UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DE

INGENIERA TEXTIL

TEMA:

" ELABORACIÓN DE UN LAMINADO UTILIZANDO RECIPIENTES DESECHABLES DE POLIURETANO (PU) Y TEJIDOS RECICLADOS 100% POLIÉSTER. "

AUTOR: Tipanluiza Muela Daniela Abigail

DIRECTOR: MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica

Ibarra-Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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:	Tipanluiza Muela Daniela Abigail

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Elaboración de un laminado utilizando recipientes desechables de poliuretano (PU) y tejidos reciclados 100% poliéster.
AUTOR:	Tipanluiza Muela Daniela Abigail
FECHA:	24 de junio del 2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ Grado ☐ Posgrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Textil
DIRECTOR:	MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica

2. CONSTANCIAS

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 24 días del mes de junio del 2026

Autor (a).

Firma: .....Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DANIELA ABIGAIL
TIPANLUIZA MUELA.....

Nombre: Tipanluiza Muela Daniela Abigail

C.I. 175506466-2

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, a los 24 días del mes de junio del 2026

MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica

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:
VALERIA VERONICA
CHUGA CHAMORRO

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

MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica

C.C.: 040173225-0

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El comité calificador del trabajo de Integración Curricular **“** Elaboración de un laminado utilizando recipientes desechables de poliuretano (PU) y tejidos reciclados 100% poliéster” elaborado por Tipanluiza Muela Daniela Abigail, 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:
VALERIA VERONICA CHUGA CHAMORRO

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

Director

MSc.Chugá Chamorro Valeria Verónica

C.C.: 040173225-0

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
WILLAM RICARDO ESPARZA ENCALADA

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

Asesor

MSc. Esparza Encalada Willam Ricardo

C.C.: 100158901-7

DEDICATORIA

Este trabajo se dedica especialmente a todos los seres queridos que se encuentran en el cielo, sobre todo a mis dos abuelitas, Asunción Tipán y Rosita Yugsi. Pese a no haber presenciado el proceso de esta etapa, existe la certeza de que ellas estarían muy orgullosas; por eso y mucho más, gracias.

Daniela Tipanluiza

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco profundamente a Dios y a la Virgencita por darme la fuerza y la oportunidad de cumplir uno de mis deseos más anhelados: el poder llamarme Ingeniera. A mis padres, Fanny Muela y Pablo Tipanluiza, quienes siempre han estado brindándome un apoyo incondicional; gracias a ellos he llegado a ser la persona que soy. Han visto cada uno de mis tropiezos y, sin embargo, han estado allí para amortiguar cada caída y darme el impulso para seguir con la cabeza siempre en alto. A mí, porque pese a cada lágrima, rendirse nunca fue una opción y decidí enfrentar muchos de mis miedos sola y, aun así, seguir. A mis queridos hermanos, quienes con su apoyo me dieron motivos para persistir e insistir.

A mis queridos amigos, Britany, Elvis, Katherine, Brenda y Liseth; aquellos con los que he vivido cada una de mis etapas como compañeros y, principalmente, como amigos; con los que he palpado cada risa y, sobre todo, lágrimas; con los que empecé la carrera y con los mismos que la finalicé. A todos y cada uno de los que están presentes aquí les doy mi más grande agradecimiento. Si les soy sincera, soy creyente de la frase 'las cosas pasan por algo' y me alegra mucho saber que ustedes, especialmente mi familia, han sido la energía que me incentivó a seguir adelante. Sin nada más que decir, muchas gracias, querida familia y amigos.

Con cariño Dani Tipanluiza

RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática ambiental derivada de la deficiente gestión de residuos sintéticos en el contexto local, donde la baja tasa de reciclaje y el potencial tóxico de materiales no biodegradables, como el poliuretano (PU), representan un desafío crítico para la sostenibilidad. Ante este escenario, el estudio evalúa la viabilidad técnica de una estructura laminada innovadora desarrollada mediante la valorización de poliuretano y residuos textiles de poliéster. La metodología se fundamentó en un proceso de disolución química y mezclado en una relación técnica de soluto y solvente que facilitó la ruptura de las fuerzas intermoleculares del polímero por afinidad química, asimismo, se utilizó la técnica del laminado con cuchilla, garantizando una integración homogénea del refuerzo y para que este tenga mayor resistencia se colocó resina epóxica, por lo tanto, se evaluaron tres formulaciones con relaciones PU/textil (80/20, 85/15 y 70/30) mediante ensayos de tracción y pruebas de humectación para determinar su desempeño mecánico y capacidad hidrofóbica, en la cual, los resultados permiten concluir que la dosificación 70/30 maximiza el aprovechamiento con un promedio de resistencia a la tracción de 621,22 N, sin comprometer la integridad estructural, siempre que se mantenga la orientación longitudinal del refuerzo. Con base en estos hallazgos, se determina que el laminado obtenido contribuye a la creación de productos no convencionales de alto rendimiento, impulsando la economía circular, bajo un esquema de aprovechamiento integral, donde la sostenibilidad se evidencia en la reducción drástica de desechos sólidos que de otro modo terminarían en vertederos sin utilidad alguna, así también cumpliendo con los lineamientos del ODS 12 sobre Producción y Consumo Responsables al mitigar el impacto de los desechos industriales en el sector textil.

Palabras clave: poliuretano (PU), reciclaje, poliéster, laminado, sustrato.

ABSTRACT

This research addresses the environmental issues stemming from the poor management of synthetic waste in the local context, where low recycling rates and the toxic potential of non-biodegradable materials, such as polyurethane (PU), represent a critical challenge for sustainability. In this scenario, the study evaluates the technical feasibility of an innovative laminated structure developed through the recovery of polyurethane and polyester textile waste. The methodology was based on a chemical dissolution and mixing process at a technical solute-to-solvent ratio that facilitated the breaking of the polymer's intermolecular forces through chemical affinity. Furthermore, a knife-over-roll coating technique was used to ensure a homogeneous integration of the reinforcement; epoxy resin was added to enhance strength. Consequently, three formulations with PU/textile ratios (80/20, 85/15, and 70/30) were evaluated through tensile and wetting tests to determine their mechanical performance and hydrophobic capacity. The results conclude that the 70/30 dosage maximizes utilization with an average tensile strength of 621.22 N without compromising structural integrity, provided the longitudinal orientation of the reinforcement is maintained. Based on these findings, it is determined that the resulting laminate contributes to the creation of high-performance non-conventional products, driving the circular economy under a comprehensive recovery scheme where sustainability is evidenced by the drastic reduction of solid waste that would otherwise end up in landfills without any utility, thus also complying with the guidelines of SDG 12 on Responsible Consumption and Production by mitigating the impact of industrial waste in the textile sector.

Keywords: Polyurethane, recycling, polyester, laminated, substratum.

SIGLAS

ISO: International Organization for Standardization.

AATCC: Asociación Estadounidense de Químicos y Coloristas Textiles

UTN: Universidad Técnica del Norte

CTEX: Carrera de textiles

PU: Poliuretano

RF: Tejidos reciclados

Pes: Poliéster

mm: Milímetros

N: Newton

cP: Centipoise

°F: Grados Fahrenheit

mL: Milílitro

M1(80/20): Muestra uno 80% de poliuretano y 20% retazos de poliéster

M2(85/15): Muestra dos 85% de poliuretano y 15% retazos de poliéster

M3(70/30): Muestra uno 70% de poliuretano y 30% retazos de poliéster

U1: urdimbre 1

U2: urdimbre 2

U3: urdimbre 3

T1: trama 1

T2: trama 2

T3: trama 3

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I **1**

INTRODUCCIÓN **1**

1.1 Problema **1**

1.2 Objetivo general **2**

5.7 Objetivos específicos **2**

5.8 Alcance **3**

5.9 Características del sitio del proyecto **4**

5.10 Justificación **5**

CAPÍTULO II **6**

6. MARCO TEÓRICO **6**

6.5 Antecedentes **6**

6.6 Estudios previos **7**

6.6.1 Tejidos reciclados 100% poliéster (RF) 7

6.6.2 Poliuretano PU 9

6.7 Marco legal **11**

6.7.1 Constitución de la República del Ecuador 11

6.7.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte 11

6.7.3 Línea de investigación de la carrera de textiles 12

6.8 Marco conceptual 12

6.8.1 Composición del poliuretano 12

6.8.2 Propiedades del poliuretano (PU) 13

6.8.3 Enfoques generales del reciclaje del PU 14

6.8.4 Naturaleza y conformación de los tejidos 100% poliéster 15

6.8.5 Generalidades del recubrimiento textil 15

6.8.6 Laminado Textil 16

CAPÍTULO III 20

MATERIALES Y MÉTODOS 20

7.5 Enfoques de investigación 20

7.6 Tipos de investigación 20

7.6.1 Investigación descriptiva 20

7.6.2 Investigación correlacional 20

7.6.3 Investigación experimental 21

7.7 Técnicas de investigación 21

7.7.1 Técnicas cuantitativas 21

7.8 Flujogramas 22

7.8.1 Flujograma general 22

7.8.2 Flujograma muestral 23

7.9 Equipos y materiales 24

7.9.1 Materiales 24

7.9.2 Equipos 27

7.10 Normas de referencia 32

7.10.1 Resistencia a la tracción mediante la Norma ISO 1421 32

7.10.2 Resistencia a la humectación de la superficie de tejidos AATCC 22 32

7.11 Procedimiento 33

7.11.1 Recolección de la materia prima 33

7.11.2 Procedimiento de la preparación del laminado 34

7.11.3 Preparación del laminado circular para el spray test 35

7.11.4 Ensayos del laminado 35

CAPÍTULO IV 37

RESULTADOS Y ANÁLISIS 37

8.5 Resultados 37

8.5.1 Tabulación de resultados de resistencia a la tracción del laminado 37

8.5.2 Normalidad de los datos para determinar la confiabilidad de las pruebas 38

8.5.1 Análisis de la varianza y coeficiente de variación de los resultados obtenidos 39

8.5.2 Análisis de la evaluación de la repelencia al agua según la norma AATCC 22 40

8.5.3 Discusión de resultados 41

CAPÍTULO V 44

9.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 44

9.5.1 Conclusiones 44

9.5.2 Recomendaciones 45

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales Compuestos del (PU) y consecuencias ambientales..... 13

Tabla 2 Caracterización de los tejido*s*..... 24

Tabla 3 Especificaciones técnicas del metanol 26

Tabla 4 Especificaciones técnicas de la resina epóxica 26

Tabla 5 Características del Horno Incubador..... 28

Tabla 6 Características del Dinamómetro Titán..... 29

Tabla 7 Características del Equipo Spray Test..... 31

Tabla 8 Resultados de resistencia a la tracción de los laminados 37

Tabla 9 Prueba de normalidad con los datos obtenidos de la resistencia a la tracción 38

Tabla 10 Procesamiento de la variabilidad de los datos obtenidos tras someter a los laminados a pruebas de tracción. 39

Tabla 11 Evaluación comparativa de la resistencia a la humectación 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del laboratorio CTEX 4

Figura 2 Textura microporosa del PU 14

Figura 3 Tipos de laminado textil 17

Figura 4 Laminado con cuchilla 19

Figura 5 Flujograma general de procesos 22

Figura 6 Flujograma muestral de procesos 23

Figura 7 Espuma de PU recolectados 25

Figura 8 Molde de madera MDF 27

Figura 9 Horno Incubador 28

Figura 10 Dinamómetro James Heal 30

Figura 11 Equipo Spray Test 31

Figura 12 Gráfico de barras de los resultados de la resistencia a la tracción 41

Figura 13 Tendencia de resultados de la prueba de la resistencia a la tracción 43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Esquema del corte de probetas para evaluar en el Dinamómetro 51

Anexo 2 Clasificación de prueba de rociado estándar 52

Anexo 3 Imágenes del proceso del laminado 53

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1.Problema

En la actualidad, la creciente acumulación de residuos sintéticos como el poliuretano (PU) y los materiales textiles no biodegradables representan un desafío urgente para la sostenibilidad ambiental. Estos desechos, al no descomponerse de forma natural en un corto plazo, generan impactos negativos tanto en el ecosistema como en la salud humana (Guerrero, 2025). El PU, por ejemplo, puede liberar sustancias tóxicas como mercurio y compuestos bromados, que se desprenden con el tiempo y contaminan el entorno (Akindoyo et al., 2016).

