UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES

"INFLUENCIA DE LA TORSIÓN Y DE LOS DIFERENTES TÍTULOS DE HILO EN LA FORMACIÓN DE PILLING EN TEJIDOS DE PUNTO ELABORADOS CON FIBRA DE ALPACA, JULIACA–2024"

Julissa Veronica Chambi Roca

Tesis para optar el título de:
INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES

Asesor:
Dr. Jhon Richard Huanca Suaquita

Juliaca, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES

"INFLUENCIA DE LA TORSIÓN Y DE LOS DIFERENTES TITULOS DE HILO EN LA FORMACIÓN DE PILLING EN TEJIDOS DE PUNTO ELABORADOS CON FIBRA DE ALPACA, JULIACA–2024"

Julissa Veronica Chambi Roca

Tesis para optar el título de:
INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES

Asesor:
Dr. Jhon Richard Huanca Suaquita

Juliaca, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES

"INFLUENCIA DE LA TORSIÓN Y DE LOS DIFERENTES TÍTULOS DE HILO EN LA FORMACIÓN DE PILLING EN TEJIDOS DE PUNTO ELABORADOS CON FIBRA DE ALPACA, JULIACA-2024"

Julissa Veronica Chambi Roca

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES

ASESOR: Dr. Jhon Richard Huanca Suaquita

Juliaca, 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Chambi, J. (2026). *"Influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, Juliaca-2024"* (Tesis de pregrado en ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Julissa Veronica Chambi Roca

TÍTULO: Influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, Juliaca-2024

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2026

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (110)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones – Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 04-000044-04/CH516

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Jhon Richard Huanca Suaquita

PALABRAS CLAVE: fibra de alpaca, pilling, tejidos de punto, numeración del hilo, torsión.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES

"INFLUENCIA DE LA TORSIÓN Y DE LOS DIFERENTES TÍTULOS DE HILO EN LA FORMACIÓN DE PILLING EN TEJIDOS DE PUNTO ELABORADOS CON FIBRA DE ALPACA, JULIACA-2024"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES

Presentada por:

Julissa Veronica Chambi Roca

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

D.Sc. Julio Cesar Huanca Marin
PRESIDENTE DE JURADO

Mtra. Roxana Tacuri Robles
JURADO (Secretario)

2° MIEMBRO

Dr. Jesús Arias Escobar
JURADO (Vocal)

3° MIEMBRO

Dr. Jhon Richard Huanca Suaquita
ASESOR DE TESIS

Julissa Veronica Chambi Roca

INFLUENCIA DE LA TORSIÓN Y DE LOS DIFERENTES TÍTULOS DE HILO EN LA FORMACIÓN DE PILLING EN TEJIDOS DE PU...

Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:642368781

Fecha de entrega
21 oct 2026, 2:37 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
21 oct 2026, 2:42 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFLUENCIA DE LA TORSIÓN Y DE LOS DIFERENTES TÍTULOS DE HILO EN LA FORMACIÓN DE PILLI....pdf

Tamaño del archivo
4.7 MB

110 páginas

26.017 palabras

139.256 caracteres

Firmado digitalmente por HUANCA SUAQUITA JHON RICHARD
DNI:40818674
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 21.10.2026 14:44:26 -05:00

13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

12% Fuentes de Internet
2% Publicaciones
7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

Firmado digitalmente por HUANCA SUAQUITA JHON RICHARD
DNI:40818674
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 21.10.2026 14:45:00 -05:00

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a las personas que estuvieron a mi lado durante este camino, brindándome su amor, apoyo y confianza para no rendirme y llegar hasta aquí.

A Dios, por acompañarme en este camino, por darme fuerzas cuando las cosas se hicieron difíciles y por permitirme llegar hasta este momento y culminar una etapa que significó mucho esfuerzo y dedicación para mí.

A mis queridos padres, Vicente y Norma, por todo el esfuerzo y los sacrificios que hicieron para que pudiera seguir estudiando, por confiar en mí incluso en los momentos en que yo misma dudaba y por enseñarme con su ejemplo a seguir adelante y no rendirme, gracias por estar siempre conmigo y por apoyarme en cada paso para poder cumplir esta meta.

A mis hermanas, Sharmila, Maryory y Anahí, por estar siempre a mi lado y acompañarme durante todo este proceso, gracias por sus palabras de aliento, por su apoyo y por estar presentes cuando más las necesitaba.

A R., gracias por escucharme y por animarme a seguir adelante en los momentos difíciles, por tu paciencia y por todo el apoyo que me brindaste durante este camino.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida y las fuerzas necesarias para seguir adelante durante todo este proceso.

A la Universidad Nacional de Juliaca, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones, por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente, también agradezco a todos los docentes que compartieron sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi formación.

A mi asesor, Dr. Jhon Richard Huanca Suaquita, por la orientación que me brindó durante el desarrollo de esta investigación y por las recomendaciones que me ayudaron a mejorar el trabajo de tesis.

A los miembros del jurado, por el tiempo que dedicaron a revisar mi investigación y por las observaciones, sugerencias y correcciones que me hicieron durante este proceso, las cuales me ayudaron a mejorar mi tesis.

A los laboratoristas de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones, por su apoyo y disposición durante la realización de los ensayos experimentales.

A mis queridos padres y hermanas, por acompañarme durante todo este proceso y por motivarme a seguir adelante, gracias.

A todas las personas que me acompañaron durante este proceso y me brindaron su apoyo y palabras de aliento en los momentos en que más lo necesité.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA i
AGRADECIMIENTO ii
INDICE GENERAL iii
ÍNDICE DE TABLAS vii
ÍNDICE DE ANEXOS x
RESUMEN xi
ABSTRACT xii
INTRODUCCIÓN xiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 1
1.2 LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 2
1.2.1 PREGUNTA GENERAL 2
1.2.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS 2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL 2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
1.4 JUSTIFICACIÓN 3
1.4.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA 3
1.4.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA 3
1.4.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL 4
1.4.4 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL 4
1.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 4
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL 4
1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 4

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 5
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES 5
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES 9
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES 9
2.2 MARCO TEÓRICO 10

2.2.1 FIBRA 10
2.2.2 FIBRA DE ALPACA 10
2.2.3 CLASIFICACIÓN DE LA ALPACA Y DE LA FIBRA 11
2.2.4 CATEGORIZACIÓN DE LA FIBRA DE ALPACA 13
2.2.5 ESTRUCTURA MORFOLÓGICA DE LA FIBRA 13
2.2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA 14
2.2.7 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA 15
2.2.8 HILATURA 16
2.2.9 MÉTODOS DE HILATURA 16
2.2.10 PROCESO DE HILATURA 17
2.2.11 HILO 18
2.2.12 ESTRUCTURA DEL HILO SEGÚN SU COMPOSICIÓN 18
2.2.13 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HILOS 20
2.2.14 TÍTULO DEL HILO 20
2.2.15 TITULACIÓN O SISTEMA DE NUMERACIÓN DE LOS HILOS 20
2.2.16 TORSIÓN 21
2.2.17 SENTIDO DE TORSIÓN 21
2.2.18 TEJIDO DE PUNTO 22
2.2.19 CLASIFICACIÓN DEL TEJIDO PUNTO 22
2.2.20 TEJIDO DE PUNTO POR URDIMBRE 24
2.2.21 CARACTERÍSTICA SUPERFICIAL DEL TEJIDO DE PUNTO 25
2.2.22 PILLING 25
2.2.23 ETAPAS DE LA FORMACIÓN DEL PILLING EN LOS TEJIDOS 25
2.2.24 ESCALA DE MEDICIÓN DEL PILLING 27
2.2.25 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DEL PILLING 27
2.2.26 NORMAS TÉCNICAS 29
2.2.27 CLASIFICACIÓN DE LOS TEJIDOS DE PUNTO 29
2.2.28 CONTROL DE CALIDAD DEL TEJIDO DE PUNTO 29

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE ESTUDIO 31
3.2 DISEÑO METODOLÓGICO 31
3.2.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN 31
3.2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN 31

3.2.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN 32
3.2.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 32
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN 33
3.3.1 POBLACIÓN 33
3.3.2 MUESTRA 33
3.3.3 VARIABLES 34
3.3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES 34
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 34
3.4.1 TÉCNICAS 35
3.4.2 INSTRUMENTOS 35
3.5 MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN 35
3.5.1 MATERIALES BIOLÓGICOS 35
3.5.2 MATERIALES DE LABORATORIO 35
3.5.3 MATERIALES DE REGISTRO 36
3.5.4 EQUIPOS 36
3.5.5 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN 36
3.5.6 MÁQUINAS 36
3.5.7 INSUMOS Y REACTIVOS 36
3.6 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 37
3.6.1 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL HILO MEDIANTE EL PROCESO DE HILATURA 37
3.6.2 BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE HILATURA 48
3.6.3 PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LA MÁQUINA Y ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS DE TEJIDO DE PUNTO JERSEY 49
3.6.4 PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA FORMACIÓN DE PILLING 50
3.6.5 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO 54

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS 56
4.1.1 RESULTADOS DEL OBJETIVO GENERAL 56
4.1.2 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1 57
4.1.3 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 62
4.2 DISCUSIÓN 72

4.2.1 DISCUSIÓN GENERAL....72
4.2.2 DISCUSIÓN ESPECÍFICA 1....72
4.2.3 DISCUSIÓN ESPECÍFICA 2....73

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES....75
5.2 RECOMENDACIONES....76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA....78
ANEXOS....84

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE ALPACA 12
TABLA 2: CATEGORIZACIÓN DE LA FIBRA DE ALPACA 13
TABLA 3: ETAPAS DE LA FORMACIÓN DEL PILLING 26
TABLA 4: ESCALA DE EVALUACIÓN VISUAL DEL GRADO DE PILLING SEGÚN LA ISO 12945-2 30
TABLA 5: DISEÑO EXPERIMENTAL 33
TABLA 6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES 34
TABLA 7. PROCESO DE LAVADO DE LA FIBRA DE ALPACA 40
TABLA 8: PARÁMETROS UTILIZADOS DURANTE EL PROCESO DE SECADO 41
TABLA 9: TRATAMIENTOS SEGÚN EL TÍTULO DEL HILO Y EL NIVEL DE TORSIÓN 46
TABLA 10. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE HILATURA 48
TABLA 11: GALGA Y TENSIÓN UTILIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS TEJIDOS DE PUNTO JERSEY 50
TABLA 12: ESCALA DE EVALUACIÓN VISUAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA FORMACIÓN DE PILLING SEGÚN LA NORMA ISO 12945-2:2020 53
TABLA 13: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL GRADO DE FORMACIÓN DE PILLING 58
TABLA 14: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL GRADO DE PILLING SEGÚN EL TÍTULO DEL HILO 62
TABLA 15: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL GRADO DE PILLING SEGÚN EL NIVEL DE TORSIÓN 63
TABLA 16: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL GRADO DE PILLING POR TRATAMIENTO EXPERIMENTAL 64
TABLA 17: ANOVA DEL GRADO DE PILLING 65
TABLA 18: COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TUKEY DEL GRADO DE PILLING SEGÚN EL TÍTULO DEL HILO 66
TABLA 19: COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TUKEY DEL GRADO DE PILLING SEGÚN EL NIVEL DE TORSIÓN. 67
TABLA 20: VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO FACTORIAL DEL GRADO DE PILLING 69

TABLA 21: ANOVA POR PERMUTACIONES DEL GRADO DE PILLING.....70
TABLA 22: TAMAÑO DEL EFECTO DE LOS FACTORES SOBRE EL GRADO DE PILLING.....71

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ALPACA DE RAZA HUACAYA....11
FIGURA 2. ALPACA DE RAZA SURI....12
FIGURA 3. ESTRUCTURA MORFOLÓGICA DE LA FIBRA DE ALPACA....13
FIGURA 4. HILO DE UN CABO....19
FIGURA 5. HILO DE DOS CABOS (PLY)....19
FIGURA 6. HILO DE MÚLTIPLES CABOS....19
FIGURA 7. SENTIDO DE TORSIÓN Z Y TORSIÓN S EN EL HILADO....22
FIGURA 8. ESTRUCTURA DEL TEJIDO DE PUNTO POR TRAMA....23
FIGURA 9. TEJIDO DE PUNTO JERSEY....23
FIGURA 10. ESTRUCTURA DEL TEJIDO DE PUNTO POR URDIMBRE....24
FIGURA 11. ESTRUCTURA DEL TEJIDO TRICOT....24
FIGURA 12. ESCALA DE MEDICIÓN DEL PILLING....27
FIGURA 13. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL HILO MEDIANTE EL PROCESO DE HILATURA....37
FIGURA 14. MÁQUINA LAVADORA KIWISCOUR MK2....40
FIGURA 15. MÁQUINA DE CENTRIFUGA HIDROEXTRACTORA....40
FIGURA 16. MÁQUINA TÚNEL DE SECADO....41
FIGURA 17. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LA MÁQUINA Y ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS DE TEJIDO DE PUNTO JERSEY....49
FIGURA 18. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA FORMACIÓN DE PILLING....51
FIGURA 19. EVOLUCIÓN DEL GRADO DE PILLING CON EL TÍTULO 6 NM....59
FIGURA 20. EVOLUCIÓN DEL GRADO DE PILLING CON EL TÍTULO 8 NM....60
FIGURA 21. EVOLUCIÓN DEL GRADO DE PILLING CON EL TÍTULO 10 NM....60
FIGURA 22. EVOLUCIÓN DEL GRADO DE PILLING CON EL TÍTULO 12 NM....61
FIGURA 23. COMPARACIÓN DEL GRADO DE PILLING SEGÚN EL TÍTULO DEL HILO MEDIANTE TUKEY....66
FIGURA 24. COMPARACIÓN DEL GRADO DE PILLING SEGÚN EL NIVEL DE TORSIÓN MEDIANTE TUKEY....68

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL GRADO DE PILLING 84
ANEXO 2. BASE DE DATOS PARA EL ANÁLISIS EN RSTUDIO 85
ANEXO 3. FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO 85
ANEXO 4. FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO 87
ANEXO 5. FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO 88
ANEXO 6. FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO 89
ANEXO 7. CONSTANCIA DE REALIZACIÓN DE LA TESIS EN LOS LABORATORIOS Y TALLERES DE EPITYC 90
ANEXO 8. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA FIBRA A HILO Y TEJIDO 91
ANEXO 9. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EVALUACIÓN AL PILLING 92
ANEXO 10. MATRIZ DE CONSISTENCIA 93

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca. El estudio fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicado, nivel explicativo y diseño experimental factorial 4×4, considerando títulos de hilo de 6, 8, 10 y 12 Nm y cuatro niveles de torsión, con 16 tratamientos y 32 unidades experimentales, correspondientes a una muestra y una réplica por tratamiento. Los tratamientos se identificaron mediante la relación título del hilo/número de cabo (6/1, 6/2, 6/3, 6/4, 8/1, 8/2, 8/3, 8/4, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 12/1, 12/2, 12/3 y 12/4), utilizando fibra de alpaca Huacaya de color blanco, con la cual se obtuvieron hilos mediante el proceso de hilatura y tejidos de punto tipo jersey mediante tejido rectilíneo manual. La formación de pilling se evaluó mediante el ensayo de abrasión Martindale, según la norma ISO 12945-2, considerando 125, 500, 1000 y 2000 ciclos de abrasión. Los resultados mostraron una disminución progresiva de la calificación de pilling conforme aumentaron los ciclos de abrasión. El tratamiento T16, correspondiente a 12/4 Nm y 280 vueltas/m, presentó la mayor calificación promedio, con 4.82, mientras que T1, correspondiente a 6/1 Nm y 185 vueltas/m, presentó la menor, con 3.82. El análisis por permutaciones confirmó una influencia significativa del título del hilo ($p = 0.0008$) y del nivel de torsión ($p = 0.0002$), mientras que la interacción no fue significativa ($p = 0.0622$). El tamaño del efecto mostró mayor magnitud para el nivel de torsión ($\eta^2 = 0.7584$) respecto al título del hilo ($\eta^2 = 0.1053$). Se concluye que ambos parámetros influyen significativamente en la formación de pilling, siendo el nivel de torsión el factor de mayor magnitud de influencia en las condiciones experimentales de la investigación.

Palabras clave: fibra de alpaca, pilling, tejidos de punto, numeración del hilo, torsión.

ABSTRACT

This research aimed to analyze the influence of twist and different yarn counts on pilling formation in knitted fabrics made from alpaca fiber. The study employed a quantitative approach, was of an applied nature and explanatory level, and utilized a 4×4 factorial experimental design. It considered yarn counts of 6, 8, 10, and 12 Nm and four twist levels, resulting in 16 treatments and 32 experimental units (comprising one sample and one replicate per treatment). Treatments were identified by the yarn count/ply ratio (6/1, 6/2, 6/3, 6/4, 8/1, 8/2, 8/3, 8/4, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 12/1, 12/2, 12/3, and 12/4) using white Huacaya alpaca fiber; yarns were produced via the spinning process, and jersey-style knitted fabrics were created using manual flat-bed knitting. Pilling formation was evaluated using the Martindale abrasion test in accordance with ISO standard 12945-2, considering 125, 500, 1000, and 2000 abrasion cycles. The results showed a progressive decrease in the pilling rating as the number of abrasion cycles increased. Treatment T16 (12/4 Nm and 280 turns/m) yielded the highest average rating (4.82), while T1 (6/1 Nm and 185 turns/m) yielded the lowest (3.82). Permutation analysis confirmed a significant influence of yarn count ($p = 0.0008$) and twist level ($p = 0.0002$), whereas the interaction was not significant ($p = 0.0622$). The effect size was greater for twist level ($\eta^2 = 0.7584$) than for yarn count ($\eta^2 = 0.1053$). It is concluded that both parameters significantly influence pilling formation, with twist level being the factor with the greatest magnitude of influence under the study's experimental conditions.

Keywords: alpaca fiber, pilling, knitted fabrics, yarn count, twist.

INTRODUCCIÓN

En la industria textil, la fibra de alpaca es una de las materias primas más importantes debido a sus excelentes propiedades físicas como: su finura, suavidad, capacidad de aislamiento térmico y amplia variedad de colores naturales (Castellaro et al. 2025). Estas características le dan a la fibra un alto valor; no obstante, la calidad de los productos textiles elaborados con esta fibra no depende únicamente de sus características naturales, sino también de las técnicas aplicadas durante los procesos de hilatura, donde el título y la torsión forman parte de las características consideradas durante la producción del hilo de fibra de alpaca. (Díaz et al., 2020).

Entre los problemas que pueden afectar la calidad superficial de los tejidos de punto se encuentra la formación de pilling, asociada a la fricción y abrasión durante el uso que puede modificar la apariencia de las prendas. En los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, el comportamiento frente a este problema puede estar relacionado con las características del hilo y con las condiciones empleadas durante su obtención, por lo que resulta importante conocer la influencia del título del hilo, expresado en relación con el número de cabo, y la torsión sobre la formación de pilling. En este sentido, la investigación busca aportar información sobre el comportamiento frente a la abrasión de tejidos de punto tipo jersey elaborados con fibra de alpaca Huacaya mediante tejido rectilíneo manual, así como sobre la influencia de los parámetros considerados en la obtención del hilo.

El objetivo general de la investigación fue analizar la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca y los objetivos específicos, determinar el grado de formación de pilling mediante la prueba de abrasión en el equipo Martindale y analizar los datos obtenidos mediante técnicas estadísticas para evaluar la magnitud de influencia del título del hilo y nivel de torsión en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca. La investigación se organiza en cinco capítulos:

En el capítulo I Planteamiento del problema, se describe la situación problemática relacionada con la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, a partir de la cual se formula el problema de investigación. Asimismo, se presentan el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación y las hipótesis.

En el capítulo II Revisión de literatura, se presentan los antecedentes y se desarrollan los fundamentos teóricos necesarios para comprender las variables del estudio. Además, se abordan temas relacionados con el título del hilo y el número de cabo, la torsión, los tejidos de punto, la fibra de alpaca y la formación de pilling.

En el capítulo III Materiales y métodos, se detallan los materiales, equipos e instrumentos empleados durante el desarrollo de la investigación. También se describe el procedimiento para la obtención de los hilos, la elaboración de los tejidos de punto tipo jersey mediante tejido rectilíneo manual, la preparación de las muestras de ensayo, la evaluación del grado de pilling en el equipo de abrasión Martindale con el uso de la norma ISO 12945-2:2020 y el procedimiento utilizado para el análisis estadístico de los datos obtenidos.

En el capítulo IV Resultados y discusión, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del grado de pilling de los tejidos de punto elaborados con los diferentes títulos de hilo y niveles de torsión, y se incluye el análisis estadístico de los datos y la interpretación de los resultados.

En el capítulo V Conclusiones y recomendaciones, se presentan las conclusiones obtenidas a partir de los resultados de la investigación y en relación con los objetivos planteados, junto con las recomendaciones y los aspectos que pueden ser considerados en futuras investigaciones.

.

.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La fibra de alpaca es una de las fibras con mayor valor para la industria textil por sus propiedades de finura, suavidad, resistencia, su capacidad de aislamiento térmico y variedad de colores naturales (Castellaro et al. 2025). El Perú tiene aproximadamente el 88.8 % de la población mundial de alpacas, y la región de Puno es una de las principales zonas productoras; asimismo, la crianza representa una de las actividades económicas importantes para las familias altoandinas mediante la producción y comercialización de fibra; las características propias de la fibra de alpaca influyen en su comportamiento durante los procesos de transformación textil, por lo que su selección y caracterización constituyen aspectos importantes para la obtención de productos textiles de calidad (Larios et al. 2023). Asimismo Roque y Ormachea (2018) señalan que la calidad de la fibra de alpaca depende de características físicas y textiles que influyen en su comportamiento durante la transformación industrial; además, las fibras con mejores propiedades permiten obtener hilos con mayor regularidad y resistencia, por lo tanto, la selección y caracterización de la materia prima constituye una etapa fundamental para garantizar la calidad final de los productos textiles elaborados con fibra de alpaca.

Durante la transformación de la fibra a hilo se establecen diferentes parámetros que determinan sus características y comportamiento. Machaca et al. (2021) señalan la importancia de los parámetros empleados durante la fabricación del hilo y su relación con las propiedades del tejido, entre los cuales se encuentran la torsión y el título del hilo. El título permite expresar la finura del hilo, mientras que la torsión interviene en la cohesión de las fibras, por lo que la variación de estos parámetros puede modificar las características del hilo utilizado posteriormente en la elaboración del tejido de punto.

Una de las situaciones que puede presentarse durante el uso de los tejidos de punto es la formación de pilling, relacionada con la fricción y abrasión a la que se encuentra sometida su superficie. Wang y Qian (2018) explican que este proceso se produce cuando las fibras que sobresalen de la superficie se liberan, se entrelazan y forman pequeñas aglomeraciones de fibras, conocidas como *pills*, por lo que la presencia de estas aglomeraciones modifica progresivamente la apariencia superficial del material y puede afectar la calidad de las prendas durante su uso.

El comportamiento frente al pilling está relacionado con las características del hilo y de la estructura del tejido, por lo que el título y la torsión pueden influir en su formación. Asimismo, las variaciones en estos parámetros pueden modificar la respuesta del tejido frente a la fricción y la abrasión, por lo que resulta necesario conocer cómo se comportan los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca al utilizar diferentes títulos y niveles de torsión, y de esta manera se busca determinar si las características del hilo obtenidas durante el proceso de hilatura generan diferencias en el grado de pilling del tejido.

Por ello, la presente investigación se realizó con el propósito de analizar la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, considerando cuatro títulos de hilo y cuatro niveles de torsión. Para ello, se elaboraron muestras de tejido de punto tipo jersey y se evaluó su comportamiento mediante el ensayo de abrasión Martindale, con el fin de determinar el grado de formación de pilling y establecer la magnitud de influencia de cada factor estudiado.

1.2 LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 PREGUNTA GENERAL

¿Cómo influye la torsión y los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca?

