UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA TEXTIL

TEMA:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN TEJIDOS PLANOS DE POLIÉSTER RECICLADO RPET Y POLIÉSTER PES"

AUTORA: Cahuasquí Terán Shierley Dayane

DIRECTOR: MSc. Herrera Villarreal Wilson Adrián

Ibarra-Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art.144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cahuasquí Terán Shierley Dayane

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis comparativo de la resistencia a la tracción en tejidos planos de poliéster reciclados RPET y poliéster PES”
AUTOR:	Cahuasquí Terán Shierley Dayane
FECHA:	27 de mayo del 2026
PROGRAMA:	Grado ■ Posgrado ☐
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Textil
DIRECTOR:	MSc. Herrera Villarreal Wilson Adrián

2. CONSTANCIA

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

Ibarra, a los 27 días del mes de mayo de 2026.

Autor (a):



Firma: .....

Nombre: Cahuasquí Terán Shierley Dayane

C.I. 0401859491

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, a los 27 días del mes de mayo del 2026.

MSc. Herrera Villarreal Wilson Adrián

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
WILSON ADRIAN
HERRERA VILLARREAL

(f): ----------

MSc. Herrera Villarreal Wilson Adrián

C.C.: 1002868048

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del Trabajo de Integración Curricular "Análisis comparativo de la resistencia a la tracción en tejidos planos de poliéster reciclados RPET y poliéster PES", elaborado por Cahuasquí Terán Shierley Dayane, previo a la obtención de título de Ingeniera Textil, aprueba el siguiente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
WILSON ADRIAN
HERRERA VILLARREAL

(f): ----------

Director

MSc. Herrera Villarreal Wilson Adrián

C.C.: 1002868048

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DARWIN JOSE ESPARZA
ENCALADA

(f): ----------

Asesor

MSc. Esparza Encalada Darwin José

C.C.: 1001584570

DEDICATORIA

Este proyecto le dedico a mis padres ***Segundo Cahuasquí y Rosa Elena Terán*** *quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo y perseverancia, gracias a su apoyo durante mi vida tanto académica como personal y también por creer en mí y enseñarme que los sueños si se alcanzan con dedicación.*

Este logro no es solo mío, sino tambien de ustedes porque sin su guía y sacrificio nada de esto habría sido posible.

Shierley Cahuasquí

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi vida. Gracias por darme la salud y la fé que fueron muy fundamentales en esta etapa para poder culminar mis estudios. De igual manera, agradezco a mis padres y hermanas por estar siempre presentes dándome ánimo y apoyo en cada paso del camino.

A cada uno de mis docentes, quienes con su conocimiento y dedicación me han orientado durante el desarrollo de este trabajo ,y finalmete a mis amigos por compartir conmigo momentos de esfuerzo y alegría durante este proceso.

Shierley Cahuasquí

RESUMEN

En la actualidad, la industria textil enfrenta un problema global asociado al uso masivo de tejidos poliméricos, los cuales contribuyen significativamente a la contaminación por plásticos y el cambio climático. Frente a esta problemática diversas instituciones han impulsado estrategias de reciclaje especialmente mediante la recolección de PET, que a través de procesos químicos y térmicos puede transformarse en fibras y posteriormente en hilos de poliéster reciclado. Sin embargo, una de las principales limitaciones para su implementación industrial es la falta de información técnica confiable sobre su comportamiento mecánico y su resistencia para diferentes aplicaciones textiles. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar y comparar la resistencia a la tracción del poliéster convencional, el poliéster reciclado en crudo y el poliéster reciclado blanqueado, con el fin de evaluar su viabilidad como materiales sustitutos dentro de la industria textil, para el cual se aplicó la norma ISO 13934-2, que permite determinar la fuerza máxima de tracción mediante el método de agarre.

Los resultados obtenidos evidencian que, en el sentido de la urdimbre el material con mayor resistencia fue el poliéster reciclado en crudo alcanzando un valor de 1661 85 N, superando al poliéster convencional y al reciclado blanqueado. En el sentido de la trama la mayor resistencia correspondió al poliéster convencional con 1481,84 N. En cuanto a la de elongación máxima antes de la rotura el poliéster reciclado blanqueado presentó la mayor capacidad de deformación longitudinal con 47.62%, mientras que en el sentido transversal el poliéster convencional alcanzó la mayor elongación de 58.61%.

Palabras clave: poliéster convencional, análisis , resistencia, poliéster reciclado.

ABSTRACT

Currently, the textile industry faces a global problem associated with the massive use of polymeric fabrics, which contribute significantly to plastic pollution and climate change. In response to this problem, various institutions have promoted recycling strategies, particularly through the collection of PET, which can be transformed into fibers and then into recycled polyester yarns through chemical and thermal processes. However, one of the main limitations to its industrial implementation is the lack of reliable technical information on its mechanical behavior and resistance for different textile applications. In this context, the present study aimed to analyze and compare the tensile strength of conventional polyester, raw recycled polyester, and bleached recycled polyester in order to evaluate their viability as substitute materials within the textile industry. To this end, ISO 13934-2 was applied, which allows the maximum tensile strength to be determined using the grip method.

The results obtained show that, in the warp direction, the material with the highest strength was raw recycled polyester, reaching a value of 1661.85 N, surpassing conventional polyester and bleached recycled polyester. In the weft direction, the highest strength corresponded to conventional polyester with 1481.84 N. In terms of maximum elongation before breakage, bleached recycled polyester had the highest longitudinal deformation capacity with 47.62%, while in the transverse direction, conventional polyester achieved the highest elongation of 58.61%.

These results allow us to conclude that recycled polyester, both raw and bleached, has competitive mechanical performance and is superior to conventional polyester in several aspects, which supports its potential as a sustainable alternative in textile applications.

Keywords: conventional polyester, analysis, resistance, recycled polyester

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I **17**

1. INTRODUCCIÓN **17**

1.1 Problema de investigación **17**

1.2 Objetivos **18**

1.2.1 Objetivo general **18**

1.2.2 Objetivos específicos **18**

1.3 Formulación del problema de investigación **18**

1.4 Justificación **19**

1.5 Características del sitio del proyecto **21**

CAPÍTULO II **22**

2. MARCO TEÓRICO **22**

2.1 Antecedentes **22**

2.2 Bases teóricas **23**

2.2.1 Propiedades mecánicas de textiles de poliéster reciclado 23

2.2.2 Poliéster convencional 24

2.2.3 Poliéster reciclado (RPET) 24

2.3 Marco legal **29**

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador 29

2.3.2 Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente 30

2.3.3 Ley Orgánica para la Racionalización, Reducción de Plásticos de un Solo Uso 30

2.4 Marco Conceptual.....31

2.4.1 Tejido Plano 31

2.4.2 Tejido de Poliéster 33

2.4.3 Tejido de poliéster reciclado 34

2.4.4 Resistencia a la tracción.....36

CAPÍTULO III.....37

3. METODOLOGÍA 37

3.1. Enfoque de investigación 37

3.2. Tipos de investigación.....37

3.2.1. Investigación bibliográfica.....38

3.2.2. Investigación analítica.....38

3.2.3. Investigación comparativa.....39

3.3. Normas 40

3.3.1. ISO 13934-2 Determinación de la fuerza máxima por el método del agarre.....40

3.3.2. Principales aspectos técnicos de la norma.....40

3.4. Flujogramas 41

3.4.1 Flujograma general.....42

3.4.2 Flujograma muestral.....42

3.5 Equipos y Materiales.....44

3.5.1 Equipos de laboratorio....44

3.6 Material....46

3.6.1 Caracterización de las telas de RPET Y PES....46

3.7 Procedimiento....47

3.7.1 Preparación de las muestras de RPET Y PES....47

3.7.2 Prueba de resistencia a la tracción de los tejidos....48

CAPÍTULO IV....50

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS....50

4.1 Resultados....50

4.1.1 Resistencia a la tracción....50

4.2 Análisis de resultados....55

4.2.1 Normalidad de datos....57

4.2.2 Análisis de la varianza....59

4.3 Análisis gráfico....62

4.3.1 Representación gráfica: Fuerza Máxima....62

4.3.2 Representación gráfica: Elongación....64

CAPÍTULO V....69

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....69

5.1 Conclusiones....69

5.2 Recomendaciones....70

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72

ANEXOS.....78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades mecánicas del poliéster reciclado (RPET).....28

Tabla 2 Caracterización del tejido PES 100% 46

Tabla 3 Caracterización del tejido RPET CRUDO 100%.....47

Tabla 5 Ficha informativa para la evaluación de la resistencia a la tracción.....50

Tabla 6 Resistencia a la tracción longitudinal PES 100%.....51

Tabla 7 Resistencia a la tracción transversal PES 100%.....52

Tabla 8 Resultados evaluación de la resistencia a la tracción longitudinal RPET 100% crudo...52

Tabla 9 Resultados evaluación de la resistencia a la tracción transversal RPET 100% crudo.....53

Tabla 10 Resultados evaluación resistencia a la tracción longitudinal RPET 100% BLANQUEADO.....54

Tabla 11 Resultados evaluación resistencia a la tracción transversal RPET 100% BLANQUEADO.....54

Tabla 12 Tabla general de resultados 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Universidad Técnica del Norte 21

Figura 2 Tejido plano 32

Figura 3 Proceso de producción de PET 35

Figura 4 Tejido de poliéster reciclado 36

Figura 5 Flujograma general 42

Figura 6 Flujograma muestral 43

Figura 7 Dinamómetro Titan 5 James Heal 45

Figura 8 Resistencia a la tracción 49

Figura 9 Distribución normal PES CONVENCIONAL 100% 58

Figura 10 Distribución normal RPET CRUDO 58

Figura 11 Distribución normal del RPET Blanqueado 59

Figura 12 Análisis de la varianza: PES 100% 60

Figura 13 Análisis de la varianza: RPET CRUDO 61

Figura 14 Análisis de la varianza: RPET Blanqueado 62

Figura 15 Grafico de Box plot de la fuerza máxima 63

Figura 16 Gráfico Box plot de la elongación 64

Figura 17 Variación porcentual de la fuerza respecto al PES 66

Figura 18 Variación porcentual de la elongación respecto al PES 67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Caracterización de las muestras.....78

Anexo 2 Ensayos en el dinamómetro.....79

Anexo 3 Muestras después de ensayo.....80

Anexo 4 Equipos de Laboratorio.....80

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

El uso de materiales reciclados en la industria textil es cada vez más importante por su aporte a la sostenibilidad y a la reducción del impacto ambiental. El reciclaje de botellas PET y otros derivados del petróleo permite transformar residuos en nuevas fibras, apoyando la economía circular. Estas fibras pueden mantener propiedades similares a las convencionales, aunque aún existen desafíos en los procesos de reciclaje y calidad.

Los tejidos planos elaborados a partir del polietileno tereftalato reciclado (RPET) y poliéster convencional (PES) se proponen como alternativas viables frente a los materiales convencionales. Sin embargo, aspectos como su resistencia mecánica específicamente en términos de su resistencia a la tracción, pueden resultar inconveniente para los procesos industriales (He et al., 2014).

El aspecto de resistencia en los tejidos planos representa un parámetro muy importante dentro de la industria textil, ya que estos tipos de tejidos deben cumplir parámetros técnicos de acuerdo a su uso. No obstante, existe una limitación en cuanto a estudios realizados acerca del comportamiento de los tejidos de poliéster reciclados en comparación con el poliéster convencional. Además, no es fácil acceder a una información referente al proceso de fabricación y tratamiento qué se les da a los hilos elaborados de estos dos materiales de estudio.

En base con lo anterior, el objetivo de este estudio es realizar un análisis de la resistencia a la tracción de los tejidos planos fabricados con hilos de RPET y PES, para ello, se llevó a cabo una investigación bibliográfica acerca del comportamiento de estos materiales tanto de manera individual como de un análisis comparativo entre sí. Posteriormente, se desarrolló ensayos

experimentales de la resistencia a la tracción de acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma ISO 13934-2, con el fin de determinar sus propiedades mecánicas.

Una vez obtenido los resultados de experimentales, se aplica un análisis estadístico que permite establecer una comparación entre el desempeño de los tejidos de elaborados con cada material. Finalmente, los hallazgos obtenidos constituyen un soporte técnico para emitir criterios sobre la factibilidad del empleo de RPET como alternativa al PES en la fabricación de tejidos planos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de la resistencia a la tracción en tejidos planos de poliéster reciclados RPET y poliéster PES.

1.2.2 Objetivos específicos

- Adquirir y caracterizar los tejidos de poliéster y poliéster reciclado asegurando su equivalencia en sus propiedades físicas que permitan comparaciones precisas en el estudio de resistencia a la tracción.
- Realizar pruebas de resistencia a la tracción mediante la norma ISO 13934-2 (Determinación de la fuerza máxima por el método del agarre) haciendo uso de los equipos de laboratorio a los tejidos caracterizados.
- Analizar y comparar los resultados de las pruebas de resistencia a la tracción de los tejidos de poliéster y poliéster reciclado mediante herramientas estadísticas.

1.3 Formulación del problema de investigación

El sector textil está incrementando su apuesta por materiales reciclados, una tendencia que surge como respuesta contundente a la necesidad imperiosa de atenuar la huella ecológica y de

adoptar procesos de fabricación más sostenibles. Dentro de las alternativas sostenibles disponibles en la industria textil, el poliéster reciclado (RPET), obtenido a partir de reprocesamiento de las botellas de tereftalato de polietileno (PET), se presenta como una opción con potencial para sustituir al poliéster convencional (PES).

Uno de los principales inconvenientes para su uso radica en la limitada información técnica comparativa que permita evaluar su desempeño frente al PES. Esto a su vez dificulta su incorporación en procesos industriales que exigen materiales con adecuada resistencia mecánica y estabilidad dimensional. En este contexto, el sector textil demanda estudios experimentales que respalden la viabilidad del RPET tanto en aplicaciones de uso cotidiano como en productos de carácter industrial, garantizando que no afecten la calidad ni la durabilidad del tejido.