En Ecuador, esta problemática también es evidente. Según El Universo (2020) afirma que "el país genera aproximadamente 375 mil toneladas de residuos sólidos urbanos al año, pero solo recicla el 4 % de estos" (p.1). La reducida tasa de recuperación que observamos hoy en día evidencia una gestión insuficiente de los materiales que admiten un segundo ciclo de vida. Es decir, los compuestos de origen sintético como el poliuretano y diversos sobrantes de la industria textil; estos, al carecer de un tratamiento técnico adecuado, se transforman en focos críticos de impacto ambiental. Recuperar este tipo de recursos exige protocolos de procesamiento muy específicos, lo que hace indispensable transitar hacia modelos de sostenibilidad que sean verdaderamente viables y eficientes, (Proyecto de Circularidad y Comercio de Textil Usado (PNUMA), 2025).

Por ello, el presente proyecto va dirigido hacia la búsqueda de soluciones que permitan disminuir el impacto ambiental generado por estos desechos. Por la cual se plantea un plan de reciclaje que incluya un proceso organizado de recolección y selección eficiente tanto del poliuretano como de los tejidos reciclados, con el fin de transformarlos en un laminado mediante la combinación de ambas materias primas, dando como resultado un producto funcional y reutilizable.

Finalmente, la presente investigación se relaciona con los ideales del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 12: Producción y Consumo Responsables, fomentando

prácticas de reciclaje y aprovechamiento de residuos que favorezcan la conservación del medio ambiente y ayuden a mitigar los efectos del cambio climático (Naciones Unidas, 2023).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar un laminado con recipientes desechables de poliuretano (PU) y tejidos reciclados.

1.2.2 Objetivos específicos

- Recolectar y clasificar residuos de poliuretano (PU) y retazos de poliéster reciclado como materia prima para el laminado.
- Disolver el poliuretano e integrarlo con los retazos textiles de poliéster, mediante un proceso de mezclado que permita formar una estructura laminada homogénea.
- Fabricar tres muestras de laminado con distintas concentraciones de material, manteniendo un espesor estándar de 3.9 mm.
- Evaluar las propiedades físicas de las muestras aplicando las normas ISO 1421 para determinar la resistencia a la tracción y AATCC 22 para analizar resistencia a la humectación.

1.3 Alcance

Esta investigación se llevará a cabo con un enfoque analítico, comparativo y experimental, ya que tiene como objetivo examinar, contrastar y comparar un textil tecnológico a través de la elaboración de diferentes muestras, la modificación de variables y la evaluación de resultados (Romaina, 2012). El método analítico, en la cual se basa en descomponer y estudiar la información de diferentes fuentes bibliográficas para analizar y entenderla, posteriormente, el método comparativo ayudará a contrastar, los datos obtenidos en la fase anterior, definiendo semejanzas y diferencias entre las distintas muestras, por consiguiente, se lleva a cabo la etapa experimental con el fin de validar las propuestas establecidas, ya que esto se logra a través del control preciso de variables y la ejecución de diversas pruebas de laboratorio.

La etapa inicial consiste en organizar un plan de reciclaje para el almacenamiento y la clasificación de los materiales aprovechables, asimismo, los residuos textiles se obtendrán directamente del campus Azaya, especialmente de los residuos generados en el laboratorio de la carrera de Textiles (CTEX). Por otra parte, el poliuretano (PU) se realizará mediante la adquisición directa de residuos generados en tapicerías y establecimientos dedicados a la fabricación y reparación de mobiliario, donde este material es utilizado de manera frecuente.

Con la materia prima lista, el siguiente paso es disolver el poliuretano con el uso de solventes específicos. Estos agentes logran ablandar o deshacer parte de la estructura del PU sin aplicar calor, aprovechando la reacción química que generan al interactuar con polímeros termoplásticos (Mualim et al., 2024). El resultado será una solución viscosa que servirá como base para el laminado, adicionalmente se colocarán los retazos de los tejidos sintéticos, consiguiente a eso se ubicará otra solución del poliuretano encima, y se dejará secar al ambiente.

Se elaborarán tres muestras con diferentes formulaciones de PU y tejidos reciclados, partiendo de un espesor estándar de 3.9 mm, las cuales serán evaluadas mediante ensayos en el laboratorio para determinar sus propiedades físicas, posteriormente se realizará una prueba de resistencia a la tracción siguiendo la norma ISO 1421, para medir la capacidad de cada muestra referente a la resistencia estiramiento al someter una fuerza externa sin romperse. Además, se

evaluará la resistencia a la humectación, es decir, la capacidad de repeler el agua, mediante la norma AATCC 22.

Este trabajo tiene como objetivo ofrecer una alternativa para reutilizar residuos y así contribuir a la sostenibilidad en el sector textil. La investigación se enfocará en una fase experimental y en la evaluación de propiedades físicas, sin adentrarse en procesos industriales ni en su aplicación comercial.

1.4 Características del sitio del proyecto

Los ensayos de laboratorio se desarrollarán en el cantón Ibarra, dentro de la jurisdicción de Imbabura en las instalaciones de la UTN. Como se observa en la **Figura 1**, el sitio específico corresponde al campus Azaya, ubicado en la intersección de las calles Morona Santiago y Luciano Solano Sala, con coordenadas 9VHG+5HJ, Morona Santiago, Ibarra 100110, relacionado directamente con CTEX.

Figura 1

Ubicación del laboratorio CTEX



Fuente: (Google Maps, 2024)

1.5 Justificación

La creciente acumulación de desechos de espuma de poliuretano (PU), ampliamente utilizada en la fabricación de mobiliario como sofás y colchones, representa un problema ambiental significativo. Debido a su naturaleza termoestable, resulta difícil de degradar, lo que complica su tratamiento y gestión. En este contexto, diversos estudios señalan que "el PU se gestiona mediante técnicas de eliminación convencionales como vertederos e incineración" (Bhavsar et al., 2023, p.1). Estas prácticas tienen consecuencias graves para el medio ambiente.

De esta manera, el reciclaje de materiales se presenta como una alternativa más viable hacia un modelo sostenible que tenga un menor impacto ambiental. Como señala I. López, Días & Torres (2024), "el reciclaje permite generar una economía circular sostenible en el tiempo, disminuyendo el impacto negativo del residuo sobre la salud de las personas y el medio ambiente" (p,99). Además, el reciclaje no solo ayuda a reducir la cantidad de desechos acumulados, sino que también disminuye los niveles de energía requeridos y las descargas contaminantes que lo generan, alineándose con los principios del sistema de gestión circular (Guerrero et al., 2012).

En lo que respecta a la recirculación de textiles, de hecho "la organización textil que es una de las áreas más contaminantes a escala global" Sucasaca Quispe & Guevara Garnica (2021, como se citó en Mora et al., 2022, p.7). Esta situación es preocupante, ya que los residuos textiles presentan una carga ambiental notoria, en contraste, la (Revista Técnica de Medio Ambiente (RETEMA), 2024) un estudio en Europa menciona que el impacto de reutilizar telas es 70 veces más bajo que producir prendas nuevas, por lo tanto, esta cifra deja clara la importancia de buscar alternativas que impulsen la reutilización, logrando así una reducción real en el volumen de desechos y frenando el desgaste ecológico que implica la fabricación desde cero.

Frente a este problema, elaborar laminados usando restos de poliuretano y excedentes de la industria textil surge como una respuesta viable para frenar la acumulación de ambos residuos. Incorporar estos insumos reciclados en los procesos productivos permite reducir la dependencia de materias primas vírgenes y, al mismo tiempo, mejora la durabilidad y resistencia de las piezas finales, asegurando que su desempeño funcional se mantenga intacto.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.2 Antecedentes

Para entender el desarrollo del laminado, con materiales reciclados en el ámbito textil, es necesario revisar algunos antecedentes que involucren la reutilización tanto del poliuretano como de los tejidos textiles, por lo cual, se han identificado fuentes que más se asemejan a la investigación. Con el objetivo de promover una transición sostenible alineada a los modelos de producción circular (Chugá et al., 2025).

En primer lugar, estudios mencionan estrategias de reciclaje de residuos de poliuretano, como la reutilización mecánica, el reciclaje químico y su uso en nuevos compuestos, concluyendo que, pese a ciertos desafíos técnicos, estas prácticas pueden reducir el impacto ambiental y fomentar la sostenibilidad dentro de una economía circular (Ugarte et al., 2018).

Por otra parte, también se emplearon paneles compuestos de cemento reforzados con fibras no tejidas provenientes de residuos de ropa técnica, evaluando sus propiedades mecánicas y su impacto ambiental mediante análisis de ciclo de vida; los paneles mostraron resistencia y tenacidad adecuadas para fachadas ventiladas, con un desempeño ambiental comparable o superior al de materiales comerciales (Ventura et al., 2022).

De forma parecida, se fabricaron paneles tipo sándwich que combinan núcleos de textil reciclado con cubiertas de polipropileno bio-basado a través de prensado térmico, al analizar su desempeño, se comprobó una unión firme entre las capas y una resistencia mecánica adecuada para aplicaciones semiestructurares (Khalili et al., 2023).

Asimismo, se fabricaron textiles laminados totalmente reciclados al unir tapas de botellas de polietileno (tanto de alta como de baja densidad) con retazos de tela vaquera mediante prensado en caliente. Tras analizar sus características físicas y mecánicas, se observó que el polietileno de alta densidad permite una mejor manipulación y un desempeño mecánico superior, lo que convierte a estos compuestos en una opción sostenible y viable para su uso en exteriores (Eniş & Sezgin, 2022).

Finalmente, la investigación que más se asemeja es en la cual elaboraron compuestos de poliuretano a partir de residuos reciclados de PU mezclados con fibras naturales como corcho y pino, utilizando técnicas de procesamiento para su integración y caracterización, obteniendo como resultados materiales con buenas propiedades mecánicas y térmicas, adecuados para aplicaciones estructurales ligeras (Gama et al., 2022).

2.3 Estudios previos

El poliuretano y los tejidos de poliéster reciclado se destaca por sus propiedades como flexibilidad, resistencia y durabilidad. Ambos materiales han sido reutilizados en diversas aplicaciones, lo que ha impulsado investigaciones orientadas a su transformación en productos funcionales y sostenibles, ayudando a reducir el impacto ambiental.

2.3.1 Tejidos reciclados 100% poliéster (RF)

La implementación de los RF ha cobrado gran importancia como una opción sostenible frente a los textiles tradicionales, ya que estos materiales no solo permiten reducir el impacto ambiental, sino que también al reutilizarlos conservan sus propiedades físicas y mecánicas (Sánchez et al., 2021).