1.2.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS

- ¿Cuál es el grado de formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca con diferentes torsiones y títulos, determinado mediante la prueba de abrasión en el equipo Martindale?
- ¿Cuál es la magnitud de la influencia del título del hilo y del nivel de torsión en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, según los análisis estadísticos?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el grado de formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca con diferentes torsiones y títulos, mediante la prueba de abrasión en el equipo Martindale.
- Analizar los datos obtenidos mediante técnicas estadísticas para evaluar la magnitud de influencia del título del hilo y nivel de torsión en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La formación de pilling afecta a la superficie de los tejidos durante su uso, por lo que es necesario estudiar los parámetros de elaboración del hilo. Hafsa et al. (2024) analizaron el efecto del título del hilo y del factor de torsión en tejidos de punto y encontraron que ambos factores influyen significativamente en la resistencia al pilling, lo que muestra la importancia de considerar estos dos parámetros en el estudio. Asimismo, Mustafa et al. (2022) consideraron el título del hilo como una variable para predecir el grado de pilling, mientras que Ayele et al. (2021) concluyeron que diferentes niveles de torsión generan variaciones significativas en la resistencia. Si bien estos estudios fueron realizados con materias primas y estructuras textiles diferentes a las de esta investigación, sus resultados sirven como referencia para estudiar el título y la torsión en relación con el pilling. Por ello, esta investigación aportará resultados experimentales sobre la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca. La evaluación mediante el ensayo Martindale, de acuerdo con la norma ISO 12945-2:2020, permitirá determinar el grado de pilling de las muestras, y el análisis estadístico permitirá conocer el efecto de cada factor, su interacción y cuál de ellos presenta mayor magnitud de influencia.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Analizar el comportamiento de un material antes de su uso es importante al momento de tomar decisiones en la fabricación de una prenda. En este caso, los resultados permitirán identificar qué variables favorecen la resistencia a la formación de pilling. Además, la información obtenida podrá servir como referencia para seleccionar los parámetros de elaboración del hilo en la producción de tejidos de punto, y de esta manera, se podrá contar con información experimental para orientar la elección de estos parámetros y aprovechar mejor los recursos

utilizados durante el desarrollo y evaluación de los tejidos. Asimismo, contar con resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio permitirá disponer de información antes de fabricar el producto, reduciendo la necesidad de realizar pruebas sin una referencia previa.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Esta investigación tiene como finalidad ampliar el conocimiento sobre los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca en la región de Puno. Los resultados servirán como material de consulta para estudiantes, investigadores y personas dedicadas al sector textil, especialmente para quienes desarrollen estudios relacionados con la transformación y evaluación de esta materia prima. Asimismo, los datos obtenidos podrán ser utilizados como referencia en futuras investigaciones y contribuirán a ampliar la información sobre la transformación de la fibra de alpaca en productos textiles.

1.4.4 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

En la obtención del hilo mediante el proceso de hilatura, la fibra de alpaca requiere el uso de recursos, principalmente agua, además de insumos y reactivos durante las diferentes etapas de transformación. Por ello, es importante tener en cuenta el uso adecuado de estos recursos y controlar las cantidades empleadas. En la presente investigación se registraron las cantidades de agua, insumos y reactivos utilizados, lo que permite conocer los recursos empleados para la obtención del hilo y brinda información que puede ser utilizada como referencia en futuras investigaciones, favoreciendo un mejor control y aprovechamiento de los recursos.

1.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

La torsión y el título del hilo influyen significativamente en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, con diferentes torsiones y títulos presentan diferentes grados de pilling durante la prueba de abrasión en el equipo Martindale.
- El título del hilo y el nivel de torsión presentan diferentes magnitudes de influencia sobre la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Hafsa et al. (2024), en el artículo titulado *"Efectos del título del hilo y del multiplicador de torsión en las propiedades de los tejidos de punto elaborados con algodón sostenible de color natural"*, evaluaron el efecto del título del hilo y del multiplicador de torsión en tejidos de punto elaborados con algodón naturalmente coloreado. Para ello, utilizaron títulos de hilo de 16/2 Ne, 20/2 Ne y 24/2 Ne, y multiplicadores de torsión de 4,0, 4,25 y 4,5. En relación con el pilling, los resultados mostraron que la combinación del título del hilo y el multiplicador de torsión influye en la resistencia al pilling de los tejidos de punto. En conclusión, la modificación del título del hilo y del multiplicador de torsión permite optimizar la resistencia al pilling, siendo necesario establecer condiciones adecuadas de hilatura para obtener mejores características en el tejido.

Uyanık y Nacarkahya (2024), en el artículo titulado *"Evaluación de la resistencia al estallido y las propiedades de pilling de tejidos de punto producidos a partir de hilos reciclados con residuos duros de algodón"*, estudiaron las propiedades de pilling de tejidos de punto circular elaborados con hilos de rotor, considerando títulos de hilo Ne 10, Ne 20 y Ne 30 y diferentes proporciones de residuos duros de algodón. Los resultados mostraron que el título del hilo tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el grado de pilling ($p < 0,001$), así como su interacción con el tipo de hilo ($p < 0,001$). Asimismo, los tejidos elaborados con hilo Ne 10 presentaron mejores valores de resistencia al pilling en comparación con los elaborados con Ne 20 y Ne 30. En conclusión, el título del hilo influye en el comportamiento frente al pilling, observándose diferencias en la resistencia según el título empleado.

Elias et al. (2023), en el artículo titulado *"Estudio del efecto de la proporción de mezcla de fibra de poliéster y los ciclos de pilling en tejidos de punto mezclados"*, estudiaron el comportamiento frente al pilling de tejidos de punto tipo single jersey elaborados con mezclas de algodón, poliéster y elastano, considerando proporciones de poliéster entre 5 % y 19 %. La evaluación se realizó mediante el ensayo Martindale, de acuerdo con la norma ISO 12945-2:2000, aplicando 2000, 5000 y 7000 ciclos de frotamiento. Los resultados mostraron que, después de 2000 ciclos, todas las muestras presentaron grados de pilling entre 4 y 5, sin

diferencias apreciables asociadas con la proporción de poliéster. Sin embargo, a 5000 ciclos se observó un deterioro del grado de pilling en las mezclas con mayores proporciones de poliéster, comportamiento que se acentuó después de 7000 ciclos. Asimismo, se obtuvo una correlación negativa entre la proporción de poliéster y el grado de pilling a 5000 ciclos ($r = -0{,}913$; $p = 0{,}00001$) y a 7000 ciclos ($r = -0{,}9118$; $p = 0{,}00001$). En conclusión, el incremento de la proporción de poliéster y del número de ciclos de frotamiento produjo un deterioro del grado de pilling en los tejidos de punto evaluados.

Mustafa et al. (2022), en la investigación titulada *"Un modelo de predicción estadística para grados de pilling de tejidos de lana peinada mezclada basado en la rigidez a la flexión del tejido",* estudiaron la formación de pilling en tejidos de lana/poliéster, viscosa/poliéster y viscosa/poliéster/acrílico, utilizando diferentes títulos de hilo de trama, comprendidos entre Ne 32/2, 40/2, 48/2 y 50/2, así como diferentes densidades y estructuras de tejido, la formación de pilling fue evaluada mediante un ensayo de abrasión y clasificada en una escala de 1 a 5, donde el grado 5 correspondió a una superficie sin cambio y el grado 1 a una superficie con pilling severo. En la mezcla de lana/poliéster, el título del hilo de trama no presentó una influencia significativa sobre la tendencia al pilling, con un valor de $p = 0{,}512$, mientras que la rigidez a la flexión presentó un valor de $p = 0{,}0005$, un coeficiente de correlación de 0,96 y un $R^2 = 0{,}92$. En la mezcla de viscosa/poliéster, el título del hilo presentó un valor de $p = 0{,}0013$ y la rigidez a la flexión un $p = 0{,}0003$, con un $R^2 = 0{,}811$. En la mezcla de viscosa/poliéster/acrílico, el título del hilo presentó un $p = 0{,}0001$ y la rigidez a la flexión un $p = 0{,}0161$, con un $R^2 = 0{,}872$. En conclusión, la rigidez a la flexión y el título del hilo pueden utilizarse como indicadores de la tendencia a la formación de pilling, aunque la importancia de estos factores varió según el material empleado.

Kertmen and Yildirim (2022), en el artículo titulado *"Efectos del título del hilo y las proporciones de mezcla de fibra de cáñamo en las propiedades del hilo y del tejido",* elaboraron hilos de Ne 20/1 y Ne 30/1 utilizando mezclas de 100 % algodón, 95 % algodón–5 % cáñamo y 85 % algodón–15 % cáñamo, con los cuales produjeron tejidos de punto de estructura súper jersey, entre las propiedades evaluadas se consideró la formación de pilling mediante el ensayo Martindale, de acuerdo con la norma TS EN ISO 12945-2. Los resultados fueron analizados mediante un ANOVA de dos factores y la prueba de comparación múltiple SNK; el tipo de hilo tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el grado de pilling ($p < 0{,}05$), los tejidos de 100 % algodón obtuvieron un grado promedio de 4,50, mientras que los tejidos con 5 % y 15 % de cáñamo presentaron un grado de 3,25 y según el título del hilo, los

tejidos elaborados con Ne 20 presentaron un grado promedio de pilling de 3,83, mientras que los elaborados con Ne 30 alcanzaron 3,50.

Asanovic et al. (2022), en el artículo titulado *" Influencia de la formación de bolitas en la calidad de los tejidos de punto sencillo de lino"*, evaluaron la influencia del pilling sobre la calidad de tejidos de punto tipo single jersey elaborados con hilo de lino, considerando diferentes características estructurales como la densidad de mallas, el gramaje y el espesor del tejido. Para la evaluación del pilling emplearon el método Martindale conforme a la norma ISO 12945-2, realizando mediciones después de 125, 500, 1000, 2000, 5000 y 7000 ciclos de abrasión, con tres repeticiones por muestra y los resultados evidenciaron que en todas las muestras analizadas el grado de pilling disminuyó progresivamente a medida que aumentó el número de ciclos de abrasión, después de 125 y 500 ciclos las muestras presentaron calificaciones entre 4 y 5, a los 1000 ciclos algunas muestras descendieron a grado 4, mientras que a los 2000 ciclos las calificaciones oscilaron entre 3 - 4 y 4, y después de 5000 y 7000 ciclos los tejidos alcanzaron valores entre 3 y 3 - 4. Mediante las pruebas estadísticas se determinó que las características estructurales del tejido influyen significativamente en propiedades como la permeabilidad al aire, la resistencia al estallido y la resiliencia a la compresión. Después del ensayo de pilling se observaron disminuciones en la permeabilidad al aire, la resistencia al estallido y la elongación. En conclusión, los tejidos con compactación moderada presentaron el mejor equilibrio entre resistencia al pilling y calidad general.

Atalie y Ashagre (2022), en el artículo titulado *"Propiedades de abrasión, pilling y enganche de telas para sábanas semiblanqueadas hechas de hilos 100% algodón con diversos parámetros"*, estudiaron la influencia del título y la torsión del hilo sobre las propiedades de tejidos de sábana elaborados con algodón 100 % y se fabricaron nueve tejidos de estructura plana empleando títulos de trama de 21,5, 25 y 30 Tex, combinados con diferentes niveles de torsión. La resistencia al pilling fue evaluada mediante los métodos Martindale, después de 5000 ciclos, e ICI Pilling-Box, después de 18000 vueltas, los resultados mostraron diferencias significativas en la resistencia al pilling, tanto para Martindale ($F = 7,278$; $p = 0,039$) como para ICI Pilling-Box ($F = 4,524$; $p < 0,001$). En el método Martindale, los grados de pilling variaron entre 1 - 2 y 3, mientras que mediante ICI Pilling-Box variaron entre 2/3 y 4/5. En conclusión, la tendencia al pilling aumentó al incrementarse el título del hilo y disminuir la torsión, evidenciando que ambos parámetros del hilo influyen en el comportamiento del tejido frente a la formación de pilling.

Kazi (2021), en la investigación titulada "*Efecto de las propiedades de pilling en diferentes tejidos de punto y recomendaciones para decidir el requisito de pilling"*, estudió la resistencia al pilling en diferentes tejidos de punto con distintas composiciones de fibra, con el propósito de establecer requisitos de evaluación más adecuados para la interpretación de los resultados del ensayo. La formación de pilling se evaluó mediante el ensayo Martindale bajo la norma ISO 12945-2, utilizando un equipo NU Martindale Pilling Tester. Se analizaron cinco tipos de tejidos de punto: jersey simple 100 % algodón, tejido doble tipo rib 1×1 100 % algodón, jersey con elastano de 95 % algodón y 5 % Lycra, tejido polar 100 % poliéster y tejido polar mezclado de 60 % algodón y 40 % poliéster, y las muestras fueron sometidas a 1000, 2000, 5000 y 7000 ciclos de frotamiento. Los resultados demostraron que existe una relación inversa entre el número de ciclos de abrasión y el grado de pilling, debido a que al aumentar los ciclos de frotamiento disminuyó progresivamente la calificación obtenida en la evaluación visual. Asimismo, se determinaron diferencias entre los materiales evaluados bajo las mismas condiciones de ensayo. En conclusión, para una evaluación más objetiva de la resistencia al pilling se deben considerar conjuntamente factores como la composición de la fibra y la cantidad de ciclos de abrasión utilizados durante el ensayo.

Ayele et al. (2021), en el artículo titulado *"Efecto de la torsión del hilo sobre la resistencia a la tracción, la abrasión y la resistencia al pilling de la tela de algodón de tejido liso"*, estudiaron el efecto de la torsión del hilo sobre la resistencia al pilling, la resistencia a la abrasión y la resistencia a la tracción de tejidos planos de algodón y usaron hilos de algodón hilados mediante el sistema open-end, con un título de 20 Ne para la urdimbre y la trama, y cuatro niveles de torsión en la trama de 900, 905, 910 y 915 TPM. Los tejidos fueron evaluados mediante el ensayo Martindale para determinar la resistencia al pilling a 5000 ciclos, utilizando la norma ISO 12945/1. Los resultados del análisis de varianza para la resistencia al pilling presentaron un valor de F = 21,2, superior al valor crítico de 2,6, indicando diferencias entre los niveles de torsión evaluados. Asimismo, al aumentar la torsión del hilo de 900 a 915 TPM, la resistencia al pilling aumentó de 2,7 a 4,5. En conclusión, el incremento de la torsión del hilo mejoró la resistencia al pilling del tejido de manera significativa.

Wang y Xiao (2020), en el artículo titulado *"Estudio sobre el comportamiento frente al pilling de tejidos de mezcla de poliéster y algodón"*, analizaron la influencia de diferentes parámetros del hilo y del tejido sobre el comportamiento frente al pilling en tejidos planos de mezcla poliéster - algodón, los factores de estudio fueron la torsión del hilo, el sistema de hilatura, la densidad de urdimbre y trama, el factor de cobertura del tejido y el tratamiento de chamuscado

superficial. Se elaboraron tejidos con una composición de 65 % poliéster y 35 % algodón, utilizando hilos de título Ne 24 producidos mediante diferentes sistemas de hilatura. La evaluación del pilling se realizó mediante un equipo Martindale YG(B)401T, aplicando 125, 500, 1000, 2000 y 5000 ciclos de abrasión, y la determinación del grado de pilling se realizó mediante análisis digital de imágenes, y los resultados demostraron que la torsión del hilo tiene una influencia significativa sobre la formación de pilling y que al incrementar la torsión de 550 hasta 950 T/m disminuyó la tendencia a formar pills. Sin embargo, cuando la torsión aumentó por encima de 950 T/m, la resistencia al pilling presentó una ligera disminución. Además, se determinó que la formación de pilling está estrechamente relacionada con la pilosidad del tejido. En conclusión, la formación de pilling depende de la interacción entre las características del hilo, la estructura del tejido y las propiedades de las fibras, destacando la torsión del hilo como un parámetro fundamental para controlar la cantidad de fibras expuestas en la superficie.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Cacha et al. (2025), en el artículo titulado *"Innovación tecnológica Kipa en procesos de teñido de algodón reactivo alineados con los ODS en la empresa, para la producción de prendas artesanales"*, estudiaron la aplicación del proceso Kipa en el teñido de algodón reactivo, con el propósito de optimizar el proceso y evaluar sus características técnicas y de calidad. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, en el que se comparó el algodón reactivo con el algodón Kipa. Para evaluar la resistencia a la formación de pilling, se empleó la norma ISO 12945-2 y los resultados mostraron que el algodón reactivo obtuvo un grado 3 formación moderada de pilling, mientras que el algodón Kipa alcanzó un grado 4 formación ligera de pilling. En conclusión, el algodón Kipa presentó mejores resultados frente a la formación de pilosidad en comparación con el algodón reactivo.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

Barreda (2026), en la tesis titulada *"Reutilización del desperdicio de lana de ovino en la fibra de alpaca y su influencia en la calidad del hilo, Puno 2023"*, determinó la influencia de la reutilización del desperdicio de lana de ovino mezclada con fibra de alpaca sobre la calidad del hilo, evaluando la resistencia a la tracción y la formación de pilling, la investigación siguió un enfoque cuantitativo y experimental mediante un diseño factorial, considerando dos niveles de desperdicio de lana de ovino, 15 % y 30 %, y dos niveles de fibra de alpaca, 70 % y 85 %, obteniéndose cuatro tratamientos con cuatro réplicas cada uno. Respecto al pilling, el porcentaje de fibra de alpaca presentó una influencia significativa ($p = 0,011$), mientras que el

porcentaje de desperdicio de lana de ovino no mostró un efecto significativo de forma individual ($p = 0,114$). Asimismo, el tratamiento correspondiente a 30 % de desperdicio de lana de ovino y 70 % de fibra de alpaca obtuvo un grado de pilling de 5, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos. En conclusión, la calidad superficial del hilo estuvo determinada principalmente por la proporción de fibra de alpaca presente en la mezcla y dicha combinación permitió obtener un hilo con adecuado comportamiento mecánico y elevada resistencia a la formación de pilling.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 FIBRA

De acuerdo con Cayambe (2015), la fibra textil es un material de forma filamentosa, que gracias a como está constituida su morfología por dentro resulta resistente y puede alargarse sin quebrarse. Y según su origen las fibras se dividen en dos grandes categorías: las naturales, que proceden del reino vegetal o del animal, y las químicas, entre las que se cuentan tanto las artificiales como las sintéticas (Pambaquishpe, 2017).

En la industria textil la materia prima es la fibra, y su rasgo distintivo es una relación entre la longitud y diámetro. De acuerdo con Rawal (2023), las características como la finura y la flexibilidad facilitan su procesamiento en las etapas del hilado y formación de tejidos, por lo que son aspectos importantes para la producción textil eficiente.

2.2.2 FIBRA DE ALPACA

La fibra de alpaca está formada principalmente por queratina, una proteína fibrosa que el animal produce dentro de los folículos situados en su dermis, no obstante las propiedades físicas y cómo se comporta la fibra cuando la procesamos dependen de cómo esa proteína se ordena y se distribuye internamente, por lo que determina si la fibra será resistente, flexible (Quintanilla, 2020). Asimismo, es una fibra natural de origen animal (Vicugna pacos), cuyas características más relevantes como; la finura, diámetro, uniformidad y longitud, no es permanente ya que varían de acuerdo con la genética del ejemplar, su edad y el manejo al que ha sido sometido durante la crianza (Castellaro et al., 2025).

Las fibras de origen animal que emplea la industria textil, la alpaca reúne cualidades que la hacen únicas como, su suavidad al tacto, la capacidad que tiene para aislar del frío y de la

amplia gama de tonos naturales en los que se presenta y precisamente estos atributos son los que elevan su valor en el mercado y la convierten en la fibra más cotizada para prendas de alta calidad (Paucar et al., 2019).

2.2.3 CLASIFICACIÓN DE LA ALPACA Y DE LA FIBRA

a SEGÚN EL TIPO DE VELLÓN DE LA ALPACA

Bustinza et al. (2021), distingue dos tipos de alpaca: Huacaya y Suri.

- **Huacaya:** La alpaca Huacaya es la variedad que predomina en el censo mundial de alpacas, se caracteriza por producir un vellón compacto, denso y voluminoso la cual crece perpendicularmente con respecto al cuerpo del animal, además, presenta una ondulación natural llamado crimp que le da mayor volumen y ayuda a que las fibras se enganchen mejor entre sí cuando se hilan y como resultado, los hilos que se obtienen tienen buena elasticidad y retienen bien el calor (Lupton et al., 2006).

Figura 1. Alpaca de raza Huacaya

FUENTE: Quispe et al. (2024)

- **Suri:** La alpaca Suri se distingue por un vellón de fibras largas, de tacto sedoso y de superficie lisa, que crecen adheridas al cuerpo y caen formando mechones bien marcados; a diferencia de la alpaca Huacaya, este vellón apenas presenta una ondulación, en cambio, muestra un brillo natural mucho más llamativo, y esas dos particularidades le dan una apariencia muy característica que le otorga un mayor valor en el mercado (Presciuttini 2010). Asimismo, Antonini (2010), menciona tres atributos que distinguen a la fibra Suri: su brillo, su suavidad y su longitud, estas cualidades permiten obtener hilos de calidad y posteriormente tejidos con un acabado uniforme, y esas propiedades reflejan en prendas

con textura sedosa y una apariencia muy elegante, por eso la fibra Suri es tan valorada en la industria textil.

Figura 2. Alpaca de raza suri

FUENTE: Quispe et al. (2024)

b SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE ALPACA

De acuerdo a Huayllani et al. (2026), la clasificación de la fibra de alpaca consiste en ordenar las fibras del vellón considerando sus características.

Y en el Perú, esta tarea se rige por la Norma Técnica Peruana NTP 231.301, que define las categorías comerciales según la finura de la fibra.

Tabla 1: *Características de la fibra de alpaca*

Calidades	Rango de finura en micrones	Longitud mínima de mecha (mm)	Humedad % máx.	Solidos minerales % máx.	Grasa % máx.
Alpaca ultrafina	≤ a 18	65	8	6	4
Alpaca superfina	18.1 a 20	65	8	6	4
Alpaca extrafina	20.1 a 23	65	8	6	4
Alpaca fina	23.1 a 26.5	70	8	6	4
Alpaca semifina	26.6 a 29	70	8	6	4
Alpaca semigruesa	29.1 a 31.5	70	8	6	4
Alpaca gruesa	Mas de 31.5	70	8	6	4
Alpaca corta	-----	20 a 50			
Alpaca MP	Constituida por fibras gruesas, cortas y deterioradas.				

FUENTE: De fibra de alpaca clasificada. Definiciones, clasificación por grupos de calidades, requisitos y rotulado (NTP 231.301:2022), por Instituto Nacional de Calidad, 2022.

2.2.4 CATEGORIZACIÓN DE LA FIBRA DE ALPACA

Según Inacal (2023), la categorización de vellones es un trabajo de calificación que se hace a mano, por personal con experiencia, evaluando el vellón visualmente y con el tacto para asignarlo a una categoría de calidad determinada, siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 231.300.

Tabla 2: *Categorización de la fibra de alpaca*

Categoría	**Contenido de Calidades**		**Longitud de mecha mínima**	**Color**	**Contenido mínimo de fibras menores a 23 micras**
	Superiores (%)	Inferiores (%)	(mm)		(%)
Extrafina	70 o más	30 o menos	65	Entero	35
Fina	55 a 69	45 a 31	70	Entero	25
Semifina	40 a 54	60 a 46	70	Entero Canoso	10
Gruesa	menos de 40	más de 60	70	Entero Canoso Pintado	-----

FUENTE: De fibra de alpaca en vellón. Definiciones, categorización, requisitos y rotulado (NTP 231.300:2019), por Instituto Nacional de Calidad, 2019.

2.2.5 ESTRUCTURA MORFOLÓGICA DE LA FIBRA

La fibra de alpaca al igual que otras fibras de origen animal tiene una estructura conformada por tres partes distintivas: cutícula, corteza y médula (Aucancela, 2015).