A partir de esta problemática, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la diferencia en la resistencia a la tracción entre los tejidos planos elaborados con poliéster reciclado (RPET) y poliéster convencional (PES)?

El estudio se delimito a la evaluación de la resistencia a la tracción en tejidos planos de PES y RPET (crudo y blanqueado), aplicando los procedimientos establecidos en la norma ISO 13934-2:2014. Las muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorio bajo condiciones controladas, utilizando un dinamómetro universal para determinar la fuerza máxima y la elongación al momento de la rotura. Posteriormente, los resultados obtenidos se procesaron mediante análisis estadístico, con el fin de comparar y establecer diferencias significativas en las propiedades mecánicas de ambos materiales.

1.4 Justificación

El emplear materiales reciclados en la industria textil se ha vuelto muy importante debido a los desafíos ambientales en aumento y a la necesidad de adoptar prácticas sustentables. El

poliéster reciclado RPET destaca como uno de los materiales más prometedores en este ámbito, ya que contribuye a disminuir la dependencia de recursos no renovables y reduce la huella de carbón en la producción textil (Guevara et al., 2017).

Aunque el poliéster reciclado (RPET) comparte diversas propiedades con el poliéster convencional (PES), todavía existen dudas con respecto a su comportamiento mecánico, principalmente con la resistencia a la tracción, con el cual se puede definir si durabilidad y desempeño funcional (Yuksekkaya et al., 2016). Según Yadav et al. (2023), ambos materiales comparten características térmicas a pesar de su diferencia en la flexibilidad el cual podria influir en comportamientos como la formacion de arrugas y resistencia al desgarro.

Frente a ello, el presente estudio buscar reducir la falta de información existente con respecto al analisis comparativo de las resistecnia a la tracción en tejidos planos elaborados con RPET y PES. Se busca evaluar de qué manera las propiedades mecánicas de ambos materiales influyen en aplicaciones textiles, aportando evidencia técnica que respalde la toma de desiciones en la industria. Asimismo, la investigación permitirá identificar con mayor precisión las ventajas y limitaciones asociadas al empleo de RPET en comparación con el poliéster convencional. Esto facilitara una valoración más objetiva sobre su posible implementación a escala industrial, considerando criterios de calidad, rendimiento y sostenibilidad.

Desde la perspectiva de la ingeniería textil, este análisis es necesario, ya que contribuye al desarrollo del conocimiento técnico sobre el comportamiento del RPET y fortalece la transición hacia alternativas más sostenibles sin descuidar el desempeño mecánico. Por otro lado, desde una perspectiva académica, se ampliará la comprensión actual sobre el comportamiento mecánico de los materiales reciclados; lo cual dará lugar a nuevas oportunidades de investigación en los ámbitos de la ingeniería textil y la sustentabilidad.

1.5 Características del sitio del proyecto

El proyecto se llevará a cabo en las instalaciones de la Carrera de Textiles de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, Ecuador. Este lugar cuenta con laboratorios especializados que están equipados con los recursos y equipos necesarios para realizar pruebas de resistencia a la tracción conforme a la norma ISO 13934-2.

El laboratorio textil está dotado de dinamómetros de precisión, que permiten medir las propiedades mecánicas de los tejidos planos de manera precisa y confiable. Asimismo, se dispone de equipos auxiliares para la caracterización de las muestras.

El entorno donde se está llevando a cabo esta investigación, es óptimo debido al enfoque de la Carrera de Textiles en la implementación de tecnologías avanzadas y sustentables en la industria textil. Además, el laboratorio se encuentra situado estratégicamente en una zona accesible (coordenadas 0.,3782531210228751 -78.,12389737777924), lo que facilita la llegada de investigadores, profesores y estudiantes interesados en temas relacionados con la sustentabilidad y la innovación en el ámbito textil.

Figura 1

Ubicación de la Universidad Técnica del Norte



La figura muestra en coordenadas la ubicación de la Universidad écnica del Norte, donde se encuentra las máquinas para los respectivos ensayos a realizarse. Fuente: (Maps, 2023).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El análisis del comportamiento mecánico del RPET reciclado en comparación al PES convencional ha sido objeto de varios estudios en los últimos años y sigue siendo un campo en constante cambio. Aunque la mayoría de las investigaciones se han centrado en las propiedades térmicas y la viabilidad de ste material, como alternativa sustentable, resulta igualmente necesario profundizar en sus características mecánicas, particularmente en la resistencia a la tracción, debido a su importancia en el desempeño estructural de los textiles.

Tapia et al. (2014) compararon las propiedades térmicas y mecánicas del PET reciclado con las del poliéster convencional. Sus resultados indicaron que ambos materiales presentan comportamientos térmicos similares, no obstante, el RPET evidenció una mayor resistencia al impacto en relación con el PES. Asimismo, señalaron diferencias en términos de flexibilidad, lo que podría influir en su aplicación en distintos tipos de prendas. Sin embargo, el estudio no profundiza específicamente en la resistencia a la tracción en tejidos planos bajo condiciones normalizadas, ni establece un análisis estadístico comparativo que permita determinar diferencias significativas entre ambos materiales.

Por su parte, Pivsa et al. (2021) Analizaron el comportamiento físico del RPET tras la aplicación de tratamientos de acabados antibacteriano. Determinaron que la resistencia y la elongación a la ruptura de hilos no presentaron variaciones significativas dentro del tratamiento, y observaron además propiedades antimicrobianas asociadas al uso de TiO_2. No obstante, la investigación se centra en hilos individuales y en el efecto del acabado químico sin evaluar el desempeño mecánico del material ni compararlo directamente con el PES.

En lo que respecta a las pruebas de resistencia a la tracción, un estudio realizado por Esi & Baykal (2020), llevó a cabo una comparación utilizando la normativa ISO 13934-2 para evaluar la resistencia a la tracción de tejidos planos hechos de poliéster PES y RPET. Los resultados señalaron que aunque ambos materiales exhibieron una resistencia similar en condiciones estándar de prueba, el RPET mostró un rendimiento ligeramente inferior debido a su menor flexibilidad en comparación al PES. Este análisis destaca la relevancia de mejorar los procedimientos de producción para potenciar sus características mecánicas en contextos que demanden resistencia elevada.

2.2 Bases teóricas

Este apartado expone los estudios previos que servirán de referencia para el desarrollo de la investigación, proporcionando un marco teórico que facilitará el análisis y la correcta implementación del proyecto.

2.2.1 Propiedades mecánicas de textiles de poliéster reciclado

En el ámbito de la industria textil, el término *tejido* se refiere a un material obtenido a partir del entrecruzamiento de hilos o fibras, en el cual las estructuras planas, se concreta mediante la urdimbre y la trama, mientras que en las construidas por punto se genera a través de la interconexión de los propios hilos. Su función principal es servir como soporte para confecciones de moda, aplicaciones domésticas, técnicas o industriales y entre sus cualidades destacan la resistencia, la estabilidad dimensional, el confort y la capacidad de absorción, entre otras (Schumacher & Forster, 2022).

2.2.2 Poliéster convencional

El PES, habitualmente basado en polietileno tereftalato (PET) obtenido a partir de materias primas fósiles, es una fibra/sintético textil ampliamente usado por su producción económica, versatilidad y buenas propiedades mecánicas y sus características principales (Palacios-Mateo & Seide, 2021; Katic, Salopek, Potoicic, & Cubric, 2023):

- Producir poliéster a partir de PET virgen conlleva el uso de petróleo, un notable consumo de agua, emisiones de CO_2 y la liberación de microfibras a lo largo de su ciclo.
- Propiedades mecánicas y funcionales: una revisión reciente sugiere que la cristalización y la orientación de las fibras de poliéster a lo largo del hilo inciden directamente en su resistencia mecánica.
- Por otro lado, al someter a envejecimiento los tejidos de poliéster estándar con elastano, la resistencia a la ruptura disminuye hasta aproximadamente un 26 %.
- Presenta resistencia a los ciclos de lavado, posee baja contracción al secado, menor tiempo de secado, mínima absorción de humedad y adecuada estabilidad dimensional.

2.2.3 Poliéster reciclado (RPET)

El RPET, o poliéster reciclado, proviene de la revalorización de residuos de PET, como botellas plásticas o textiles post-consumo, que se transforman en fibra textil con la meta de reducir la extracción de recursos vírgenes y aportar a una mayor sostenibilidad (Claussen et al., (2023). Sus características principales incluyen:

- Los tejidos deportivos de poliéster reciclado compiten en rendimiento con los de poliéster virgen.

- Los tejidos de poliéster reciclado mostraron menor disminución de fuerza a la rotura (hasta ~15 %) frente a los de poliéster convencional (~26 %). Sin embargo, la pérdida de masa por abrasión fue mayor en los reciclados (Katic et al., (2023).
- Desde un punto de vista ambiental, se señala que la reutilización de PET para RPET reduce el consumo de agua y energía comparado con la fibra virgen, y disminuye la dependencia de recursos fósiles.

El RPET se ha convertido en un material clave en la industria textil debido a su capacidad para reducir la huella ambiental, pero sus propiedades mecánicas todavía presentan desafíos. Según Esi & Baykal (2020) compararon las propiedades de las fibras de PET recicladas y las fibras de PET virgen. Los resultados muestran que la morfología superficial de ambas fibras de es similar, mientras que las fibras recicladas tienen mayor resistencia a la tracción y mayor alargamiento de rotura.

El estudio de Guerra (2021) se centró en la reutilización práctica de botellas plásticas de PET mediante el desarrollo de un equipo de hilado centrífugo, dada la importancia de este material en la industria textil, en el que se obtuvo que las fibras obtenidas, de diámetros uniformes entre 10 y 200 µm, tienen superficies lisas y son discontinuas, lo que las hace útiles para aplicaciones de fabricación textil, con una mayor resistencia.

Otro estudio realizado por Salopek & Cubric (2024) obtuvo que el poliéster reciclado se caracteriza por su alta resistencia a la tracción de hasta **693.34 N** antes del envejecimiento y **625.88 N** después del envejecimiento; superando al poliéster convencional y a las mezclas que contienen elastano en términos de fuerza bruta. Sin embargo, su resistencia a la abrasión es menor; mostrando una pérdida de masa de hasta 584 % después de 5000 ciclos de abrasión en materiales viejos comparado al 221 % del poliéster convencional bajo condiciones similares. En cuanto a la

rugosidad superficial del poliéster reciclado se refiere, se observó un aumento del 46 % en el lado frontal y un 53 % en el lado posterior después del envejecimiento.

Por otro lado, Lasluisa (2023) señala que el RPET puede incrementar su durabilidad cuando se combina con otros materiales, destacando que es posible combinar estos compuestos para crear una fibra sintética de este material reciclado con propiedades mecánicas mejoradas, lo que incluye mayor resistencia a la tracción y mayor elongación antes de la rotura.

Según Gasull (2022), las propiedades mecánicas de textiles de RPET incluyen:

- Resistencia a la tracción: Los textiles de poliéster reciclado presentan una menor resistencia a la tracción en comparación con el poliéster virgen, debido a la rotura y menor longitud de las fibras durante el proceso de reciclado mecánico.
- Estabilidad dimensional: Los tejidos fabricados con fibras recicladas muestran una estabilidad dimensional aceptable, aunque pueden requerir procesos adicionales para mejorar su recuperación tras el lavado.
- Pilling: Los tejidos reciclados tienen niveles de pilling comparables a los fabricados con fibras vírgenes. Sin embargo, este parámetro puede mejorarse mediante procesos de acabado específicos.
- Regularidad del hilo: Los hilos reciclados presentan una regularidad adecuada, pero pueden contener defectos atribuibles a la variabilidad del material reciclado.
- Durabilidad: Aunque los tejidos reciclados son competitivos en términos de sostenibilidad, su durabilidad puede depender del método de reciclaje utilizado y de las proporciones de fibras recicladas y vírgenes en las mezclas.
- Apariencia tras el lavado: Los tejidos reciclados mantienen una buena apariencia después del lavado, similar a los tejidos de fibras vírgenes.

De igual manera, según Majumdar et al. *(2020)* las propiedades mecánicas de los textiles fabricados a partir de poliéster reciclado, un material obtenido mediante el reciclaje de botellas de PET, son las siguientes;

- Tenacidad de las fibras: Las fibras de poliéster reciclado presentan una tenacidad menor (~15%) en comparación con las fibras vírgenes. Esto se debe a la degradación térmica durante el proceso de reciclaje y la disminución en el peso molecular. La tenacidad promedio fue de 4,87 gf/den para poliéster reciclado frente a 5,61 gf/den para poliéster virgen.
- Elongación al romperse: Las fibras recicladas tienen una mayor elongación (13,7%) en comparación con las vírgenes (11,9%). Esto se atribuye a su menor cristalinidad, que permite una mayor deformación antes de la rotura.
- Rigidez al cizallamiento y al doblado: la incorporación de poliéster reciclado produce un aumento en la regidez al cizallamiento y al doblado, con incrementos entre 24 % y 44 %, dependiendo de la proporción de fibra reciclada y la estructura del tejido, asociándose a una menor flexibilidad en comparación con materiales elaborados con fibras primaria.
- Propiedades térmicas: las fibras recicladas al poseer un punto de fusión menor que las primarias (241 °C frente a 253 °C), estas diferencias estructurales afectan la estabilidad térmica del material y su comportamiento frente a procesos de exposición calórica.
- Propiedades mecánicas en mezclas: Al existir mezclas de algodón y poliéster reciclado, se observa una disminución progresiva de las tenacidad del hilo y de la resistencia al estallido de acuerdo al aumenta el contenido de RPET. Comprometiendo la durabilidad del tejido en aplicaciones que requieren mayor exigencia mecánica.