Diversas investigaciones respaldan el uso de porcentajes variables de carga textil en matrices poliméricas. Por ejemplo,(Abidnejad et al., 2025) evaluaron la adición de hasta un 52 % en peso de fibras, logrando optimizar tanto el rendimiento mecánico como las propiedades térmicas del compuesto. En este mismo sentido, (Burgada et al., 2024) analizaron formulaciones que iban desde el 15 % hasta el 60 % en peso, demostrando que el material mantiene un comportamiento estructural equilibrado a pesar de la alta concentración de refuerzo

Al buscar el punto exacto de máxima resistencia, (Su et al., 2022) determinaron que incorporar un 20 % en peso de poliéster reciclado es ideal para alcanzar los niveles más altos de tracción y flexión. Este comportamiento coincide con lo observado por (Ruiz-Bustos et al., 2023) en compuestos reforzados con fibras provenientes de borradores de pizarra; en su estudio, las mezclas con un 20 % o más de residuo textil alcanzaron una resistencia mecánica totalmente comparable a la de los materiales sintéticos tradicionales. Por ello, los porcentajes de 15 %, 20 %

y 30 % fueron seleccionados por encontrarse dentro de los rangos previamente estudiados y por permitir evaluar el comportamiento del material con diferentes niveles de incorporación de residuos textiles.

De esta manera, se evaluaron tejidos reciclados posconsumo utilizados en el sector automotriz, concluyendo que tanto los tejidos de punto como los planos mostraron excelente desempeño en pruebas de resistencia al desgaste, siendo comparables e incluso superiores a los tejidos vírgenes. (Albini et al., 2019). Dado que el 90 % de los tejidos utilizados en la industria automotriz están hechos a base de fibra de poliéster, el reciclaje de estos textiles sintéticos se ha convertido en una alternativa sostenible clave frente al uso de materiales convencionales. Investigaciones recientes han demostrado que estos materiales no solo permiten reducir el impacto ambiental, sino que además conservan propiedades físicas y mecánicas similares a las del poliéster convencional, como es la resistencia a la tracción, resistencia al desgarro y resistencia al desgaste, además de propiedades físicas como la estabilidad dimensional y la permeabilidad al aire. (Naseem et al., 2024) detallan la fabricación de plantillas para calzado empleando non-woven de r-PET laminado con PU. Con esta combinación se obtuvieron componentes con mejores propiedades mecánicas, evidenciadas por el incremento de la resistencia a la tracción de 65 N en la muestra sin laminación a 75 N en la muestra laminada con textil, todo esto sin descuidar el enfoque sostenible que requiere el proyecto.

Asimismo, (Assagra et al., 2013) evaluaron un material compuesto formado por geotextil de poliéster de 200 g/m² y resina de poliuretano aplicada sobre madera. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en las propiedades del material, incrementando la resistencia dieléctrica hasta tres veces respecto al sustrato sin recubrimiento, también se evidenció la absorción de agua ya que se redujo de 62,8 % a 0,7 % en muestras de Pinus taeda y de 32,3 % a 0,6 % en Dinizia excelsa Ducke, demostrando la efectividad del poliéster como material de refuerzo en sistemas basados en poliuretano.

Finalmente, en un estudio sobre materiales compuestos reforzados con fibras textiles, se evaluó el comportamiento de fibras de poliéster (PET) incorporadas en una matriz de poliuretano termoplástico (TPU). Los resultados mostraron que la incorporación de fibras de PET permitió incrementar hasta seis veces el módulo de tracción y al menos 2,5 veces la resistencia a la tracción

respecto al TPU sin refuerzo, utilizando fracciones volumétricas inferiores al 10 %, además, el análisis microestructural evidenció una adecuada impregnación de las fibras dentro de la matriz polimérica, sin presencia de vacíos, demostrando la capacidad del poliéster para actuar como material de refuerzo en compuestos basados en poliuretano (Tausif et al., 2017).

2.3.2 Poliuretano PU

El PU reciclado mantiene gran parte de su integridad original después de ser procesado, se facilita su empleo en proyectos de experimentación. Su comportamiento resulta útil en el desarrollo de compuestos laminados donde se requiere una base física estable.

Según Njuguna et al (2021) “al analizar poliuretano recuperado mediante glicólisis, observaron que, aunque presentaba una resistencia a la tracción entre un 29 % y un 43 % menor en comparación con el PU virgen, mantenía altos niveles de dureza y módulo elástico” (p,1). Esto lo califica como un material útil en nuevas aplicaciones. Por otra parte, se observó que la adición de aceites vegetales y oligómeros de PET reciclado eleva de forma notable la estabilidad y la resistencia a la compresión del poliuretano. Estos hallazgos confirman que, a pesar de los ciclos de procesamiento, el PU mantiene su capacidad para aglutinar y dar soporte a otros componentes. Su aporte en cuanto a cohesión y elasticidad resulta fundamental, lo que valida su utilidad real dentro de los procesos de recuperación de materiales (Yuan et al., 2025).

De manera similar, Mendiburu et al (2023) afirman que se logró “sintetizar diferentes PU, variando el contenido de BHET desde 0 hasta 21% en peso, y variando el contenido de poliol, obteniendo un contenido de carbono renovable entre 23% y 43%” (p,1) de esta manera se evidencia también la recepción de materiales con propiedades mecánicas y térmicas equivalentes a los derivados de materias primas fósiles. Esta línea de investigación valida el uso del PU reciclado en estructuras rígidas y aplicaciones de soporte técnico.

Por otra parte, el proceso que se requiere para la disolución del PU es un aspecto fundamental que considerar para su aprovechamiento en nuevos materiales reciclables. Existen diferentes métodos de reciclaje químicos, Kemona & Piotrowska (2020) aluden que “entre ellos se encuentran la hidrólisis, glicólisis, aminólisis, la gasificación, entre otros” (p,6) además, el poliuretano posee una propiedad muy importante y útil: la capacidad de revertir su polimerización.

Esta característica permite descomponer el polímero en materiales básicos, los cuales pueden emplearse tanto en la síntesis de un nuevo poliuretano como en la obtención de materias primas aplicables a otros procesos, como el laminado.

Asimismo, se ha identificado el uso de disolventes orgánicos como son; xileno, tolueno, etanol, ácido fórmico, agua destilada, alcohol isopropílico, ácido acético, metanol y acetato de etilo, en la cual, estos compuestos permiten ablandar y descomponer parcialmente la estructura del PU. Este método aprovecha la afinidad que presenta el poliuretano con ciertos hidrocarburos de estos compuestos, facilitando su cambio de estado. Al interactuar con estos agentes, la transformación ocurre de manera fluida sin que sea necesario una presión externa (Shoaie & Bazargan, 2025).

Por otra parte, en un estudio realizado sobre compuestos de celulosa de bambú y resina epóxica para aplicaciones ortopédicas, se evaluaron formulaciones con diferentes proporciones de refuerzo y matriz. Los autores determinaron que la composición con 20% de celulosa de bambú y 80 % de resina presentó el mejor desempeño mecánico, alcanzando una resistencia a la tracción de 1049,34 N, lo que evidenció la influencia de la relación entre matriz y refuerzo en las propiedades mecánicas del material (Esparza et al., 2026).

Finalmente, el estudio evaluó diversas mezclas de poliuretano y aceite de silicona empleadas como recubrimiento, con el fin de ajustar la transpirabilidad y la protección hídrica del tejido. Se prepararon ocho variantes, además de un testigo de poliuretano puro. Los resultados de (Bakshi, 2015), indican que las relaciones 80/20 y 85/15 logran el mejor balance entre impermeabilidad y paso de vapor. Se detectó que mantener la silicona en un rango del 20% al 25% favorece ambas propiedades simultáneamente.

2.4 Marco legal

2.4.1 Constitución de la República del Ecuador

De acuerdo con el marco jurídico ecuatoriano, específicamente en lo dispuesto por los artículos 14 y 395 de la Constitución, el Estado garantiza a sus ciudadanos el derecho a desarrollarse en un entorno saludable y en equilibrio ecológico. Estas normas fundamentales dictan los principios necesarios para asegurar un crecimiento sustentable, priorizando siempre la preservación de la biodiversidad y el involucramiento directo de la comunidad en el resguardo de la naturaleza.

Según la Constitución de la República del Ecuador (2008):

> Art.14.- Bajo el marco jurídico vigente, la Constitución de la República del Ecuador define en sus artículos 14 y 395 el derecho fundamental de los ciudadanos a desarrollarse en un entorno sano y con equilibrio ecológico. Estas normativas establecen los pilares de la gestión ambiental, priorizando el desarrollo sostenible y la protección de los ecosistemas mediante la colaboración de la sociedad y el Estado (pp. 13).

> Art. 395.- literal 1 menciona, El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades (pp. 119).

2.4.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte

La institución cuenta con diversas líneas de investigación aprobadas por el Honorable Consejo Universitario, las cuales orientan la ejecución de proyectos académicos en las distintas carreras (UTN, 2022a):

Se enumeran a continuación las líneas de investigación

1. Producción Industrial y Tecnología Sostenible
2. Desarrollo Agropecuario y Forestal Sostenible
3. Biotecnología, Energía y Recursos Naturales Renovables.

4. Soberanía, Seguridad e Inocuidad Alimentaria Sustentable.
5. Salud y Bienestar Integral.
6. Gestión, Calidad de la Educación, Procesos Pedagógicos e Idiomas.
7. Desarrollo Artístico, diseño y publicidad.
8. Desarrollo Social y del Comportamiento Humano.
9. Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socio-económico.
10. Desarrollo, aplicación de software y cyber security

2.4.3 Línea de investigación de la carrera de textiles

De acuerdo con la orientación de la carrera, este trabajo se desarrollará bajo las líneas de investigación N.º 1 y N.º 9, denominadas respectivamente "Producción Industrial y Tecnología Sostenible" y "Gestión, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico" (UTN, 2022b)

2.5 Marco conceptual

2.5.1 Composición del poliuretano

El PU se obtiene de la reacción de dos componentes principales: el sistema bicomponente conformado por poliisocianato y su contraparte de poliol, (Zhang et al., 2025), de esta forma el poliisocianato aporta los grupos NCO, formados por nitrógeno, carbono y oxígeno, que reaccionan con el poliol y otros compuestos de la formación. Por su parte, el poliol es una mezcla de glicoles, alcoholes y aditivos que, al combinarse con los grupos isocianato, permite la formación del poliuretano a través del proceso de polimerización (O. López, 2009). En este apartado se presentan los principales compuestos que integran el PU, así como los efectos ambientales asociados a su producción, los cuales se resumen en la **Tabla 1** para una mejor comprensión del impacto ecológico de este material.

Tabla 1

Principales Compuestos del (PU) y consecuencias ambientales

Compuesto PU	Función principal	Impacto si no se recicla
Polioles (–OH)	Precursores de la síntesis de PU	La producción de nuevos insumos requiere de energía y recursos derivados del petróleo
Isocianatos (–NCO)	Reaccionan con polioles	Altas emisiones de CO_2 e impacto toxicológico
Catalizadores/Disolventes	Mejoran propiedades o procesamiento	Contaminación al desechar sin tratamiento
Agentes espumantes	Generan espuma en PU blando	Si no se reciclan, generan residuos voluminosos

Fuente: (Pillich et al., 2024)

2.5.2 Propiedades del poliuretano (PU)

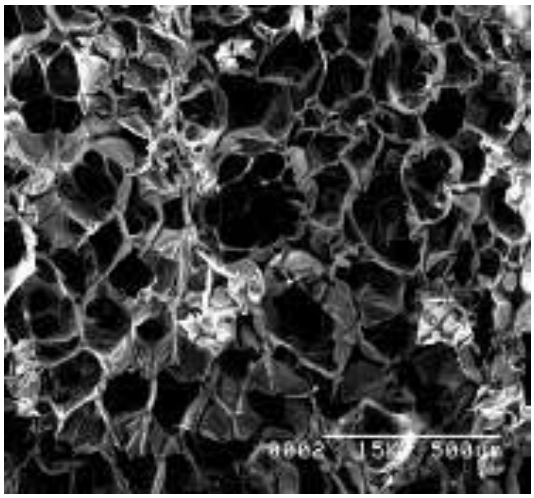
Este polímero sintético que destaca por su flexibilidad, resistencia mecánica, estabilidad térmica y durabilidad frente al desgaste. Esta versatilidad permite que el material adopte diversas formas, desde desechos espumas rígidas hasta recubrimientos sólidos, es posible obtener matrices de alta rigidez hasta acabados flexibles, además está también abarca termoplásticos como termorrígidos, ajustándose con facilidad a los requerimientos de cada aplicación. (Gama et al., 2018).