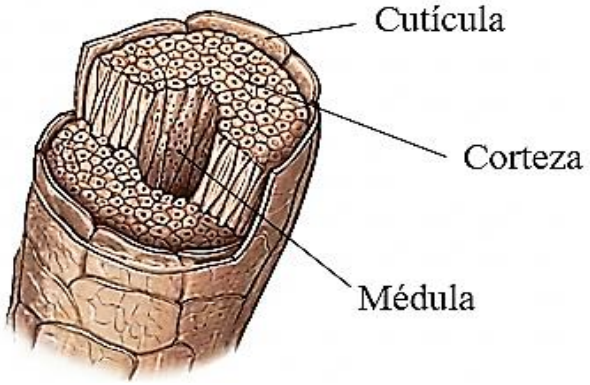


Figura 3. Estructura morfológica de la fibra de alpaca

FUENTE: Adaptado de Evas (2023)

a CUTÍCULA

Es la capa más externa de la fibra compuesta por células planas que se van superponiendo unas sobre otras asemejándose por su forma y delicadeza a las escamas de un pez; estas no son uniforme, sino que depende directamente del grado de finura de la fibra, cuando son fibras finas se encuentran escamas bien unidas, mientras que en las fibras más gruesas las escamas tienden a despegarse de sus bordes (Aucancela, 2015).

b CORTEZA

La corteza representa la porción mayoritaria de la fibra, mientras no sean excesivamente gruesas estas células de la corteza aumentan su proporción en la masa total de la fibra cuando el diámetro se reduce, es decir, a menor grosor es mayor la proporción de la corteza, su estructura presenta rizos y se encuentra dos secciones (Aucancela, 2015).

c MÉDULA

Es la parte más interna de la fibra y cuando se observa a través del medulómetro se cómo no siguen un patrón fijo, volviéndose más ancha e irregular conforme el diámetro de la fibra aumenta; en el caso de las fibras gruesas esta médula puede llegar a ocupar hasta el 60% del volumen total, y tienen una médula sólida de gran tamaño que se presenta en forma transversal y en ciertos casos la médula adopta una forma en S o una T (Aucancela, 2015).

2.2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA

Las cuales son:

a DIÁMETRO DE FIBRA

Evas (2023), menciona que el diámetro de la fibra es el grosor o la finura con que se presenta cada hebra medida en micrómetros (μm). Además, mientras más fina resulta la fibra ofrece mayor resistencia y más flexibilidad.

b FINURA

Arizaca y Calsin (2023), menciona que la finura es básicamente la calidad textil de una fibra tomando como referencia su diámetro promedio, cuánto más se reduce ese diámetro, más fina resulta la fibra.

c LONGITUD

La longitud es importante industria textil, ya que esta propiedad depende hacia qué sección será derivada la fibra, ya sea al peinado o al cardado. El largo de mecha que se recomienda para la esquila se sitúa entre los 8 y 10 centímetros (Aucancela, 2015).

Asimismo, las fibras largas son las que mejor se cotizan en el mercado textil, ya que se hilan con mayor facilidad y no generan paradas de máquina, al final del proceso los hilos son más uniformes y resistentes en comparación de las fibras de menor longitud (Quispe et al., 2021).

d COLOR

La fibra de alpaca se distingue por su diversidad en la gama de colores naturales, desde el blanco hasta el negro, con todas las tonalidades intermedias como: marrón, vicuña, café, etc., en el mercado tradicional se llegaron a diferenciar hasta 22 colores (De la Cruz, 2010).

e RIZOS

Se mide a través del índice de curvatura que puede darse en tres dimensiones, puesto que las hebras aparecen flexionadas y torcidas (Quispe et al., 2013).

2.2.7 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA

Las propiedades mecánicas describen, la manera en que esta reacciona al ser sometida a distintas fuerzas externas, entre ellas se encuentra:

a RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La resistencia a la tracción es la capacidad que posee la fibra para resistir una fuerza o carga sin llegar al punto de quebrarse, y se debe de tener en cuenta que la fibra de alpaca, desde que se realiza la esquila hasta que se convierte en hilo pasa por una serie de operaciones que pueden ir debilitándola; por ello cuando ya se tiene el producto final medir su resistencia es un indicador de calidad (Evas. 2023).

b ELONGACIÓN

(Instituto Textil Nacional, 2020), da un ejemplo sobre la elongación o alargamiento, si se tiene un hilo de 100 cm que antes de romperse y alcanza a estirarse hasta los 112 cm, se dice que ese hilo tiene un 12% de alargamiento de elongación o ruptura.

c ELASTICIDAD

(Instituto Textil Nacional, 2020), menciona que la elasticidad es la capacidad que tiene la fibra para recuperarse después de haber sufrido una deformación, cuando una fibra se estira un 10%, es decir, pasa de 100 cm a 110 cm, y al retirar la carga que provocó ese estiramiento regresa exactamente a sus 100 cm originales, estamos frente a una fibra totalmente elástica.

d FLEXIBILIDAD

(Instituto Textil Nacional, 2020), menciona que la fibra debe contar con la flexibilidad para soportar una rotura, sin una flexibilidad adecuada no sería posible transformar las fibras en hilos ni en tejidos. El grado de flexibilidad determina qué tan fácil se dobla un tejido, y de ello depende cuanto puede durar una la prenda (Lockuán, 2012b).

2.2.8 HILATURA

Desde una vista técnica la hilatura es obtener un hilo cuya sección se aproxime lo más posible a una forma circular y está compuesto por una masa compacta de fibras de largo limitado con un cierto grado de paralelismo unidas mediante la torsión (Lockuán, 2012c). A través de este proceso se consiguen hilos que deben reunir características bien definidas como la finura, regularidad en su diámetro y resistencia, además la hilatura es el punto de partida de la industria textil por ser una de las primeras operaciones que se ejecutan antes de pasar a las etapas de tejido (Apaza y Humpiri, 2020).

2.2.9 MÉTODOS DE HILATURA

a HILATURA MANUAL O ARTESANAL

Gil y Saldaña (s.f.) mencionan que la hilatura manual o artesanal es una técnica ancestral que todavía se practica en la actualidad. Este proceso puede realizarse utilizando diferentes herramientas, entre ellas:

- **Hilatura con huso:** El huso de mano consiste en una varilla o palo que tiene un pequeño disco en uno de sus extremos, denominado nuez o volante, cuya función es proporcionar peso durante la torsión; el hilo se sujeta al huso y, al girar el volante, las fibras van adquiriendo torsión, mientras la hilandera incorpora progresivamente más fibras a la hilaza, tomándolas de un copo que sostiene con la mano o que puede estar enrollado en un palo

denominado rueca; a medida que se va formando el hilo, este se recoge y se enrolla en el huso para continuar con el hilado.

- **Hilatura en torno de hilar:** El torno de hilar puede accionarse manualmente o mediante el movimiento repetido de un pedal, al hacerlo, el torno gira y retuerce la lana mientras el hilo se va enrollando en el huso; a diferencia del huso de mano, este procedimiento permite realizar el hilado con mayor rapidez.

b HILATURA INDUSTRIAL

La hilatura industrial es una serie de operaciones más elaboradas, mediante las cuales las fibras textiles se convierten en un cuerpo fino, alargado, resistente y flexible conocido como hilo (Arciniega, 2013). Para lo cual se aplican diferentes procesos de acuerdo con las características de la materia prima, principalmente su longitud y finura, ya que estas propiedades determinan el tratamiento y las máquinas que se utilizarán durante la transformación. De acuerdo con estas características, los sistemas de hilatura se clasifican en sistema de hilatura de fibra larga y sistema de hilatura de fibra corta (Gil y Saldaña, s.f.).

2.2.10 PROCESO DE HILATURA

En el proceso de hilatura se aplican varios tratamientos a la fibra para convertirla en hilo (Díaz et al., 2020).

a LAVADO

De acuerdo con Talledo Benites (2012), en este proceso se retiran las impurezas de la fibra como la grasa y la suciedad adherida; el método más usado para lavar la fibra consiste en disolver las grasas en un baño alcalino.

b APERTURA

En este proceso se abre los copos de material para disminuir su tamaño, ya que la fibra esta enredado y con nudos lo que posteriormente dificulta las operaciones de estirado (Lockuán, 2012c).

c CARDADO

El cardado es uno de los procesos más importante de hilatura su finalidad es convertir la fibra que ya ha sido abierta en una cinta, conocida como *sliver*, al mismo tiempo se mejora el

paralelismo de las fibras (Wang et al., 2003). De acuerdo con Lockuán (2012c), se trata de una operación fundamental dentro del proceso de hilatura, al punto de que suele considerársele el corazón de todo el sistema, pues de ella dependen que características tendrá el hilo al final del proceso y su propósito es seleccionar las fibras en función de su longitud, descartando las cortas.

d PEINADO

El peinado tiene como propósito eliminar las fibras cortas para obtener una cinta peinada compuesta por fibras de mayor longitud, para producir hilos finos y regulares las fibras deben de estar limpias y uniformes (Lockuán, 2012c).

e HILADO

El hilado es el proceso final en el que la fibra se convierte en hilo, y es una hebra continua, resistente de un grosor parejo, en este proceso como las que la anteceden se realiza con la finalidad de transformar fibras sueltas e individuales en un hilo cohesionado y fácil de manejar (Arciniega, 2013).

2.2.11 HILO

El hilo es una estructura continua y alargada que se forma a partir de muchas fibras que se agrupan a lo ancho de su sección como a lo largo de todo su eje, lo que mantiene unida es la torsión que se les aplica, así se consigue una hebra fina y de largo variable que después sirve como insumo principal para procesos como el tejido plano, el tejido de punto y la costura (Lawrence, 2010).

2.2.12 ESTRUCTURA DEL HILO SEGÚN SU COMPOSICIÓN

La estructura del hilo depende del número de cabos que lo conforman y de la forma en que estos se unen mediante la torsión (Elmogahzy, 2020).

a HILOS DE UN CABO

Se refiere al hilo formado por una sola hebra, compuesta por fibras discontinuas o por filamentos continuas y constituye la unidad más básica dentro de la estructura de un hilo (Elmogahzy, 2020).

Figura 4. Hilo de un cabo

FUENTE: Elmogahzy (2020)

b HILOS DE DOS CABOS

Se obtiene al retorcer dos hilos simples, como resultado su estructura tiene más estabilidad y resistencia a comparación del hilo de un solo cabo (Elmogahzy, 2020).

Figura 5. Hilo de dos cabos (ply)

FUENTE: Elmogahzy (2020)

c HILOS DE MÚLTIPLES CABOS

Resulta de retorcer dos o más hilos plegados, como resultado su estructura es más resistente y se utiliza cuando el hilo necesita soportar mayores esfuerzos mecánicos. (Elmogahzy, 2020).

Figura 6. Hilo de múltiples cabos

FUENTE: Elmogahzy (2020)

2.2.13 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HILOS

Pacco (2024) señala que las características generales de los hilos permiten identificarlos y distinguirlos entre sí a partir de propiedades como su composición, grosor, elasticidad, regularidad y torsión. Entre estas características se encuentran el título y la torsión, las cuales se desarrollan a continuación.

2.2.14 TÍTULO DEL HILO

El título del hilo se establece a partir de la relación entre su longitud y su peso, esto se debe a que el diámetro del hilo no es uniforme y resulta difícil determinarlo mediante una medición física. El hilo está formado por fibras torcidas o filamentos agrupados, por lo que su sección transversal y la cantidad de fibras presentes en una determinada longitud pueden variar. Por esta razón, la industria textil utiliza sistemas de numeración que permiten diferenciar y comparar los hilos empleados en las distintas etapas de fabricación (Jaramillo, 2012).

2.2.15 TITULACIÓN O SISTEMA DE NUMERACIÓN DE LOS HILOS

La titulación de los hilos se establece mediante sistemas de numeración que relacionan la longitud y el peso del material para determinar su número o título y expresar su finura (Jaramillo, 2012). Estos sistemas se dividen en dos categorías: sistemas directos y sistemas indirectos, también conocidos como inversos (Lockuán, 2012c).

a SISTEMAS DIRECTOS

En los sistemas directos la longitud se mantiene constante y el peso es el que varía. Si se comparan dos hilos de diferente grosor con la misma longitud, la madeja del hilo más fino tendrá menor peso, mientras que la del hilo más grueso tendrá mayor peso. Por ello, en este sistema, un título menor corresponde a un hilo más fino y un título mayor a un hilo más grueso (Lockuán, 2012c).

- **Título tex (tex):** Este sistema indica el peso en gramos de 1000 metros de material. Su principal ventaja es sencillo de aplicarlo, ya que se apoya en las unidades internacionales de masa y longitud, ejemplo: si 1000 metros de un hilo pesan 20 gramos, por lo cual el hilo tiene un título tex de 20; en cambio, 1000 metros del hilo alcanzan un peso de 170 gramos, su título tex será de 170 (Lockuán, 2012c).

b SISTEMAS INDIRECTOS (INVERSO)

En los sistemas el peso se mantiene constante y la longitud es la que varía. Al comparar dos hilos de diferente grosor con el mismo peso, la madeja del hilo más fino tendrá una longitud mayor, mientras que la del hilo más grueso tendrá una longitud menor. Por lo tanto, el hilo más fino obtiene un número mayor y el hilo más grueso un número menor. Es decir, a mayor número, menor diámetro y mayor finura del hilo; mientras que a menor número, mayor diámetro y mayor grosor (Lockuán, 2012c).

- **Número métrico (Nm):** En este sistema la unidad de longitud toma como referencia 1000 metros y la unidad de masa es el kilogramo, frecuentemente da numeración en hilos de lana, el número métrico indica cuando 1000 metros de hilo hace falta para completar el peso de un kilogramo. De esta manera, si 1000 metros de hilo pesan justamente 1 kilogramo, el número métrico es 1 (Nm = 1), lo cual equivale a 1000 metros por kilogramo; en cambio sí se necesitan 9000 metros de hilo para alcanzar ese mismo kilogramo de peso el número métrico será 9 (Nm = 9) es decir, 9000 metros por kilogramo (Lockuán, 2012c).

2.2.16 TORSIÓN

La torsión es la espiral que recibe el hilo y se mide en vueltas por unidad de longitud, teniendo como finalidad principal mantener unidas las fibras y proporcionar cohesión al hilo; la cantidad de torsión que requiere depende de factores como la longitud de la fibra, el título del hilo, la resistencia que se desea obtener y el uso al que estará destinado (Lockuán, 2012c). Al aumentar la torsión, el hilo puede adquirir mayor resistencia, pero cuando se sobrepasa una cantidad adecuada puede producirse el efecto contrario, debido a que se generan fuerzas internas que pueden debilitar las fibras y, además, pueden aparecer rizos o bucles no deseados; de igual manera, para un mismo título un incremento de la torsión hace que el hilo sea más resistente y menos elástico, mientras que los hilos destinados a la urdimbre requieren mayor torsión que los de trama debido a que deben soportar una mayor tensión durante el proceso de tejido (Jaramillo, 2012).

2.2.17 SENTIDO DE TORSIÓN

Si bien en algunas plantas textiles todavía se utilizan las denominaciones torsión derecha e izquierda, se recomienda emplear las letras **Z** y **S** para identificar el sentido de torsión; su determinación puede realizarse tomando una husada y observando la dirección en la que sale

el hilo, ya que esta se encuentra relacionada con el sentido de giro del huso en la máquina continua de hilar, asimismo, al observar las espiras que se forman en la punta del tubo de la husada mientras se va soltando el hilo, es posible identificar si la torsión corresponde al sentido S o Z (Lockuán, 2012c).

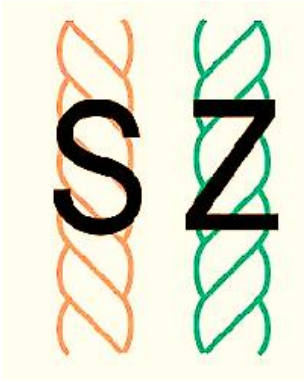


Figura 7. Sentido de torsión Z y torsión S en el hilado

FUENTE: Apaza y Humpiri (2020)

2.2.18 TEJIDO DE PUNTO

Los tejidos de punto se logran entrelazando hilos, ya sea a mano o con máquinas, en una operación que se conoce como tricotaje, y su estructura tan particular les da propiedades que los apartan de los tejidos de calada, porque resultan más confortables y se amoldan al cuerpo debido a la elasticidad que poseen, y su apariencia es mejor al no formar arrugas (Lockuán, 2012d). Además, se trata de una estructura de mallas que se enlazan según el diseño o la puntada que se busque, y el factor determinante es la longitud de la malla, ya que de esa medida dependen la densidad, el ancho, la resistencia y la estabilidad dimensional del tejido. A esto hay que añadirle otros aspectos que también influyen en el aspecto final, como la tensión con que entra el hilo, el nivel de pelusa y la cantidad de agujas que participan en el proceso (Artola, 2001).

2.2.19 CLASIFICACIÓN DEL TEJIDO PUNTO

Se consideran dos tipos:

a TEJIDO DE PUNTO POR TRAMA

El tejido se forma a partir de un solo hilo que va abasteciendo a todas las agujas y formando mallas en sentido transversal. En una misma pasada de recorrido horizontal las mallas pueden formarse de dos maneras y dependiendo del tipo de máquina con que se cuente; la primera

consiste en ir formando una malla después de otra consecutivamente, que es el sistema propio de las máquinas circulares y rectilíneas; la segunda opción consiste en formar todas las mallas al mismo tiempo un método que se aplica en los telares rectos tipo Cottón (Lockuán, 2012d).

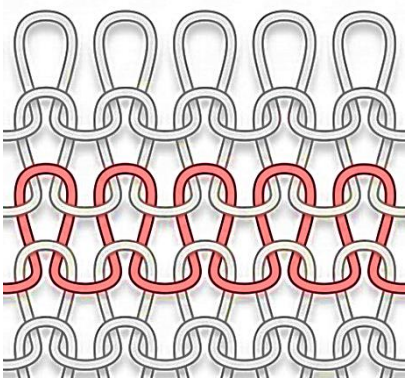


Figura 8. Estructura del tejido de punto por trama

FUENTE: Guaz y Avondet (2025)

- **Jersey:** Llamado también punto liso que se caracteriza por una cara uniforme y suave al tacto, formada por los lados de las mallas, a diferencia con su revés la textura es áspera. Para obtenerlo basta con que todas las agujas trabajen sobre una sola fontura, y en la cara del tejido cada pasada completa mallas en todas las columnas (Lockuán, 2012d).

Figura 9. *Tejido de punto Jersey*

FUENTE: Cucas (2020)

2.2.20 TEJIDO DE PUNTO POR URDIMBRE

El tejido se consigue haciendo llegar un hilo distinto a cada una de las agujas de la máquina; es decir, la cantidad de hilos que se utilizan coincide con el número de columnas de mallas que se quiere obtener en el tejido, además las mallas se forman siempre de manera simultánea y el proceso puede llevarse a cabo en máquinas rectilíneas (Lockuán, 2012d).

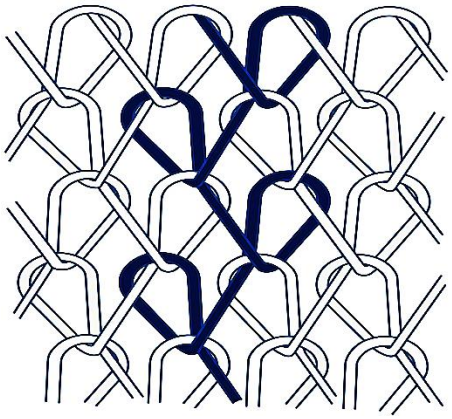


Figura 10. Estructura del tejido de punto por urdimbre

FUENTE: Guaz y Avondet (2025)

- **Tricot:** Está formado por puntos simples y su superficie se reconoce por las finas columnas verticales que muestra al derecho, mientras que al revés deja ver unas líneas en relieve en sentido transversal (Elmogahzy, 2020). También se caracteriza por soportar la rotura, por su elasticidad y flexibilidad, sus usos más frecuentes abarcan la lencería, las camisas de hombre, las entretelas, los uniformes para áreas como enfermería (Guaz y Avondet, 2025).

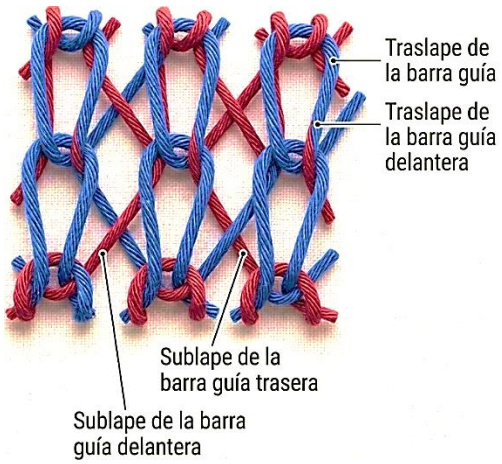


Figura 11. Estructura del tejido Tricot

FUENTE: Elmogahzy (2020)

2.2.21 CARACTERÍSTICA SUPERFICIAL DEL TEJIDO DE PUNTO

Los tejidos de punto pueden presentar cambios en su superficie durante el uso y la abrasión. Asanovic et al. (2022), consideran el pilling como un defecto superficial del tejido y señalan que durante su formación aparecen bolitas sobre la superficie, las cuales pueden permanecer o desprenderse como consecuencia de la abrasión.

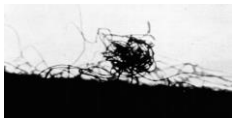
2.2.22 PILLING

El pilling es esa aglomeración de fibras que se enredan y quedan sobre la superficie, dándole a al tejido un aspecto de envejecimiento, este inconveniente se presentan en tejidos con estructura más suelta, como ocurre en los tejidos de punto (Sole, 2014). Este defecto se origina principalmente por el roce y desgaste que experimenta la superficie del tejido ya sea en el lavado y el uso diario, por eso las empresas textiles están obligadas a controlarlo y medirlo (Furferi et al., 2015).

2.2.23 ETAPAS DE LA FORMACIÓN DEL PILLING EN LOS TEJIDOS

El uso cada vez mayor de prendas de punto ha impulsado el interés por conocer qué origina el pilling, ya que en estos tejidos las aglomeraciones de fibras aparecen con más facilidad que en los de calada y la responsabilidad recae en buena medida sobre el tipo de fibra, por ejemplo en el rayón las fibras se desprenden con mayor facilidad, mientras que el algodón resiste más (Lockuán, 2012e).

Tabla 3: *Etapas de la formación del pilling*

Proceso	Imágenes
Aparición de las primeras fibrillas superficiales	
Aumento del número de fibrillas sueltas	
Las fibras empiezan a unirse y enredarse	
Las fibras comienzan a entrelazarse y concentrarse sobre la superficie del tejido	
Las fibrillas se rompen y se incorporan progresivamente al conjunto de fibras, que va aumentando de tamaño y adquiriendo una forma esférica	
El pilling adquiere una forma más definida y permanece unido a la superficie del tejido mediante fibras más largas que lo mantienen sujeto a la superficie	

FUENTE: Adaptado de Cucas (2020)

2.2.24 ESCALA DE MEDICIÓN DEL PILLING

La evaluación de las muestras se realiza cotejándolas frente a patrones visuales de referencia, donde queda reflejado el nivel de resistencia al pilling. La escala va desde 5 que señala que no hay nada de pilling y llega hasta 1 cuando el pilling es muy severo (Lockuán 2012d).

