oAunq8C?hl=es-419&gbpv=1&dq=IV.+La+industria+textil+y+su+control+de+calidad&printsec=frontcover

Lockcuán, F. (2012b). *VI. La industria textil y su control de calidad. Ennoblecimiento textil.* https://www.google.com.ec/books/edition/VI_La_industria_textil_y_su_control_de_c/C

eOt6-u17_QC?hl=es-

419&gbpv=1&dq=VI.+Ennoblecimiento+textil&printsec=frontcover

Lockuán, F. (2013). *La industria textil y su control de calidad: Vol. II. Fibras Textiles.*

https://www.google.com.ec/books/edition/II_La_industria_textil_y_su_control_de_c/a19HRXxdx6kC?hl=es&gbpv=0

Lockuán, L. (2012). *La industria textil y su control de calidad tintorería: Vol. V.*

<https://books.google.com.ec/books?id=6yjBvmYZrTsC>

Manufacturas Siliceas S.A.S. (n.d.). *Proceso de desfibrado kraft.*

<https://www.siliceas.com/node/43>.

McKee, P. J., Sokolow, A. C., Yu, J. H., Long, L. L., & Wetzel, E. D. (2017). *Finite element*

simulation of ballistic impact on single jersey knit fabric. Composite Structures, 162, 98–107. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2016.11.086>

McLeod, S. (2023). *Experimental methods in psychology.* Simply Psychology.

<https://www.simplypsychology.org/experimental-method.html>

Mumbrú Loporta, J., & Naik, A. (1976). *Contribución al estudio del “Pilling.”*

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6090/Article04.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Naik, A. L. A. (1984). *Propensión al pildeo de los tejidos de mezcla de fibras.*

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6217/Article11.pdf>

Pillajo, J., & Salgado, V. (2017). *Implementación de un sistema de lavado de lana en el*

laboratorio de fibras y lana de la facultad de ciencias pecuarias [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7772/1/27T0372.pdf>

- Pocoroba, R. (2006). *Análisis de los factores que determinan la formación del pilling en tejido de punto*. [Instituto Politécnico Nacional]. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/8717>
- Relubquím. (n.d.). *FICHA TÉCNICA*.
- Ruiz, C. (2013). *Guía técnica sobre la elaboración de tejidos de punto en máquinas rectilíneas* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1964>
- Sáenz, A. (2021). *Recuperación de arena de sílice recubierta con silicato de sodio para producir corazones de arena mediante el proceso de caja fría* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/23617/1/1080328394.pdf>
- Schindler, W. D., & H. P. J. (2004). *Chemical Finishing of Textiles*. In *Chemical Finishing of Textiles*.
- Solé, A. (2014). *El pilling en los artículos textiles*. *3Ciencias*, 3. <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2014/02/EL-PILLING-EN-LOS-ART%C3%8DCULOS-TEXTILES.pdf>
- Tulsma. (2017). *Texto Unificado De Legislacion Secundaria De Medio Ambiente*. <https://Www.Ambiente.Gob.Ec/Wp-Content/Uploads/Downloads/2018/05/TULSMA.Pdf>.
- Tusief, M. , M. N. , & M. S. (2011). *Effect of different anti pilling agents to reduce pilling on polyester/ cotton fabric*. In *J.Chem.Soc.Pak* (Vol. 34, Issue 1).
- Universidad Técnica del Norte. (2022). *Los proyectos de investigación científica*. <https://Investigacion.Utn.Edu.Ec/Lineas-de-Investigacion/>.
- Yar, J. (2020). *Análisis comparativo entre un filtro de lana y uno de acetato de celulosa para retener el co2 y co.*

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9942/2/04%20IT%20258%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Anexos:

Anexo 1

Ficha técnica del silicato de sodio



FICHA TÉCNICA
SILICATO DE SODIO
CODIGO DEL PRODUCTO: 1162.2

SILICATO DE SODIO

DESCRIPCIÓN

El silicato de sodio o silicato sódico (nombre común del compuesto metasilicato de sodio), también conocido como vidrio soluble, es una sustancia inorgánica, de fórmula Na_2SiO_3 que se encuentra en soluciones acuosas y también en forma sólida en muchos compuestos, entre ellos el cemento, impermeabilizadores, refractores, y procesos textiles. Se forma cuando el carbonato de sodio y el dióxido de silicio reaccionan formando silicato de sodio y dióxido de carbono.

APLICACIONES

Blanqueo de telas, algodón y la pulpa de papel. En la industria alimentaria se usa mucho para blanquear quesos, pollos, carnes, huesos, así como para la elaboración de aceites vegetales. En la industria química se usa como reactivo. Es muy importante en la elaboración de fármacos. Se está usando también para blanqueos dentales. Por otra parte, como endurecedor de hormigón, el silicato de sodio es notablemente útil para aislar y sellar.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CATEGORIA	ESTANDAR
SiO_2	30 – 32,5 %
Na_2O	13 – 14,5 %
Relación $\text{SiO}_2/$ Na_2O	2,2 – 2,4
Densidad, °Be	48 - 52

Instrucciones de uso y almacenamiento

Mantenga los contenedores cerrados. Almacene en contenedores de plástico o acero. Separe de ácidos, metales reactivos y sales de amonio. No almacene en contenedores de aluminio, fibra de vidrio, cobre, latón, zinc o galvanizados.