La resistencia a la ruptura y la capacidad de elongación de los hilos entrelazados constituyen parámetros determinantes para su desempeño en aplicaciones que exigen elevada deformación y durabilidad. De acuerdo a Üstüntag (2021) estos hilos están compuestos por PET y elastano para crear una estructura que potencia la resistencia y recuperación mientras reduce el encogimiento en comparación a los hilos convencionales de un solo núcleotradicionales. En el estudio realizado se detectaron tres elementos principales que afectan estas características específicas: el coeficiente de torsión y las proporciones de estiramiento del PET y del elastano. En la Tabla 1, se resume las propiedades mecánicas del RPET:

Tabla 1

Propiedades mecánicas del poliéster reciclado (RPET)

Propiedad	Valor o resultado reportado
Resistencia a la tracción (antes del envejecimiento) [a]	693,34 N
Resistencia a la tracción (después del envejecimiento) [a]	625,88 N
Elongación al romperse (fibras RPET) [b]	13,7 %
Elongación al romperse (fibras vírgenes) [b]	11,9 %
Tenacidad (RPET)[b]	4,87 gf/den
Tenacidad (PET virgen) [b]	5,61 gf/den
Pérdida de masa por abrasión (material envejecido) [a]	584 %
Pérdida de masa por abrasión (material nuevo) [a]	221 %
Rigidez al cizallamiento[d]	Aumenta entre 24 % – 44 %
Resistencia a la tracción general (comparada con PET virgen) [a]	Similar o ligeramente superior
Diámetro de fibras recicladas[e]	10 – 200 µm
Efecto de combinación con otros materiales[f]	Aumenta la durabilidad y elongación
Optimización por torsión (PET + elastano) [g]	+1,06 × resistencia; +1,13 × elongación
Estabilidad dimensional y apariencia tras lavado[h]	Buena; comparable a tejidos vírgenes
Durabilidad general[h]	Dependiente del método de reciclaje

[a]Salopek y Cubric (2024). [b]Majumdar et al. (2020). [c]He et al. (2014). [d]Majumdar et al. (2020). [e]Guerra (2021). [f]Lasluisa (2023). [g]Üstüntag (2021). [h]Gasull (2022).

Los resultados experimentales indicaron que la elongación a la fractura aumentaba conforme se incrementaba la relación de estiramiento del PET; este efecto era más notorio en los niveles entre 1. Además de eso se encontró que de acuerdo al método Taguchi los valores ideales determinados indicaron que la resistencia a la rotura podría aumentar en un 1,06 veces y el alargamiento en un 1,13 veces; lo cual demuestra lo eficiente que resultó esta metodología en la optimización de estas propiedades esenciales (Unstuntag, 2021).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Los elementos descritos en la Constitución Nacional de Ecuador (2008) establecen los derechos que correspondientes a la naturaleza y las responsabilidades tanto del Estado como de la sociedad en su protección y restauración.

> **Artículo 71:** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (p. 33).
>
> **Artículo 72:** La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En caso de impactos ambientales graves o permanentes, incluso si no existe certeza

científica sobre el daño, el Estado adoptará las medidas más eficaces para lograr la restauración (p. 33).

Artículo 73: El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva y perjudicial el patrimonio genético nacional (p. 33).

Artículo 74: Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado (p. 34).

2.3.2 Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

En el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA, 2017):

Se señala que tanto las empresas privadas como las municipales tienen la responsabilidad de promover y utilizar los residuos sólidos exceptuando aquellos considerados como peligrosos, como el plástico PET, mediante procesos de reprocesamiento. Esta acción no solo ayuda al cuidado del medio ambiente, sino que también genera beneficios económicos. Se destaca en el artículo 73 la importancia de disminuir los desechos sólidos a través del reciclaje (p. 184).

2.3.3 Ley Orgánica para la Racionalización, Reducción de Plásticos de un Solo Uso

Artículo 1 (Propósito de la legislación): En el cual se establece importancia de reducir el uso de plásticos desechables y promover la reutilización y el reciclaje como elementos clave en el ámbito de los tejidos de RPET. Además, en la disposición 2, se trata sobre el control y la normativa

en torno a la fabricación y distribución de plásticos y su reciclaje; esto también puede ser aplicable a este material debido a que se regula el uso de plásticos reciclados y su integración en nuevos productos. El acatamiento de las regulaciones para la utilización de materiales reciclados puede impactar en la producción de tejidos de poliéster reciclado (RPET) (Asamblea Nacional del Ecuador, 2020).

En el Artículo 3 (Propósitos de la ley), se destaca que se fomentará el reciclaje y la reutilización de plásticos, enfatizando la relevancia de disminuir la contaminación generada por plásticos en entornos como ríos y océanos para proteger los ecosistemas acuáticos de manera efectiva y sostenible. Así mismo, en el apartado número 5 (Principios de la normativa), se establece que cada persona implicada en la fabricación y venta de estos productos, inclusive los elaborados mediante material reciclado, debe asumir una responsabilidad medioambiental completa. Este principio resulta relevante en lo que respecta al compromiso de los fabricantes de tejidos de RPET por mantener la sustentabilidad de sus productos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2020).

Principio de Sostenibilidad: Este concepto incide en la relevancia de mantener la sustentabilidad y cubrir las necesidades presentes sin perjudicar el porvenir de las próximas generaciones. Puede resultar crucial para evaluar la sustentabilidad de estos materiales en el largo plazo comparar las propiedades mecánicas del RPET y del PES en la presente investigación.

2.4 Marco Conceptual

2.4.1 Tejido Plano

El tejido plano, según Peñaloza (2023) se caracteriza por su disposición rectangular, donde los hilos de la trama y de la urdimbre se cruzan para formar patrones entrelazados y es frecuente su uso en la industria textil, el cual ha evolucionado a lo largo del tiempo gracias al avance tecnológico.

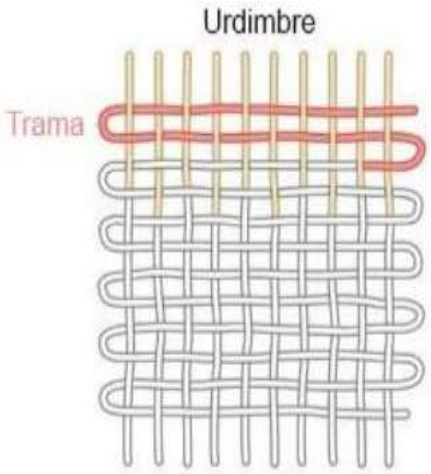
Elementos del tejido plano (Peñaloza, 2023):

- Urdimbre: Hilos longitudinales tensados en el telar, que constituyen la base estructural del tejido. Aportan resistencia y estabilidad, mientras su calidad y disposición afectan la apariencia, textura y durabilidad del producto final.
- Trama: Hilos transversales que se entrelazan con la urdimbre, proporcionando el diseño y aspecto decorativo del tejido. Su densidad, textura y colores influyen en el estilo final, pudiendo ser trabajada manual o mecánicamente.
- Orillo: Bordes reforzados del tejido que evitan el deshilachado. Tradicionalmente, se emplean hilos adicionales en la urdimbre para asegurar la integridad del tejido y garantizar su durabilidad.

Estos elementos combinados permiten la creación de tejidos planos resistentes, versátiles y de alta calidad.

Figura 2

Tejido plano



Fuente: (Bustamante, 2017)

2.4.2 Tejido de Poliéster

El poliéster constituye una fibra sintética ampliamente empleada en la industria textil debido a su versatilidad y a su estabilidad mecánica, lo que favorece su mantenimiento en comparación con fibras naturales como el algodón y la lana. Su fabricación se basa principalmente en el polietileno tereftalato (PET), un polímero de origen petroquímico que presenta elevadas propiedades mecánicas y adecuada resistencia química. Estas características optimizan el desempeño del material tanto individual o mezcladas, contribuyendo a la resistencia, la estabilidad dimensional y durabilidad. La estructura química del poliéster le otorga resistencia a la contracción y al desgarro y lo protege de manchas; cualidades que lo convierten en una elección perfectamente adecuada para diversos usos textiles que van desde la ropa hasta los materiales industriales (Smelik, 2023).

El poliéster se clasifica en tres tipos principales según su origen: PET virgen, PET reciclado (RPET) y PET de base biológica (bio-based PET). El PET virgen se obtiene directamente del petróleo, mientras que el RPET se produce a partir del reciclaje de productos que ya contienen este polímero, como las botellas de plástico PET (Vidal, 2022).

Por su parte, el PET de base biológica utiliza componentes orgánicos como el maíz y el azúcar de caña en su fabricación. El reciclaje del poliéster puede realizarse mediante procesos mecánicos o químicos, utilizando tanto materiales pre-consumo como post-consumo. En el reciclaje químico, el material se descompone hasta llegar a su base molecular, permitiendo su reincorporación al proceso de manufactura del poliéster (Vidal, 2022).

Aunque el poliéster es un material sintético y no biodegradable, su capacidad para ser reciclado de forma repetida representa una de sus mayores ventajas. Producir fibras recicladas genera un menor impacto ambiental que fabricar fibras vírgenes, ya que reduce las emisiones, el

consumo de recursos y la cantidad de residuos destinados a los vertederos. Sin embargo, grandes cantidades de prendas de poliéster terminan en vertederos cada año. Por ejemplo, en el Reino Unido se estima que anualmente se desechan 350,000 toneladas de ropa, de las cuales entre el 55% y el 65% están compuestas por poliéster. A pesar de estos avances, en 2020, solo el 14,7% del poliéster producido globalmente fue reciclado, siendo la mayoría de origen rPET a partir de botellas de plástico. Un desafío clave para el sector es desarrollar tecnologías que permitan reciclar prendas de composición mixta, separando sus fibras individuales (Vidal, 2022).

El uso de RPET tiene un impacto ambiental positivo, ya que reduce en un 79% las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuye el consumo de petróleo virgen, al tiempo que reutiliza residuos plásticos destinados a vertederos. Sin embargo, el reciclaje del poliéster implica someterlo a procesos de calentamiento que degradan progresivamente su calidad, limitando el número de ciclos de reciclaje. Además, el poliéster reciclado requiere más agua y energía durante el teñido en comparación con el convencional. A pesar de estas limitaciones, el RPET sigue siendo una opción más sostenible que el poliéster virgen, aunque el PET de base biológica es aún más sostenible, ya que reduce el uso de energía, terrenos agrícolas y las emisiones de gases de efecto invernadero (Shen et al., 2010).

2.4.3 Tejido de poliéster reciclado

Las fibras de PET son beneficiosas para materiales textiles debido a su flexibilidad, peso ligero, resistencia a las arrugas y secado rápido. Las fibras se procesan típicamente mediante técnicas de hilado por fusión o extrusión para producir fibras muy delgadas. Los desechos sólidos se clasifican y limpian manualmente para eliminar contaminantes, luego se trituran en escamas y se lavan en un baño esterilizador. Las escamas se funden y se extruyen para formar fibras con un

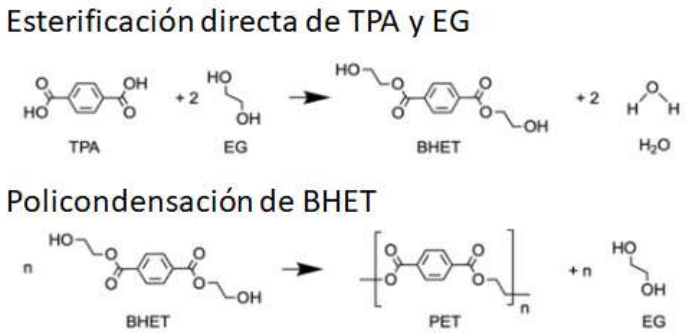
diámetro específico. En los últimos años, se han realizado estudios sobre el reciclaje de residuos de PET para aplicaciones textiles.

Los desechos de PET se reciclaron a través de un proceso de mezcla con otros polímeros vírgenes, aglutinantes o aditivos, lo que demostró que las fibras recicladas de PET tienen el potencial de utilizarse como tejidos ecológicos. Sin embargo, el uso de residuos de PET puro para producir fibras textiles rara vez se ha reportado, además, se necesita estudiar la temperatura de procesamiento óptima para producir fibras de PET reciclado con altas propiedades mecánicas y un diámetro adecuado para aplicaciones textiles (Deshmukh, 2024).

El PET se produce en dos etapas, mediante policondensación de etilenglicol (EG) y tereftalato de dimetilo (DMT) o ácido tereftálico (TPA) (véase la figura 1). En primer lugar, una reacción de esterificación directa de TPA y EG produce el precondensado, que consiste principalmente en bis(hidroxietil) tereftalato (BHET), oligómeros cortos y agua (H_2O). Posteriormente, el precondensado se transforma en PET de cadena larga mediante la policondensación propiamente dicha, al vacío y a una temperatura de entre 230 y 260 °C. El H_2O y el exceso de EG se eliminan continuamente y cunado se utiliza TPA, no se requiere catalizador de transesterificación, porque los grupos carboxílicos son autocatalíticos (Enking et al., 2025).

Figura 3

Proceso de producción de PET



Fuente: (Enking et al., 2025).

Las fibras de poliéster derivadas del PET son las más comunes entre las fibras sintéticas en todo el mundo debido a su económico precio y origen en productos petrolíferos refinados. Estas fibras poseen múltiples cualidades como resistencia elevada y ligereza; además son fáciles de teñir y mantener gracias también su resistencia al arrugado. Son sumamente versátiles al producir filamentos continuos o fibras cortadas de diversas formas transversales; además pueden ser usadas solas o combinadas entre sí (Abbas et al., 2025).

Figura 4

Tejido de poliéster reciclado



Fuente: (Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, s.f.)