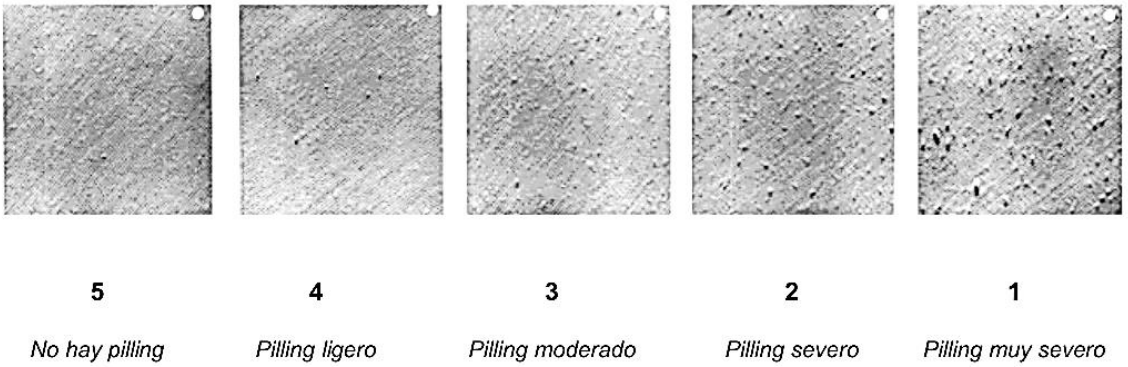


Figura 12. Escala de medición del pilling

FUENTE: Cucas (2020)

2.2.25 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DEL PILLING

La formación del pilling está relacionada con diferentes características de la fibra, del hilo y del tejido de punto, las cuales pueden favorecer o disminuir su aparición en la superficie del tejido (Sole, 2014).

a CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA

- **Naturaleza de la fibra:** Las fibras sintéticas muestran una mayor tendencia a formar pilling que las fibras naturales porque su resistencia y flexibilidad con mayores, así evita que se desprenda del tejido con facilidad y quedan bien adheridas en la superficie (Sole, 2014).

b PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA

- **Longitud:** Cuando la fibra es muy corta el pilling aparece con facilidad ya que las fibras se desplazan hacia la superficie del hilo, por eso durante el proceso de hilatura debe evitarse que las fibras se quiebren (Sole, 2014).
- **Finura:** Cuanto más fina es la fibra, menor es su dTex y con facilidad se genera vellosidad en el hilo, Además una mayor finura implica más fibras por sección en el hilo y eso incrementa a que aparezca pilling en el producto final (Sole, 2014).

- **Rizado:** Cuando su rizado de la fibra es mayor, la posibilidad que migren hacia la superficie del hilo o tejido es menor, porque el rizado eleva el coeficiente de fricción entre fibra y fibra, por lo que disminuye la aparición de pilling (Sole, 2014).
- **Sección transversal:** Cuando la fibra tiene una sección transversal lisa y circular, resulta más fácil que migre hacia la superficie del hilo lo que eso ocasiona una formación de pilling. En cambio, las fibras de sección lobulada o estrellada dificultan la migración porque es elevada su coeficiente de fricción entre una fibra y otra (Sole, 2014).

c PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA

- **Tenacidad:** Es la resistencia específica de una fibra y se expresa en cN/Tex, cuanto mayor es la tenacidad más difícil es que desaparezca esas aglomeraciones en el tejido, porque la fibra es resistente a romperse. Por esa razón las fibras de poliéster se fabrican con valores de tenacidad menor, así las aglomeraciones de pilling se desprenden con facilidad del tejido (Sole, 2014).

d CARACTERÍSTICAS DEL HILO

- **Título:** Cuando el título del hilo es menor la cantidad de fibra por sección transversal incrementa y a la vez las fibras son más sueltas, eso facilita la aparición de pilling. En cambio, si comparamos hilos del mismo título pero que fueron fabricados con fibras de mayor largo muestran una menor formación de pilling (Sole, 2014).
- **Torsión:** A mayor torsión del hilo, menor es la posibilidad a que aparezca el pilling en su superficie, ya que las fibras quedan más unidas entre sí disminuyendo su desplazamiento (Sole, 2014).

e ESTRUCTURA DEL TEJIDO DE PUNTO

Sole (2014), menciona que cuando la malla se teje con un hilo más largo el pilling es más visible; los hilos para tejidos de punto tienen menor torsión que los utilizados en tejidos de calada, y cuanto más alto es el gramaje (g/m^2) menor es la formación de pilling y en esto interviene la galga de la máquina ya que está directamente relacionada con el gramaje.

2.2.26 NORMAS TÉCNICAS

De acuerdo con la International Organization for Standardization (2004), una norma es un documento que cuenta con el respaldo de un organismo reconocido y se elabora a partir del acuerdo entre especialistas, con el propósito de aplicar reglas a un proceso para obtener buenos resultados.

2.2.27 CLASIFICACIÓN DE LOS TEJIDOS DE PUNTO

- **Norma ISO 8388:1998 Tejidos de punto – Tipos – Vocabulario**

La ISO 8388:1998 es una norma internacional aplicada a los tejidos de punto producidos industrialmente. Su finalidad es establecer una terminología técnica y clasificar las diferentes estructuras de los tejidos de punto, con el propósito de que fabricantes, laboratorios, centros de investigación y otros sectores de la industria textil utilicen criterios comunes. Asimismo, la norma define las diferentes estructuras y proporciona ilustraciones que facilitan su reconocimiento. En la industria textil, se emplea como referencia para identificar, clasificar y denominar los tejidos de punto de manera estandarizada, lo que permite utilizar una terminología común al describir las muestras e interpretar los resultados. De acuerdo con la clasificación establecida en esta norma, el jersey corresponde a un tejido de punto por trama, denominado en inglés *weft-knitted fabric* (International Organization for Standardization, 1998).

2.2.28 CONTROL DE CALIDAD DEL TEJIDO DE PUNTO

- **Norma ISO 12945-2:2020. Textiles — Determinación de la propensión del tejido a pilling, fuzzing o mateado de superficies. Parte 2: Método Martindale modificado.**

La ISO 12945-2:2020 establece un método adaptado para evaluar la tendencia de un tejido a la formación de *pilling*. Este fenómeno se produce como consecuencia de la abrasión que experimenta el tejido durante su uso, provocando inicialmente la formación de fibras sueltas o pelusa superficial, conocida como *fuzzing*, que posteriormente puede formar pequeñas aglomeraciones de fibras debido al *matting* o apelmazamiento. Además, esta norma permite analizar el comportamiento de la superficie textil bajo condiciones de fricción previamente definidas, reproduciendo de manera aproximada el desgaste que la prenda experimenta durante su uso. Su aplicación comprende tejidos de punto y tejidos planos, independientemente de que estén elaborados con fibras naturales, artificiales o sintéticas. Asimismo, la norma establece las

condiciones de acondicionamiento y preparación de las muestras de ensayo, los materiales auxiliares necesarios y el procedimiento para realizar el ensayo en el equipo Martindale. El criterio de evaluación es visual y los resultados deben registrarse en un informe, permitiendo que los ensayos puedan compararse con otros sin perder validez en los resultados (International Organization for Standardization, 2020).

Tabla 4: *Escala de evaluación visual del grado de pilling según la ISO 12945-2*

Grado	Descripción
5	Sin pilling
4	Ligero pilling
3	Moderado pilling
2	Severo pilling
1	Muy severo de pilling

FUENTE: International Organization for Standardization (2020)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE ESTUDIO

El estudio se realizó en los talleres de lavado, cardado, hilado y tejido punto, y en el laboratorio de resistencia de materiales textiles de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones de la Universidad Nacional de Juliaca, ubicada en el Centro Poblado Santa María de Ayabacas. En estos ambientes se desarrolló el proceso experimental, iniciando con el lavado de la fibra de alpaca, seguido del cardado, peinado e hilado para obtener los hilos con los diferentes títulos y niveles de torsión. Posteriormente, se elaboraron las muestras de tejido de punto tipo jersey y se realizó la evaluación de la formación de pilling mediante el ensayo de abrasión Martindale.

3.2 DISEÑO METODOLÓGICO

3.2.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque cuantitativo se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos mediante procedimientos estadísticos, con el propósito de contrastar hipótesis de manera objetiva y para ello, se emplean instrumentos y procedimientos estandarizados que permiten obtener información a partir de la observación y la medición (Hernandez et al., 2014). La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que los datos se obtuvieron mediante ensayos y mediciones realizadas sobre muestras de tejido de punto jersey elaboradas con diferentes títulos de hilo y niveles de torsión y los resultados obtenidos fueron analizados mediante técnicas estadísticas con la finalidad de determinar la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling.

3.2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo aplicada, porque utiliza conocimientos que ya existen para estudiar un problema específico y obtener resultados que puedan ser útiles en la práctica (Sineace, 2020). En este caso, se utilizaron conocimientos relacionados con la torsión y los diferentes títulos de hilo para evaluar su influencia en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, con el propósito de obtener resultados que sirvan como referencia para futuras investigaciones y para la elaboración de este tipo de tejidos.

3.2.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel explicativo tiene como objetivo determinar las causas de los fenómenos y explicar por qué ocurren, así como establecer relaciones de causa y efecto entre dos o más variables (Hernandez et al., 2014). En esta investigación, el nivel es explicativo porque se busca determinar la relación de causa y efecto entre las variables independientes, torsión y título del hilo, y la variable dependiente, formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca. Para ello, se trabajó con diferentes títulos de hilo y niveles de torsión en la elaboración de los tejidos de punto, y posteriormente se evaluó el grado de pilling de cada tratamiento, con el propósito de determinar la influencia de estos parámetros en la formación de pilling.

3.2.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño experimental consiste en manipular de manera intencional una o más variables independientes para observar los efectos que producen sobre una variable dependiente (Hernandez et al., 2014). Asimismo Humberto y Salazar (2016) señalan que los diseños factoriales permiten estudiar simultáneamente dos o más factores y sus diferentes niveles, así como el efecto de cada factor y de su interacción. En ese sentido, en la presente investigación se empleó un diseño experimental factorial 4×4, en el que se evaluaron dos factores: el título del hilo y la torsión, cada uno con cuatro niveles, generando 16 tratamientos experimentales.

Según Humberto y Salazar (2016), para este diseño el modelo estadístico es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$\boldsymbol{Y_{ijk}}$**:** observación de la variable respuesta

$\boldsymbol{\mu}$**:** media general

$\boldsymbol{\alpha_i}$**:** efecto del factor A

$\boldsymbol{\beta_j}$**:** efecto del factor B

$(\boldsymbol{\alpha\beta})_{\boldsymbol{ij}}$**:** interacción entre A y B

$\boldsymbol{\varepsilon_{ijk}}$**:** error experimental

Tabla 5: *Diseño experimental*

Diseño experimental	**Factorial 4×4**
Factor A	Título de hilo (4 niveles)
Factor B	Torsión (4 niveles)
Tratamientos	16
Muestras por tratamiento	1
Réplicas por tratamiento	1
Unidades experimentales por tratamiento	2
Total, de unidades experimentales	32

FUENTE: Elaboración propia

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 POBLACIÓN

Según Hernandez et al. (2014), la población es el conjunto de elementos que comparten características comunes y sobre los cuales se desea obtener información para el desarrollo de una investigación. En este estudio, la población estuvo constituida por 32 unidades experimentales de tejido de punto elaborado con fibra de alpaca, correspondientes a los 16 tratamientos obtenidos mediante la combinación de cuatro títulos de hilo y cuatro niveles de torsión. Para cada tratamiento se consideró una muestra y una réplica, estableciéndose así dos unidades experimentales por tratamiento.

3.3.2 MUESTRA

Hernandez et al. (2014), mencionan que la muestra depende de los objetivos planteados, el alcance y las variables consideradas en la investigación. En este estudio se evaluó la totalidad de las unidades experimentales establecidas para el experimento, por lo que la muestra estuvo constituida por las mismas 32 unidades experimentales que conformaron la población. Esto se debe a que no se seleccionó una parte de las unidades, sino que se evaluaron todas las unidades previstas en el diseño factorial.

El número de unidades experimentales se determinó mediante la siguiente expresión:

$$n = (a \times b) \times r$$

Donde:

n= número total de unidades experimentales

a= niveles del título del hilo

b= niveles de torsión

r= número de unidades por tratamiento (una muestra + una réplica)

$$n = (4 \times 4) \times 2$$

$$n = 32$$

Por lo tanto, la muestra son 32 unidades experimentales.

3.3.3 VARIABLES

a VARIABLES INDEPENDIENTES

- Torsión
- Título del hilo

b VARIABLE DEPENDIENTE

- Formación de pilling

3.3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 6. *Operacionalización de las variables*

Variable	Tipo de variable	Indicador	Niveles/ valores	Unidad de medida
Título del hilo	Independiente	Número métrico del hilo	4 niveles	Nm
Torsión	Independiente	Vueltas por metro	4 niveles	turs/m
Formación de pilling	Dependiente	Grado de pilling	Grado 1-5	Grado

FUENTE: Elaboración propia

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 TÉCNICAS

a OBSERVACIONAL - EXPERIMENTAL

En la investigación se utilizó la observación experimental para registrar los resultados obtenidos de las muestras de tejido de punto durante los ensayos. Para ello, todas las muestras fueron evaluadas siguiendo el mismo procedimiento, considerando los 16 tratamientos obtenidos de la combinación de los diferentes títulos de hilo y niveles de torsión establecidos en el diseño experimental.

3.4.2 INSTRUMENTOS

Los instrumentos de recolección de datos permiten registrar la información obtenida durante el desarrollo de la investigación. En este estudio se utilizaron para registrar los resultados de las mediciones y ensayos realizados a las muestras (Hernandez et al., 2014).

a FICHAS DE REGISTRO DE DATOS

Para la recolección de los datos se utilizó una ficha de registro, en la cual se anotaron los resultados de la prueba de abrasión, considerando los ciclos aplicados a cada muestra y la calificación del pilling de acuerdo con la norma ISO 12945-2. También se registraron los datos del procesamiento de la fibra de alpaca, el peso utilizado en cada operación y las características de los tejidos elaborados con los diferentes títulos de hilo y niveles de torsión.

3.5 MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1 MATERIALES BIOLÓGICOS

- Fibra de alpaca

3.5.2 MATERIALES DE LABORATORIO

- Vasos de precipitados

3.5.3 MATERIALES DE REGISTRO

- Etiquetas de identificación
- Fichas de registro de datos

3.5.4 EQUIPOS

- Equipo Martindale
- Visor o caja de evaluación del pilling

3.5.5 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

- Termómetro
- Balanza analítica

3.5.6 MÁQUINAS

- Máquina lavadora
- Máquina centrifugadora
- Máquina secadora
- Máquina cardadora
- Máquina peinadora
- Máquina continua de anillos
- Enconadora manual
- Máquina manual de tejido de punto rectilíneo

3.5.7 INSUMOS Y REACTIVOS

- Agua destilada
- Alcohol isopropílico
- Bencina
- Shampoo Johnson
- LubriWool® M
- ProScour N
- Suavizante Garmosoft CL

3.6 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.6.1 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL HILO MEDIANTE EL PROCESO DE HILATURA

Para obtener las muestras de hilo, primero se realizó el proceso de hilatura, considerando las principales operaciones empleadas en la industria textil, y se realizó de la siguiente manera:

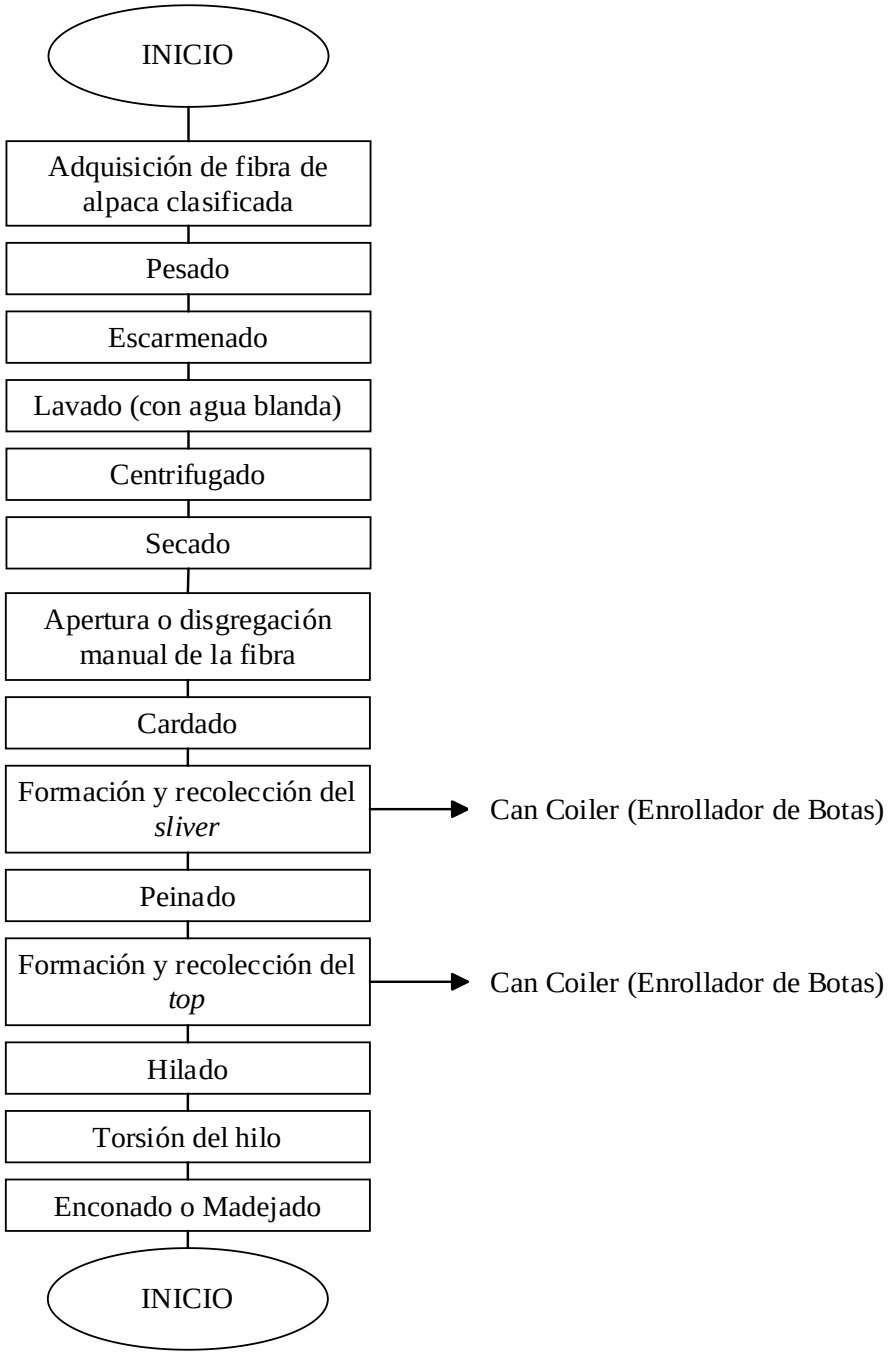


Figura 13. Diagrama de flujo del procedimiento para la obtención del hilo mediante el proceso de hilatura

FUENTE: Elaboración propia

a ADQUISICIÓN DE FIBRA DE ALPACA CLASIFICADA

Se adquirió fibra de alpaca Huacaya de color blanco, previamente clasificada, correspondiente al crupón o manto del vellón.

a PESADO

La fibra adquirida tuvo un peso inicial de 5,5 kg.

b ESCARMENADO

El escarmenado se realizó manualmente, retirando las impurezas que se encontraban adheridas a la fibra, como polvo, tierra, restos vegetales, estiércol. Una vez terminado este proceso, se volvió a pesar la fibra, obteniendo 5,085 kg; de esta cantidad, se utilizaron 5 kg para realizar el lavado, y los 85 g restantes no fueron utilizados.

c LAVADO DE LA FIBRA

El lavado de la fibra de alpaca se realizó en una máquina lavadora KiwiScour MK2, que cuenta con siete tinas con una capacidad de 70 L de agua cada una, utilizando agua blanda durante todo el proceso, para cada grupo se utilizaron 500 g de fibra de alpaca y el mismo baño de 70 L se empleó para dos grupos consecutivos de 500 g, siendo un total de 1 kg de fibra, después de procesar esta cantidad se realizó el cambio de agua.

Para determinar la relación de baño se utilizó la siguiente fórmula:

$$RB = \frac{Volumen\ de\ agua\ (L)}{Peso\ de\ fibra\ (kg)}$$

Donde:

- **RB:** relación de baño.
- **Volumen de agua (L):** cantidad de agua utilizada.
- **Peso de la fibra (kg):** cantidad de fibra procesada.

$$RB = \frac{70}{0.5}$$

Por lo tanto, la relación de baño de cada 500 g de fibra fue de 1:140

Sin embargo, debido a que el mismo baño de 70 L se utilizó para dos grupos de 500 g, la cantidad total de fibra procesada antes del cambio de agua fue de 1 kg. Por ello, considerando el volumen de agua utilizado para ambas porciones, la relación de baño fue:

$$RB = \frac{70}{0.5}$$

Por lo tanto, la relación de baño durante el proceso de lavado fue de **1:70** por cada cambio de agua.

Además, se realizó el cálculo del reactivo a usar:

$$Cantidad\ de\ reactivo\ (g\ o\ ml) = Peso\ de\ la\ fibra\ (g)\ \times \frac{Dosificación\ (\%)}{100}$$

Donde:

- **Cantidad de reactivo (g o ml):** cantidad del producto.
- **Peso de la fibra (g):** peso de la fibra procesada.
- **Dosificación (%):** porcentaje del producto respecto al peso de la fibra.

Para 500 gramos de fibra y una dosificación del **0,5 %**, la cantidad es:

$$500g \times \frac{0.5}{100}$$

Por lo tanto, para cada 500 g de fibra de alpaca se utilizaron **2,5 ml** de producto.

El lavado se desarrolló de manera secuencial en las siete tinas de la máquina:

Tabla 7. *Proceso de lavado de la fibra de alpaca*

Tina	Etapa	Producto	Concentración	Cantidad	Tiempo
1	Prelavado	ProScour N	0,5 %	2,5 ml	1,5 min
2	Lavado	Shampoo Johnson	0,5 %	2,5 ml	2,5 min
3	Primer enjuague	Agua	—	—	2 min
4	Segundo enjuague	Agua	—	—	2 min
5	Suavizado	Garmosoft CL	0,5 %	2,5 ml	2 min
6	Primer enjuague final	Agua	—	—	1,5 min
7	Enjuague final	Agua	—	—	1,5 min

FUENTE: Elaboración propia

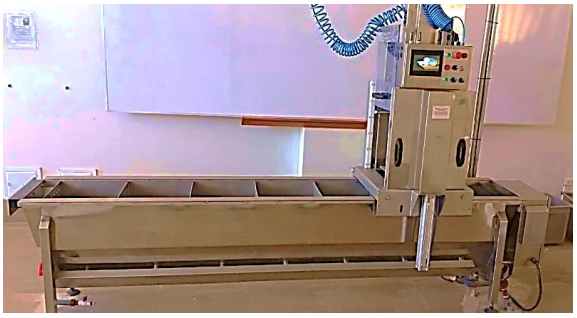


Figura 14. Máquina lavadora KiwiScour MK2

FUENTE: Fotografía propia

d CENTRIFUGADO

Se realizó en la máquina centrífuga hidroextractora modelo TX-12, para reducir el contenido de agua de la fibra de alpaca después del lavado y se realizó durante 2 minutos.

Figura 15. Máquina de centrifuga hidroextractora

FUENTE: Fotografía propia

e SECADO DE LA FIBRA.

El secado de la fibra de alpaca se realizó en la máquina "**túnel de secado"**, para reducir la humedad y se distribuyó uniformemente sobre la malla transportadora del equipo para un buen secado.

Tabla 8: *Parámetros utilizados durante el proceso de secado*

PARÁMETRO	VALOR
Temperatura de entrada	30 °C
Temperatura de la zona media	35 °C
Temperatura de salida	40 °C
Tiempo de secado en la zona media	3 minutos

FUENTE: Elaboración propia

Figura 16. Máquina Túnel de secado

FUENTE: Fotografía propia

Después del lavado y posterior secado de la fibra, se determinó el rendimiento del proceso considerando el peso inicial y final de la fibra:

Datos:

- **Peso inicial:** 5,00 kg
- **Peso final:** 4,86 kg

$$Rendimiento\ (\%) = \frac{Peso\ final}{Peso\ inicial} \times 100$$

Entonces:

$$\frac{4{,}86kg}{5kg} \times 100$$

Por lo tanto, después del lavado y secado se obtuvo un rendimiento de **97,20 %**, con una pérdida de **0,14 kg** (140 g) de fibra.

f APERTURA O DISGREGACIÓN MANUAL DE LA FIBRA

Antes de realizar el cardado, se realizó el aperturado manual de la fibra de alpaca con la finalidad de separar y abrir los mechones que se encontraban compactados después del lavado y secado, facilitando de esta manera su alimentación en la máquina cardadora.

g CARDADO

El proceso de cardado se realizó con la finalidad de abrir, separar y paralelizar las fibras para obtener una cinta (*sliver*) uniforme. Para esta etapa se utilizaron 4,86 kg de fibra de alpaca previamente lavada y secada.