Gracias a estas propiedades, el PU se utiliza ampliamente en diversas aplicaciones, ya que combina la elasticidad con un comportamiento eficiente en una condición considerable de temperaturas (Nguyen et al., 2024).

El PU presenta una superficie microscópica con una distribución irregular, como se muestra en la **Figura 2**. En ella se observa la formación de poros, los cuales corresponden a pequeñas burbujas de aire atrapadas en su estructura, responsables de conferirle su textura esponjosa y ligera.

Figura 2

Textura microporosa del PU



Fuente: (Gonzáles & Rivada, 2016)

2.5.3 Enfoques generales del reciclaje del PU

Al igual que otros materiales plásticos, este también tiene tres diferentes fases de reciclaje en los cuales son: en el hogar, en la comunidad y en la planta de reciclaje, por lo tanto, aunque estas etapas se desarrollen en distintos niveles, todas comparten el mismo objetivo que es aprovechar las propiedades del PU mediante procesos controlado que permitan su reutilización (Programa Ecolectivos, 2022).

2.5.3.1 Tipos de reciclaje aplicados al PU

Existen tres vías principales donde el PU puede ser reciclado como menciona I. López et al (2024) “alternativas de manejo al residuo, en tratamientos biológicos, tratamientos químicos, tratamientos mecánicos y tratamientos térmicos, con el fin analizar su potencial aplicación posconsumo” (p,100).

- **Mecánico:** esta puede ser por trituración en partículas (<0,3mm) en la cual después se reincorporan como rellenos o aglomerados, o se utiliza en modelo por compresión o inyección.

- **Químico:** proceso como hidrólisis, glicólisis y aminólisis ayuda a despolimerizar el PU para poder recuperar polioles que se implementan en la producción de un nuevo PU.
- **Térmico/ energético:** por medio de pirólisis o gasificación, el PU deteriorado se convierte en energía o aceites, útil cuando el material no puede ser reaprovechado.

2.5.4 Naturaleza y conformación de los tejidos 100% poliéster

El poliéster se constituye a partir de polímeros, los cuales se forman cuando monómeros se enlazan químicamente mediante la formación de enlaces éster, dando lugar a una estructura repetitiva y estable (Zhao & Zhong, 2023). Por lo tanto, dentro del sector textil, el poliéster destaca como uno de los polímeros sintéticos con mayor presencia en la fabricación de prendas y tejidos, derivada del polímero polietilentereftalato (PET). Esta fibra se caracteriza por su alta resistencia mecánica, baja absorción de humedad, buena estabilidad dimensional y facilidad de mantenimiento (Kadolph, 2014)

2.5.4.1 Propiedades de los tejidos 100% PES

Para Rodrigues et al (2018), las propiedades del poliéster se enlistan de la siguiente manera:

- **Resistencia a la tracción**: presentan una fuerza de rotura que varía entre 325 y 450 MPa, lo que evidencia su alta resistencia mecánica y durabilidad frente a tensiones externas.
- **Módulo elástico**: fluctúa entre 0.8 y 1.8 GPa (tejidos), y de 2.2 a 2.9 GPa para hilos individuales, demostrando rigidez apta para muchos usos técnicos
- **Estabilidad térmica**: el punto de transición vítrea del PET se encuentra entre 67 y 81 °C y su punto de fusión entre 230 y 280 °C, lo que lo hace resistente al calor en uso frecuente.

2.5.5 Generalidades del recubrimiento textil

Un recubrimiento es un proceso industrial que consiste en aplicar una química líquida (resina o polímero) sobre un tejido no tejido, ya sea directamente o por transferencia, en una o ambas caras, con el objetivo de conferirle propiedades específicas (Salgado Carmen, 2007).

Además, durante este proceso no solo se recubren los tejidos, sino también los espacios entre ellos, formando una película continua que convierte al textil base en un producto funcional, como superficies impermeables, resistentes al desgaste o con barrera química (Esfera Textil, 2025).

2.5.6 Laminado Textil

Aunque el recubrimiento y el laminado pueden parecer procesos similares por la incorporación de capas sobre un textil, se diferencian en su aplicación: el recubrimiento añade un recubrimiento superficial, mientras que el laminado implica la adhesión de una lámina adicional al tejido base. Por lo cual, el proceso de laminado se basa en incorporar dos capas distintas mediante el uso de resinas o adhesivos, aplicando calor o presión (Marina Textil, 2025).

2.5.6.1 Propiedades del laminado textil

Una de las propiedades más destacadas de los laminados textiles es su alta resistencia mecánica, especialmente a la tracción, compresión y flexión. Esto se debe a la forma en que las capas se complementan estructuralmente. Los laminados textiles reforzados muestran un comportamiento más estable frente a esfuerzos mecánicos, siendo más rígidos y resistentes que los materiales planos tradicionales. (Rios et al., 2012)

Por otro lado, estos materiales presentan comportamiento anisotrópico, es decir, sus propiedades varían según la dirección del esfuerzo debido a la orientación de las fibras textiles, (Chamis, 1984). Por lo cual, el laminado no se comporta de la misma manera en todas las direcciones: puede ser más resistente o rígido en la dirección longitudinal de las fibras, y más flexible o débil en la dirección transversal.

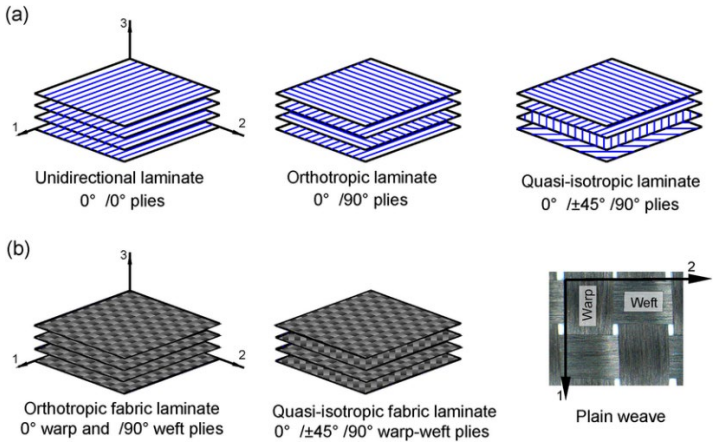
Asimismo, su baja densidad los convierte en materiales ligeros pero resistentes, lo cual es ventajoso en aplicaciones que requieren funcionalidad sin añadir peso excesivo. (Hosur et al., 2008) además de que es una propiedad que los hace ligeros pero funcionalmente resistentes. Esta ligereza estructural representa una ventaja cuando se busca eficiencia de materiales sin comprometer el rendimiento mecánico, especialmente en desarrollos sostenibles.

2.5.6.2 Tipos de laminado Textil

Los laminados textiles se clasifican principalmente según la orientación de las fibras dentro de su estructura (Mohíte, 2014). Por lo cual, los laminados se obtienen a partir del apilamiento de capas de fibras textiles, ya sean unidireccionales o tejidas, dispuestas en distintas direcciones para formar estructuras más complejas. Como se muestra en la **Figura 3**, distintos tipos de laminado, donde es posible apreciar la disposición y combinación de capas.

Figura 3

Tipos de laminado textil



Fuente: (Bergant et al., 2018)

- **Laminados unidireccionales (UD)**

Todas las fibras están alineadas en una única dirección dentro de cada capa. Esto aporta una rigidez y resistencia máxima en la dirección de las fibras, ideal cuando la carga principal actúa en un solo eje. No obstante, presentan menor eficacia en la dirección perpendicular y es más propenso a sufrir desprendimiento del laminado. (*Guide-to-Composites-1*, 2023).

- **Laminados bidireccionales**

Según (Risteska et al., 2024) menciona que “utilizan refuerzos textiles dispuestos en dos ejes ortogonales: urdimbre (0°) y trama (90°)”(p,18). Esta arquitectura permite obtener un

comportamiento mecánico más equilibrado en el plano del laminado. Sin embargo, el entrelazado de las fibras genera lo que se conoce como crimp (ondulación de las fibras), lo que puede disminuir ligeramente su resistencia y rigidez comparado con los laminados unidireccionales UD.

- **Laminados multiaxiales (NCF)**

Son aquellos tejidos no cruzados, emplean fibras orientadas en múltiples ángulos, como 0°, ±45° y 90°. Estas capas se colocan una sobre otra y se cosen ligeramente para mantenerlas unidas, sin entrelazado visible, lo cual reduce el crimp y mejora el desempeño estructural ante **c**argas multiaxiales. Este tipo de laminado ofrece una respuesta más isotrópica y es ideal para aplicaciones donde se requiere una resistencia balanceada en todas las direcciones del plano (Risteska et al., 2024).

2.5.6.3 Métodos de aplicación para formar un laminado

En función del tipo de sustrato textil y del polímero termoplástico utilizado, se han desarrollado diversas técnicas de aplicación del laminado (Hakoo, 2018) alude que los métodos de aplicación son las siguientes:

- Coating por cuchilla
- Inmersión–secado–curado
- Calandrado
- Hot-melt extrusion coating
- Spray o extrusión rotograbada
- laminado por llama
- laminado con adhesivo

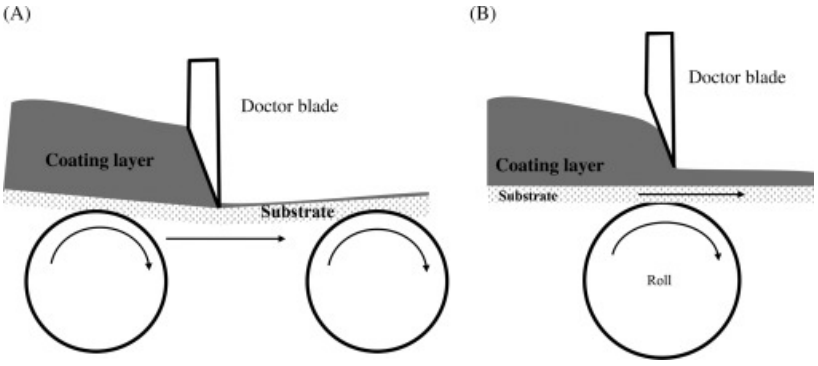
De esta forma este proyecto aborda la creación de un textil técnico utilizando el proceso de laminado. Para su desarrollo, se emplea la técnica de aplicación Coating por cuchilla, la cual se detallará más adelante.