2.4.4 Resistencia a la tracción

La resistencia al estiramiento en los materiales textiles se refiere a su capacidad para aguantar fuerzas de elongación sin romperse o ceder fácilmente ante la presión ejercida sobre ellos al ser estirados al límite de su resistencia natural antes de desgarrarse o fracturarse en partes separadas por completo. Esta característica es esencial para asegurar que los productos textiles sean duraderos y puedan mantener un buen rendimiento durante su uso habitual diario. Asimismo, sirve para evaluar si el material es adecuado para usos específicos como ropa deportiva de alto rendimiento o aplicaciones industriales y artículos de protección personal (Chamorro, et al., (2024).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

En este apartado se describen la metodología y los procedimientos utilizados en el estudio; se incluyen los métodos de recolección de información empleados, así como las técnicas de análisis implementadas y los criterios utilizados para validar los resultados.

3.1. Enfoque de investigación

En este estudio se empleó un enfoque cuantitativo, centrado en la recolección, medición y análisis de datos numéricos obtenidos a partir de pruebas experimentales de laboratorio. El objetivo consistió en cuantificar tanto la resistencia a la tracción como la elongación de tejidos planos fabricados con RPET y con PET, siguiendo los procedimientos estandarizados que establece la norma ISO 13934-2.

Según Furidha (2024) el enfoque cuantitativo se apoya en la recopilación de datos para contrastar hipótesis, utilizando mediciones numéricas y análisis estadísticos que revelan patrones de comportamiento y ponen a prueba teorías. En este sentido, la investigación procura comparar de forma objetiva los resultados obtenidos en los ensayos experimentales realizados sobre ambos tipos de tejido, con el fin de detectar diferencias significativas en su resistencia mecánica.

implementadas y los criterios utilizados para validar los resultados.

3.2. Tipos de investigación

Para el desarrollo del presente estudio se utilizaron distintos tipos de investigación que permitieron recopilar información teórica, analizar los datos obtenidos y comparar los resultados experimentales. Estos enfoques metodológicos facilitaron el estudio del comportamiento mecánico de los tejidos de poliéster reciclado (RPET) y poliéster convencional (PES), asegurando un análisis técnico acorde a los objetivos de la investigación.

3.2.1. Investigación bibliográfica

La revisión bibliográfica consiste en el proceso de obtener nuevos conocimientos a través de la búsqueda y análisis de información secundaria previa en diversas fuentes documentales como textos impresos o digitales elaborados por expertos en el campo científico (Arias, 2023). Asimismo, se realizó una investigación bibliográfica para recopilar datos relevantes sobre las características mecánicas del poliéster reciclado RPET y el poliéster convencional PES. Se analizaron estudios previos en el campo de la resistencia de materiales textiles mediante la revisión de investigaciones y literatura científica especializada que respaldan teórica y conceptualmente el estudio comparativo sobre la resistencia a la tracción de tejidos planos.

3.2.2. Investigación analítica

La investigación implica desglosar un conjunto en sus partes para estudiar las características individuales de cada una de ellas; esta estrategia se complementa a través de la síntesis que reconstruye y aclara el objetivo del estudio utilizando los resultados del análisis previo como base para su investigación más detallada. Por lo general, el análisis se empleó para buscar y procesar información que simplifique la clasificación y comprensión de las fuentes relacionadas al tema de estudio. Este método permite capturar la esencia de las ideas y estructurar la documentación para explorar los aspectos clave de la investigación.

Aunque se emplea principalmente para analizar datos y conceptos también se utiliza en la síntesis para generar nuevos conocimientos conectando ideas y explicando fenómenos. A través del análisis se puede comprender que las diferentes partes de un sistema poseen características individuales, pero interactúan entre sí para crear un conjunto único de propiedades (Quesada & Medina, 2020).

En este contexto, en el presente estudio, se analizó cómo el envejecimiento y la exposición a condiciones extremas influyen en el comportamiento mecánico del tejido, lo que ayudará a destacar los beneficios del uso del RPET en cuanto a sustentabilidad y resistencia estructural, además de señalar las desventajas en comparación al poliéster convencional (PES), brindando así una visión completa sobre las características tanto positivas como negativas de ambos materiales.

Se empleó el análisis y la síntesis para examinar los datos recolectados en las pruebas de resistencia a la tracción realizadas en tejidos de poliéster reciclado y poliéster convencional. Estos ensayos seguirán los procedimientos establecidos en la normativa ISO 13934-2 para garantizar la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos. La evaluación consistió en evaluar elementos clave como la resistencia máxima previa a la fractura, la elongación en el momento de ruptura y las posibles disparidades en las propiedades mecánicas entre ambos materiales.

3.2.3. Investigación comparativa

La investigación comparativa es una forma de análisis que se enfoca en examinar detalladamente las similitudes y diferencias entre dos o más objetos o conceptos para encontrar patrones únicos y evaluar características específicas al mismo tiempo que se establecen relaciones entre ellos. Este tipo de investigación resulta beneficios para comprender cómo se comportan diversas variables en condiciones similares o distintas y para destacar los factores que afectan sus características y resultados (Acosta, 2023). En este contexto, se realizó un análisis comparativo de los resultados entre los tejidos planos fabricados a partir de polietileno reciclado RPET y polietileno PES para investigar las diferencias en cuanto a su resistencia a la tracción, según lo establecido por la normativa ISO 13934-2.

3.3. Normas

3.3.1. ISO 13934-2 Determinación de la fuerza máxima por el método del agarre.

La norma internacional ISO 13934-2 (2014), titulada "Determinación de la fuerza máxima por el método del agarre", establece un procedimiento estandarizado ampliamente utilizado en la industria textil y en estudios relacionados para determinar la máxima resistencia que un tejido puede soportar antes de romperse. Esto asegura la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos en cuanto a las propiedades mecánicas de los materiales textiles. La regla se aplica en diversos tipos y estructuras de tejidos como tejidos lisos y de punto, así como tejidos técnicos. Su propósito principal es evaluar la resistencia al estiramiento en condiciones controladas no solo midiendo la fuerza máxima que el material puede soportar sino también la elongación que experimentan durante la prueba.

3.3.2. Principales aspectos técnicos de la norma

a) Método del agarre:
    a. El método consiste en sujetar el tejido entre dos mordazas del dinamómetro que aplican una fuerza creciente hasta que el material se rompe.
    b. Este método es ideal para evaluar tejidos planos porque garantiza una distribución uniforme de la carga y reduce el riesgo de deslizamiento de la muestra durante la prueba.
b) Preparación de las muestras:
    a. Las muestras deben tener dimensiones específicas (habitualmente tiras rectangulares de 100 mm de ancho y al menos 200 mm de largo).
c) Parámetros evaluados:

a. Resistencia máxima a la tracción (fuerza máxima): La mayor fuerza que el tejido puede soportar antes de romperse.
b. Elongación: El alargamiento del tejido en el momento de la rotura, expresado como porcentaje de su longitud inicial.
c. Tipo de rotura: Se registra el modo en que se rompe el tejido (desgarro, fractura, etc.), ya que, esto puede proporcionar información adicional sobre su comportamiento mecánico.

d) Configuración del equipo:
    a. El dinamómetro debe configurarse para aplicar la carga a una velocidad constante, generalmente de 100 mm/min.
    b. Las mordazas deben ser adecuadas para sujetar el tejido sin causar daños o cortes que alteren los resultados.

e) Requisitos de registro y análisis:
    a. Los resultados deben incluir un informe detallado con la fuerza máxima alcanzada, la elongación al momento de la rotura y cualquier observación sobre las características del tejido durante la prueba.
    b. Se realizan múltiples repeticiones (generalmente al menos 5 por cada tipo de tejido) para asegurar la validez estadística de los datos.

3.4. Flujogramas

Los flujogramas muestran de forma clara y ordenada las etapas del proceso experimental utilizado para evaluar la resistencia a la tracción de los tejidos RPET y PES. Estos esquemas permiten comprender de manera general la secuencia del procedimiento, desde la preparación de las muestras hasta la realización de los ensayos según la norma ISO 13934-2.

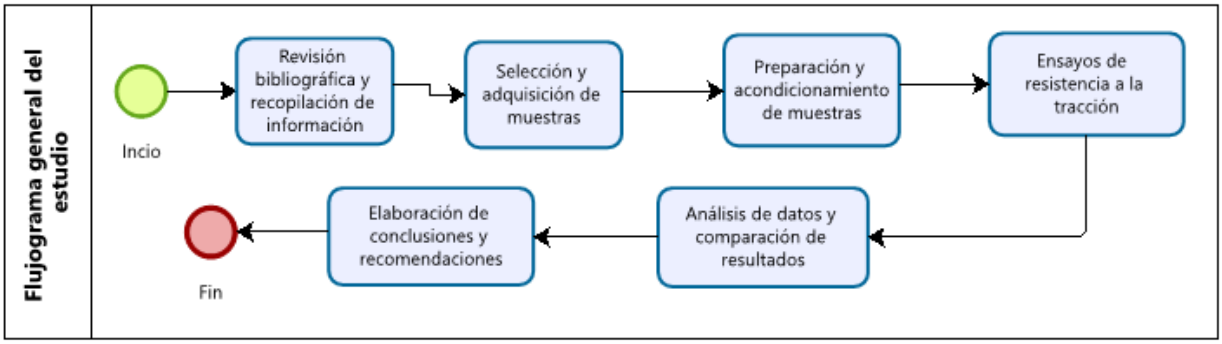
3.4.1 Flujograma general

Como se puede observar en la **Figura *5***, se detalla el proceso de evaluación de la resistencia a la tracción en tejidos planos fabricados a partir de RPET y PES. Esta evaluación se lleva a cabo siguiendo las directrices estipuladas por la normativa ISO 13934-2 que describe el procedimiento de ensayo de tracción para determinar la resistencia mecánica de los materiales textiles.

El proceso requiere una planificación que incluye la selección y preparación de muestras en condiciones estándar para garantizar la validez y reproducibilidad de los resultados obtenidos. Posteriormente se realizan pruebas bajo parámetros controlados para poder comparar las propiedades mecánicas de ambos materiales. A partir de los datos recopilados, es posible identificar las diferencias en resistencia a la tracción y elongación de los tejidos; esto permite un análisis más detallado sobre su comportamiento estructural y potencial aplicación en diversas áreas de la industria textil.

Figura 5

Flujograma general



Fuente: Elaboración propia

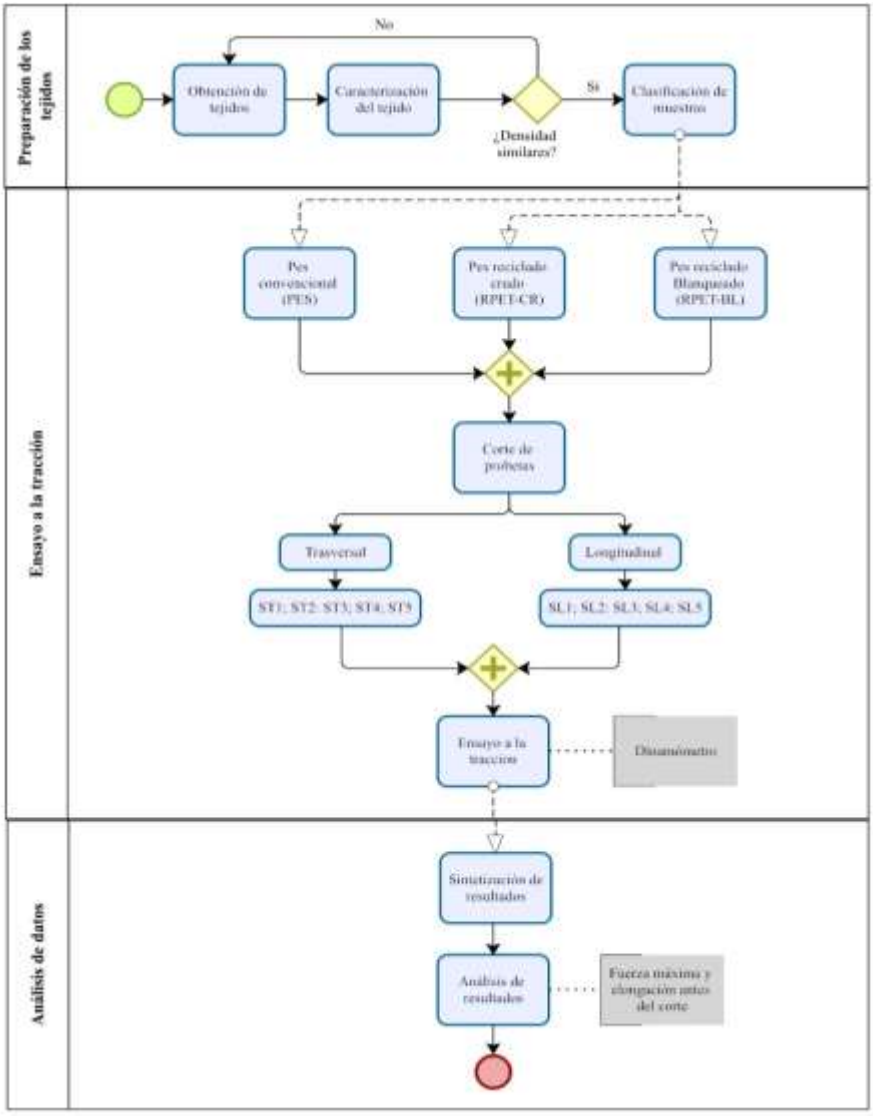
3.4.2 Flujograma muestral

El flujograma muestral que se presenta aplica la metodología de muestreo utilizada en la investigación, tal como se detalla en la **Figura *6***. Este esquema evidencia la secuencia óptima y

las fases del proceso necesarias para la preparación y evaluación de los tejidos planos de RPET y PES. Estableciendo una serie de subprocesos que garantizan la correcta selección, acondicionamiento y caracterización de las muestras de la prueba de resistencia a la tracción según la norma ISO 13934-2. De esta manera, se asegura la obtención de datos confiables y comparables que permitan analizar el desempeño mecánico de ambos materiales en condiciones controladas.