Para el acondicionamiento de la fibra se calculó previamente la cantidad de LubriWool® M a utilizar, considerando una dosificación del 0,5 % respecto al peso de la fibra.

$$Cantidad\ de\ LubriWool\ M.\ (ml) = Peso\ de\ la\ fibra\ (g)\ \times \frac{Dosificación\ (\%)}{100}$$

Datos:

- **Peso de la fibra:** 4,86 kg = 4860 g
- **Dosificación:** 0,5 %

$$4860g \times \frac{0.5}{100}$$

Por lo tanto, se utilizaron **24,3ml de LubriWool® M**, los cuales fueron diluidos en **550 ml de agua tibia** y aplicados uniformemente con un atomizador sobre toda la fibra, con la finalidad de mantener la humedad y reducir la carga estática durante el cardado.

Posteriormente, la fibra se distribuyó en porciones de **250 g** sobre la faja transportadora, procurando mantener una alimentación uniforme y continua de la carda y evitar sobrecargas durante el proceso.

h FORMACIÓN Y RECOLECCIÓN DEL *SLIVER* EN EL CAN COILER (ENROLLADOR DE BOTAS)

El *sliver* obtenido a la salida de la carda fue conducido hacia el **can coiler**, donde se realizó su formación, compactación y recolección de manera continua, quedando ordenadamente depositado en el contenedor para su posterior alimentación a la máquina peinadora.

Después de la formación y recolección del *sliver*, se determinó el rendimiento del proceso de cardado:

$$Rendimiento\ (\%) = \frac{Peso\ final\ del\ sliver}{Peso\ inicial\ de\ la\ fibra\ lavada} \times 100$$

Datos:

- **Peso inicial:** 4,86 kg
- **Peso final:** 4,825 kg

Entonces:

$$\frac{4{,}825kg}{4{,}86kg} \times 100$$

Por lo tanto, el proceso de cardado presentó un rendimiento de **99,28 %**, con una pérdida de **0,035 kg (35 g)** de fibra.

i PEINADO

El proceso de peinado se realizó con la finalidad de eliminar las fibras cortas y mejorar la uniformidad del *sliver*.

Para alimentar simultáneamente la máquina peinadora se utilizaron cuatro cintas (*slivers*), obtenidas del proceso de cardado:

$$Peso\ de\ tops = \frac{Peso\ del\ sliver}{4}$$

Datos:

- **Peso del sliver:** 4,825 kg

Entonces:

$$\frac{4{,}825kg}{4}$$

Por lo tanto, cada *sliver* utilizado para la alimentación de la máquina peinadora tuvo un peso de **1,206 kg**.

Durante el proceso se realizaron **dos pasadas de peinado**, con la finalidad de eliminar las fibras cortas y mejorar la uniformidad del *sliver.*

- **Primera pasada:** Para la primera pasada se utilizaron los cuatro *slivers* como alimentación de la máquina peinadora, con la finalidad de eliminar las fibras cortas y mejorar y mejorar la uniformidad, obteniendo *tops* a la salida de la máquina.

El peso inicial fue de **4,825 kg** y después de la primera pasada se obtuvo un peso final de **4,813 kg**, por lo que la pérdida de peso fue

$$\boxed{Perdida = P_I - P_f}$$

Entonces:

$$4{,}825kg - 4{,}813kg = \mathbf{12}\boldsymbol{g}$$

El *top* obtenido presentó una masa lineal aproximada de **3,0** a **3,5 g/m.**

- **Segunda pasada:** El *top* obtenido en la primera pasada, con un peso de **4,813 kg**, fue nuevamente alimentado a la máquina peinadora, y se utilizó los parámetros establecidos para obtener una cinta con una masa lineal aproximada de **3 g/m**.

Después de la segunda pasada se obtuvo un peso de **4,805 kg**, por lo que la pérdida de peso fue:

$$\boxed{Perdida = P_I - P_f}$$

Entonces:

$$4{,}813g - 4{,}805g = \mathbf{8}\boldsymbol{g}$$

j FORMACIÓN Y RECOLECCIÓN DEL *TOPS* EN EL *CAN COILER* (ENROLLADOR DE BOTAS)

Después de cada pasada de peinado, el tops obtenido a la salida de la máquina peinadora fue conducido hacia el can coiler, donde se realizó su formación, compactación y recolección de manera continua, quedando ordenadamente depositado en el contenedor.

Después de la primera pasada, el top recolectado fue utilizado nuevamente como alimentación para la segunda pasada de peinado, mientras que el top obtenido después de la segunda pasada fue recolectado para su posterior alimentación de la máquina continua de anillos.

Luego de completar las dos pasadas de peinado, se determinó el rendimiento final:

$$Rendimiento\ (\%) = \frac{Peso\ final\ del\ tops}{Peso\ inicial\ del\ sliver} \times 100$$

Datos:

- **Peso inicial:** 4,825 kg
- **Peso final:** 4,805 kg

$$\frac{4{,}805kg}{4{,}825kg} \times 100$$

Por lo tanto, considerando las dos pasadas de peinado se obtuvo un rendimiento final de **99,59 %**, con una pérdida total de **0,020 kg (20 g)** de fibra, equivalente al **0,41 %** del peso inicial.

k HILADO CON LOS DIFERENTES TÍTULOS Y NIVELES DE TORSIÓN

Para obtener los hilos en la máquina continua de anillos, se utilizó *tops* de fibra de alpaca, verificando previamente que no presentara irregularidades. El peso total fue de **4,805 kg (4805 g)**, el cual se dividió en cuatro partes para realizar con los diferentes títulos de hilo, y se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$Peso\ por\ contenedor = \frac{Peso\ total\ del\ tops}{4}$$

Datos:

- **Peso total del tops:** 4,805 kg = 4805 g

$$\frac{4{,}805g}{4}$$

Por lo tanto, en cada contenedor habrá **1,201 kg (1201,25 g)** de *top*s.

De acuerdo con los parámetros de operación de la máquina continua de anillos, el hilado se realizó aplicando torsión en sentido Z (horario) y posteriormente se realizó la retorsión en sentido S (antihorario), obteniéndose los hilos con los diferentes títulos y niveles de torsión establecidos:

Tabla 9: *Tratamientos según el título del hilo y el nivel de torsión*

Tratamiento	Título (Nm)	Código del hilo Título / número de cabos	Sentido	Torsión (turns/m)
T1	6	6/1	Z	185 turns/m
T2	6	6/2	S	190 turns/m
T3	6	6/3	S	195 turns/m
T4	6	6/4	S	200 turns/m
T5	8	8/1	Z	215 turns/m
T6	8	8/2	S	220 turns/m
T7	8	8/3	S	225 turns/m
T8	8	8/4	S	230 turns/m
T9	10	10/1	Z	240 turns/m
T10	10	10/2	S	245 turns/m
T11	10	10/3	S	250 turns/m
T12	10	10/4	S	255 turns/m
T13	12	12/1	Z	265 turns/m
T14	12	12/2	S	270 turns/m
T15	12	12/3	S	275 turns/m
T16	12	12/4	S	280 turns/m

FUENTE: Elaboración propia

Durante el proceso de hilado, debido a las roturas ocasionales del hilo, parte del material fue succionado por el sistema de aspiración de la máquina continua de anillos y quedó retenido en el filtro ubicado en la puerta lateral, generando una pérdida de material durante el proceso:

$$Perdida = P_I - P_f$$

Datos:

- **Peso inicial:** 4,805 kg = 4805 g
- **Peso final:** 4,762 kg = 4762 g

$$4.805g - 4.762g$$

Por lo cual, la pérdida de material fue de **43 g.**

Y el rendimiento fue:

$$Rendimiento\ (\%) = \frac{Peso\ final}{Peso\ inicial} \times 100$$

Datos:

- **Peso final:** 4,762 kg
- **Peso inicial:** 4,805 kg

$$\frac{4{,}762kg}{4{,}805kg} \times 100$$

Por lo tanto, el proceso un rendimiento de **99,11 %**, lo que indica que, de los **4,805 kg de *top*s,** se obtuvieron **4,762 kg de hilo**, y se perdió **0,043 kg (43 g)** de materia.

l ENCONADO

Una vez finalizado el proceso de hilado, los hilos fueron enrollados con la enconadora manual, y rotulados con sus respectivos títulos y niveles de torsión.

3.6.2 BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE HILATURA

Tabla 10. *Balance de materia del proceso de hilatura*

Proceso	Entrada (kg)	Salida (kg)	Pérdida (kg)	Pérdida (g)	Perdida (%)	Rendimiento (%)
Adquisición de fibra de alpaca clasificada	5,500	5,500	—	—	—	—
Escarmenado	5,500	5,085	0,415	415	7,55	92,45
Lavado y secado	5	4,860	0,140	140	2,80	97,20
Aperturado manual	4,860	4,860	—	—	—	—
Cardado	4,860	4,825	0,035	35	0,72	99,28
Formación y recolección del *sliver*	4,825	4,825	—	—	—	—
Peinado	4,825	4,805	0,020	20	0,41	99,59
Formación y recolección del *top*	4,805	4,805	—	—	—	—
Hilado	4,805	4,762	0,043	43	0,89	99,11
Rendimiento final	5,500	4,762	0,738	738	13,42	86,58

Nota: Después del escarmenado se obtuvieron 5,085 kg de fibra, de los cuales se utilizaron 5,00 kg para el proceso de lavado, mientras que los 0,085 kg (85 g) restantes no fueron utilizados en esta etapa.

FUENTE: Elaboración propia

3.6.3 PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LA MÁQUINA Y ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS DE TEJIDO DE PUNTO JERSEY

Para elaborar las muestras de tejido de punto jersey, se utilizó una máquina de tejido de punto rectilíneo manual. Para cada uno de los 16 tratamientos se elaboró una muestra y una réplica, con dimensiones de 14 cm × 14 cm (*swatch*), obteniéndose un total de 32 muestras.

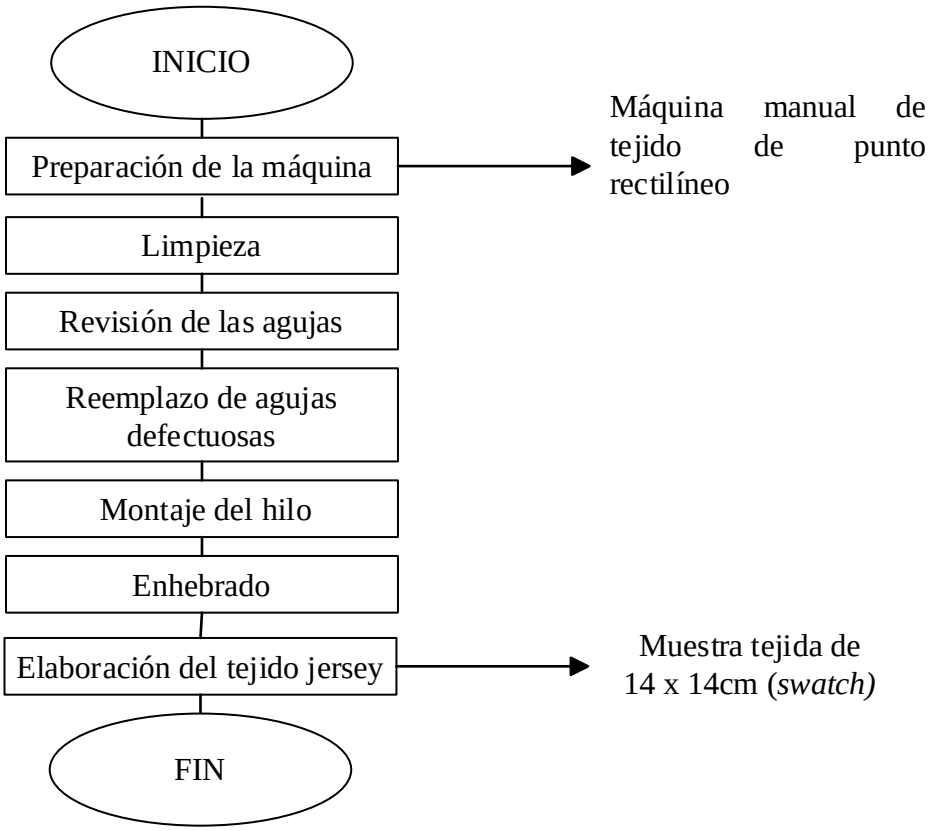


Figura 17. Diagrama de flujo del procedimiento para la preparación de la máquina y elaboración de las muestras de tejido de punto jersey

FUENTE: Elaboración propia

a PREPARACIÓN DE LA MÁQUINA

Se verifico que la máquina estuviera en buenas condiciones antes de iniciar el tejido.

b LIMPIEZA

Se realizó la limpieza de la máquina para retirar polvo, fibras y residuos.

c REVISIÓN DE LAS AGUJAS

Se inspeccionaron las agujas para comprobar que estuvieran en buen estado.

d REEMPLAZO DE AGUJAS DEFECTUOSAS

Se reemplazaron las agujas que presentaban desgaste o algún daño visible, ya que podían ocasionar irregularidades en la formación de las mallas y afectar la uniformidad del tejido durante su elaboración.

e MONTAJE DEL HILO

Se preparó el hilo para su alimentación en la máquina,

f ENHEBRADO

Se pasó el hilo por los guiahílos hasta llegar a las agujas, verificando su correcto recorrido.

g ELABORACIÓN DEL TEJIDO JERSEY

Se elaboró el tejido de punto jersey con medidas de 14 × 14 cm (*swatch)*.

Tabla 11: *Galga y tensión utilizada para la elaboración de los tejidos de punto jersey*

Tratamiento	Título (Nm)	Código del hilo Título / número de cabos	Galga	Tensión (cN)
T1	6	6/1	6	4
T2	6	6/2	6	4
T3	6	6/3	3	4
T4	6	6/4	3	4
T5	8	8/1	6	4
T6	8	8/2	6	4
T7	8	8/3	3	4
T8	8	8/4	3	4
T9	10	10/1	6	4
T10	10	10/2	6	4
T11	10	10/3	3	4
T12	10	10/4	3	4
T13	12	12/1	6	4
T14	12	12/2	6	4
T15	12	12/3	3	4
T16	12	12/4	3	4

FUENTE: Elaboración propia

3.6.4 PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA FORMACIÓN DE PILLING

La formación de pilling se evaluó mediante el método de abrasión Martindale, adaptando el procedimiento establecido en la norma ISO 12945-2. El ensayo se realizó en un equipo Martindale marca JBA, utilizando los tejidos de punto jersey elaborados con los diferentes tratamientos. Posteriormente, las muestras fueron comparadas con la escala de medición del pilling para determinar el grado de formación de pilling.

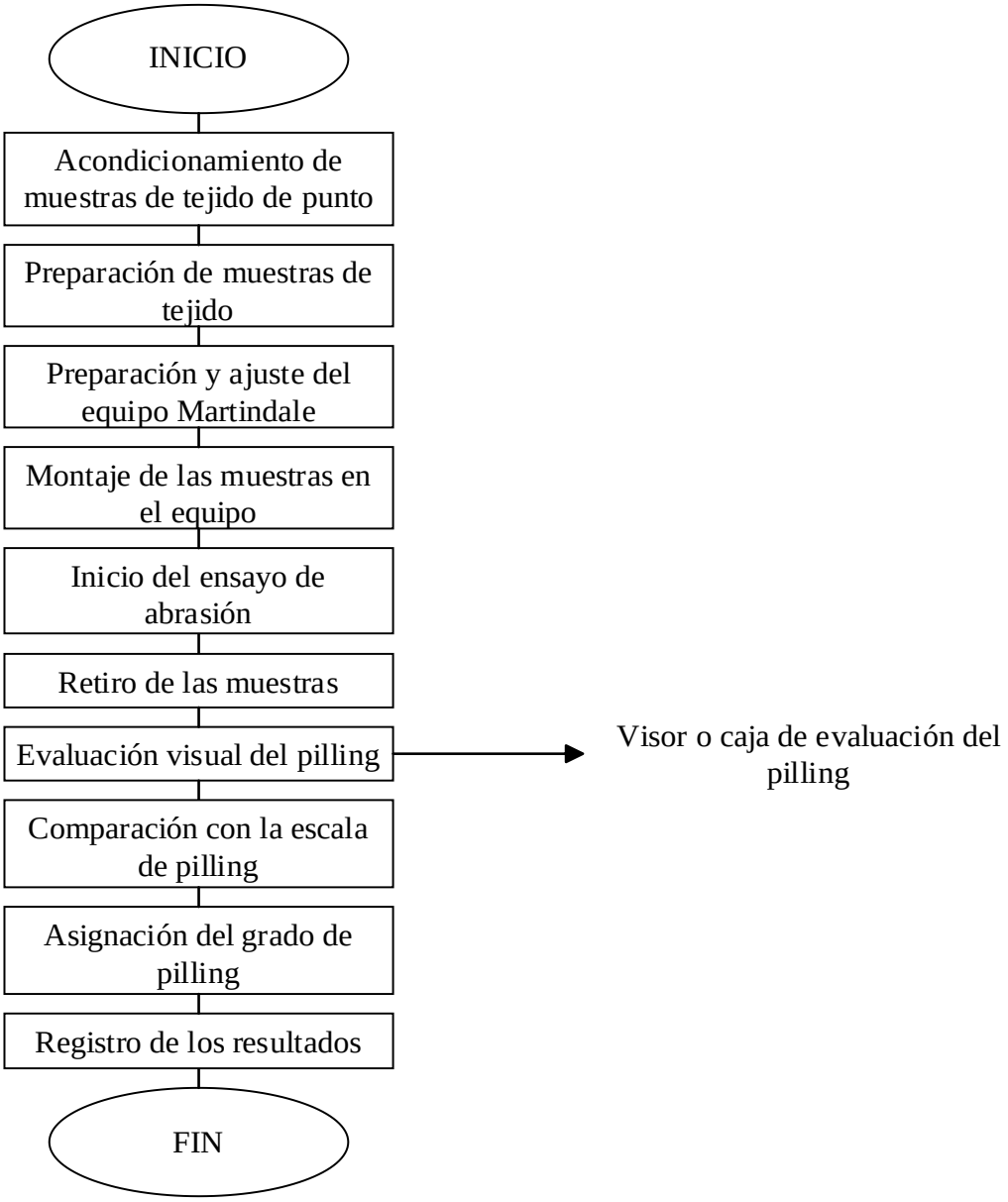


Figura 18. Diagrama de flujo del procedimiento de control de calidad de la formación de pilling

FUENTE: Elaboración propia

a ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS DE TEJIDO DE PUNTO

Previamente, las muestras fueron acondicionadas durante 24 horas en un ambiente limpio, seco y protegido de la luz solar directa, permaneciendo extendidas sobre una superficie plana para evitar deformaciones del tejido.

b PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE TEJIDO

Se preparó cada muestra de acuerdo con su título de hilo y nivel de torsión, para la evaluación de pilling.

c PREPARACIÓN Y AJUSTE DEL EQUIPO MARTINDALE

Antes de iniciar el ensayo, se verificó el estado y funcionamiento de los componentes del equipo Martindale, incluyendo los portamuestras, portapesos, contador de ciclos y mecanismo de movimiento.

Posteriormente, se realizó la limpieza de la superficie y de los accesorios, con el propósito de evitar la presencia de partículas o residuos que pudieran interferir en la prueba. Finalmente, se programó el equipo de acuerdo con los intervalos de ciclos de abrasión

d MONTAJE DE LAS MUESTRAS EN EL EQUIPO

Cada muestra fue colocada sobre el portamuestras, procurando que permaneciera completamente extendida y sin arrugas. Posteriormente, se fijó mediante el anillo de sujeción para mantenerla firme durante el ensayo y evitar el desplazamiento del tejido.

e INICIO DEL ENSAYO DE ABRASIÓN

Una vez montadas las muestras, se inició el ensayo de abrasión mediante el movimiento multidireccional del equipo Martindale, simulando el desgaste al que puede estar sometido un tejido de punto durante su uso.

El ensayo se realizó en cuatro intervalos de abrasión: 125, 500, 1000 y 2000 ciclos, aplicando una presión de 9 kPa, y todas las muestras fueron sometidas a las mismas condiciones de ensayo

f RETIRO DE LAS MUESTRAS

Al finalizar cada intervalo de abrasión, las muestras fueron retiradas cuidadosamente del equipo Martindale para proceder con su evaluación visual, evitando alterar la superficie del tejido.

g EVALUACIÓN VISUAL DEL PILLING

Una vez finalizado cada intervalo de abrasión, las muestras fueron examinadas visualmente mediante el visor de evaluación del pilling, con el propósito de observar la superficie del tejido y determinar el grado de formación de pilling.

h COMPARACIÓN CON LA ESCALA DE PILLING

Posteriormente, cada muestra fue comparada con los patrones de referencia establecidos en la ISO 12945-2:2020, asignando el grado correspondiente según la escala de evaluación.

Tabla 12: *Escala de evaluación visual para el control de calidad de la formación de pilling según la norma ISO 12945-2:2020*

Grado	Descripción
5	Sin pilling
4 - 5	Pilling muy ligero
4	Ligero pilling
3 - 4	Pilling leve a moderado
3	Moderado pilling.
2 - 3	Pilling moderado a severo

FUENTE: Adaptado de International Organization for Standardization (2020)

i ASIGNACIÓN DEL GRADO DE PILLING

Una vez realizada la comparación con los patrones de referencia, se asignó a cada muestra el grado correspondiente según la escala de evaluación. Cuando la apariencia de la muestra se encontró entre dos grados consecutivos, se asignaron valores intermedios (4,5; 3,5 y 2,5) con la finalidad de obtener una valoración más precisa de la formación de pilling. Estos valores fueron utilizados para el registro de los resultados y el posterior análisis estadístico.

j REGISTRO DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante la evaluación fueron registrados en una ficha de recolección de datos:

- Número de tratamiento.
- Título del hilo (Nm) y nivel de torsión (Turns/m) de cada tejido.
- Número de réplica.
- Calificación de pilling obtenida según la escala de evaluación.

3.6.5 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos durante la evaluación del grado de formación de pilling fueron organizados en Microsoft Excel y posteriormente, los datos fueron procesados mediante el software estadístico RStudio, aplicando un análisis de diseño factorial 4 × 4.

a ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los datos obtenidos del ensayo de abrasión realizado en el equipo Martindale fueron registrados y organizados en Microsoft Excel, considerando como variables independientes el título del hilo y el nivel de torsión, y como variable dependiente la formación de pilling. Asimismo, se organizaron los resultados experimentales y se elaboraron las tablas y gráficos.

b ANÁLISIS DESCRIPTIVO

La base de datos elaborada en Microsoft Excel fue importada a RStudio para realizar el análisis descriptivo del grado de formación de pilling; se calcularon la media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo, con la finalidad de describir el comportamiento de la variable según el título del hilo, el nivel de torsión y los tratamientos experimentales.

c ANÁLISIS DE VARIANZA FACTORIAL (ANOVA 4 × 4)

Se realizó un análisis de varianza factorial 4 × 4 para evaluar la influencia del título del hilo, el nivel de torsión y la interacción entre ambos factores sobre el grado de formación de pilling, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

d COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE MEDIAS MEDIANTE LA PRUEBA DE TUKEY

Se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey HSD, con la finalidad de identificar diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los niveles del título del hilo y del nivel de torsión, cuando el análisis de varianza mostró diferencias significativas.

e VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO FACTORIAL

Se verificó el cumplimiento de los supuestos del análisis de varianza mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

f ANÁLISIS DE VARIANZA POR PERMUTACIONES

Cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó un análisis de varianza por permutaciones con 5000 iteraciones, con la finalidad de evaluar la significancia estadística del título del hilo, el nivel de torsión y la interacción entre ambos factores, sin depender de los supuestos de normalidad y homogeneidad requeridos por el ANOVA tradicional.

g TAMAÑO DEL EFECTO DE LOS FACTORES SOBRE EL GRADO DE PILLING

Se determinó el tamaño del efecto del título del hilo, el nivel de torsión y la interacción entre ambos factores sobre el grado de formación de pilling mediante los coeficientes eta cuadrado (η^2) y eta cuadrado parcial ($\eta^2 p$). Estos indicadores permitieron cuantificar la magnitud del efecto de cada factor sobre la variabilidad observada en la formación de pilling y establecer la importancia relativa de los factores evaluados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la investigación, organizados de acuerdo con los objetivos.