- **Coating por cuchilla**

El recubrimiento con cuchilla es un método en el cual “el fluido de recubrimiento se aplica directamente al tejido y se extiende uniformemente mediante una cuchilla fija. La distancia entre la parte baja de la cuchilla y la parte alta del tejido controla el espesor del recubrimiento”(Venkatesan & Gowrishankar, 2012, p,6) Según el tipo de maquinaria y la forma de controlar esta distancia, existen dos técnicas principales: cuchilla sobre aire y cuchilla sobre mesa, utilizadas para obtener un recubrimiento uniforme y preciso. En la **Figura 4**, se ilustra este proceso, donde se observa la aplicación del recubrimiento sobre la superficie textil, evidenciando la función de la cuchilla en la distribución del material.

Figura 4

Laminado con cuchilla



Fuente : (Shim, 2013)

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoques de investigación

Palacios (2002) afirma que "las normas de investigación cuantitativa son aquellas que permiten examinar los datos de manera numérica, especialmente en el campo de la Estadística" (p. 3), es decir, que mantienen un enfoque metodológico que se caracteriza en el análisis de datos mediante el uso de números y medidas estadísticas. En el presente proyecto el enfoque de investigación seleccionado fue empleado debido a la ejecución de las pruebas comparativas en dos diferentes equipos, esta elección fue necesaria, puesto que, mediante el análisis de los datos estadísticos obtenidos, fue posible identificar meticulosamente el mejor laminado.

3.2 Tipos de investigación

3.2.1 Investigación descriptiva

Es un tipo de investigación que se dedica a analizar y recopilar información a partir de fuentes bibliográficas, con el fin de generar conocimiento sobre un hecho histórico, interpretado de manera crítica los elementos dentro de su entorno (García & García, 2013). En este contexto, se realizó una minuciosa recopilación de la información referente al poliuretano, al poliéster y a los procesos de laminado textil, con el propósito de adquirir una compresión teórica que respalde el desarrollo del presente trabajo.

3.2.2 Investigación correlacional

Nohlen (2020) afirma que, "Se define como un proceso de análisis comparativo y estructurado de diversos casos, el cual se emplea habitualmente para establecer patrones generales y validación de hipótesis" (p. 41); por lo tanto, se puede mencionar que es el acto de comparar datos estadísticos, obtenidos de diferentes objetos probetas. De esta forma, comparar no solo es una herramienta común dentro del proceso investigativo; permite establecer relaciones, diferencias o similitudes dentro de fenómenos o variables, se compararon los datos obtenidos para la disolución y el procesamiento del poliuretano, así como los métodos de obtención del poliéster,

lo que facilitó entender el comportamiento de cada material por separado antes de su integración en el laminado.

3.2.3 Investigación experimental

Esta metodología se diferencia por intervenir de forma directa sobre una variable independiente, con el propósito de observar y analizar los efectos que dicha modificación produce en una variable dependiente (Ramos, 2021). Bajo este enfoque, se establecieron diferentes dosificaciones para evaluar las reacciones resultantes. El objetivo del procedimiento fue la determinación de la dosificación más adecuada. Posteriormente, mediante ensayos de laboratorio, se evaluaron probetas con distintas concentraciones de PU Y RF, con el fin de identificar aquella que presentase el mejor cumplimiento de las propiedades requeridas para el laminado.

3.3 Técnicas de investigación

3.3.1 Técnicas cuantitativas

Medición instrumental, esta técnica permite la recolección precisa y objetiva de datos mediante el uso de instrumentos específicos (Medina et al., 2023).En este estudio se emplearán el dinamómetro asimismo el spray test, los cuales facilitarán la obtención de resultados cuantificables sobre las propiedades de las muestras analizadas.

Análisis estadístico, una vez obtenidos los datos experimentales, se procederá con su tabulación sistemática en una base de datos técnica. Esta información será procesada mediante herramientas matemáticas que permitan la validación, análisis e interpretación de las variables. Dicho procedimiento resultará fundamental para evaluar el desempeño de las muestras, facilitando la identificación de las dosificaciones (PU/RF) que reúnen las condiciones mecánicas y físicas óptimas para su consolidación como un material de laminado. (Puentes, 2024).

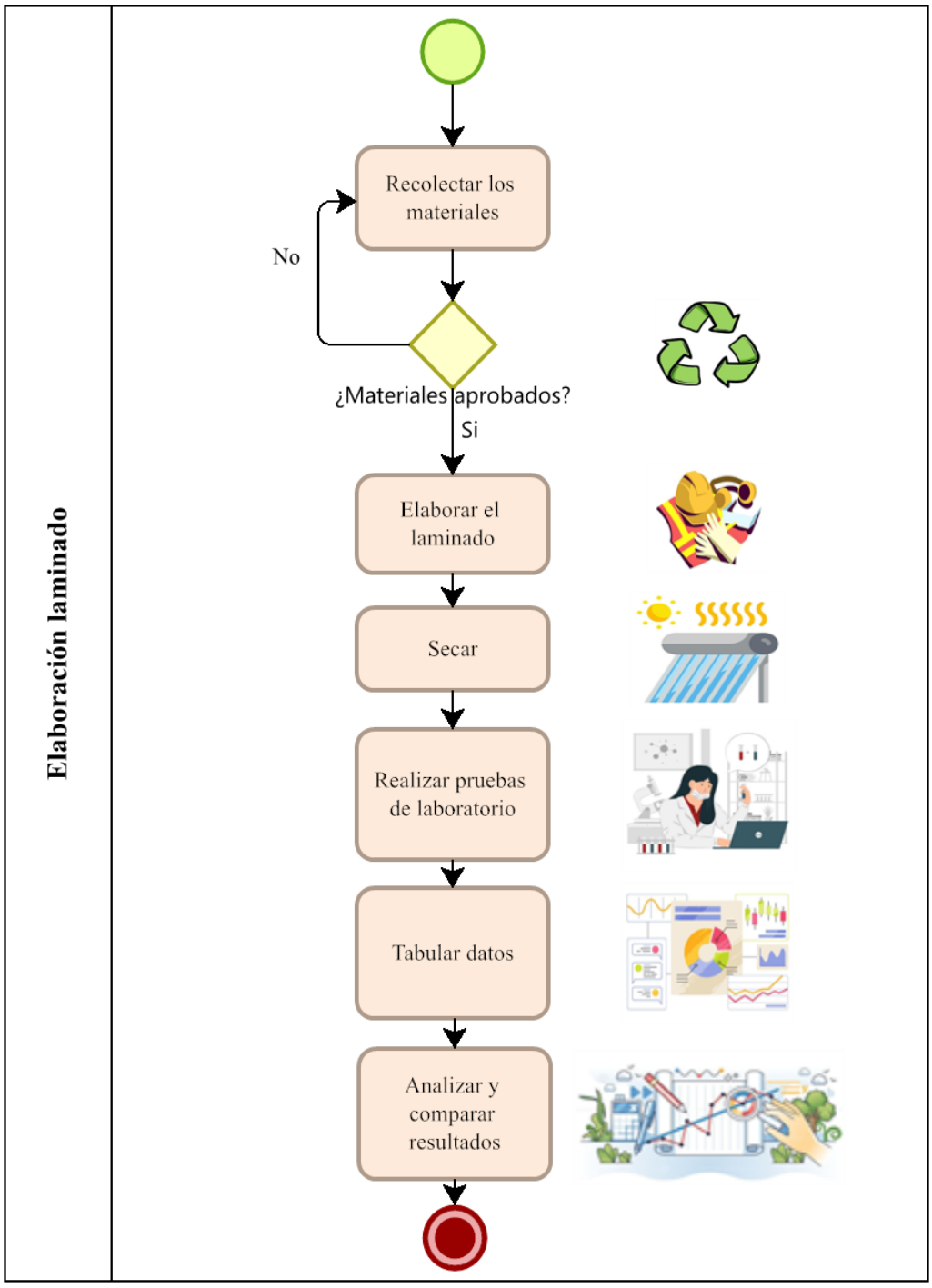
3.4 Flujogramas

3.4.1 Flujograma general

En esta sección se describe, de forma general y resumida, el proceso de ejecución del laminado. El flujograma de la **Figura 5** ilustra las fases principales del procedimiento, abarcando desde la preparación de los materiales hasta la obtención del producto final.

Figura 5

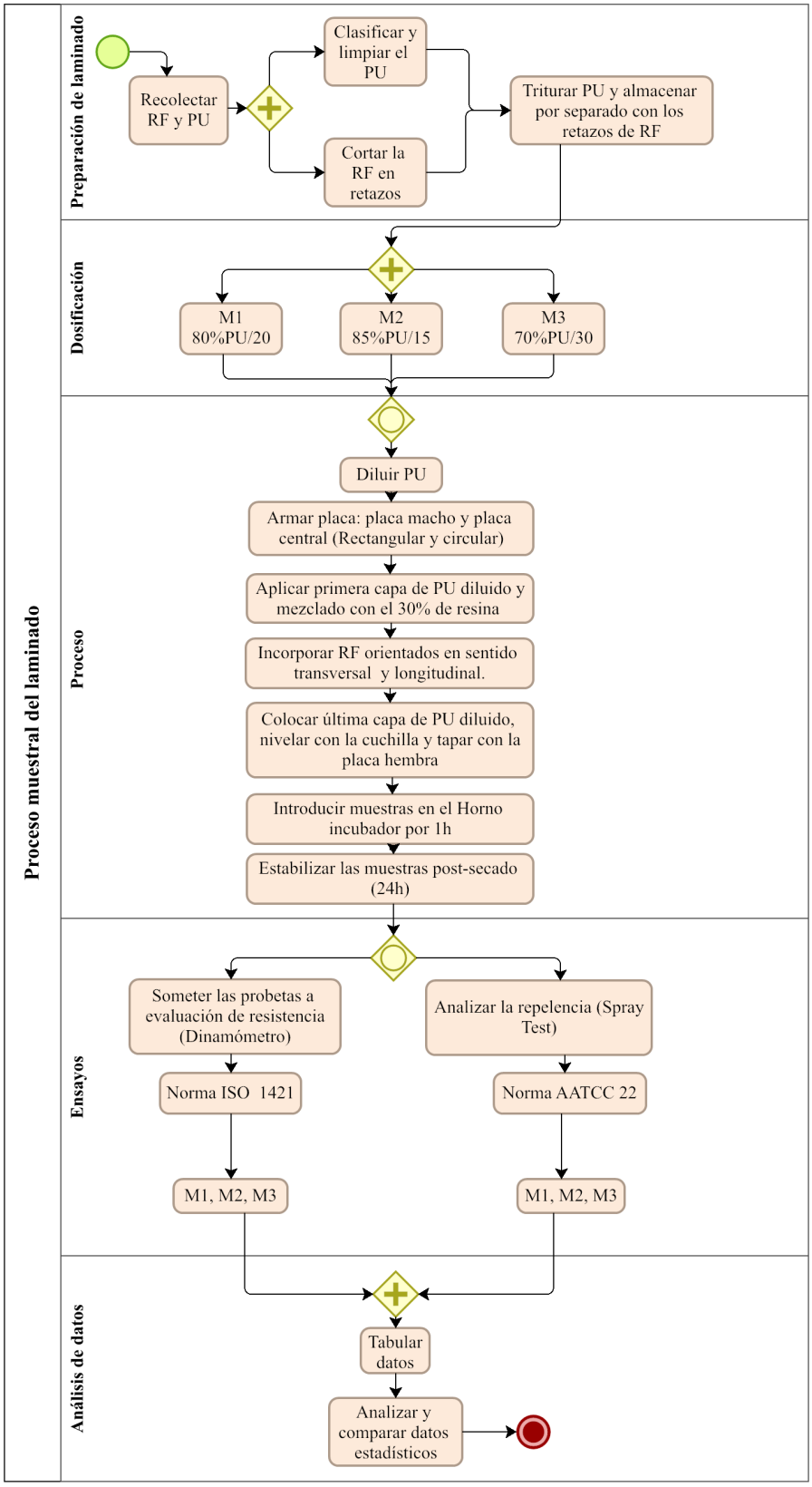
Flujograma general de procesos



3.4.2 Flujograma muestral

Figura 6

Flujograma muestral de procesos



3.5 Equipos y materiales

Los materiales y equipos empleados para la elaboración del laminado textil utilizando tejidos de poliéster reciclado y poliuretano desechable representan un componente esencial dentro del desarrollo experimental de esta investigación. Además, la evaluación de las propiedades funcionales del laminado, como la resistencia mecánica y la repelencia al agua, requiere de uso de instrumentos especializados. En consecuencia, este apartado presenta el uso de los equipos especializados y asimismo de los materiales.