Figura 6

Flujograma muestral



Fuente: Elaboración propia

El proceso inicia con la identificación del tipo de tejido que será analizado, RPET o PES, y la verificación previa de su calidad y certificación. Una vez revisados estos aspectos, se procede al corte de las muestras, siguiendo dimensiones exactas y criterios establecidos en la norma ISO 13934-2, considerando un ancho estándar de 50 mm y una longitud mínima de 200 mm en la zona útil entre mordazas. Las mordazas del dinamómetro se ajustan para mantener una separación inicial de 200 mm, asegurando que cada probeta quede colocada de forma centrada y alineada correctamente.

Posteriormente, el equipo se configura para aplicar una carga con velocidad constante de 100 mm/min, garantizando condiciones homogéneas de prueba y cada muestra es colocada individualmente en el dinamómetro y sometida al ensayo hasta su fractura; durante este proceso se registra la fuerza máxima alcanzada, la elongación en el punto de ruptura y el tipo de rotura observada, información necesaria para el análisis comparativo entre tejidos reciclados y convencionales. Este procedimiento se repite para el total de muestras establecidas (10 por cada tipo de tejido), lo que permite obtener datos confiables y representativos para el análisis estadístico posterior.

3.5 Equipos y Materiales

En esta sección se detallan los materiales, equipos de laboratorio y herramientas auxiliares utilizados para la realización de los ensayos experimentales. A continuación, se presenta una descripción organizada de cada uno de estos elementos.

3.5.1 Equipos de laboratorio

Los equipos principales utilizados en los ensayos incluyen:

a) **Dinamómetro Titan 5 James Heal**:

El dinamómetro es un equipo de ensayo mecánico, utilizado para evaluar el

comportamiento mecánico de materiales textiles en el dinamómetro Titan 5 James Heal (ver **Figura *7***), ya sea en forma de hilo o tejido, cuando son sometidos a la aplicación de una fuerza externa controlada. Este instrumento permite registrar de manera precisa las variaciones que experimenta el material, como la fuerza aplicada, la deformación y el punto de ruptura, proporcionando datos fundamentales para el análisis de sus propiedades mecánicas. Para garantizar la validez, confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos, el uso del dinamómetro debe realizarse conforme a la norma específica correspondiente al tipo de ensayo aplicado, la cual establece los parámetros, condiciones y procedimientos técnicos que deben seguirse durante la prueba.

Figura 7

Dinamómetro Titan 5 James Heal



Fuente: Equipo de laboratorio de la Carrera de Textiles

El dinamómetro es un equipo de ensayo mecánico empleado para la caracterización de materiales textiles, tanto en forma de hilo como de tejido, mediante la aplicación de una carga

externa controlada. Este dispositivo permite medir y registrar con precisión parámetros fundamentales como la fuerza aplicada, la elongación del material y el esfuerzo máximo alcanzado hasta la rotura, lo que facilita el análisis del comportamiento mecánico y la resistencia estructural del material evaluado. Con el fin de asegurar la exactitud, repetibilidad y confiabilidad de los resultados, los ensayos realizados con el dinamómetro deben ejecutarse conforme a la normativa técnica correspondiente al tipo de prueba, la cual define las condiciones de ensayo, los criterios de medición y los procedimientos operativos que garantizan la validez del estudio.

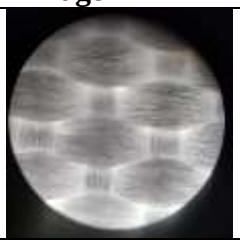
3.6 Material

3.6.1 Caracterización de las telas de RPET Y PES

A continuación, en la **Tabla 2** se presentan los parámetros técnicos correspondientes al tejido de poliéster convencional PES, incluyendo características como gramajes, tipo de ligamento y otras especificaciones estructurales.

Tabla 2

Caracterización del tejido PES 100%

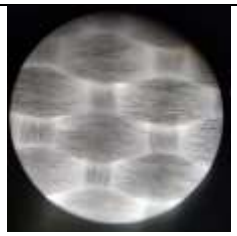
Parámetro	**PES 100%**	**Imagen**
Composición	PES 100%	
Ligamento	Tafetán 1x1	
Hilos/cm	68	
Pasadas/cm	40	
Gramaje	233g/m2	

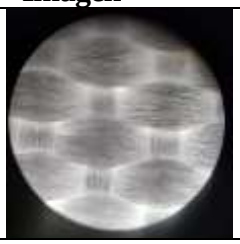
La composición se comprobó por el método de microscopio.

Del mismo modo, en la **Tabla 3** se detallan los parámetros físicos obtenidos después de la caracterización de los tejidos de poliéster reciclados RPET tanto en su estado crudo como después del proceso de blanqueado.

Tabla 3

Caracterización del tejido RPET CRUDO 100%

Parámetro	RPET- CRUDO	Imagen
Composición	PET 100%	
Ligamento	Tafetán 1x1	
Hilos/cm	78	
Pasadas/cm	45	
Gramaje	237g/m2	

Parámetro	RPET-Blanqueado	Imagen
Composición	PES 100%	
Ligamento	Tafetán 1x1	
Hilos/cm	78	
Pasadas/cm	45	
Gramaje	242 g/m2	

La composición de los materiales fue comprobada el método de microscopio realizado en el laboratorio de calidad Textil.

3.7 Procedimiento

3.7.1 Preparación de las muestras de RPET Y PES

Para garantizar la confiabilidad de los ensayos de tracción, la preparación de las muestras de RPET y PES se realizó bajo un protocolo estandarizado. En primer lugar, los tejidos fueron clasificados según su tipo y gramaje, con el fin de mantener un control adecuado sobre la trazabilidad del material.

La caracterización de los tejidos utilizados en el estudio incluyó la evaluación de su composición, ligamento, densidad de hilos, gramaje y títulos de urdimbre y trama. Estos parámetros permiten Caracterizar la estructura del material textil y analizar su influencia en el comportamiento mecánico durante los ensayos de tracción. Los tejidos de poliéster reciclado

(RPET) y poliéster convencional (PES) fueron evaluados bajo condiciones idénticas para poder comparar los resultados.

Luego del acondicionamiento, las telas se colocaron sobre una superficie plana y se cortaron las probetas con herramientas de precisión, respetando las dimensiones establecidas en la norma ISO 13934-2 que es de 50 mm x 200 mm. Para ello se emplearon reglas metálicas y cortadores textiles para garantizar bordes uniformes y evitar deformaciones.

Finalmente, las muestras se etiquetaron y almacenaron en sobres protectores permaneciendo en reposo durante 10 minutos antes de su ensayo en el dinamómetro. Este procedimiento permitió obtener probetas homogéneas y asegurar la reproducibilidad de los resultados experimentales.

3.7.2 Prueba de resistencia a la tracción de los tejidos

La prueba de resistencia a la tracción se realizó siguiendo estrictamente los lineamientos establecidos en la norma ISO 13934-2, utilizando el dinamómetro universal disponible en el laboratorio textil de la Universidad Técnica del Norte (ver **Figura *8***). Una vez preparadas y acondicionadas las probetas de RPET y PES, cada muestra fue colocada cuidadosamente entre las mordazas del equipo, asegurando su centrado y una distancia útil entre mordazas de 200 mm.

Posteriormente, el equipo se ajustó para aplicar una carga progresiva con una velocidad constante de 100 mm/min, durante el ensayo, el dinamómetro registró de forma automática la fuerza máxima resistida por el material hasta su rotura, así como también la elongación correspondiente antes de romperse. Cabe recalcar, que el procedimiento se realizó de manera individual para cada muestra tanto en el sentido de la urdimbre como de la trama, permitiendo obtener datos confiables irrepetibles para el análisis comparativo entre los tejidos RPET y PES.

Figura 8

Resistencia a la tracción



Se observa la preparación de las probetas y la ejecución del ensayo de resistencia a la tracción, así como las muestras despues de la rotura, realizado bajo la norma iso 13934-2.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la tracción aplicado a todas las muestras, en función a lo establecido en la norma ISO 13934-2, la cual determina la fuerza máxima que soportan los tejidos al ser sometidos a tracción mediante el método de agarre. Los resultados se presentan de manera comparativa, considerando tanto las diferencias entre los distintos tipos de tejido evaluados como el comportamiento mecánico en cada dirección (urdimbre y trama).

4.1.1 Resistencia a la tracción

Para esta primera etapa se presenta la **Tabla *4*** en la cual se aprecia la ficha informativa del ensayo realizado, del mismo modo, se muestran las codificaciones a utilizar en cada una de las muestras para una mejor comprensión de los resultados; por último, se pueden apreciar las calibraciones llevadas a cabo en el equipo (dinamómetro), así como también, las condiciones del ensayo.

Tabla 4

Ficha informativa para la evaluación de la resistencia a la tracción

ENSAYO SOLICITADO	Propiedades de los tejidos frente a la tracción. Parte 2: Determinación de la fuerza máxima por el método de agarre
NORMA DEL ENSAYO	ISO 13934-2: 2014
CODIFICACIÓN MUESTRAS:	**DESCRIPCIÓN**
PES	Poliéster 100%
RPET CR	Poliéster reciclado 100% crudo
RPET BL	Poliéster reciclado 100% blanqueado
EQUIPO	Dinamómetro: Modelo Titan 5, Marca James Heal
ESPECIFICACIONES	Número de probetas por muestras: 5 Urdimbre-5Trama

	Dimensión probetas: 200 mm largo – 50 mm ancho Velocidad: 100mm/min Separación de mordazas: 200 mm Pretensión: 2N Célula de carga: 5000N	-

En la tabla superior se aprecia los parámetros aplicados en el ensayo, como las condiciones para las probetas como también las calibraciones del equipo utilizado.

Una vez aplicadas las especificaciones, se procedió a realizar los ensayos a cada uno de los tejidos en este estudio, a continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de ellos. Como se puede apreciar en la **Tabla *5*** se observan los resultados para el tejido de poliéster convencional 100% (PES).

Tabla 5

Resistencia a la tracción longitudinal PES 100%

TEJIDO DE POLIÉSTER CONVENCIONAL 100% (URDIMBRE)		
Probetas	**Fuerza Máxima (N)**	**Elongación (%)**
1	1278,34	38,58
2	1218,79	35,66
3	1220,49	35,95
4	1242,62	36,51
5	1147,28	35,36
Media	1221,51	36,41
Desviación típica	47,94	1,28
Límites de confianza	±59,43	±1,59
Coeficiente de Variación	3,92%	3,52%

Los datos presentados corresponden a los resultados obtenidos directamente del software TestWise™ del dinamómetro Titan 5.

Del mismo modo, definida las condiciones del ensayo para el sentido transversal, se procedió a evaluar el tejido obteniendo en la **Tabla 6**, donde se muestran los resultados para este ensayo.

Tabla 6

Resistencia a la tracción transversal PES 100%

TEJIDO DE POLIÉSTER CONVENCIONAL 100% (TRAMA)		
Probeta	**Fuerza Máxima (N)**	**Elongación (%)**
1	1462,36	57,99
2	1494,65	59,12
3	1462,22	58,42
4	1487,74	58,29
5	1502,24	59,26
Media	1481,84	58,61
Desviación típica	18,57	0,5482
Límites de confianza	±23,02	±0,6795
Coeficiente de Variación	1,25%	0,94%

Se presentan los resultados realizados siguiendo los lineamientos de la norma ISO 13934-2 mediante el método de agarre para el sentido transversal.

A continuación, en la **Tabla *7*** se muestran los valores resultantes del ensayo aplicado al tejido en crudo de poliéster RPET 100%, en el sentido de la urdimbre.

Tabla 7

Resultados evaluación de la resistencia a la tracción longitudinal RPET 100% crudo

TEJIDO DE POLIÉSTER RECICLADO CRUDO 100% (URDIMBRE)		
Probeta	**Fuerza Máxima (N)**	**Elongación (%)**
1	1654,22	35,33
2	1615,73	35,54
3	1706,67	39,63
4	1622,07	35,75
5	1710,57	32,66
Media	1661,85	35,78
Desviación típica	45,14	2,49

Límites de confianza	±55,96	±3,09
Coeficiente de Variación	2,72%	6,96%

Los datos son el resultado del ensayo mediante el dinamómetro calibrado conforme a los procedimientos del laboratorio de calidad textil.

Adicionalmente al ensayo realizado para el tejido en crudo de poliéster reciclado, se presenta la **Tabla *8***, en el cual se exponen los resultados correspondientes a la resistencia a la tracción evaluada en el sentido de la trama.

Tabla 8

Resultados evaluación de la resistencia a la tracción transversal RPET 100% crudo

TEJIDO DE POLIÉSTER RECICLADO CRUDO 100% (TRAMA)		
Probeta	**Fuerza Máxima (N)**	**Elongación (%)**
1	388,03	35,33
2	386,62	37,07
3	394,79	32,86
4	392,87	33,82
5	409,63	32,53
Media	394,39	34,32
Desviación típica	9,16	1,88
Límites de confianza	±11,36	±2,33
Coeficiente de Variación	2,32%	5,48%

En la tabla se incluyen parámetros estadísticos de dispersión y tendencia central para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Por último, la **Tabla 9** resumen los resultados correspondientes al comportamiento mecánico del tejido sometido a ensayos de tracción, evaluando el sentido de la urdimbre, permitiendo una mejor apreciación de su resistencia y desempeño estructural.