4.1.1 RESULTADOS DEL OBJETIVO GENERAL

Analizar la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

a HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA (H_0): La torsión y el título del hilo no influyen significativamente en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

HIPÓTESIS ALTERNA (H_1): La torsión y el título del hilo influyen significativamente en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

b RESULTADOS

De acuerdo con la Tabla 13, el grado de pilling disminuyó progresivamente a medida que aumentó el número de ciclos de abrasión, observándose al finalizar los 2000 ciclos calificaciones entre 3.0 y 4.5, lo que evidencia un incremento de la formación de pilling con el aumento de la abrasión. Asimismo, se observó que los tratamientos con mayores títulos de hilo y niveles de torsión presentaron mejores calificaciones de pilling al finalizar el ensayo.

Y de acuerdo con la Tabla 21, ANOVA por permutaciones del grado de pilling, el título del hilo presentó un valor de p por permutación de 0.0008, mientras que el nivel de torsión presentó un valor de 0.0002, ambos valores fueron inferiores al nivel de significancia establecido de $\alpha = 0.05$, lo que evidencia que ambos factores presentan un efecto estadísticamente significativo sobre el grado de pilling. Asimismo, en la Tabla 22, el tamaño del efecto de los factores sobre el grado de pilling, se observa que el nivel de torsión presentó una mayor magnitud de efecto con un $\eta^2 = 0.7584$ y un η^2 parcial = 0.9288, mientras que el título del hilo presentó un $\eta^2 = 0.1053$ y un η^2 parcial = 0.6442.

Por lo tanto, ambos factores influyen significativamente en la formación de pilling, siendo el nivel de torsión el factor que presentó la mayor magnitud de efecto en comparación con el título del hilo.

DECISIÓN

Considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0), debido a que los valores de p por permutación del título del hilo ($p = 0.0008$) y del nivel de torsión ($p = 0.0002$) son menores que 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna (H_1) y se concluye que la torsión y el título del hilo influyen significativamente en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca. Además, de acuerdo con el tamaño del efecto presentado en la Tabla 22, el nivel de torsión presentó una mayor magnitud de efecto que el título del hilo.

4.1.2 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Determinar el grado de formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca con diferentes torsiones y títulos, mediante la prueba de abrasión en el equipo Martindale.

a HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA (H_0): Los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, con diferentes torsiones y títulos no presentan diferentes grados de pilling durante la prueba de abrasión en el equipo Martindale.

HIPÓTESIS ALTERNA (H_1): Los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, con diferentes torsiones y títulos presentan diferentes grados de pilling durante la prueba de abrasión en el equipo Martindale.

Tabla 13: *Resultados de la evaluación del grado de formación de pilling*

Tr.	Código del hilo	Título (Nm)	Torsión turns/m	Nivel de torsión	Muestra				Réplica			
					125	500	1000	2000	125	500	1000	2000
T1	6/1	6	185	1	4.5	4	3.5	3	4.5	4	3.5	3.5
T2	6/2	6	190	2	4.5	4.5	4	3	4.5	4.5	4	3.5
T3	6/3	6	195	3	4.5	4.5	4.5	4	4.5	4.5	4.5	4
T4	6/4	6	200	4	5	4.5	4.5	4.5	5	5	4.5	4
T5	8/1	8	215	1	4.5	4.5	4	3.5	4.5	4.5	4	3.5
T6	8/2	8	220	2	4.5	4.5	3.5	3.5	4.5	3.5	3.5	3.5
T7	8/3	8	225	3	5	4.5	4.5	4	5	4.5	4.5	4.5
T8	8/4	8	230	4	5	5	4.5	4.5	5	4.5	4.5	4.5
T9	10/1	10	240	1	4.5	4	4	3.5	4.5	4.5	4	4
T10	10/2	10	245	2	4.5	4.5	4	4	4.5	4.5	4.5	4
T11	10/3	10	250	3	5	5	4.5	4.5	5	4.5	4.5	4
T12	10/4	10	255	4	5	5	4.5	4.5	5	4.5	4.5	4.5
T13	12/1	12	265	1	4.5	4.5	4	4	4.5	4.5	4	3.5
T14	12/2	12	270	2	4.5	4.5	4	4	4.5	4.5	4.5	4
T15	12/3	12	275	3	5	4.5	4.5	4	5	4.5	4.5	4.5
T16	12/4	12	280	4	5	5	4.5	4.5	5	5	5	4.5

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 13 se observa que a 125 ciclos de abrasión la mayoría de los tratamientos obtuvo evaluaciones entre 4.5 y 5.0, lo cual refleja una superficie con pilling apenas visible, a medida que los ciclos de abrasión fueron incrementando las evaluaciones bajaron de manera progresiva y al terminar con 2000 ciclos la evaluación está entre 3.0 y 4.5, por lo tanto, a mayores ciclos de abrasión disminuyó la calificación, evidenciando un incremento de la formación de pilling. Además, los tratamientos con niveles de torsión 3 y 4 la evaluación es superior a comparación de los niveles 1 y 2, así como se muestra en el tratamiento T16, título 12/4 Nm y 280 turns/m, al finalizar los 2000 ciclos mantuvo una evaluación de 4.5 tanto en la muestra como en la réplica, mientras que el tratamiento T1, título 6/1 Nm y 185 turns/m, bajó hasta 3.0 y 3.5 respectivamente, lo que evidencia una mayor tendencia a formar pilling.

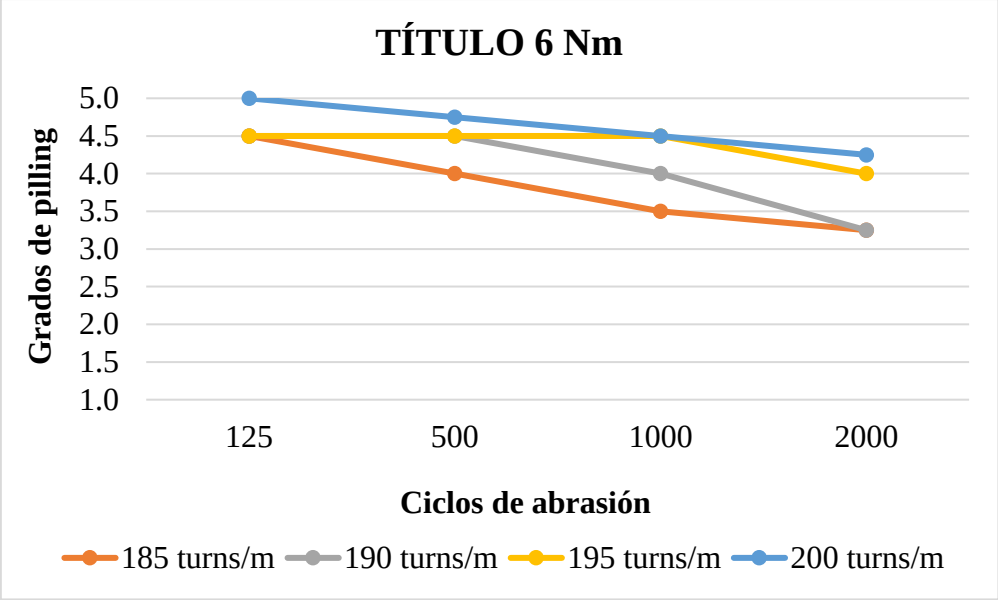


Figura 19. Evolución del grado de pilling con el título 6 Nm

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 19 se observa que en todos los tratamientos hay una disminución progresiva de la calificación del grado de pilling a medida que aumenta el número de ciclos de abrasión, lo que evidencia que hay una formación de pilling gradual en la superficie del tejido debido al desgaste producido en el ensayo, en la torsión de 200 turns/m mantuvo las calificaciones más altas durante todo el ensayo, alcanzando un valor promedio de 4.25 a los 2000 ciclos, mientras que las torsiones de 185 y 190 turns/m descendieron hasta 3.25 al finalizar el ensayo, por otra parte, la torsión de 195 turns/m presentó una calificación intermedia, con un valor promedio de 4.00 a los 2000 ciclos.

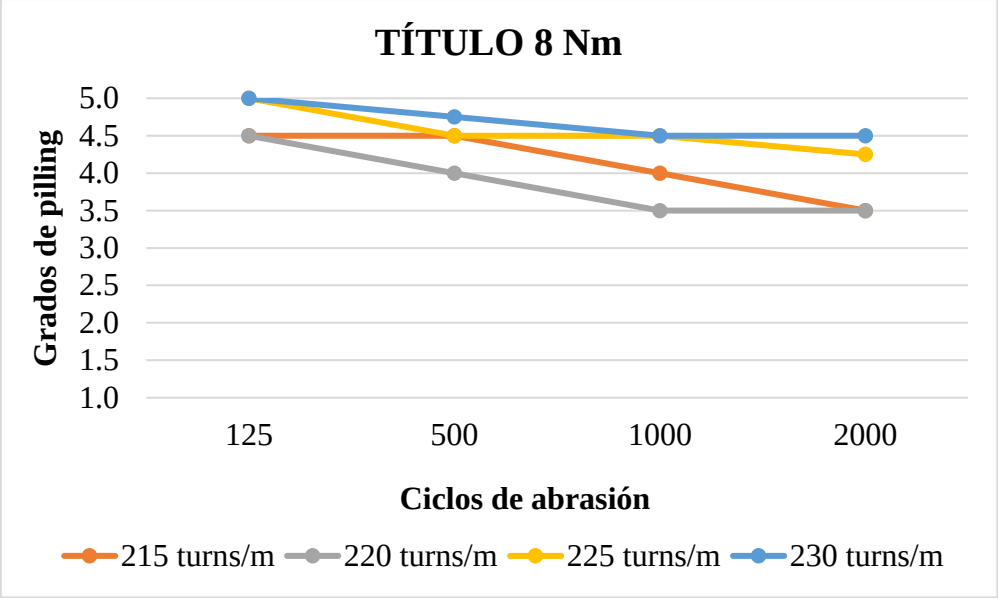


Figura 20. Evolución del grado de pilling con el título 8 Nm

FUENTE: Elaboración propia

En la figura 20 se observa que el grado de pilling disminuyó progresivamente en todos los niveles de torsión a medida que aumentó el número de ciclos de abrasión, en la torsión de 230 turns/m se registró la mejor calificación durante el ensayo, con un promedio de 4.50 al finalizar los 2000 ciclos. En contraste, la torsión de 220 turns/m presentó la mayor disminución, alcanzando un valor promedio de 3.50, mientras que las torsiones de 215 y 225 turns/m mostraron una calificación intermedia con valores finales de 3.50 y 4.25, respectivamente.

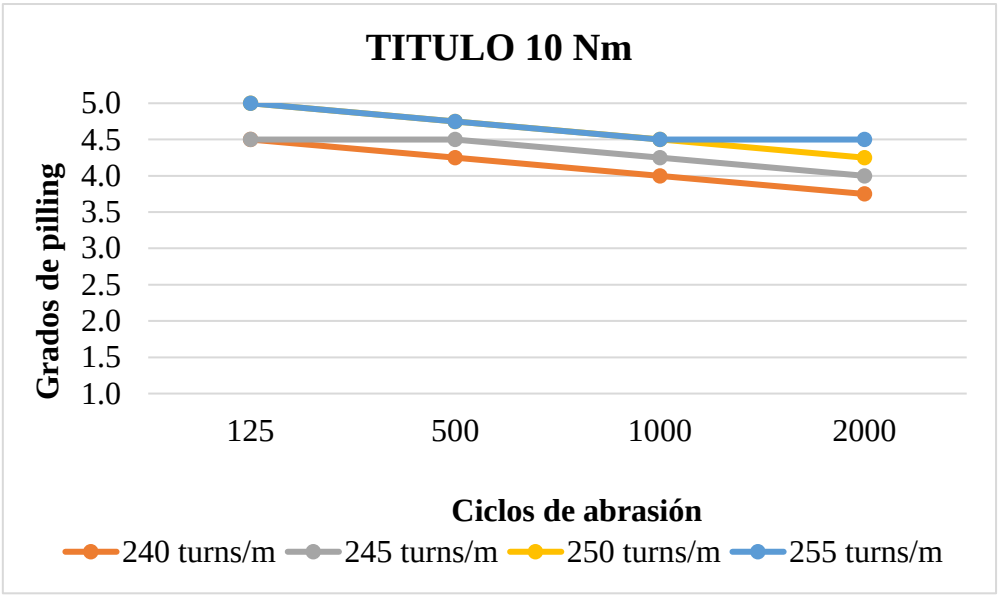


Figura 21. Evolución del grado de pilling con el título 10 Nm

FUENTE: Elaboración propia

En la figura 21 se observa que en los cuatro niveles de torsión hay una disminución gradual en la calificación del pilling a medida que aumenta el número de ciclos de abrasión, lo que evidencia un incremento progresivo del desgaste superficial del tejido, en la torsión de 255 turns/m presentó la mejor calificación durante todo el ensayo con promedio de 4.50 a los 2000 ciclos. Por el contrario, la torsión de 240 turns/m registró la menor calificación final 3.75, mientras que las torsiones de 245 y 250 turns/m alcanzaron valores promedio de 4.00 y 4.25, respectivamente.

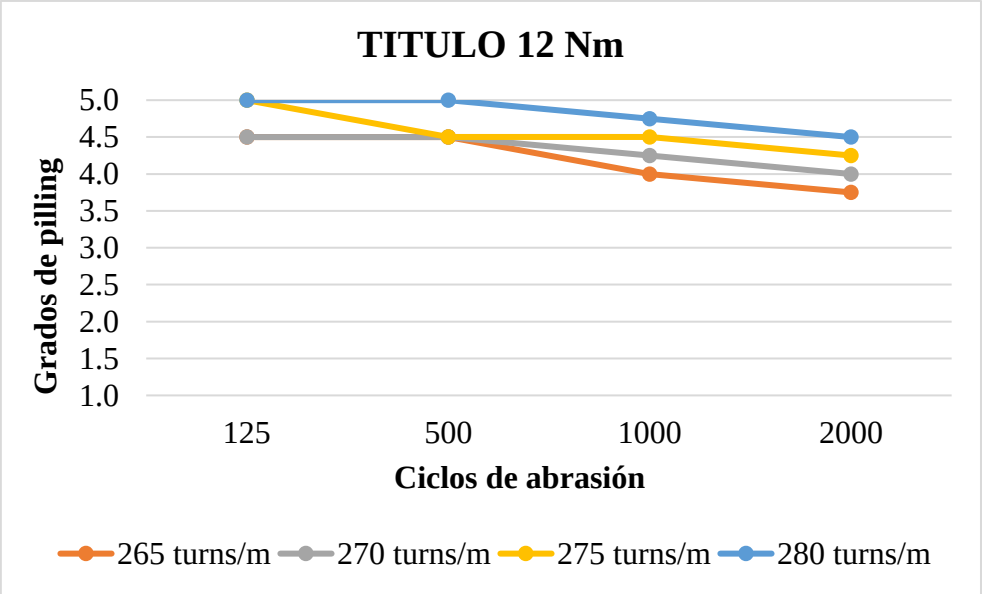


Figura 22. Evolución del grado de pilling con el título 12 Nm

FUENTE: Elaboración propia

En la figura 22 se observa una disminución gradual de las calificaciones a medida que aumenta el número de ciclos de abrasión, indicando una mayor formación de pilling a medida que el tejido fue sometido a un mayor ciclo de abrasión, en la torsión de 280 turns/m obtuvo una mejor calificación durante el ensayo con un promedio de 4.50 a los 2000 ciclos. En comparación, las torsiones de 265, 270 y 275 turns/m registraron valores finales de 3.75, 4.00 y 4.25, respectivamente.

Al comparar las calificaciones de los cuatro títulos de hilo 6, 8, 10 y 12 Nm se observó que tienen una calificación similar durante la prueba de abrasión Martindale. Sin embargo, al finalizar los ciclos los tejidos con títulos 10 Nm y 12 Nm alcanzaron calificaciones promedio de pilling más altas que los de títulos 6 Nm y 8 Nm, sobre todo cuando se combinaron con niveles de torsión más altos. También se evidenció que la combinación de un título de hilo mayor con torsiones superiores ayudó a mantener un mejor aspecto en la superficie del tejido

durante el ensayo, mientras que las combinaciones de títulos bajos y menores torsiones se obtuvo calificaciones inferiores.

4.1.3 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Analizar los datos obtenidos mediante técnicas estadísticas para evaluar la magnitud de influencia del título del hilo y nivel de torsión en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

a HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA (H_0): El título del hilo y el nivel de torsión no presentan diferentes magnitudes de influencia sobre la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

HIPÓTESIS ALTERNA (H_1): El título del hilo y el nivel de torsión presentan diferentes magnitudes de influencia sobre la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA (A): 5 %

REGLA DE DECISIÓN: Con un nivel de significación del 5 %, si el valor $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

a ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL GRADO DE PILLING EN TEJIDOS DE PUNTO DE ALPACA

Tabla 14: *Estadísticos descriptivos del grado de pilling según el título del hilo*

Titulo	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	n
6	4.22	0.33	3.75	4.63	8
8	4.32	0.36	3.75	4.75	8
10	4.44	0.27	4.00	4.75	8
12	4.47	0.27	4.13	4.88	8

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 14 se observa que la media del grado de pilling está entre 4.22 y 4.47, los títulos de 10 Nm y 12 Nm son los que presentaron los valores promedio más altos, mientras que el

título de 6 Nm presentó el menor promedio; los cuatro títulos presentaron una desviación estándar relativamente cercanas que están entre 0.27 y 0.36, lo cual evidencia una variabilidad descriptiva similar entre los grupos; y los valores mínimos estuvieron entre 3.75 y 4.13, mientras que los valores máximos alcanzaron valores entre 4.63 y 4.88, siendo el título de 12 Nm el que presentó el mayor valor. Lo que se evidencia es que existe un incremento del grado promedio de pilling a medida que aumenta el título del hilo; es decir, los títulos más altos de 10 Nm y 12 Nm presentaron una mejor calificación promedio después del ensayo de abrasión

Tabla 15: *Estadísticos descriptivos del grado de pilling según el nivel de torsión*

Torsión	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	N
1	4.07	0.18	3.75	4.25	8
2	4.14	0.22	3.75	4.38	8
3	4.53	0.13	4.38	4.75	8
4	4.71	0.09	4.63	4.88	8

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 15 se observa que la media del grado de pilling aumentó progresivamente desde 4.07 en el nivel de torsión 1 hasta 4.71 en el nivel de torsión 4. Asimismo, la desviación estándar está entre 0.09 y 0.22, siendo el nivel de torsión 4 el que presentó la menor variabilidad de los datos, mientras que el nivel de torsión 2 registró la mayor dispersión. Los valores mínimos variaron entre 3.75 y 4.63, mientras que los valores máximos son 4.25 y 4.88. Lo que evidencian los estadísticos descriptivos es que a medida que aumenta el nivel de torsión, mejora la calificación promedio del grado de pilling.

Tabla 16: *Estadísticos descriptivos del grado de pilling por tratamiento experimental*

Tratamiento	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	N
T1	3.82	0.09	3.75	3.88	2
T2	4.07	0.09	4.00	4.13	2
T3	4.38	0.00	4.38	4.38	2
T4	4.63	0.00	4.63	4.63	2
T5	4.13	0.00	4.13	4.13	2
T6	3.88	0.18	3.75	4.00	2
T7	4.57	0.09	4.50	4.63	2
T8	4.69	0.08	4.63	4.75	2
T9	4.13	0.18	4.00	4.25	2
T10	4.32	0.09	4.25	4.38	2
T11	4.63	0.18	4.50	4.75	2
T12	4.69	0.08	4.63	4.75	2
T13	4.19	0.08	4.13	4.25	2
T14	4.32	0.09	4.25	4.38	2
T15	4.57	0.09	4.50	4.63	2
T16	4.82	0.09	4.75	4.88	2

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 16 se observa que la media del grado de pilling está entre 3.82 y 4.82, donde el tratamiento T1 presenta el promedio más bajo, mientras que el tratamiento T16 alcanza el valor promedio más alto; la desviación estándar está entre 0.00 y 0.18, lo que refleja una dispersión muy reducida entre las réplicas evaluadas, y los valores mínimos están entre 3.75 y 4.75, mientras que los valores máximos estuvieron entre 3.88 y 4.88.

b ANÁLISIS DE VARIANZA FACTORIAL DEL GRADO DE PILLING

Tabla 17: *ANOVA del grado de pilling*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Titulo	3	0.31596	0.10532	9.65692	0.000709
Nivel de Torsión	3	2.27516	0.75839	69.53696	2.14×10^{-9}
Título x Nivel de Torsión	9	0.23426	0.02603	2.38663	0.061882
Residuals	16	0.17450	0.01091		

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 17 se observa que el título del hilo presentó un efecto estadísticamente significativo sobre el grado de pilling, con un valor de $p = 0.000709$, inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), esto indica que existen diferencias estadísticamente significativas en el grado de pilling entre los títulos de hilo evaluados. Asimismo, el nivel de torsión presentó un efecto estadísticamente significativo, con un valor de $p = 2.14 \times 10^{-9}$, también inferior a $\alpha = 0.05$, y este factor presentó un estadístico F de 69.53696 y una suma de cuadrados de 2.27516, superiores a los obtenidos para el título del hilo ($F = 9.65692$; $SC = 0.31596$), lo que muestra una mayor variabilidad asociada a este factor dentro del modelo.

Por otro lado, la interacción entre título del hilo y nivel de torsión presentó un valor de $p = 0.061882$, superior a $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se evidencia un efecto estadísticamente significativo de la interacción entre ambos factores, esto indica que, bajo este modelo paramétrico, no existe evidencia suficiente para afirmar que el efecto del título del hilo sobre el grado de pilling dependa del nivel de torsión aplicado.

DECISIÓN

De acuerdo con la regla de decisión establecida, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula para el título del hilo, debido a que $p = 0.000709 < 0.05$, y también se rechaza la hipótesis nula para el nivel de torsión, debido a que $p = 2.14 \times 10^{-9} < 0.05$, por lo que ambos factores presentan efectos estadísticamente significativos sobre el grado de pilling.

c COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE MEDIAS MEDIANTE LA PRUEBA DE TUKEY.

Tabla 18: *Comparación múltiple de Tukey del grado de pilling según el título del hilo*

Titulo	Pilling	Grupo
12	4.471	A
10	4.439	AB
8	4.315	BC
6	4.223	C

Nota: Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 18 se observa que el título de 12 Nm alcanzó una mayor media del grado de pilling 4.471, seguido del título de 10 Nm de 4.439, mientras que los títulos de 8 Nm y 6 Nm presentaron valores inferiores de 4.315 y 4.223, respectivamente, la agrupación estadística muestra que el título de 12 Nm pertenece al grupo “A”, mientras que el título de 6 Nm pertenece al grupo “C”, evidenciando diferencias significativas entre ambos niveles, y los títulos intermedios de 10 Nm y 8 Nm se ubicaron en los grupos “AB” y “BC”, respectivamente, indicando un comportamiento estadístico parcialmente similar.