3.5.1 Materiales

3.5.1.2 Recolección del material textil de poliéster

Se seleccionaron retazos de (RF) provenientes de muestras entregadas por los clientes al laboratorio de calidad de la CTEX (ver **Tabla 2**). Durante esta etapa, se verificó que el material cumpliera con los estándares técnicos necesarios para su reutilización. Con este fin, se llevó a cabo un análisis microscópico en el laboratorio, mediante el cual se constató visualmente la presencia de fibras lisas, confirmando que la composición del material es poliéster.

Tabla 2

Caracterización de los tejidos

Características		**Imagen del tejido reciclado**	**Imagen del análisis por microscopio**
Tipo de análisis	Por microscopio		
Tejido	Filamentos lisos, cilíndricos y constantes.		 Conjunto de fibras
Composición	100% poliéster reciclado.		 Fibra individual

3.5.1.3 Obtención de desechos espuma de poliuretano

El desecho de espuma de poliuretano fue obtenido en tapicerías y establecimientos dedicados a la fabricación y reparación de mobiliario, donde esta materia prima se genera con frecuencia en forma de recortes y excedentes del proceso productivo, posteriormente la selección se realizó de manera cuidadosa, considerando únicamente aquellos residuos que se encontraban en condiciones adecuadas para su posterior limpieza, clasificación y uso dentro del proceso de laminado (Ver **Figura 7**) para una mejor ilustración.

Figura 7

Desechos de espuma de PU recolectados



Fuente propia

3.5.1.4 Solvente para diluir el PU (metanol)

El metanol es un alcohol de bajo peso molecular utilizado como solvente en diversos procesos químicos. En la **Tabla 3** se presentan sus principales características, debido a su alta volatilidad y capacidad de disolución, permite obtener soluciones homogéneas, facilitando el procesamiento de los materiales, por lo que este solvente será empleado en la disolución del poliuretano.

Tabla 3

Especificaciones técnicas del metanol

Características	Detalles	Imagen
Densidad a 20 °C	~0.792 g/m³ 792 kg/m³	
Punto de ebullición	64.7 °C	
Viscosidad	~0,8 cP	
Presión de Vapor	12.8 kPa	

Obtenido de: (Methanex, 2015)

3.5.1.5 Resina epóxica

La resina epóxica se utilizó como un agente endurecedor para mejorar la cohesión y rigidez del laminado, este polímero termoestable se integró al 30% en peso en cada solución de poliuretano (PU), la **Tabla 4** , indica las características principales de la resina.

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la resina epóxica

Características	Detalles	Imagen
Espesor máximo	2cm	
Relación de mezcla	1:1 AL PESO 1; 1 parte A + 1 parte B	
Viscosidad mezcla	2000-3000 cP	
Apariencia	transparente	

Obtenido de: (WESCO, 2010)

3.5.1.6 Molde del laminado

En la **Figura 8** se visualiza el molde hecho completamente de madera MDF (Tablero de Fibra de Densidad Media) conformado por un espesor de 3.9 mm y 5 cm de ancho por 15 cm de largo, la cual incluye las siguientes partes:

- Pieza central (Marco/ espaciador): es la pieza que tiene un orificio en el centro y que define la cavidad del molde.
- Placa Macho: es la placa sólida que va a actuar como fondo.
- Placa Hembra: placa sólida que se usa para cerrar el conjunto y contener el material.

Figura 8

Molde de madera MDF



3.5.2 Equipos

Los siguientes instrumentos y equipos fueron necesarios para llevar a cabo tanto la fabricación del laminado como la evaluación de sus propiedades físicas.

3.5.2.1 Horno Incubador James Heal

Utilizado para poder secar de manera homogénea los laminados y que esta se acople de forma adecuada al molde, la **Tabla 5** muestra las diferentes características del equipo.

Tabla 5

Características del Horno Incubador

Características	Descripción
Rango de temperatura	mínimo 40°C hasta un máximo de 220°C.
Carga máxima	Carga mínima por estante es de 10 kg, mientras que la carga máxima es de 20 kg.
Control de temperatura	Unidad digital fácil de operar, utiliza un termómetro de resistencia de platino como sensor para mayor precisión.

Obtenido de: (James Heal, 2012).

Como se puede apreciar en la **Figura 9**, se muestra visualmente el equipo y sus diversas características previamente mencionadas. Destaca su concentración en acero inoxidable, así como la capacidad de controlar la temperatura deseada mediante botones digitales. Aunque no es visible en la imagen, dentro del horno se encuentran las placas con resortes, las cuales facilitan un secado uniforme del material permitiendo una distribución homogénea de la ventilación.

Figura 9

Horno Incubador



Fuente propia

3.5.2.2 Dinamómetro Titan 5 James Heal

La **Tabla 6** muestra las características esenciales del equipo utilizado para medir la resistencia a la tracción del laminado, el cual emplea mordazas que aseguran una sujeción firme y uniforme de las probetas durante el ensayo, no obstante, es fundamental considerar aspectos relevantes, como son las dimensiones y la geometría de las probetas en el caso de ser cortado en una plancha de laminado o ya sea en una tela textil, de esta forma, se deben acoplar al tipo de ensayo a realizar. En este aspecto, en el **Anexo 1**, correspondiente se presenta un esquema que ilustra la forma correcta de corte de las probetas.

Tabla 6

Características del Dinamómetro Titán

Características	Valor	Explicación
Capacidad máxima	5000 N	Indica la fuerza máxima que el equipo puede aplicar. Para una lámina o laminado.
Velocidad de ensayo	1 – 2000 mm/min	Permite seleccionar la velocidad requerida por normas de ensayos de tracción de láminas.
Recorrido útil	560 mm	Es la distancia máxima que el equipo puede estirar la muestra.
Tipo de ensayo	Tensión / Compresión	Relevante porque la lámina principalmente se ensaya a tracción (resistencia, elongación, adhesión
Mordazas T27 (compatibles)	Hasta 5000 N	Estas mordazas son las adecuadas para sujetar tejidos, láminas y materiales flexibles sin que se deslicen.

Obtenido de: (James Heal, 2014)

Tal como se muestra en la **Figura 10**, donde se observa la estructura física del equipo, en la cual es posible identificar claramente las mordazas, el cabezal móvil, la base de soporte y el panel de control. Estos elementos son visibles a simple con respecto a la imagen indicada y permiten reconocer la configuración general del instrumento empleado en los ensayos.

Figura 10

Dinamómetro James Heal



Fuente propia

3.5.2.3 Spray Test James Heal

Para evaluar la repelencia al agua de las muestras laminadas. Esta prueba permite conocer el grado de protección superficial que el laminado ofrece frente a salpicaduras y humedad. Como se observa en la **Tabla 7**, se presentan las características principales del equipo.

Asimismo, en el **Anexo 2** se muestra la escala de calificación empleada en la evaluación de la repelencia al agua, conocida como AATCC Spray Test Rating Chart. Esta escala permite clasificar el comportamiento del material cuando entra en contacto con el agua destilada, la cual se emplea para evitar la corrosión del equipo durante el ensayo.

Los valores de evaluación generalmente varían entre 0 y 100, donde los puntajes más altos indican una mayor capacidad de repelencia al agua. La evolución se la realiza de manera visual motivo por el cual el uso de esta escala resulta fundamental para interpretar correctamente los resultados obtenidos.

Tabla 7

Características del Equipo Spray Test

Características	Descripción
Boquilla de aspersión	Boquilla de precisión con 19 orificios (1 central, 6 en el primer anillo, 12 en el segundo).
Sistema de agua	Verter 250 mL de agua destilada
Diámetro del aro	150 mm
Evaluación de los datos	Se realiza una valorización mediante descripción visual (AATCC Spray Test Rating Chart).

Para ello, como se ilustra en la **Figura 11** , se observa el equipo Spray Test correspondiente al ensayo de repelencia al agua.

Figura 11

Equipo Spray Test



3.6 Normas de referencia

Se establece requisitos técnicos y de calidad para materiales textiles. Su propósito es asegurar condiciones específicas desde la selección de materias primas hasta el proceso final. Con el objetivo de garantizar la conformidad y seguridad del bien textil (Grupo de Trabajo Internacional Sobre La Norma Textil Orgánica Global (GOTS), 2014).

3.6.2 Resistencia a la tracción mediante la Norma ISO 1421

La norma establece dos métodos de ensayo: el primero corresponde a la prueba a la tira, la cual permite determinar tanto la resistencia a la tracción como la elongación del material; mientras que el segundo método evalúa únicamente la resistencia. En este estudio se optó por aplicar el método uno (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2016).

Para determinar el tipo de ensayo a realizar, se identificó que el gramaje del laminado es de 800 g/m²; por lo tanto, fue necesario aplicar una pretensión de 10 N, ya que esta corresponde a probetas con un gramaje superior a 500 g/m². Con base en este dato relevante, el procedimiento a seguir es el siguiente:

a) Muestreo y preparación: cortar las probetas según las dimensiones indicadas, es decir, 15 cm de largo y 5 cm ancho.
b) Montaje: colocar la probeta en la máquina de tracción con mandíbulas de 250 × 250 mm (la otra mandíbula al menos igual o preferible de 50 mm).
c) Ensayo: aplicar carga de tracción a una velocidad constante hasta la rotura.
d) Monitoreo: observar si hay deslizamiento en las mandíbulas y registrar si ocurre.
e) Ruptura: anotar si la probeta se rompe dentro de la zona de las mandíbulas y evaluar la validez del resultado.
f) Resultados: calcular la resistencia a la tracción con los datos obtenidos.

3.6.3 Resistencia a la humectación de la superficie de tejidos AATCC 22

Según (Asociación Estadounidense de Químicos y Coloristas Textiles (AATCC), 2010) menciona los siguientes pasos para preparar correctamente el material de ensayo:

a) **Calibración del equipo**: Vierta 250 mL de agua destilada a una temperatura.

b) **Control de tiempo de pulverizado:** Es necesario asegurar que el proceso se mantenga estrictamente entre los 25 y 30 segundos.

En el caso de no se cumpla, se deberá verificar la boquilla, ya que está problemática se genera porque los orificios de la boquilla suelen estar tapados.

c) **Colocación de la muestra:** Fije la pieza de tela en el aro de 152,4 mm de diámetro, verificando que la tensión sea la adecuada.