Tabla 9

Resultados evaluación resistencia a la tracción longitudinal RPET 100% BLANQUEADO

TEJIDO DE POLIÉSTER RECICLADO BLANQUEADO (URDIMBRE)		
Probeta	**Fuerza Máxima (N)**	**Elongación (%)**
1	1695,10	44,49
2	1721,55	41,39
3	1491,77	51,07
4	1688,00	48,72
5	1606,43	52,46
Media	1640,57	47,62
Desviación típica	93,66	4,61
Límites de confianza	±116,11	±5,72
Coeficiente de Variación	5,71%	9,69%

Los valores reportados fueron extraídos el sistema de datos TestWise™ integrado al dinamómetro Titan 5.

De manera adicional al ensayo aplicado al tejido blanqueado de poliéster reciclado, la **Tabla 10** presenta los resultados obtenidos de ensayo de la resistencia a la tracción en el sentido de la trama, los cuales permite analizar el comportamiento mecánico de material en dicha dirección.

Tabla 10

Resultados evaluación resistencia a la tracción transversal RPET 100% BLANQUEADO

TEJIDO DE POLIÉSTER RECICLADO BLANQUEADO (TRAMA)		
Probeta	**Fuerza Máxima (N)**	**Elongación (%)**
1	495,04	41,51
2	500,74	42,4
3	436,58	35,91
4	534,99	40,58
5	519,03	41,8
Media	497,28	40,44
Desviación típica	37,4	2,61
Límites de confianza	±46,37	±3,51
Coeficiente de Variación	7,52%	5.47%

Se presentan los valores para las 5 muestras tanto de la fuerza máxima como del porcentaje de elongación.

4.2 Análisis de resultados

En esta sección se sintetizan de forma general los resultados obtenidos. Para ello, con estos datos se presenta la **Tabla 11**, en la cual se recopilan valores promedios mostradas en las tablas precedentes, lo que permite una comprensión más clara de la información y, en consecuencia, la realización de un análisis más preciso.

Tabla 11

Tabla general de resultados

Fuerza Máxima (N)		
Muestra	**Urdimbre**	**Trama**
PES	1221,51	1481,84
RPET CR	1661,85	394,39
RPET BL	1640,57	497,28
Elongación (%)		
Muestra	**Urdimbre**	**Trama**
PES	36,41	58,61
RPET CR	35,78	34,32
RPET BL	47,62	40,44

Como se observa en la tabla anterior, se puede evidenciar diferencias significativas en el ámbito de la fuerza máxima (N); las medias de la fuerza máxima en el RPET-CR y el RPET-BL alcanzaron valores casi similares siendo 1661.85 N y 1640.57 N respectivamente, superando así

a la muestra PES el cual obtuvo un valor de 1221,51 N. De esta manera en función de los resultados se podría sugerir que los tejidos realizados con poliéster reciclado no afectan a la resistencia en el sentido de la urdimbre ante aquellos realizados con PES. Por otra parte, en el sentido de la trama existe una diferencia en comparación a los resultados anteriores, siendo así que en tejidos de PES convencional se obtuvo una resistencia de 1481.84 N, superando así al RPET-CR y RPET-BL que poseen una resistencia de 394.39 N y 497.28 N respectivamente, esto puede atribuirse a la densidad de la trama en este tipo de tejidos.

Con el objetivo de ampliar el análisis, se tomó como referencia el tejido PES para realizar una comparación porcentual, obteniendo que, en la dirección de la urdimbre el RPET-CR incrementa su fuerza máxima en aproximadamente un 36 %, mientras que el RPET-BL lo hace en un 34 %. Este comportamiento indica que los tejidos fabricados con RPET presentan una mayor resistencia frente a cargas aplicadas longitudinalmente.

En cambio, al evaluar el comportamiento en la dirección de la trama se observa una situación inversa, donde, los tejidos de poliéster reciclado evidencian una disminución considerable de la resistencia con respecto al PES, con reducciones cercanas al 73 % para el RPET-CR y al 66 % para el RPET-BL. Estos resultados confirman que para los tejidos analizados el RPET presentan una menor resistencia en el sentido transversal.

El análisis porcentual de la elongación evidencia diferencias claras en el comportamiento mecánica del tejido en función del material y del sentido del tejido. En el sentido de la urdimbre el tejido RPET-BL presenta un incremento significativo de la elongación en comparación con el PES con un aumento aproximado del 31% lo que indica una mayor capacidad de deformación longitudinal antes de la rotura, por su parte el RPET-CR muestra una variación negativa leve

cercana al 2% respecto al pez evidenciando un comportamiento prácticamente equivalente entre ambos materiales en este sentido.

En el sentido de la trama los tejidos elaborados con RPET presentan una disminución considerable de la elongación en comparación con el poliéster convencional. El RPET-CR registra la mayor reducción con un aproximado del 42%, mientras que el RPET-BL Presenta una disminución del 31%, esos resultados sugieren que el poliéster convencional posee mayor elongación transversal en comparación con los tejidos de poliéster reciclado.

4.2.1 Normalidad de datos

Es una medida hacia un conjunto de valores en base a una distribución normal, en el cual se aplican varios conceptos como: simetría con respecto a la media y distribución de los datos, por tal motivo en este estudio, la normalidad será evaluada bajo la prueba de Shapiro-Wilk utilizando el programa Past 4, la cual es utilizada tomando un número pequeño de las muestras, en este caso n=5. Para verificar si los datos son confiables se constata si el valor p el cual debe ser $p>0.05$, dando a entender que los datos poseen una confiabilidad del 95%.

En base a lo dicho se presenta la **Figura *9*** en cual presenta el análisis de la normalidad del ensayo correspondiente al poliéster convencional, como se puede observar en la fila del p(normal) de la prueba de Shapiro Wilk en todos los factores es el valor es de $p>0.05$, esto quiere decir que los datos obtenidos en los ensayos tanto en sentido de la urdimbre como en el de la trama son normales, es decir tienen una confiabilidad del 95%.

Figura 9

Distribución normal PES CONVENCIONAL 100%

Tests for normal distribution

	FM-PES 100%-SL	FM-PES 100%-ST	EF-PES 100%-SL	EF-PES 100%-ST
N	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,9379	0,8574	0,834	0,905
p(normal)	0,6511	0,2192	0,1489	0,4381
Anderson-Darling A	0,2909	0,391	0,4667	0,3112
p(normal)	0,4468	0,2273	0,1326	0,391
p(Monte Carlo)	0,505	0,2552	0,1534	0,4495
Lilliefors L	0,2774	0,2529	0,2696	0,2395
p(normal)	0,2382	0,3704	0,2766	0,4572
p(Monte Carlo)	0,2603	0,3607	0,289	0,4626
Jarque-Bera JB	0,319	0,6318	1,066	0,5699
p(normal)	0,8526	0,7291	0,5868	0,752
p(Monte Carlo)	0,8311	0,3218	0,078	0,4212

La interpretación de la normalidad se fundamenta principalmente en la prueba de Shapiro-Wilk, presentándose adicionalmente otros métodos de contraste.

Un caso similar se observa en la **Figura *10*** en donde se puede comprobar que el valor del p(normal) realizada para los datos de la muestra al poliéster reciclado crudo es mayor a 0.05 en todos los factores demostrando su confiabilidad de 95% porciento bajo las condiciones de la prueba de Shapiro Wilk.

Figura 10

Distribución normal RPET CRUDO

Tests for normal distribution

	FM-RPET CRUDO-SL	FM-RPET CRUDO-ST	EF-RPET CRUDO-SL	EF-RPET CRUDO-ST
N	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,8545	0,8537	0,903	0,9217
p(normal)	0,2092	0,2064	0,4265	0,5407
Anderson-Darling A	0,3797	0,4184	0,401	0,2619
p(normal)	0,2459	0,1875	0,212	0,5236
p(Monte Carlo)	0,2697	0,208	0,2481	0,6149
Lilliefors L	0,2396	0,2825	0,3051	0,2052
p(normal)	0,4563	0,2155	0,1328	0,7009
p(Monte Carlo)	0,4591	0,2221	0,1446	0,7343
Jarque-Bera JB	0,6478	0,9003	0,2325	0,5298
p(normal)	0,7233	0,6375	0,8903	0,7673
p(Monte Carlo)	0,3148	0,1089	0,9039	0,4884

La prueba de Shapiro-Wilk se considera como referencia principal debido al tamaño reducido de las muestras analizadas.

Por último, se presenta la **Figura *11*** en donde se aprecia la normalidad de la muestra del tejido de poliéster reciclado aplicado proceso de blanqueo, como se puede observar el valor de la normalidad es p>0.05 dando como resultado que los datos de estos ensayos son normales con una confiabilidad del 95% siendo esto aceptable bajo el método de Shapiro Wilk.

Figura 11

Distribución normal del RPET Blanqueado

Tests for normal distribution

	FM-RPET BL-SL	FM-RPET BL-ST	EF-RPET BL-SL	EF-RPET BL-ST
N	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,8641	0,9057	0,9398	0,7756
p(normal)	0,2433	0,4424	0,6648	0,05051
Anderson-Darling A	0,4051	0,33	0,2288	0,6086
p(normal)	0,206	0,345	0,6323	0,0496
p(Monte Carlo)	0,2381	0,3965	0,7449	0,0501
Lilliefors L	0,2937	0,2762	0,1937	0,3213
p(normal)	0,1707	0,2441	0,7784	0,09085
p(Monte Carlo)	0,1778	0,2669	0,8038	0,0966
Jarque-Bera JB	0,7439	0,6527	0,5119	1,356
p(normal)	0,6894	0,7216	0,7742	0,5077
p(Monte Carlo)	0,1827	0,2948	0,5311	0,0299

Los resultados corresponden a las pruebas de normalidad aplicadas a los datos experimentales previo al análisis comparativo.

4.2.2 Análisis de la varianza

En esta etapa del estudio se procede a la evaluación de la varianza mediante el software PAST 4, la cual constituye un parámetro relevante, ya que permite analizar la dispersión y variabilidad existente dentro de un conjunto de datos. Este análisis contribuye a la obtención de resultados más objetivos y confiables.

Como se observa en la **Figura *12***, los valores del coeficiente de variación (CV)

correspondientes a los datos de resistencia y elongación del tejido de poliéster convencional (PES) son inferiores al 4%, siendo el mayor valor asociado a la resistencia en sentido de la urdimbre, con un 3.92%. Asimismo, se presentan parámetros estadísticos complementarios, tales como limites, media y desviación estándar, los cuales permiten una mejor interpretación y comprensión de los resultados.

Figura 12

Análisis de la varianza: PES 100%

Univariate statistics

	FM-PES 100%-SL	FM-PES 100%-ST	EF-PES 100%-SL	EF-PES 100%-ST
N	5	5	5	5
Min	1147,28	1462,22	35,36	57,99
Max	1278,34	1502,24	38,58	59,26
Sum	6107,52	7409,21	182,06	293,08
Mean	1221,504	1481,842	36,412	58,616
Std. error	21,4404	8,305061	0,5742595	0,2454913
Variance	2298,453	344,8702	1,64887	0,30133
Stand. dev	47,94219	18,57068	1,284083	0,5489353
Median	1220,49	1487,74	35,95	58,42
25 prcntil	1183,035	1462,29	35,51	58,14
75 prcntil	1260,48	1498,445	37,545	59,19
Skewness	-0,8164535	-0,2703744	1,67331	0,2711034
Kurtosis	1,697637	-2,812927	2,888345	-2,453906
Geom. mean	1220,741	1481,749	36,39429	58,61395
Coeff. var	3,924849	1,253216	3,526539	0,936494

Se presentan los datos estadísticos descriptivos correspondientes a los datos de fuerza máxima y elongación en ambos sentidos del tejido.

De manera similar, se presenta el análisis de la varianza de los datos correspondientes al RPET en crudo. Como se puede observar en la **Figura *13***, los valores del coeficiente de variación (CV) evidencian diferencias entre las variables analizadas. En el caso de la fuerza máxima, el mayor CV corresponde al sentido de la urdimbre, con un valor de 2.71 %. Por el contrario, las CV asociados con la elongación presentan valores más elevados, alcanzando 6.69 % y 5.48 % para la urdimbre y la trama respectivamente. No obstante, todos los valores de CV se mantienen dentro de rangos aceptables, lo que indica una adecuada consistencia de los datos.

Figura 13

Análisis de la varianza: RPET CRUDO

Univariate statistics

	FM-RPET CRUDO	FM-RPET CRUDO	EF-RPET CRUDO-	EF-RPET CRUDO-
N	5	5	5	5
Min	1615,73	386,62	32,66	32,53
Max	1710,57	409,63	39,63	37,07
Sum	8309,26	1971,94	178,91	171,61
Mean	1661,852	394,388	35,782	34,322
Std. error	20,18687	4,096038	1,113954	0,8416733
Variance	2037,548	83,88762	6,20447	3,54207
Stand. dev	45,1392	9,159019	2,490877	1,882039
Median	1654,22	392,87	35,54	33,82
25 prcntil	1618,9	387,325	33,995	32,695
75 prcntil	1708,62	402,21	37,69	36,2
Skewness	0,1999534	1,524855	0,7128799	0,798148
Kurtosis	-2,971485	2,524972	2,205663	-0,7267181
Geom. mean	1661,363	394,3041	35,71375	34,28138
Coeff. var	2,716199	2,322337	6,961258	5,483476

Los valores mostrados permiten caracterizar el comportamiento estadístico de las variables analizadas mediante medidas de tendencia central y dispersión.

Por último, presentamos la varianza relacionada con el poliéster reciclado después del proceso de blanqueo (ver **Figura *14***), en donde se aprecia que el coeficiente con mayor valor es de 9.68 % relacionado a la elongación en sentido longitudinal, del mismo modo, el que posee la menor variación es de 5.71 % en los datos de la fuerza máxima en el sentido longitudinal.