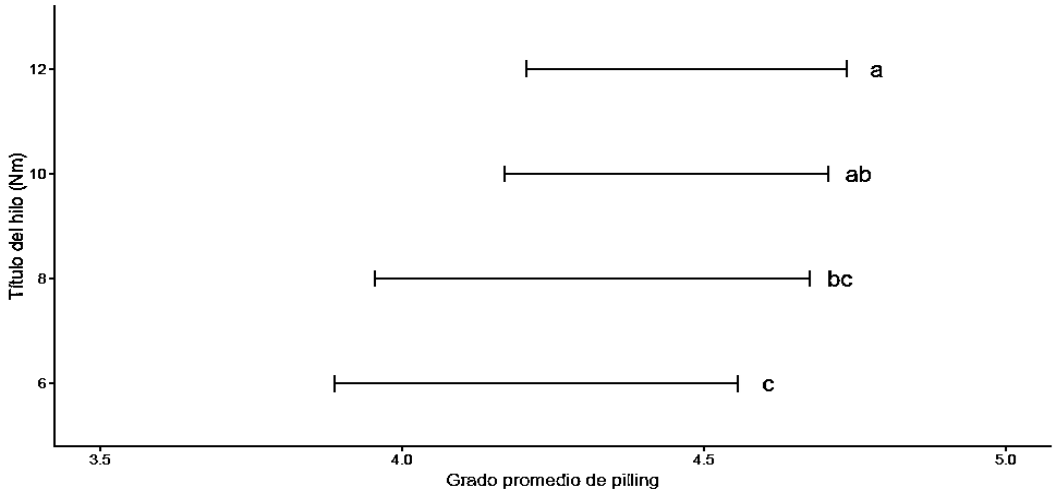


Figura 23. Comparación del grado de pilling según el título del hilo mediante Tukey

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 23 se observa una ascendencia en las calificaciones de pilling a medida que aumenta el título (Nm), los tejidos elaborados con títulos mayores, como 12 Nm presentan una buena respuesta frente a la formación de pilling y los datos muestran un comportamiento favorable del grado de pilling conforme aumenta el título del hilo.

Tabla 19: *Comparación múltiple de Tukey del grado de pilling según el nivel de torsión.*

Nivel de Torsión	Pilling	Grupo
4	4.706	A
3	4.534	B
2	4.143	C
1	4.065	C

Nota: Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 19 se observa que el nivel de torsión 4 presentó la mayor media del grado de pilling con 4.706, del grupo estadístico “A”; el nivel de torsión 3 tiene una media de 4.534, del grupo estadístico “B”. Por otro lado, los niveles de torsión 2 y 1 presentaron los menores valores promedio, con medias de 4.143 y 4.065, del grupo estadístico “C”, lo que se evidencia es que el nivel de torsión 4 presentó diferencias significativas respecto a los demás niveles evaluados, mientras que los niveles de torsión 1 y 2 no presentaron diferencias significativas entre sí debido a que comparten el mismo grupo estadístico. Estos resultados muestran que los niveles de torsión 3 y 4 alcanzaron mayores calificaciones de pilling que los niveles 1 y 2.

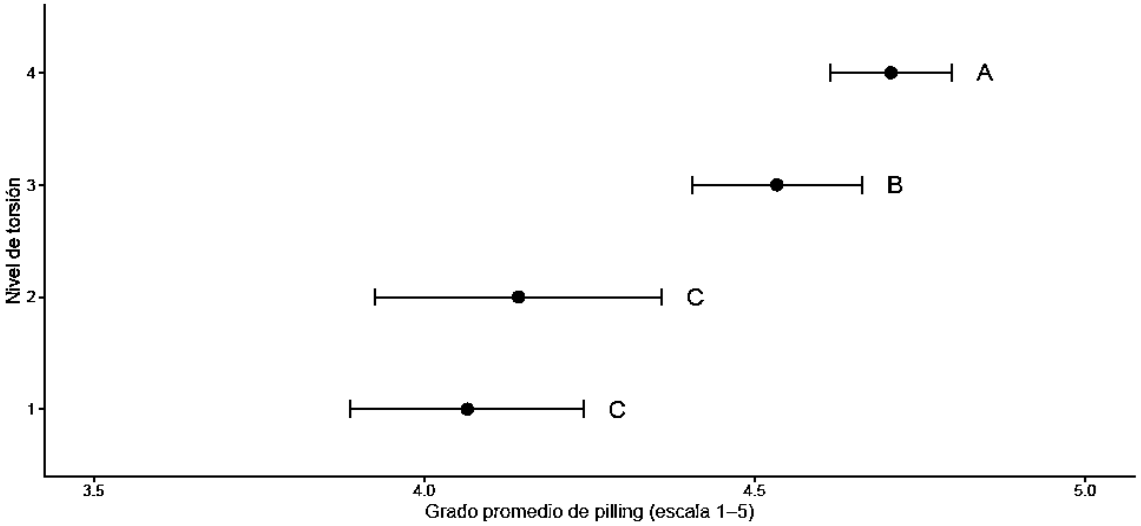


Figura 24. Comparación del grado de pilling según el nivel de torsión mediante Tukey

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 24 se observa un desplazamiento progresivo de los valores hacia una mayor calificación a medida que aumenta el nivel de torsión, evidenciando que los tejidos elaborados con mayores valores de torsión presentan una mejor respuesta superficial después del ensayo de abrasión.

d VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO FACTORIAL DEL GRADO DE PILLING.

HIPÓTESIS PARA LA PRUEBA DE NORMALIDAD:

- **H_0:** Los residuos del modelo presentan una distribución normal.
- **H_1:** Los residuos del modelo no presentan una distribución normal.

HIPÓTESIS PARA LA PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS:

- **H_0:** Las varianzas de los grupos son homogéneas.
- **H_1:** Las varianzas de los grupos no son homogéneas.

CRITERIO DE DECISIÓN:

- **Si $p > 0.05$** → No se rechaza H_0, indicando que se cumple el supuesto correspondiente.
- **Si $p < 0.05$** → Se rechaza H_0, indicando que no se cumple el supuesto correspondiente.

Tabla 20: *Verificación de los supuestos del modelo factorial del grado de pilling*

Prueba	Estadístico	Valor p	Resultado
Shapiro – Wilk	0.9077	0.0098	No cumple normalidad
Levene	1.4096E+28	<0.001	No cumple homogeneidad de varianzas

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 20 se observa que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk presentó un valor de p = 0.0098 menor al nivel de significancia establecido $\alpha = 0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los residuos del modelo factorial no presentan una distribución normal. Asimismo, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene presentó un valor de $p < 0.001$ menor que $\alpha = 0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas y se concluye que las varianzas de los grupos no son homogéneas. Por tanto, no se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

e VERIFICACIÓN ESTADÍSTICA MEDIANTE ANÁLISIS POR PERMUTACIONES.

Debido al incumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó un análisis de varianza por permutaciones mediante el método de Freedman–Lane, utilizando 5000 permutaciones, con el propósito de evaluar la significancia estadística del título del hilo, el nivel de torsión y su interacción sobre el grado promedio de pilling.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: A = 0.05

REGLA DE DECISIÓN:

- Si el valor de p por permutaciones < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0)
- Si el valor de p por permutaciones > 0.05, no se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Tabla 21: *ANOVA por permutaciones del grado de pilling*

	GL	SC	F	N.º de permutaciones	p_paramétrico	p_permutación
Título del hilo	3	0.31596	9.65692	5000	0.000709	0.0008
Nivel de torsión	3	2.27516	69.53696	5000	2.14×10^{-9}	0.0002
Título × Nivel de torsión	9	0.23426	2.38663	5000	0.061882	0.0622
Error	16	0.1745				

FUENTE: Elaboración propia

En la tabla 21 se observa que el título del hilo presentó un efecto estadísticamente significativo sobre el grado de pilling, con un valor de p por permutación de 0.0008, inferior al nivel de significancia establecido $\alpha = 0.05$, esto indica que el grado de pilling presentó diferencias entre los títulos de hilo evaluados. Asimismo, el nivel de torsión presentó un efecto estadísticamente significativo, con un valor de p por permutación de 0.0002, también inferior a $\alpha = 0.05$ y presentó el mayor valor del estadístico $F = 69.53696$ y la mayor suma de cuadrados $SC = 2.27516$ entre los factores considerados en el modelo, lo que evidencia una mayor variabilidad asociada al nivel de torsión dentro del modelo factorial.

Por otro lado, la interacción entre el título del hilo y el nivel de torsión presentó un valor de p por permutación de 0.0622, superior al nivel de significancia establecido, por lo que no se encontró evidencia estadísticamente significativa de que el efecto del título del hilo sobre el grado de pilling varíe según el nivel de torsión aplicado.

DECISIÓN

De acuerdo con la regla de decisión establecida, se rechaza la hipótesis nula para el título del hilo y el nivel de torsión, debido a que sus valores de p por permutación son: 0.0008 y 0.0002 y son menores que 0.05, y se concluye que el título del hilo y el nivel de torsión presentan efectos estadísticamente significativos sobre el grado de pilling.

En cuanto a la interacción entre el título del hilo y el nivel de torsión, no se rechaza la hipótesis nula, debido a que el valor de p por permutación es 0.0622 y fue mayor que 0.05, por tanto, no se evidencia un efecto estadísticamente significativo de la interacción entre ambos factores.

Tabla 22: *Tamaño del efecto de los factores sobre el grado de pilling*

	SC	**η^2**	**η^2 parcial**
Título del hilo	0.315963	0.1053	0.6442
Nivel de torsión	2.275163	0.7584	0.9288
Título × Nivel de torsión	0.234263	0.0781	0.5731

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 22 se observa que el nivel de torsión presentó el mayor tamaño de efecto con un η^2 de 0.7584 y un η^2 parcial de 0.9288, mientras que el título del hilo presentó un η^2 de 0.1053 y un η^2 parcial de 0.6442, y estos resultados muestran que ambos factores presentan diferentes magnitudes de efecto sobre el grado de pilling, siendo mayor la magnitud del efecto del nivel de torsión en comparación con el título del hilo.

Por otro lado, la interacción entre el título del hilo y el nivel de torsión presentó un η^2 de 0.0781 y un η^2 parcial de 0.5731, estos resultados se interpretan con la significancia estadística obtenida mediante el análisis por permutaciones, y la interacción presentó un valor de $p = 0.0622$, superior al nivel de significancia establecido de $\alpha = 0.05$, por lo que no se encontró evidencia estadísticamente significativa de una interacción entre el título del hilo y el nivel de torsión.

DECISIÓN FINAL

De acuerdo con los resultados obtenidos, el título del hilo y el nivel de torsión presentaron efectos estadísticamente significativos sobre el grado de pilling, con valores de p por permutación de 0.0008 y 0.0002, respectivamente. Asimismo, el análisis del tamaño del efecto mostró que ambos factores presentan diferentes magnitudes de efecto, siendo mayor la correspondiente al nivel de torsión, con un $\eta^2 = 0.7584$ y un η^2 parcial = 0.9288, a diferencia del título del hilo, que presentó un $\eta^2 = 0.1053$ y un η^2 parcial = 0.6442. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que el título del hilo y el nivel de torsión presentan diferentes magnitudes de influencia sobre la formación de pilling, siendo mayor la influencia del nivel de torsión.

4.2 DISCUSIÓN

4.2.1 DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados de la presente investigación muestran que tanto el título del hilo como el nivel de torsión influyen significativamente en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca. Según la Tabla 21, el título del hilo presentó un valor de $p = 0.0008$ y el nivel de torsión $p = 0.0002$, ambos inferiores a $\alpha = 0.05$. Asimismo, la Tabla 22 muestra que el nivel de torsión presentó una mayor magnitud de influencia ($\eta^2 = 0.7584$; η^2 parcial = 0.9288) en comparación con el título del hilo ($\eta^2 = 0.1053$; η^2 parcial = 0.6442). En consecuencia, el nivel de torsión constituye el factor con mayor influencia sobre la formación de pilling, mientras que el título del hilo también presenta una influencia significativa, aunque de menor magnitud. Por tanto, se confirma la hipótesis alterna y se establece que ambos parámetros influyen significativamente en la formación de pilling.

4.2.2 DISCUSIÓN ESPECÍFICA 1

De acuerdo con los resultados de la Tabla 13, el grado de pilling disminuyó a medida que aumentó el número de ciclos de abrasión. A los 125 ciclos las calificaciones estuvieron entre 4.5 y 5.0, mientras que a los 2000 ciclos se obtuvieron valores entre 3.0 y 4.5, debido a que en la escala de evaluación los valores bajos representan una mayor formación de pilling, se observa que la formación de pilling fue aumentando a medida que los tejidos fueron sometidos a un mayor número de ciclos de abrasión. Los resultados obtenidos se asemejan a lo reportado por Kazi (2021), que evaluó diferentes tejidos de punto mediante el ensayo Martindale y observó una disminución del grado de pilling a medida que aumentaron los ciclos de abrasión. De igual manera, Asanovic et al. (2022) observaron una disminución de las calificaciones de pilling en tejidos de punto tipo single jersey al incrementar los ciclos de abrasión.

Al finalizar los 2000 ciclos, también se encontraron diferencias en las calificaciones entre los tratamientos de cada título. Para el título 6 Nm la torsión de 200 turns/m presentó una calificación promedio de 4.25, mientras que las torsiones de 185 turns/m y 190 turns/m obtuvieron 3.25. En el titulo 8 Nm la mayor calificación fue en la torsión 230 turns/m, con 4.50, mientras que con 220 turns/m se obtuvo 3.50. Además, el título 10 Nm, la torsión de 255 turns/m alcanzó 4.50. Por último, en el titulo 12 Nm, la torsión de 280 turns/m también obtuvo 4.50 (Figuras 20 - 23). Al comparar los tratamientos dentro de cada título, los niveles de torsión más altos presentaron mejores calificaciones de pilling al finalizar el ensayo. Estos resultados

son similares a lo reportado por Elias et al. (2023), quienes encontraron diferencias en las calificaciones de pilling entre tejidos de punto elaborados con diferentes proporciones de poliéster y evaluados a distintos ciclos de abrasión. En este estudio, los tratamientos T12 (10 Nm–255 turns/m) y T16 (12 Nm–280 turns/m) alcanzaron una calificación promedio de 4.50 después de 2000 ciclos, mientras que T1 (6 Nm–185 turns/m) presentó 3.25 por lo que se evidencia diferencias en las calificaciones de pilling entre los tratamientos evaluados.

4.2.3 DISCUSIÓN ESPECÍFICA 2

Los resultados obtenidos evidenciaron que tanto el título del hilo como el nivel de torsión presentaron una influencia estadísticamente significativa sobre el grado de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca. Como se observa en la Tabla 21, el análisis por permutaciones obtuvo un valor de $p = 0.0008$ para el título del hilo y $p = 0.0002$ para el nivel de torsión, ambos inferiores al nivel de significancia de 0.05, estos resultados indican que los dos factores evaluados influyen significativamente en el grado de pilling. Este resultado coincide con lo reportado por Atalie y Ashagre (2022), quienes encontraron diferencias significativas en la resistencia al pilling asociadas con los parámetros del hilo, con un valor de $p = 0.039$ mediante el ensayo Martindale, esto respalda que las características del hilo pueden generar diferencias en el comportamiento del tejido frente al pilling.

En relación con el nivel de torsión, la Tabla 15 muestra que el grado promedio de pilling aumentó de 4.07 en el nivel 1 a 4.71 en el nivel 4. Asimismo, la Tabla 19 evidencia diferencias estadísticas entre los niveles, destacando el nivel 4 con la mayor media 4.706 del grupo “A”. Estos resultados coinciden con Ayele et al. (2021), quienes encontraron diferencias significativas entre los niveles de torsión evaluados $F = 21.2$ y una mejora de la resistencia al pilling al incrementar la torsión. Respecto al título del hilo, la Tabla 14 muestra un incremento del grado promedio de pilling de 4.22 a 4.47 entre los títulos de 6 y 12 Nm. La Tabla 18 evidencia diferencias entre los niveles, mientras que la Tabla 21 muestra una influencia estadísticamente significativa del título $p = 0.0008$, resultado coincidente con Uyanık y Nacarkahya (2024), quienes también encontraron diferencias significativas para este factor ($p < 0.001$). Por otro lado, Mustafa et al. (2022), encontraron que la influencia del título del hilo no fue significativa en todos los materiales evaluados, lo que evidencia que su comportamiento puede variar según el material y la estructura textil.

La comparación de la magnitud de los efectos se presenta en la Tabla 22, donde el nivel de torsión presentó un $\eta^2 = 0.7584$ y un η^2 parcial $= 0.9288$, mientras que el título del hilo presentó

un $\eta^2 = 0.1053$ y un η^2 parcial = 0.6442, estos resultados muestran que ambos factores influyeron en el grado de pilling, pero la magnitud de influencia del nivel de torsión fue mayor que la del título del hilo. Este resultado coincide con Hafsa et al. (2024) quienes determinaron que tanto el título del hilo como el multiplicador de torsión influyen en la resistencia al pilling de tejidos de punto. De acuerdo con las Tablas 20 y 21, se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que el título del hilo y el nivel de torsión presentan diferentes magnitudes de influencia sobre la formación de pilling.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se ha logrado analizar la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante el análisis por permutaciones, el título del hilo ($p = 0.0008$) y el nivel de torsión ($p = 0.0002$) presentaron un efecto estadísticamente significativo sobre el grado de pilling, debido a que ambos valores fueron inferiores al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). La interacción entre el título del hilo y el nivel de torsión no presentó significancia estadística ($p = 0.0622$). Asimismo, el nivel de torsión presentó una mayor magnitud de efecto ($\eta^2 = 0.7584$) en comparación con el título del hilo ($\eta^2 = 0.1053$), por lo que fue el factor con mayor influencia sobre la formación de pilling.

- Se ha determinado el grado de formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca mediante la prueba de abrasión en el equipo Martindale, observándose que la formación de pilling aumentó a medida que se incrementaron los ciclos de abrasión, evidenciado por la disminución progresiva de las calificaciones de pilling. A los 125 ciclos se obtuvieron calificaciones entre 4.5 y 5.0, mientras que a los 2000 ciclos los valores estuvieron entre 3.0 y 4.5. Para el título de hilo 6 Nm, los niveles de torsión 1, 2, 3 y 4 correspondieron a 185, 190, 195 y 200 turns/m, respectivamente, obteniéndose al finalizar el ensayo calificaciones promedio de 3.25, 3.25, 4.00 y 4.25. Para el título 8 Nm, los niveles de torsión 1, 2, 3 y 4 correspondieron a 215, 220, 225 y 230 turns/m, con calificaciones promedio finales de 3.50, 3.50, 4.25 y 4.50. Para el título 10 Nm, los niveles de torsión 1, 2, 3 y 4 correspondieron a 240, 245, 250 y 255 turns/m, alcanzando calificaciones promedio de 3.75, 4.00, 4.25 y 4.50, respectivamente. Finalmente, para el título 12 Nm, los niveles de torsión 1, 2, 3 y 4 correspondieron a 265, 270, 275 y 280 turns/m, obteniéndose calificaciones promedio finales de 3.75, 4.00, 4.25 y 4.50, respectivamente. La combinación del título 12 Nm con nivel de torsión 4 (280 turns/m) presentó la mayor calificación promedio de pilling, con 4.82 considerando las evaluaciones realizadas, mientras que la combinación de 6 Nm con nivel de torsión 1 (185 turns/m) presentó la menor, con un promedio de 3.82.

En conjunto, se observó que los títulos de hilo 10 y 12 Nm, principalmente combinados con los niveles de torsión 3 y 4, mantuvieron mejores calificaciones de pilling al finalizar los 2000 ciclos de abrasión, siendo significativos los efectos del título y del nivel de torsión sobre el grado de pilling ($p < 0.05$).

- Se ha logrado analizar los datos obtenidos mediante técnicas estadísticas para evaluar la magnitud de influencia del título del hilo y nivel de torsión en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, se observó una influencia estadísticamente significativa de ambos factores. El título del hilo presentó un $\eta^2 = 0.1053$, mientras que el nivel de torsión alcanzó un $\eta^2 = 0.7584$, lo que demuestra que la torsión presentó una mayor magnitud de influencia sobre la formación de pilling.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que, en la elaboración de tejidos de punto de alpaca destinados a prendas que requieren mayor resistencia al pilling, se consideren títulos de hilo altos y mayores niveles de torsión, debido a que estas condiciones presentaron mejores calificaciones de pilling en el ensayo de abrasión Martindale. Asimismo, se recomienda evaluar estos parámetros durante el desarrollo del hilo, con el propósito de seleccionar condiciones de hilatura que contribuyan a obtener tejidos con mejores características superficiales y mayor durabilidad.

- Se recomienda que, en futuras investigaciones, se amplíe la evaluación del comportamiento del pilling considerando un mayor número de ciclos de abrasión y diferentes periodos de evaluación, a fin de analizar con mayor detalle la evolución de la calificación del pilling durante el desgaste. Asimismo, se sugiere incorporar otras estructuras de tejido de punto y diferentes calidades o tipos de fibra de alpaca, con el propósito de determinar si el comportamiento observado se mantiene bajo distintas condiciones de fabricación y características de la materia prima. Además, se recomienda mantener limpias las máquinas utilizadas durante el proceso de elaboración del hilo y del tejido, con la finalidad de evitar la acumulación de fibras y residuos que puedan afectar el proceso y los resultados obtenidos.

- Se recomienda que futuras investigaciones consideren métodos estadísticos alternativos, como el análisis de varianza por permutaciones, cuando los datos experimentales no cumplan los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos por el ANOVA tradicional. Esto permitirá realizar una evaluación estadística acorde con las características de los datos obtenidos. Asimismo, se recomienda incrementar el número de réplicas experimentales y mantener un adecuado control de las condiciones de ensayo, con el propósito de mejorar la precisión de las estimaciones y fortalecer la capacidad para identificar diferencias entre los tratamientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Antonini, M. (2010). Hair follicle characteristics and fibre production in South American camelids. *Animal, 4*(9), 1460–1471. doi:10.1017/S1751731110001035.

Apaza, L. T., & Humpiri, M. (2020). Learning the tensile strength of industrial yarns in textile engineering students. *3*, 49–58.

Arciniega, S. (2013). *Mejoramiento de la productividad en la hilatura manual de fibra alpaca en la comunidad de Morochos – Cuycocha – Cotacachi*.

Arizaca, P., & Calsin, B. (2023). Características productivas y tecnológicas de la fibra de alpacas Suri del Centro Experimental Chuquibambilla, Puno. *Revista de Investigaciones, 12*(4), 235–244. doi:10.26788/ri.v12i4.4870.

Artola, L. (2001). *Optimizacion de la gestión de la producción del tejido de punto*.

Asanovic, K., Ivanovska, A., Jankoska, M., Bukhonka, N., Mihailovic, T., & Kostic, M. (2022). Influence of pilling on the quality of flax single jersey knitted fabrics. doi:10.1177/15589250221091267.

Atalie, D., & Ashagre, G. (2022). Abrasion, pilling, and snagging properties of half-bleached bedsheet fabrics made from 100% cotton yarns with various parameters. *Journal of Natural Fibers, 19*(10), 3788–3796. doi:10.1080/15440478.2020.1848727.

Aucancela, B. (2015). *Caracterización de la fibra de Vicugna pacos (alpaca) de la parroquia San Juan, provincia de Chimborazo*.

Ayele, M., Merga, Y., Yilma, A., & Yilie, D. (2021). Effect of yarn twist on tensile strength, abrasion and pilling resistance of plain-woven cotton fabric. *Indian Journal of Fibre and Textile Research, 46*(3), 221–224. doi:10.56042/ijftr.v46i3.31718.

Barreda Alvarez, R. (2026). *Reutilización del desperdicio de lana de ovino en la fibra de alpaca y su influencia en la calidad del hilo*.

Bustinza, V., Machaca, V., Cano, V., & Quispe, J. (2021). Evolución y desarrollo de las razas de alpaca. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32*(5), e19876. doi:10.15381/rivep.v32i5.19876.

Cachay, A., Bellin, R., & Lupis, P. (2025). Innovación tecnológica Kipa en procesos de teñido de algodón reactivo alineados con las ODS en la empresa, para la producción de prendas artesanales. *Industrial Data, 27*(2), 33–49. doi:10.15381/idata.v27i2.26905.

Castellaro, G., González, B., Cartes, D., Garza, M., Pavez, N., & Raggi, L. (2025). Evaluación preliminar de las características de la fibra de alpacas (Vicugna pacos Linnaeus, 1758), criadas en tres localidades geográficas de Chile. Preliminary evaluation of the fiber characteristics of alpacas (Vicugna pacos Linnaeus, 1758) raised.

Cayambe Duchi, E. (2015). *Caracterización física de lana de los ovinos producidos en el cantón Colta*.

Cucas, Y. (2020). *Aplicación y análisis del uso de látex, resina y silicona en tejidos de lana 100% como un acabado anti-pilling*.

De la Cruz, L. (2010). *Rendimiento de fibra de alpaca productores en la provincia de Lucanas y Sucre – Región Ayacucho*.