3.7 Procedimiento

El proceso de laminado implica una serie de etapas que permiten obtener un material con las condiciones óptimas. Es importante destacar que un laminado no corresponde a un simple recubrimiento, sino que se compone de dos o más capas unidas entre sí. A continuación, se detallan los pasos realizados:

3.7.2 Recolección de la materia prima

a) **Recolección del tejido de poliéster reciclado:** se recolectaron RF en el campus de Azaya, dentro del laboratorio de la carrera CTEX. Se llevó a cabo una clasificación de los textiles para asegurar que su estado fuera óptimo para el reciclaje. Una vez validadas, las piezas se cortaron en dimensiones específicas con el fin de agilizar su manipulación durante la etapa de laminado.

b) **Clasificación y adecuación del poliuretano (PU):** El material se obtuvo a partir de residuos post-industriales (recortes de desechos de esponjas) recolectados en talleres locales de fabricación de mobiliario y tapicería, de esta forma se realizó una caracterización visual para segregar las espumas según su pureza. Se excluyeron aquellas esponjas con presencia de adhesivos, grapas o restos de tapiz, ya que la aplicación de métodos de limpieza mecánicos o químicos agresivos podría alterar la estabilidad del polímero. Las muestras seleccionadas se higienizaron, y se dejaron reposar a temperatura ambiente y se realizó sus respectivos recortes para obtener partículas de tamaño uniforme. (Ver **Anexo 3**, ítem a)

3.7.3 Procedimiento de la preparación del laminado

a) **Disolución del poliuretano:** Para obtener la solución viscosa del poliuretano (PU), empleada como medio de unión en el laminado, se utilizó metanol como disolvente ya que este alcohol permite diluir la estructura de la esponja de manera eficiente, generando una mezcla lista, sin embargo, para su aplicación en el laminado. (Ver **Anexo 3**, ítem b).

b) **Formulación de las muestras** Se realizaron ensayos preliminares para determinar el peso neto óptimo del material; tras evaluar diversas muestras, se estableció que la unidad de 12 gramos era la más apta para el estudio. No obstante, se optó por colocar resina epóxica a la solución de PU, esto con el objetivo de que laminado tenga resistencia. A partir de este valor estándar, se procedió con la dosificación e incorporación del sustrato textil. (Ver **Anexo 3**, ítem c).

Partiendo desde esta premisa, se establecieron tres formulaciones variando la proporción entre la solución y el refuerzo textil. En todos los casos, se incorporó un 30% de resina epóxica sobre el peso de la solución de poliuretano (PU) para mejorar la rigidez y la cohesión estructural del laminado, por lo tanto, los cálculos finales por cada fórmula se detallan a continuación:

- 80/20: 9,6 g de solución (6,72 g solución de PU / 2,88 g resina) y 2,4 g de textiles.
- 85/15: 10,2 g de matriz (7,14 g solución de PU / 3,06 g resina) y 1,8 g de textiles.
- 70/30: 8,4 g de matriz (5,88 g solución de PU / 2,52 g resina) y 3,6 g de textiles.

c) **Aplicación del laminado:** El proceso del laminado se llevó a cabo mediante la técnica de laminado con cuchilla, utilizando una cantidad previamente determinada de poliuretano disuelto mezclado con la resina. En primer lugar, se preparó el molde, el cual se armó colocando inicialmente la placa macho y la pieza central.

Posteriormente, se procedió a colocar la primera capa de PU, esparciéndole correctamente por toda la superficie, para después colocar la cantidad correspondiente de retazos textiles 100% poliéster, disponiéndolos tanto en sentido longitudinal como transversal en cada probeta, con el fin de evaluar el comportamiento del laminado en ambas direcciones.

Una vez posicionados los retazos, se aplicó una capa final de la solución de PU sobre el conjunto, por medio de la cuchilla se dispersó la solución de manera homogénea permitiendo que el PU cubra completamente los retazos.

Por último, se colocó la placa hembra, ejerciendo presión ligera mediante clics, con el objetivo de asegurar la unión entre las capas. Se lo dejo secar a temperatura ambiente durante 24 horas. Para apreciar de mejor manera la aplicación del laminado (Ver **Anexo 3**, ítem d).

d) Secado en el horno incubador

Tras un periodo de secado ambiental de 24 horas, los laminados se introdujeron en un horno incubador durante una hora. Este proceso tiene como objetivo estabilizar la uniformidad del material y favorecer su cristalización. Debido a la naturaleza de la solución de PU, el calor permite eliminar las oquedades (huecos) presentes, logrando que el laminado se compacte, rellene el molde y alcance un espesor final de 3.9 mm. (Ver **Anexo 3**, ítem e).

3.7.4 Preparación del laminado circular para el spray test

Una vez elaboradas las probetas anteriores, se procedió a preparar probetas de forma circular, manteniendo las tres dosificaciones establecidas: 80/20, 85/15 y 70/30. Posteriormente, las probetas obtenidas se dejaron en condiciones ambientales durante un período de cinco días (Ver **Anexo 3**, ítem f).

3.7.5 Ensayos del laminado

e) **Ensayos de resistencia:** Para cada una de las tres formulaciones se prepararon 10 muestras, realizando 5 ensayos en sentido longitudinal (urdimbre) y 5 en sentido transversal (trama), obteniendo un total de 30 ensayos de las tres muestras.

f) **Prueba de laboratorio según la Norma ISO 1421:** Las pruebas de resistencia a la tracción se realizaron en el dinamómetro, siguiendo los lineamientos de la Norma ISO 1421. Las muestras presentaron un espesor promedio de 3,9 mm y unas dimensiones de 50 mm de ancho por 250 mm de largo, medidas adecuadas para su correcta sujeción en las mordazas del equipo. En total se analizaron 30 muestras, correspondientes a las tres formulaciones (Ver **Anexo 3**, ítem g).

g) Prueba de impermeabilidad según la Norma AATCC 22: se utilizó el equipo Spray Test. Se emplearon muestras con un diámetro de 152,4 mm, asegurando su correcta fijación. A cada muestra se le aplicaron 250 mL de agua destilada durante 30 segundos, evaluando posteriormente su grado de impermeabilidad. Se realizaron dos pruebas por formulación, sumando un total de seis muestras evaluadas (Ver **Anexo 3**, ítem h).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.5 Resultados

En esta sección se evidencian los resultados previamente obtenidos por medio del ensayo realizado en el dinamómetro de acuerdo con lo establecido en la Norma ISO 1421. Para la evaluación, se analizaron cinco muestras en sentido de urdimbre y cinco en sentido de trama para cada una de las tres soluciones previamente formuladas. Este procedimiento permitió analizar la influencia de las variaciones de los parámetros de cada solución.

4.5.1 Tabulación de resultados de resistencia a la tracción del laminado

En la **Tabla 8**, se detallan los resultados obtenidos mediante el ensayo en el dinamómetro, cuantificando la resistencia a la tracción en los ejes longitudinal y transversal de las tres dosificaciones evaluadas. Asimismo, se incluye el cálculo del valor promedio para cada serie experimental, permitiendo observar la capacidad de carga de rotura por tracción de cada mezcla, además se evidencian las siguientes siglas como es: (M1 80/20) dando a entender que es la muestra uno correspondiente al 80% de poliuretano y el 20% de poliéster reciclado, criterio que se mantiene sucesivamente para la identificación de las muestras restantes.

Tabla 8

Resultados de resistencia a la tracción de los laminados

N° Muestra	**M1 80/20 Fuerza (N)**		**M2 85/15 Fuerza (N)**		**M3 70/30 Fuerza (N)**	
	U1	T1	U2	T2	U3	T3
1	721,57	454,32	603,46	453,99	625,33	442,8
2	545,08	455,15	590,88	556,83	542,98	450,02
3	629,8	437,47	673,51	478,51	622,97	475,35
4	596,06	451,42	651,21	386,25	683,27	378,74
5	603,34	472,02	546,35	470,72	631,57	397,22
Prom	619,17	454,076	613,083	470,72	621,224	428,826

4.5.2 Normalidad de los datos para determinar la confiabilidad de las pruebas

Este análisis se realizó para comprobar la reproducibilidad de los datos arrojados en los ensayos de resistencia a la tracción. Para ello, los datos fueron evaluados mediante el programa estadístico PAST 4, el cual establece que cuando el valor de p es inferior a (0.05), la normalidad debe ser rechazada.

No obstante, diversos estudios señalan que las pruebas de Shapiro–Wilk y Anderson–Darling (Sánchez Solis et al., 2024). Resultan especialmente adecuadas cuando el número de muestras es igual o inferior a 50. En este caso, al haberse trabajado con un total de 30 muestras, los datos cumplen con los criterios necesarios para ser analizados mediante estas pruebas estadísticas.

La **Tabla 9**, presenta los resultados correspondientes a las pruebas de normalidad y confiabilidad, tanto para las muestras evaluadas en sentido de urdimbre como en sentido de trama, por lo tanto, la tabla incluye los valores registrados a partir de los métodos de Shapiro–Wilk, los cuales dieron valores de ($p > 0.05$), es decir, que son resultados que evidencia una confiabilidad del 95 % en los datos analizados, validando la normalidad de estos y respaldando su uso para la interpretación estadística de los resultados.

Tabla 9

Prueba de normalidad con los datos obtenidos de la resistencia a la tracción

Tests for normal distribution

	A	B	C	D	E	F
N	5	5	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,9327	0,9397	0,9677	0,9564	0,8997	0,9375
p(normal)	0,6147	0,6638	0,8602	0,7824	0,408	0,6487
Anderson-Darling A	0,2962	0,3119	0,1909	0,2669	0,4068	0,2545
p(normal)	0,4317	0,3892	0,787	0,5131	0,2036	0,5425

4.5.3 Análisis de la varianza y coeficiente de variación de los resultados obtenidos

Una vez confirmada la validez y normalidad de los datos, se procedió con el análisis estadístico correspondiente. En la **Tabla 10** se muestra los valores registrados en base a la norma ISO 1421, evaluados tanto en sentido longitudinal como transversal. En esta tabla se incluyen los valores derivados del análisis de la varianza, así como los datos mínimos, máximos y el coeficiente de variación, los cuales permiten una mejor interpretación del comportamiento de los laminados.

Tabla 10

Procesamiento de la variabilidad de los datos obtenidos tras someter a los laminados a pruebas de tracción.

Univariate statistics

	U1	T1	U2	T2	U3	T3
N	5	5	5	5	5	5
Min	545,08	437,47	546,35	386,25	542,98	378,74
Max	721,57	472,02	673,51	556,83	683,27	475,35
Sum	3095,85	2270,38	3065,41	2346,3	3106,12	2144,13
Mean	619,17	454,076	613,082	469,26	621,224	428,826
Std. error	29,04544	5,504606	22,52106	27,27639	22,47084	17,77145
Variance	4218,187	151,5034	2535,99	3720,008	2524,694	1579,122
Stand. dev	64,94757	12,30867	50,35861	60,99187	50,24634	39,73817
Median	603,34	454,32	603,46	470,72	625,33	442,8
25 prcntil	570,57	444,445	568,615	420,12	582,975	387,98
75 prcntil	675,685	463,585	662,36	517,67	657,42	462,685
Skewness	0,9915182	0,2638783	-0,1074034	0,1777131	-0,7849366	-0,293947
Kurtosis	1,866514	1,78999	-1,094392	1,606277	2,258809	-1,87645
Geom. mean	616,5364	453,9428	611,416	466,0776	619,5478	427,3316
Coeff. var	10,48946	2,710708	8,214009	12,99746	8,08828	9,266734

Los resultados de la tabla muestran un rango de desempeño que oscila entre un valor mínimo de 378,74N correspondiente a la fórmula 70/30 específicamente de la muestra trama 3 (T3) y un máximo de 721,57N correspondiente a la fórmula 80/20 específicamente de la muestra urdimbre 1 (U1), evidenciando la capacidad de carga del laminado, sin embargo, para validar estos hallazgos, de la misma manera se analizó la varianza de las tres formulaciones, que oscila entre un mínimo de 151,50 perteneciente a la formulación 80/20 dentro de la muestra (T1) y un

máximo de 4218,19 correspondiente a la formulación 80/20 dentro de la muestra (U1) lo que permite determinar qué tan alejados están los datos individuales respecto a la media de cada fórmula. Para validar la precisión, se empleó el coeficiente de variación, el cual permite comparar la dispersión entre los conjuntos de datos de forma relativa, puesto que los valores obtenidos (que van desde 2,71% hasta 12,99%) se encuentran mayoritariamente debajo del 10%, se confirma una alta homogeneidad en los especímenes y una dispersión mínima en el proceso de laminado.