Figura 14

Análisis de la varianza: RPET Blanqueado

Univariate statistics

	FM-RPET BL-SL	FM-RPET BL-ST	EF-RPET BL-SL	EF-RPET BL-ST
N	5	5	5	5
Min	1491,77	436,58	41,39	35,91
Max	1721,55	534,99	52,46	42,4
Sum	8202,85	2486,38	238,13	202,2
Mean	1640,57	497,276	47,626	40,44
Std. error	41,88548	16,7281	2,063343	1,16997
Variance	8771,966	1399,146	21,28693	6,84415
Stand. dev	93,65878	37,40517	4,613776	2,616133
Median	1688	500,74	48,72	41,51
25 prcntil	1549,1	465,81	42,94	38,245
75 prcntil	1708,325	527,01	51,765	42,1
Skewness	-1,285415	-1,270946	-0,5015741	-1,900911
Kurtosis	0,9104481	2,101011	-1,663202	3,757444
Geom. mean	1638,363	496,1019	47,44297	40,36867
Coeff. var	5,708917	7,522013	9,687515	6,469171

Los resultados correspondientes al análisis estadístico descriptivo de las variables evaluadas.

4.3 Análisis gráfico

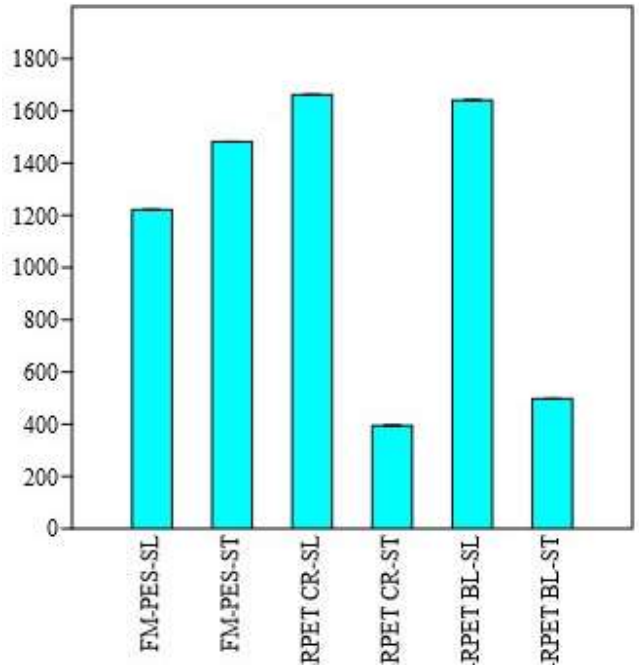
En esta etapa se realiza la representación visual de los resultados obtenidos en estudio, con el objetivo de facilitar su interpretación desde una perspectiva gráfica, identificar tendencias y comparar el comportamiento de los datos entre los distintos grupos analizados.

4.3.1 Representación gráfica: Fuerza Máxima

Como se observa en la **Figura *15*** se presenta una comparación gráfica de la fuerza máxima obtenida al momento de realizar los ensayos para cada una de las muestras, en la gráfica se puede apreciar la fuerza máxima en los sentidos del tejido, longitudinal (SL) y transversal (ST), así como las nomenclaturas de las muestras: PES, RPET-CR y RPET-BL.

Figura 15

Grafico de Box plot de la fuerza máxima



El gráfico de box plot representa la distribución de los valores de fuerza máxima (N) para los tejidos PES, RPET-CR y RPET-BL, evaluados en los sentidos longitudinal (SL) y transversal (ST).

En la gráfica se puede apreciar el comportamiento de los valores de la fuerza máxima. Con respecto a las muestras del PES, se evidencia que en el SL es mayor a la ST, lo que indica que este tejido posee mayor resistencia en su sentido longitudinal. Por otro lado, en el caso del RPET crudo se observa que la resistencia en su sentido longitudinal es la más alta entre todas con 1661.81 N, por el contrario, para el sentido trasversal RPET-CR-ST el valor disminuye considerablemente hasta 394.39 N, siendo esta la menor capacidad de carga baja esta condición.

Por último, los valores correspondientes al RPET-BL-SL, muestran un comportamiento similar al RPET-CR-SL, con un valor de 1640.57 N en la fuerza máxima, en comparación con el sentido trasversal que es uno de los más bajos.

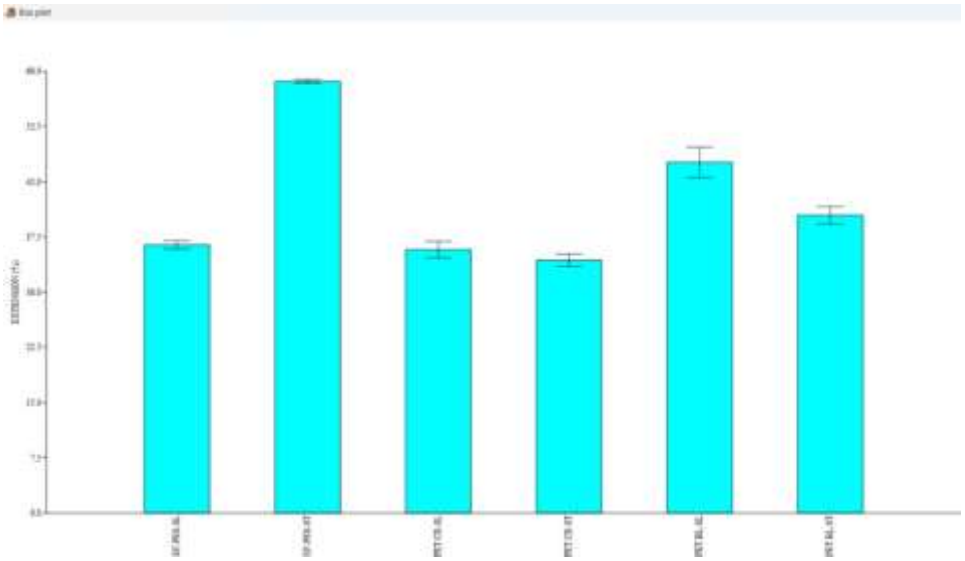
De manera general, el análisis gráfico evidencia que la condición SL (longitudinal), proporciona mayores valores de fuerza máxima en comparación con las ST (transversal), esto en el tejido de poliéster convencional. Asimismo, se observa que el RPET en crudo o blanqueado alcanzan niveles de resistencia, en este caso, más altas que el PES convencional principalmente en el sentido de la urdimbre. En vista a esto se puede deducir que se respalda el uso alternativo sostenible con poliéster reciclado en aplicaciones textiles que buscan propiedades mecánicas elevadas.

4.3.2 Representación gráfica: Elongación

En la **Figura 16** se muestra una representación gráfica comparativa mediante un diagrama de cajas (box plot) de la elongación alcanzada antes de la rotura durante los ensayos realizados en cada una de las muestras analizadas. En la gráfica se visualiza el comportamiento de la elongación en ambos sentidos del tejido, longitudinal (SL) y transversal (ST), así como la identificación de los materiales evaluados: poliéster convencional PES y poliéster reciclado RPET.

Figura 16

Gráfico Box plot de la elongación



El diagrama de cajas muestra los valores promedio de la elongación (%) para los tejidos PES, RPET-CR y RPET-BL, evaluados en el sentido de la urdimbre (SL) y trama (ST).

Para dar inicio al análisis gráfico, se considera en primer lugar las dos cajas correspondientes al poliéster convencional (PES). En este caso, se observa que la elongación máxima en el sentido longitudinal (SL) alcanza un valor de 36.41 %, el cual resulta significativamente inferior al valor obtenido en el sentido transversal (ST) con un registro de 58.61% de elongación. Este último valor corresponde a la mayor elongación observada en todo el estudio, lo que evidencia una mayor capacidad de deformación del tejido.

A continuación, se analizan los resultados correspondientes al PET reciclado crudo, en este caso, se observa que las cajas poseen una altura similar entre sí, siendo de 35.78% en su sentido longitudinal y 34.32% en la trasversal, mostrando que la elongación es homogénea en ambas direcciones del tejido, del mismo modo estos dos se constituyen como los valores más bajos del conjunto de muestras analizadas. Por último, los resultados obtenidos del PET reciclado blanqueado son similares al PET reciclado crudo, en la cual, en el sentido de la urdimbre, RPET-BL-SL, posee mayor elongación que en la trama con una diferencia de 7.18% de elongación a favor del sentido longitudinal, en base a ello, se puede mencionar que el proceso de blanqueo en este tipo de tejidos puede modificar las tendencias del material.

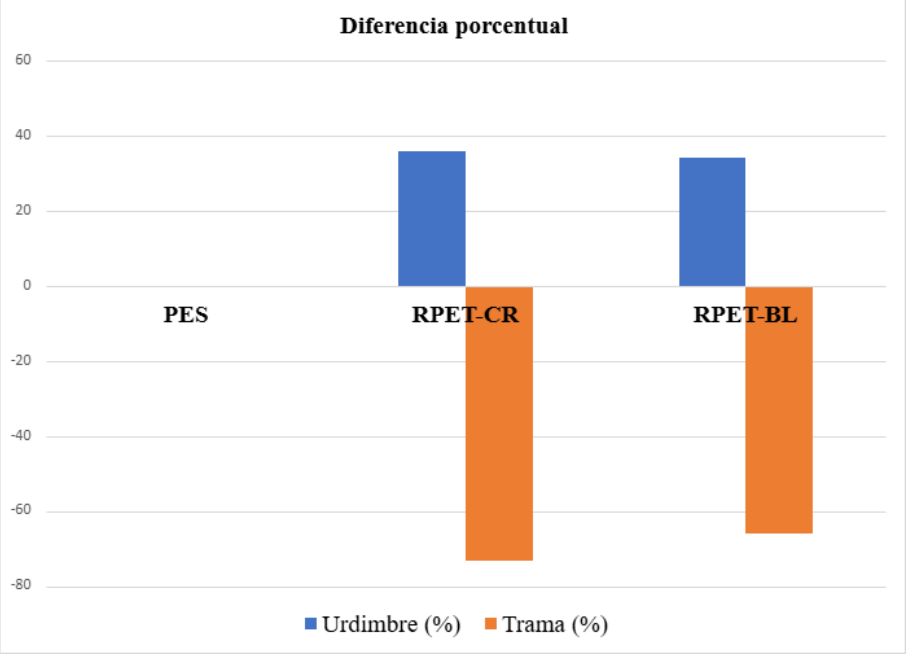
De manera general, el análisis gráfico muestra que el sentido del tejido si influye en los resultados de la elongación del material. En este caso el PES presenta mayor elongación en la dirección de la trama, mientras que los tejidos RPET, muestran un comportamiento uniforme entre ambos sentidos, con una pequeña tendencia a poseer mayor elongación en el sentido de la urdimbre.

Análisis con respecto al PES

Con el fin de profundizar en el análisis, se realizó una gráfica de comparación porcentual **(**ver ***Figura 17*****)** tomando como referencia el tejido PES (datos en cero). En el sentido de urdimbre, el RPET-CR presenta un incremento aproximado del 36% en la fuerza máxima, mientras que el RPET-BL muestra un aumento cercano al 34%, lo que confirma que los tejidos de elaborados con RPET poseen una mayor capacidad para soportar cargas longitudinales. Por el contrario, en el sentido de la trama los tejidos de RPET presentan una disminución significativa de la resistencia en comparación con el PES, registrándose una reducción aproximada del 73% para el RPET-CR y del 66% para el RPET-BL. Estos resultados confirman que para los tejidos analizados el RPET presentan una menor resistencia en el sentido transversal.

Figura 17

Variación porcentual de la fuerza respecto al PES

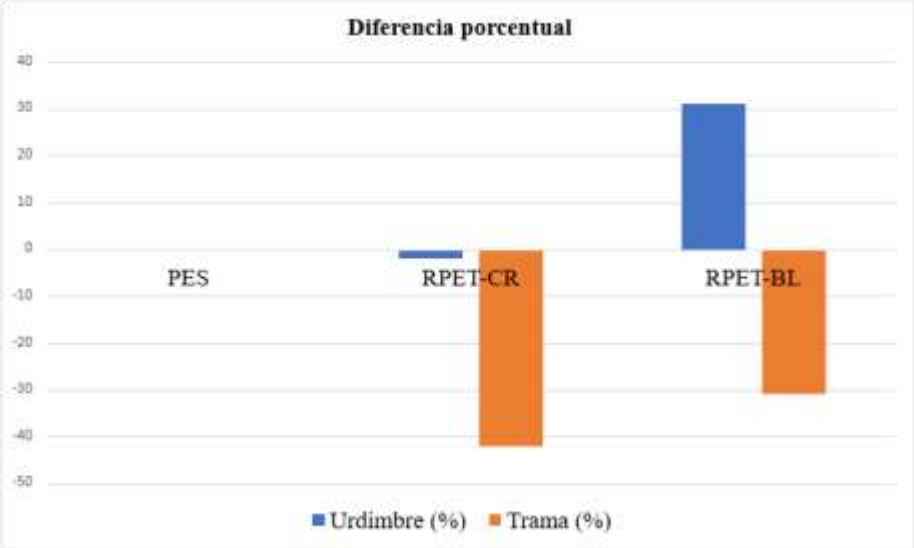


Por el contrario, en la ***Figura 18***, respecto al análisis porcentual de la elongación evidencia diferencias claras en el comportamiento mecánica del tejido en función del material y del sentido del tejido. En el sentido de la urdimbre el tejido RPET-BL presenta un incremento significativo de la elongación en comparación con el PES con un aumento aproximado del 31% lo que indica una mayor capacidad de deformación longitudinal antes de la rotura, por su parte el RPET-CR muestra una variación negativa leve cercana al 2% respecto al PES evidenciando un comportamiento prácticamente equivalente entre ambos materiales en este sentido.

En el sentido de la trama los tejidos elaborados con RPET presentan una disminución considerable de la elongación en comparación con el poliéster convencional. El RPET-CR registra la mayor reducción con un aproximado del 42%, mientras que el RPET-BL Presenta una disminución del 31%, esos resultados sugieren que el poliéster convencional posee mayor elongación transversal en comparación con los tejidos de poliéster reciclado.