Díaz, B., Larios, R. P., Hernández, W., Chávez, R., Gálvez, C. A., Condori, A., & Huanca, T. (2020). Diagnóstico del proceso artesanal de producción de hilo de fibra de alpaca en Puno, Perú. *Ingeniería Industrial*, (40), 145–169. doi:10.26439/ing.ind2021.n40.5149.

Elias, K., Rahman, M., & Hossain, H. (2023). Studying the effect of polyester fiber blend ratio and pilling cycle on blended knit fabrics. *Journal of Textile Science and Technology, 09*(04), 227–243. doi:10.4236/jtst.2023.94015.

Elmogahzy, Y. (2020). *Integrating the design and manufacture of textile products*.

Elmogahzy, Y. E. (2020). *Textile fabrics* (2nd ed.).

Evas, P. (2023). *Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de fibra e hilo de alpaca Suri (Vicugna pacos) de la Estación Experimental Añamoyocancha*.

Furferi, R., Governi, L., & Volpe, Y. (2015). Journal of Engineered Fibers and Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 10*(3), 79–93. doi:10.1177/155892501501000320.

Gil, A., & Saldaña, J. (s. f.). *Introducción a la ingeniería textil y confecciones*.

Guaz, E., & Avondet, V. (2025). *Tejido de punto industrial uruguayo*. Universidad de la

República Uruguay.

Hafsa, S., Hussain, T., Awais, H., & Ali, Z. (2024). Effects of yarn count and twist multiplier on the properties of knitted fabrics made from naturally colored sustainable cotton. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 19*. doi:10.1177/15589250241257312.

Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*.

Huayllani, F., Quispe, E., Quispe, C., Aliaga, J., Portugal, E., & Quispe, M. (2026). Comparison of three methods for the grading of alpaca fleece. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 37*(1), 1–15. doi:10.15381/rivep.v37i1.32889.

Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2016). *Análisis y diseño de experimentos* (2.ª ed.).

Inacal. (2023). *Requisitos de calidad de la fibra de alpaca*.

Instituto Textil Nacional, A. C. (2020). Características de las fibras textiles. *Iniciación en materiales, productos y procesos textiles*, 1–6. https://www.institutotextilnacional.com/2020/08/12/caracteristicas-de-las-fibras-textiles/

International Organization for Standardization. (1998). *ISO 8388:1998. Knitted fabrics — Types — Vocabulary*. Geneva.

International Organization for Standardization. (2004). *ISO standards are international agreed by experts*. Geneva.

International Organization for Standardization. (2020). *ISO 12945-2:2020. Textiles—Determination of fabric propensity to surface pilling, fuzzing or matting*.

Jaramillo, M. (2012). *Condiciones adecuadas para un mejor funcionamiento de telares Vamatex de cinta flexible para elaborar tejidos de rizo en la fábrica Textiles Mar y Sol*.

Kazi, E. (2021). Effect of pilling properties on different knit fabrics and recommendation for deciding pilling requirement.

Kertmen, N., & Yildirim, N. (2022). The effects of yarn count and hemp fiber blending ratios on yarn and fabric properties. *Deu Muhendislik Fakultesi Fen ve Muhendislik, 24*(72), 763–772. doi:10.21205/deufmd.2022247207.

Larios, R., Cárdenas, O., Rodriguez, F., Ccopa, J., Condori, A., Hernández, W., ... Galvez, C. (2023). Características textiles de la fibra de alpaca Huacaya, según zonas agroecológicas, sexo y edad en la región Puno (Perú). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 34*(2), e21356. doi:10.15381/rivep.v34i2.21356.

Lawrence, C. (2010). *Advances in yarn spinning technology*.

Lockuán, F. (2012a). II. Fibras textiles. *La industria textil y su control de calidad, 0.1*, 1–142.

Lockuán, F. (2012b). *III. Hilandería*.

Lockuán, F. (2012c). *IV. Tejeduría*.

Lockuán, F. (2012d). *VI. Ennoblecimiento textil* (Vol. 0.1).

Lupton, C., McColl, A., & Stobart, R. (2006). *Fiber characteristics of the Huacaya alpaca* (Vol. 64).

Machaca, V., Callonza, F., Paucara, V., Bustinza, V., Quispe, J., Machaca, R., ... Arias, K. (2021). Propiedades tecnológicas de la fibra de alpacas Huacaya blanca (Vicugna pacos) en la comunidad de Chapimarca, Apurímac - Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32*(4), e20928.

Mustafa, E., Malek, A. S., El Gholmy, S., El Geiheini, A., & El Kateb, S. (2022). A statistical prediction model for pilling grades of blended worsted fabrics based on fabric bending rigidity. *Alexandria Engineering Journal, 61*(12), 11615–11621. doi:10.1016/j.aej.2022.05.022.

Pacco, Z. (2024). *Comportamiento del extracto acuoso del molle (Schinus molle) durante el teñido de fibra de alpaca respecto al mordiente y tiempo de teñido*.

Pambaquishpe, L. (2017). *Evolución de los textiles ultra inteligentes o de tercera generación*.

Paucar, R., Alfonso, L., Soret, B., Mendoza, G., & Alvarado, F. (2019). Textile characteristics of fiber from Huacaya alpacas (Vicugna pacos). *Scientia Agropecuaria, 10*(3), 429–432. doi:10.17268/sci.agropecu.2019.03.14.

Presciuttini, S. (2010). Variación de vellón en alpaca (Vicugna pacos): Un modelo de dos locus para el fenotipo Suri/Huacaya. *BMC Genetics*, 1–39.

Quintanilla, R. (2020). *Tasa de medulación de fibra de alpaca (Vicugna pacos) mediante la comparación del medulómetro y el OFDA 100*.

Quispe, D., Castillo, P., Yana, W., Vilcanqui, H., & Apaza, E. (2024). Características textiles de la fibra de alpacas Suri de la Feria Ganadera del Sur del Perú. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, 40*(1), 178–189. doi:https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-17CTDE50017.

Quispe, E., Poma, A., & Purroy, A. (2013). Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza Huacaya. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias, 7*(1), 1–29. doi:10.5209/rev_rccv.2013.v7.n1.41413.

Quispe, J., Zúñiga, E., & Olarte, U. (2021). Physical characteristics and fibre diameter profile of Huacaya alpacas from La Raya Experimental Centre (Puno, Peru), according to age and sex. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32*(2), 1–11. doi:10.15381/rivep.v32i2.20004.

Rawal, A. (2023). Textile architecture for composite materials back to basics. *3*(September).

Roque, L., & Ormachea, E. (2018). Características productivas y textiles de la fibra en alpacas Huacaya de Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 29*(4), 1325–1334. doi:http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v19i4.14117

Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa. (2020). *Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental*. Lima: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

Sole, A. (2014). *El pilling en los artículos textiles* (Vol. 3).

Uyanık, S., & Nacarkahya, T. (2024). Evaluation of the bursting strength and pilling properties of knitted fabrics produced from recycled yarns with cotton hard waste. *Journal of Testing and Evaluation, 52*(5), 1–13. doi:10.1520/JTE20230376.

Wang, L., & Qian, X. (2018). *Pilling-resistant knitwear*.

Wang, R., & Xiao, Q. (2020). Study on pilling performance of polyester-cotton blended woven fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 15*, 399.

doi:10.1177/1558925020966665.

Wang, X., Wang, L., & Liu, X. (2003). *The quality and processing performance of alpaca fibres* (Vol. 3).

ANEXOS

Anexo 1. *Instrumento de recolección de datos para el grado de pilling*

	RECOLECCION DE DATOS PARA EL PILLING
LUGAR DE EJECUCION	
LABORATORIO Y/O TALLER	

MUESTRA						**GRADO**								
CÓDIGO DE MUESTRA	TÍTULO	CÓDIGO DE HILO	TORSIÓN	NIVEL DE TORSIÓN	CICLOS	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
M1				1	125									
M2				2	500									
M3				3	1000									
M4				4	2000									
RÉPLICA						**GRADO**								
CÓDIGO DE MUESTRA	TÍTULO	CÓDIGO DE HILO	TORSIÓN	NIVEL DE TORSIÓN	CICLOS	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
M1				1	125									
M2				2	500									
M3				3	1000									
M4				4	2000									

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 2. *Base de datos para el análisis en RStudio*

Tratamiento	Código	Titulo	N. de Torsión	Torsión	Replica	Pilling
T1	6/1	6	1	185	1	3.75
T1	6/1	6	1	185	2	3.88
T2	6/2	6	2	190	1	4.00
T2	6/2	6	2	190	2	4.13
T3	6/3	6	3	195	1	4.38
T3	6/3	6	3	195	2	4.38
T4	6/4	6	4	200	1	4.63
T4	6/4	6	4	200	2	4.63
T5	8/1	8	1	215	1	4.13
T5	8/1	8	1	215	2	4.13
T6	8/2	8	2	220	1	4.00
T6	8/2	8	2	220	2	3.75
T7	8/3	8	3	225	1	4.50
T7	8/3	8	3	225	2	4.63
T8	8/4	8	4	230	1	4.75
T8	8/4	8	4	230	2	4.63
T9	10/1	10	1	240	1	4.00
T9	10/1	10	1	240	2	4.25
T10	10/2	10	2	245	1	4.25
T10	10/2	10	2	245	2	4.38
T11	10/3	10	3	250	1	4.75
T11	10/3	10	3	250	2	4.50
T12	10/4	10	4	255	1	4.75
T12	10/4	10	4	255	2	4.63
T13	12/1	12	1	265	1	4.25
T13	12/1	12	1	265	2	4.13
T14	12/2	12	2	270	1	4.25
T14	12/2	12	2	270	2	4.38
T15	12/3	12	3	275	1	4.50
T15	12/3	12	3	275	2	4.63
T16	12/4	12	4	280	1	4.75
T16	12/4	12	4	280	2	4.88

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 3. *Ficha de validación del instrumento*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
JUICIO DE EXPERTOS

III. DATOS GENERALES

1.1.	**APELLIDOS Y NOMBRES**	:	Coila Zela, Carmen Abemay
1.2.	**GRADO ACADÉMICO**	:	Ingeniero Textil y de Confecciones
1.3.	**CARGO E INSTITUCIÓN DONDE LABORA**	:	Especialista en tejido industrial e hilado industrial- CITE Textil Camélidos Puno
1.4.	**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**	:	Influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos punto de alpaca, Juliaca-2024
1.5.	**AUTOR DEL INSTRUMENTO**	:	Bach. Julissa Veronica Chambi Roca
1.6.	**MENCIÓN**	:	
1,7.	**NOMBRE DEL INSTRUMENTO**	:	Ficha de registro
1.8.	**CRITERIOS DE APLICABILIDAD**	:	Ficha de registro de parámetros del hilado (título y torsión).

a) De 01 a 09 (no valido, formular)
b) De 10 a 12: (no valido, modificar)
c) De 12 a 15: (valido, mejorar)
d) De 15 a 18: (valido, precisar)
e) De 18 a 20: (valido, aplicar)

IV. ASPECTOS A EVALUAR

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIO DE EVALUACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA	Deficiente (01-09)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy Bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					X
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables					X
ACTUALIDAD	Adecuado el avance de la ciencia y la tecnología				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar los aspectos de estudios				X	
CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos-científicos del tema de estudio					X
COHERENCIA	Entre la variable, indicadores y las dimensiones					X
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio					X
CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas para la investigación					X
SUB TOTAL					16	30
TOTAL					46	

valoración cuantitativa (total x 0.4) : 18.4
valoración cualitativa : Excelente
opinión de aplicabilidad : Aplicable

Juliaca, 29 de julio del 2026

Firma y post firma del experto
DNI: 48278539

Anexo 4. *Ficha de validación del instrumento*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

1.1.	**APELLIDOS Y NOMBRES**	:	Mamani Cutipa Lidia
1.2.	**GRADO ACADÉMICO**	:	Administración de empresas
1.3.	**CARGO E INSTITUCIÓN DONDE LABORA**	:	Especialista en clasificación de fibra e Hilatura - CITE Textil Camélidos Puno
1.4.	**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**	:	Influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos punto de alpaca, Juliaca-2024
1.5.	**AUTOR DEL INSTRUMENTO**	:	Bach. Julissa Veronica Chambi Roca
1.6.	**MENCIÓN**	:	
1,7.	**NOMBRE DEL INSTRUMENTO**	:	Ficha de registro
1.8.	**CRITERIOS DE APLICABILIDAD**	:	Ficha de registro de parámetros del hilado (título y torsión).

a) De 01 a 09 (no valido, formular)
b) De 10 a 12: (no valido, modificar)
c) De 12 a 15: (valido, mejorar)
d) De 15 a 18: (valido, precisar)
e) De 18 a 20: (valido, aplicar)

II. ASPECTOS A EVALUAR

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIO DE EVALUACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA	Deficiente (01-09)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy Bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables					X
ACTUALIDAD	Adecuado el avance de la ciencia y la tecnología				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar los aspectos de estudios				X	
CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos-científicos del tema de estudio					X
COHERENCIA	Entre la variable, indicadores y las dimensiones					X
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				X	
CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas para la investigación					X
SUB TOTAL					24	20
TOTAL					44	

valoración cuantitativa (total x 0.4) : 17.6
valoración cualitativa : Bueno
opinión de aplicabilidad : Válido

Juliaca, 07 de agosto del 2026

Srta. Lidia Mamani Cutipa
Especialista en categorización y clasificación de fibra de alpaca
CITE Textil Camélidos - Puno
Instituto Tecnológico de la producción
Firma y post firma del experto
DNI: 70079921

Anexo 5. *Ficha de validación del instrumento*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

1.1.	**APELLIDOS Y NOMBRES**	:	Coila Zela, Carmen Abemay
1.2.	**GRADO ACADÉMICO**	:	Ingeniero Textil y de Confecciones
1.3.	**CARGO E INSTITUCIÓN DONDE LABORA**	:	Especialista en tejido industrial e hilado industrial- CITE Textil Camélidos Puno
1.4.	**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**	:	Influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos punto de alpaca, Juliaca-2024
1.5.	**AUTOR DEL INSTRUMENTO**	:	Bach. Julissa Veronica Chambi Roca
1.6.	**MENCIÓN**	:	
1,7.	**NOMBRE DEL INSTRUMENTO**	:	Ficha de registro
1.8.	**CRITERIOS DE APLICABILIDAD**	:	Ficha para el registro de datos de la prueba de abrasión al pilling en el equipo Martindale.

a) De 01 a 09 (no valido, formular)
b) De 10 a 12: (no valido, modificar)
c) De 12 a 15: (valido, mejorar)
d) De 15 a 18: (valido, precisar)
e) De 18 a 20: (valido, aplicar)

II. ASPECTOS A EVALUAR

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIO DE EVALUACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA	Deficiente (01-09)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy Bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					X
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables					X
ACTUALIDAD	Adecuado el avance de la ciencia y la tecnología				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar los aspectos de estudios				X	
CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos-científicos del tema de estudio					X
COHERENCIA	Entre la variable, indicadores y las dimensiones					X
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio					X
CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas para la investigación					X
SUB TOTAL					12	35
TOTAL					47	

valoración cuantitativa (total x 0.4) : 18.8
valoración cualitativa : Excelente
opinión de aplicabilidad : Aplicable

Juliaca, 29 de julio del 2026

Firma y post firma del experto
DNI: 48278539

Anexo 6. *Ficha de validación del instrumento*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
JUICIO DE EXPERTOS

III. DATOS GENERALES

1.1.	**APELLIDOS Y NOMBRES**	:	Mamani Cutipa Lidia
1.2.	**GRADO ACADÉMICO**	:	Administración de empresas
1.3.	**CARGO E INSTITUCIÓN DONDE LABORA**	:	Especialista en clasificación de fibra e Hilatura - CITE Textil Camélidos Puno
1.4.	**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**	:	Influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos punto de alpaca, Juliaca-2024
1.5.	**AUTOR DEL INSTRUMENTO**	:	Bach. Julissa Veronica Chambi Roca
1.6.	**MENCIÓN**	:	
1,7.	**NOMBRE DEL INSTRUMENTO**	:	Ficha de registro
1.8.	**CRITERIOS DE APLICABILIDAD**	:	Ficha para el registro de datos de la prueba de abrasión al pilling en el equipo Martindale.

a) De 01 a 09 (no valido, formular)
b) De 10 a 12: (no valido, modificar)
c) De 12 a 15: (valido, mejorar)
d) De 15 a 18: (valido, precisar)
e) De 18 a 20: (valido, aplicar)

IV. ASPECTOS A EVALUAR

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIO DE EVALUACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA	Deficiente (01-09)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy Bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables				X	
ACTUALIDAD	Adecuado el avance de la ciencia y la tecnología					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar los aspectos de estudios				X	
CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos-científicos del tema de estudio					X
COHERENCIA	Entre la variable, indicadores y las dimensiones				X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio					X
CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas para la investigación					X
SUB TOTAL					20	25
TOTAL					45	

valoración cuantitativa (total x 0.4) : 18.0
valoración cualitativa : Muy bueno
opinión de aplicabilidad : Aplicar

Juliaca, 07 de agosto del 2026

Srta. Lidia Mamani Cutipa
Especialista en categorización y clasificación de fibra de alpaca
CITE Textil Camélidos - Puno
Instituto Tecnológico de la producción
Firma y post firma del experto
DNI: 70019921

Anexo 7. *Constancia de realización de la tesis en los laboratorios y talleres de EPITyC*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
E. P. INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES
Universidad Pública de Calidad

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE; RESPONSABLE DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA.

HACE CONSTAR QUE:

JULISSA VERONICA CHAMBI ROCA

Ha realizado pruebas experimentales en los Talleres de lavado de fibras, cardado, hilado, tejido punto y laboratorio de resistencia de materiales textiles de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones, para el trabajo de tesis denominado: ***"INFLUENCIA DE LA TORSIÓN Y DE LOS DIFERENTES TÍTULOS DE HILO EN LA FORMACIÓN DE PILLING EN TEJIDOS PUNTO DE ALPACA, JULIACA - 2024".***

Se expide la presente para los fines que estime pertinente.

Juliaca, 02 de octubre de 2025.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Dr. Mg. Jesús Arias Escobar
E.P. INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES
RESPONSABLE

C.c. Archivo 2025
JAE/mmvs.

Anexo 8. *Diagrama de flujo del proceso de transformación de la fibra a hilo y tejido*

Clasificado

Escarmenado

Pesado de la fibra para el lavado

Lavado

Centrifugado

Secado

Aperturado manual

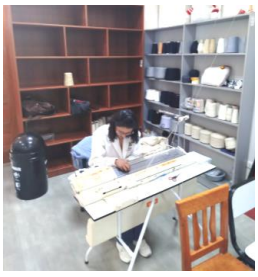
Cardado

Peinado

Hilado

Hilo

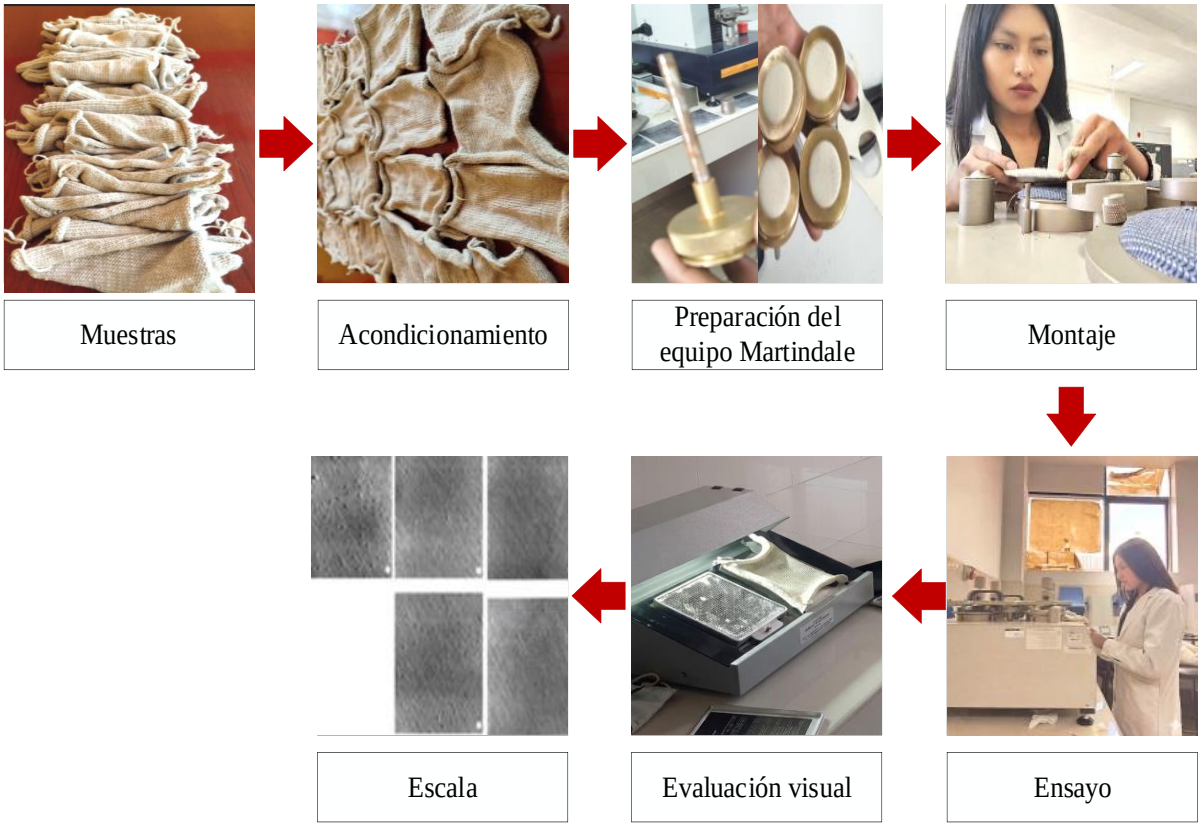
Enconado



Tejido punto (jersey)

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 9. *Diagrama de flujo del proceso de evaluación al pilling*



FUENTE: Elaboración propia

Anexo 10. *Matriz de consistencia*

INFLUENCIA DE LA TORSIÓN Y DE LOS DIFERENTES TÍTULOS DE HILO EN LA FORMACIÓN DE PILLING EN TEJIDOS DE PUNTO ELABORADOS CON FIBRA DE ALPACA, JULIACA-2024

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	**OBJETIVO GENERAL**	**HIPÓTESIS GENERAL**				**TIPO DE INVESTIGACIÓN**
¿Cómo influye la torsión y los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca?	Analizar la influencia de la torsión y de los diferentes títulos de hilo en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.	La torsión y el título del hilo influyen significativamente en la formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.	**VARIABLE INDEPENDIENTE**	Cantidad de giros por metro	Torsiones por metro (TPM)	Según propósito Aplicada **NIVEL DE INVESTIGACIÓN** Explicativo
PROBLEMAS ESPECÍFICAS	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**	Torsión del hilo			**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**
¿Cuál es el grado de formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca con diferentes torsiones y títulos, determinado mediante la prueba de abrasión en el equipo Martindale?	Determinar el grado de formación de pilling en tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca con diferentes torsiones y títulos, mediante la prueba de abrasión en el equipo Martindale.	Los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, con diferentes torsiones y títulos presentan diferentes grados de pilling durante la prueba de abrasión en el equipo Martindale.	Título del hilo	Grosor o finura del hilo	Longitud en metros por gramo de hilo (Nm)	Diseño Experimental **POBLACIÓN** tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca
¿Cuál es la magnitud de la influencia del título del hilo y del nivel de torsión en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca, según los análisis estadísticos?	Analizar los datos obtenidos mediante técnicas estadísticas para evaluar la magnitud de influencia del título del hilo y nivel de torsión en la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.	El título del hilo y el nivel de torsión presentan diferentes magnitudes de influencia sobre la formación de pilling en los tejidos de punto elaborados con fibra de alpaca.	**VARIABLE DEPENDIENTE** Formación de pilling	Prueba de pilling	Escala de pilling (grado) (1 - 5)	**MUESTRA** 32 unidades experimentales **TÉCNICA** Observacional Experimental **INSTRUMENTO** Ficha de registros

FUENTE: Elaboración propia