QUÍMICOS EXPORTACIONES
E IMPORTACIONES
RELUBQUIM CIA. LTDA.
DEPARTAMENTO TÉCNICO
Ing. Paúl Reza

QUIMICOS EXPORTACIONES E IMPORTACIONES RELUBQUIM CIA. LTDA.

Matriz Quito: Av. Eloy Alfaro N59-72 y Juan Molineros • Telefax: (593-2) 2479061 • Telf.: 2483150 - 2483151 -
2484177 - 2484937 - 2484938 - 2485790

químicos@relubquim.com.ec

Anexo 2

Ficha técnica del percloroetileno



Dry cleaning grade Perchloroethylene

Synonym: Tetrachloroethylene; Perchlor
Chemical formula: C₂Cl₄, Molecular Weight: 165.82
CAS No.: 127-18-4

Physical & Chemical properties:

Appearance: Clear, colorless liquid.
Odor: Chloroform-like odor.
Solubility: insoluble in water.
Specific Gravity: 1.63 g/cm³ @ 20°C
% Volatiles by volume @ 21°C: 100
Boiling Point: 121.2°C
Melting Point: -22.2°C
Vapor Density (Air=1): 5.83
Vapor Pressure (mm Hg): 15.825 @ 20°C
Evaporation Rate (BuAc=1): 0.09 Ether=1

Specification:

Purity 99.80% min
Moisture 0.0050% max
Alkalinity(NaOH) 0.0030% max
Residue after evaporation 0.0050% max
Color(APHA), Pt-Co 15 max

Usage:

Isomerization and catalytic reforming of the petrochemical industry;

Packing, Storage, Delivery:

Hazard Class: 6.1
UN No.:1897
Packing Group: III
Packing in 250KG iron drum(300KG max). Store in cool, clean and dry area provided with exhaust ventilation. Keep the drums tightly sealed. The storage must obey relative rules of dangerous cargo delivery on railway, road by country laws.

Anexo 3

Ensayo a la resistencia de formación de pilling



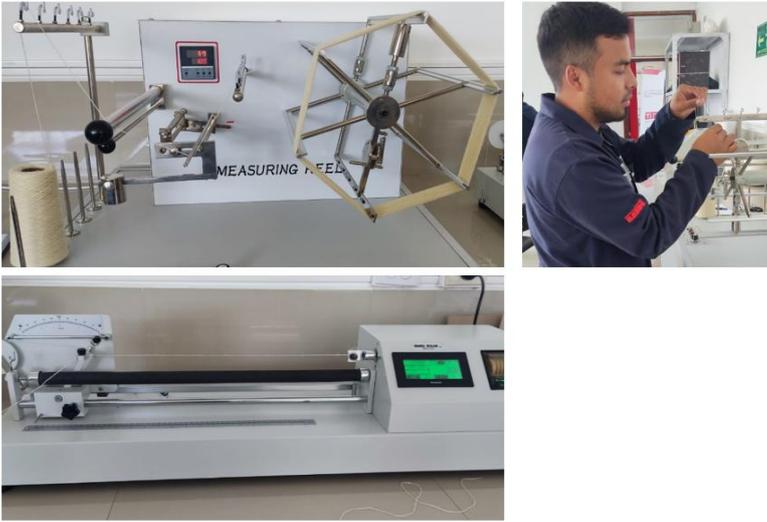
Anexo 4

Análisis cualitativo microscopia



Anexo 5

Caracterización del hilo y tejido



Anexo 6

Proceso de lavado en seco



Anexo 7

Certificado de uso de laboratorio



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES DE LA CARRERA DE
TEXTILES



Ibarra, 24 de junio del 2025

CERTIFICADO DE LABORATORIO

Yo, **MSc. José Rafael Posso Pasquel**, en calidad de responsable técnico del laboratorio de procesos textiles de la Carrera de Textiles:

CERTIFICO

Que el señor **LÓPEZ TOBAR KEVIN ALEJANDRO**, portadora de la cédula de ciudadanía N° **040178653-8**, ha realizado ensayos de laboratorio referentes al Trabajo de Titulación, con el tema: **“APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN TEJIDO DE PUNTO JERSEY DE LANA PARA ACABADO ANTIPILLING”**, los equipos utilizados en el laboratorio fueron:

- Foulard
- Túnel de secado
- GyroWash
- Cabina Hidroextractora
- Martindale
- Torsiómetro
- Devanadora electrónica
- Balanza analítica
- Vasos de precipitación

Además, se le ayudó con las asesorías necesarias para cumplir a cabalidad la metodología establecida en cada una de las normas.

Atentamente:



Escaneado y certificado por:
JOSE RAFAEL POSSO PASQUEL
ALICIA DELACRUZ DE ROSALES

MSc. JOSÉ POSSO.
RESPONSABLE TÉCNICO DEL LABORATORIO DE PROCESOS
TEXTILES – CTEX