Figura 18

Variación porcentual de la elongación respecto al PES



De manera general, Los resultados evidencian que el comportamiento mecánico de los tejidos está condicionado tanto por el tipo de material como del sentido. El poliéster reciclado presenta un mejor desempeño en resistencia en el sentido longitudinal, mientras que el poliéster convencional muestra mayor asistencia en el sentido transversal. En relación con la elongación, el poliéster convencional se caracteriza por una mayor capacidad de deformación, especialmente en la dirección transversal, en tanto que los tejidos de poliéster reciclado exhiben un comportamiento más uniforme entre ambos sentidos, aunque con menor elongación transversal.

En consecuencia, puede establecerse que el poliéster reciclado destaca por su resistencia longitudinal, mientras que el poliéster convencional ofrece un equilibrio más favorable entre resistencia transversal y capacidad de elongación.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último apartado se procede a emitir las conclusiones correspondientes, después de haber realizado los ensayos y la interpretación de estos, de igual manera se procede a realizar las recomendaciones respectivas para ampliación del estudio.

5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten establecer que los tejidos de poliéster convencional (PES) y poliéster reciclado (RPET) presentan propiedades físicas comparables, especialmente en el gramaje. Los valores registrados, 233 g/m² para el PES y 237 para g/m² para el RPET, garantizan condiciones equivalentes para la evaluación de su comportamiento mecánico. Además, la consideración del RPET crudo y blanqueado permitió analizar la influencia del tratamiento de blanqueo sobre las propiedades del material reciclado.

Los ensayos de resistencia a la tracción realizados conforme a la norma ISO 13934-2 mediante el método de agarre, permitió determinar la fuerza máxima soportada y la elongación hasta la ruptura de los tejidos evaluados. La aplicación de procedimiento normalizado y el uso adecuado de los equipos de laboratorio garantizaron la confiabilidad técnica de los resultados y facilitaron su comparación. Asimismo, el análisis estadístico realizado en el software PAST 4 aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, demostró que todas las muestras obtuvieron un p(Normal)>0.05, indicando que estos poseen una distribución normal y de esta manera validando la interpretación y la comparación mecánica de los materiales estudiados.

El análisis con respecto a la resistencia a la tracción muestra que esta característica depende mucho de la dirección del tejido, en la urdimbre el RPET mostró valores superiores a 1660 N representando un 36% de superioridad ante el PES con 1220 N, lo que indica una mayor

capacidad del material reciclado para soportar cargas longitudinales. Sin embargo, en la dirección de la trama se observó un comportamiento contrario, ya que el PES alcanzó valores aproximados de 1481.81 N lo que representa una resistencia aproximadamente de 232 % superior al promedio de 445.84 del RPET, evidenciando un mejor desempeño del material convencional ante esfuerzos transversales.

En cuanto a la elongación, los resultados también muestran variaciones según la dirección del tejido y el tratamiento aplicado al material reciclado. Para la urdimbre, el RPET blanqueado presentó una mayor capacidad de deformación, con una diferencia cercana al 31 % respecto al PES, mientras que RPET crudo registró un comportamiento similar al poliéster convencional, con una variación aproximada del 2%. En contraste, en la trama el PES mostró mayor elongación, mientras que el RPET-CR y RPET-BL presentaron reducciones aproximadas del 42 % y 31 % respectivamente, lo que confirma que el tratamiento de blanqueo influye en la deformación longitudinal, aunque el RPET presenta limitaciones en el sentido transversal.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda ampliar la investigación hacia tejidos con menor densidad o gramaje liviano, manteniendo condiciones experimentales similares a las del presente estudio, con el fin de evaluar su aplicabilidad en la industria de la confección, mediante ensayos complementarios como resistencia y deslizamiento de costuras abrasión, entre otros, considerando también variables como ligamento y densidad de los hilos.

Dado el comportamiento observado en el estudio, se recomienda analizar el desempeño de los tejidos de RPET y PES bajo condiciones de uso real incluyendo ensayos de resistencia al sudor en medios ácidos y alcalinos, ciclos de lavado e influencias de procesos de acabados como

blanqueo, teñido o termo fijado. Estos estudios permitirán determinar el idóneo uso del material para diferentes aplicaciones dentro de las diversas ramas de la industria textil.

Se sugiere realizar estudios orientados al proceso de obtención de poliéster reciclado, incorporando herramientas como el análisis del ciclo de vida (ACV), con el fin de evaluar su impacto ambiental y cuantificar su contribución a la reducción de residuos textiles y emisiones contaminantes. Este enfoque permitirá vincular el desempeño mecánico del RPET con sus beneficios ambientales, fortaleciendo su viabilidad como alternativa sostenible frente al poliéster convencional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asamblea Nacional del Ecuador. (2020). *Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo Uso.* Obtenido de https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC200078/

Abbas, A., Awais, H., Nawab, Y., Ahmad, H., Ashraf, W., Ahmad, F., & Hussain, M. (2025). Serviceability and washing durability of recycled polyester, wool, and acrylic: Sustainability concerns and microfiber leaching. *Industrial Crops and Products, 225*. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120450

Acosta, S. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Revista Latinoamericana Ogmios, 3*(8), 82-95. Obtenido de https://doi.org/10.53595/rlo.v3.i8.0841

Arias, F. (2023). Investigación documental, investigación bibliométrica y revisiones sistemáticas. *Universidad Central de Venezuela, 31*(2).

Bustamante, R. (2017). *Fundamentos del Diseño en el Tejido Plano.* Obtenido de https://apttperu.com/fundamentos-del-diseno-tejido-plano/

Chamorro, L., Esparza, W., & Jaramillo, B. (2024). Análisis de la resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja para elaborar sombreros de fieltro. *Revista IDEAS, 6*(2). Obtenido de http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.961

Claussen, L., Lloyd, A., Ruiz, D., & Havenith, G. (2023). Recycled versus virgin polyester sportswear – can a difference be perceived in actual use? *International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 18*(2), 147–155. Obtenido de https://doi.org/10.1080/17543266.2023.2247427

Deshmukh, G. (2024). Polyester fiber: Composites and its applications. En Synthetic and Mineral Fibers. *Their Composites and Applications*. Obtenido de https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13623-8.00008-3

Enking, J., Becker, A., Schu, G., Gausmann, M., Cucuarchi, S., Tukker, A., & Gries, T. (2025). Recycling processes of polyester-containing textile waste: A review. *Resources, Conservation and Recycling, 219*(108256). Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108256

Esi, B., & Baykal, P. (2020). Investigation of tensile strength and elongation properties of chenille upholstery fabrics including recycling polyester yarns. *Journal of Industrial Textiles*. Obtenido de https://doi.org/10.1177/1558925020916040

Esi, B., & Baykal, P. (2020). Investigation of tensile strength and elongation properties of chenille upholstery fabrics including recycling polyester yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 15*. Obtenido de https://doi.org/10.1177/1558925020

FAO. (21 de Diciembre de 2020). *Base de datos FAOLEX*. Obtenido de https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC200078/

Forero, A. (2023). *Obtención de fibra textil a partir del reciclado del plástico (PET).* Fundación Universidad de América,. Obtenido de https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9155/1/6171219-2023-1-IQ.pdf

Furidha, B. (2024). Comprehension of the descriptive qualitative research method: A critical assessment of the literature. *Journal of Multidisciplinary Research, 2*(4), 1-8. Retrieved from https://doi.org/10.56943/jmr.v2i4.443

Gasull, L. (2022). *Estudio de las propiedades de materiales textiles reciclados basados en celulosa.* Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/377840/TFM.%20MEMORIA.%20Estudio%20de%20las%20propiedades%20de%20materiales%20textiles%20reciclados%20bas...%20(Laura%20Gasull%20P%C3%A9rez).pdf;jsessionid=EB1BF034D7CF1434ACF82E24DC93859F?sequence=4

Guerra, L. (2021). *Diseño y construcción de un prototipo de procesadora de botellas plásticas PET recicladas para la obtención de fibra de poliéster.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14661/1/20T01413.pdf

Guevara, C., Castro, C., Guevara, E., Crovetto, L., & Escudero, J. (2017). *Telas Poliester Elaboradas De Material Recilado (Pet).* Universidad San Ignacio de Loyola. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.14005/3203

He, S., Wei, M., Liu, M., & Xue, W. (2014). Characterization of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate) (PET) fibers. *The Journal of TheTextile Institute*, *106*, 1–7. Obtenido de https://doi.org/10.1080/00405000.2014.944820

Katic, I., Salopek, I., Potoicic, V., & Cubric, G. (2023). Changes in mechanical properties of fabrics made of standard and recycled polyester yarns due to aging. *Polymers*, *15*(23). Obtenido de https://doi.org/10.3390/polym15234511

Lasluisa, B. (2023). *Análisis comparativo entre un tejido 100% PET y PES en la recuperación al doblez y resistencia a las arrugas.* Universidad Técnica del Norte. Obtenido de https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15097/2/04%20IT%20359%20TRABAJO%20GRADO.pdf

Majumdar, A., Shukla, S., Singh, A., & Arora, S. (2020). Circular fashion: Properties of fabrics made from mechanically recycled poly-ethylene terephthalate (PET) bottles . *Resources, Conservation & Recycling, 161*(104915). Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.resc

Palacios-Mateo, C. V., & Seide, G. (2021). Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability. *Environmental Sciences Europe,, 33*(2). Obtenido de https://doi.org/10.1186/s12302-020-00451-1

PCE Ibérica SL. (s.f.). *Dinamómetro.* Obtenido de https://www.pce-instruments.com/f/espanol/media/dinamometro-informacion.pdf

Peñaloza, D. (2023). *Diseño de autor a partir de la experimentación con tejidos textiles planos artesanales.* Universidad del Azuay.

Pivsa, S., Sunyikhan, K., & Pivsa, W. (2021). Bicomponent multifilament yarns of recycled poly(ethylene terephthalate) and nano-titanium dioxide for antibacterial carpet. *Journal of Industrial Textiles, 51*(1), 1034S-1047S. Obtenido de https://doi.org/10.1177/15280837211011774

QIMA. (2024). *Recycled Polyester (rPET) Fabric Impacts on Textile Industry*. Obtenido de https://blog.qima.es/sustainability/recycled-polyester-fabric-transforming-textileindustry

Quesada, A., & Medina, A. (2020). Métodos teóricos de investigación: Análisis-síntesis, inducción-deducción, abstracto-concreto e histórico-lógico. *Monografías 2020*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/347987929_METODOS_TEORICOS_DE_INVESTIGACION_ANALISIS-SINTESIS_INDUCCION-DEDUCCION_ABSTRACTO_-CONCRETO_E_HISTORICO-LOGICO

Salopek, I., & Cubric, G. (2024). Influence of yarn and fabric properties on mechanical behavior of polymer materials and its retention over time. *Polymers, 16*(12), 1725. Obtenido de https://www.mdpi.com/2073-4360/16/12/1725

Schumacher, K. A., & Forster, A. L. (2022). Textiles in a circular economy: An assessment of the current landscape, challenges, and opportunities in the United States. *Frontiers in Sustainability, 3*(1038323). Obtenido de https://doi.org/10.3389/frsus.2022.1038323

Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. (2010). Environmental Impact Assessment of Man-Made Cellulose Fibres. *Resources Conservation and Recycling , 55*(2). doi:10.1016/j.resconrec.2010.10.001

Smelik, A. (2023). Polyester: A cultural history. Fashion Practice. *The Journal of Design, Creative Process & the Fashion Industry,, 15*(2), 279–299. Obtenido de https://doi.org/10.1080/17569370.2023.2196158

Tapia, J., Luna, G., García, A., González, R., Bonilla, A., & Alvarez, A. (2014). Polyester Fiber Production Using Virgin and Recycled PET. *Fibers and Polymers, 15*, 547–552. Obtenido de https://doi.org/10.1007/s12221-014-0547

Ticona, L., & Humpiri, M. (2020). Aprendizaje de la resistencia a la tracción de hilos industriales en estudiantes de Ingeniería Textil. *ÑAWPARISUN - Revista de Investigación Científica, 3*(1), 49–57. Obtenido de ,https://doi.org/10.47190/nric.v3i1.126

TULSMA. (2017). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.* Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf

u-long. (2023). *Tejido de Poliéster Reciclado con Recubrimiento de PU*. Obtenido de https://www.u-long.com/es/product/ED3355.html

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. (s.f.). *Tejido de poliéster reciclado*. Obtenido de Materialoteca México: https://materialoteca.azc.uam.mx/index.php/catalogo-de-materiales/item/55-textil/6277-tejido-de-poliester-reciclado-5

Unstuntag, S. (2021). Optimization of draft and twist values for improvement of breaking strength and elongation properties of dual-core yarns. *Tekstil ve Konfeksiyon, 31*(3), 220–227. Obtenido de https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.903690

Vidal, S. (2022). *Estudio sobre el impacto de las principales fibras empleadas en el sector textil desde el punto de vista de la sostenibilidad.* Universidad de Coruña. Obtenido de https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/32158/VidalGonzalez_Sofia_TFG_2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Yadav, Y., Dixit, G., & Dixit, S. (2023). Natural fiber reinforced rPET/polyester composites: a review on development, mechanical performance, and sustainable management. *Polymer-Plastics Technology and Materials,* 1–11. Obtenido de https://doi.org/10.1080/25740881.20

Yuksekkaya, M., Celep, G., Tetik, G., Tercan, M., & Urhan, B. (2016). A Comparative Study of Physical Properties of Yarns and Fabrics Produced From Virgin and Recycled Fibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 11*. Obtenido de https://doi.org/10.1177/155892501

ANEXOS

Anexo 1

Caracterización de las muestras



Anexo 2

Ensayos en el dinamómetro



Anexo 3

Muestras después de ensayo



Anexo 4

Equipos de Laboratorio