4.5.4 Análisis de la evaluación de la repelencia al agua según la norma AATCC 22

El análisis de la repelencia al agua permitió evaluar el comportamiento del laminado frente al contacto con la humedad, evidenciando su capacidad para actuar como una barrera superficial. Este desempeño es un aspecto relevante para determinar la funcionalidad del material, ya que una adecuada repelencia al agua amplía sus posibilidades de aplicación en usos donde se requiere limitar la absorción de agua y proteger el sustrato textil.

Como se puede evidenciar en la **Tabla 11,** se muestra la evaluación de los diferentes laminados:

Tabla 11

Evaluación comparativa de la resistencia a la humectación

Evaluación repelencia			
Dosificación de la solución PU/RF	**Muestra 1**	**Muestra 2**	**Muestra 3**
80/20	100 ISO 5	100 ISO 5	100 ISO 5
85/15	100 ISO 5	100 ISO 5	100 ISO 5
70/30	100 ISO 5	100 ISO 5	100 ISO 5

Al analizar los resultados correspondientes a las tres dosificaciones de los laminados, mediante la escala de evaluación, se observó que todas las formulaciones alcanzaron una calificación de 100 (ISO 5), además, se pudo evidenciar que hay independencia tanto del

poliuretano como los retazos textiles al realizar este ensayo. Lo que confirma una adecuada repelencia al agua en las tres dosificaciones evaluadas. Para una mejor interpretación de estos resultados, se recomienda revisar la escala de referencia presentada en el **Anexo 2**.

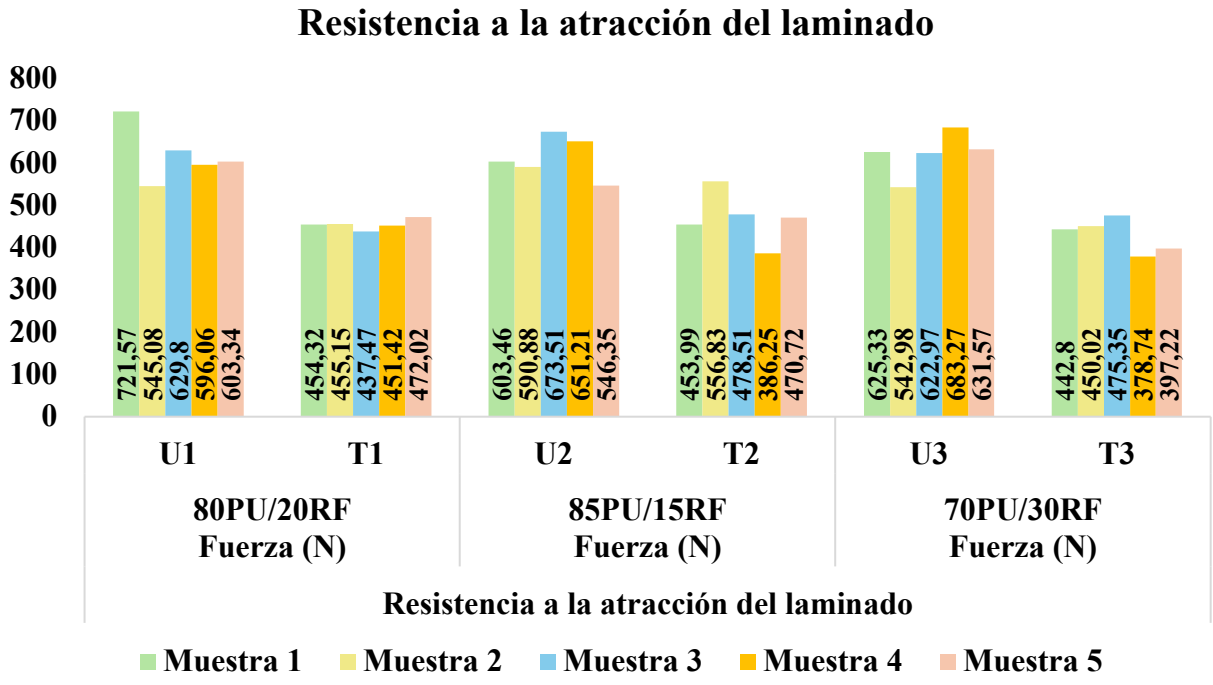
4.5.5 Discusión de resultados

4.5.5.2 Comportamiento de los datos obtenidos

De esta manera, con el fin de facilitar la interpretación, se presenta un gráfico que permite visualizar con mayor claridad el comportamiento de los datos. En la **Figura 12**, se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, expresados en newtons (N), considerando tanto la orientación longitudinal como la transversal del laminado. Esta figura fue ejecutada con los datos consolidados de la **Tabla 8**.

Figura 12

Gráfico de barras de los resultados de la resistencia a la tracción



A través del gráfico de barras se puede constatar visualmente la irregularidad en el desempeño de las muestras con mayor concentración de la solución de poliuretano (Ver **Figura 12**), donde destaca la primera muestra de urdimbre 1(U1) de la fórmula 80/20, esta muestra presenta una marcada inestabilidad con un pico de 721,57 N que cae a 545,08 N, lo que indica que, al haber poco textil, la resistencia depende de la irregularidad de la solución de PU puro, haciendo que la matriz de poliuretano soporte una mayor carga durante el ensayo (Tausif et al., 2017) . En cambio, la muestra T1 de la misma fórmula logra barras más uniformes entre 437,47 N y 472,02 N, demostrando que su disposición de tejido ayuda a equilibrar el material, aunque con menor fuerza (Lu et al., 2010).Al pasar a la fórmula 85/15, la muestra U2 mantiene valores altos con un máximo de 673,51 N, mientras que la muestra T2 presenta mayor debilidad y desniveles, llegando a descender hasta los 386,25 N.

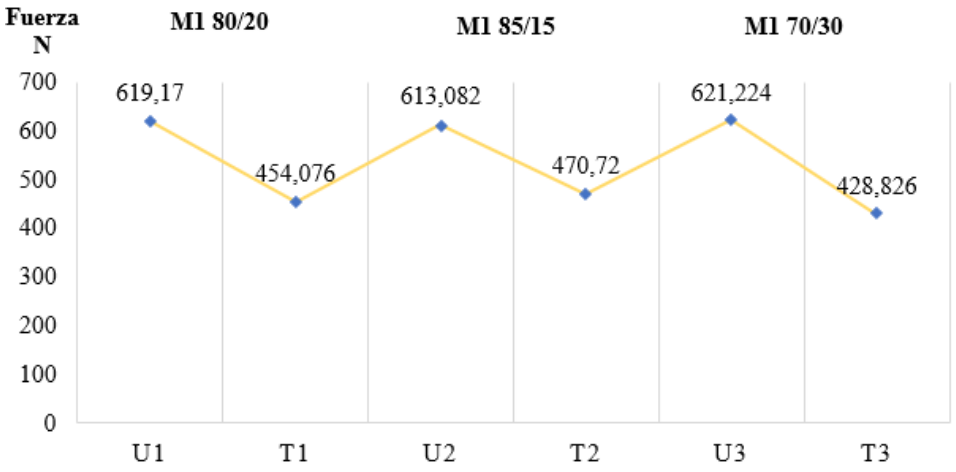
Finalmente, en la formulación 70/30, se obtienen los resultados más determinantes: las probetas pertenecientes a la muestra urdimbre 3 (U3) se consolidan como la mejor al presentar mayor estabilidad, ya que el 80% de los especímenes analizados presentaron una resistencia mecánica superior a los 620N, gracias a que su fibra longitudinal actúa como un refuerzo estructural que elimina los desniveles de las mezclas anteriores. Por el contrario, aunque la muestra T3 de la misma formulación indica muestras homogéneas entre sí, su resistencia desciende severamente hasta un mínimo de 378,74N. Esto confirma que, en la técnica de laminado en las muestras de trama en las tres formulaciones, el exceso de textil y también la dirección en la que se colocan los retazos de los tejidos satura la solución de PU y debilita la unión interna, representando estas formulaciones como las más débiles en fuerza a la tracción.

4.5.5.3 Análisis del promedio general de resultados de resistencia a la tracción

En esta sección se realiza el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la tracción, centrándose en el comportamiento promedio registrado para cada una de las mezclas evaluadas.

Figura 13

Tendencia de resultados de la prueba de la resistencia a la tracción



La **Figura 13** de resistencia a la tracción permite comparar los valores promedio de las diferentes formulaciones evaluadas en el equipo dinamómetro. Por lo tanto, se observa el primer promedio de la formulación 80/20 sobresaliendo la muestra urdimbre 1 (U1) con un resultado de 619,17N, por otro lado, con respecto a la segunda formulación 85/15 sobresale el dato promedio de 613,082N perteneciente a la muestra (U2).

Finalmente, la fórmula 70/30 correspondiente a la muestra U3 que registra el valor promedio más alto de la serie, con 621,22 N, lo que demuestra un comportamiento estructural más estable y eficiente frente a esfuerzos de tracción. Este resultado confirma que esta dosificación optimiza la interacción entre el poliuretano y el tejido, permitiendo una mejor transferencia de cargas y un desempeño más uniforme considerándose como las probetas más resistentes del trabajo de investigación, por otro lado, este comportamiento puede estar relacionado con el mayor contenido de tejido presente en la formulación, ya que las fibras textiles actúan como elemento de refuerzo dentro del material compuesto y contribuyen a soportar y distribuir los esfuerzos aplicados, mejorando así la respuesta mecánica del laminado frente a cargas de tracción (Tausif et al., 2017).

CAPÍTULO V

5.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.5.4 Conclusiones

- La clasificación de residuos de poliuretano y poliéster reciclado permitió obtener una materia prima viable y homogénea para la creación de laminados. Por lo que, este proceso demuestra el alto potencial de valorización de los desechos industriales del sector textil, al transformar residuos, en productos de calidad, lo que impulsa directamente a la economía circular y el desarrollo de soluciones sostenibles en la producción de textiles técnicos.

- La disolución del poliuretano con metanol, en relación 1:2 (soluto: solvente), permitió obtener una mezcla homogénea con los retazos de poliéster para formar una estructura con cohesión; de esta forma, este proceso técnico respalda el mezclado para transformar desechos industriales en materiales textiles funcionales y sostenibles.

- La fabricación de las muestras laminadas con distintas concentraciones, manteniendo un espesor estándar de 3,9 mm, permitió evaluar de manera comparativa su desempeño mecánico y funcional. Los resultados obtenidos mediante el ensayo de tracción (ISO 1421) evidenciaron que la formulación 70/30 alcanzó una resistencia de 621,22 N en sentido longitudinal, superando ligeramente a la dosificación 80/20 (619,17 N), con un margen del 0,33% lo que confirma que es posible incrementar la proporción de fibra reciclada sin comprometer la integridad estructural del material, de forma que este comportamiento sugiere una adecuada transferencia de esfuerzos influenciada por la orientación de las fibras, evidenciando la anisotropía del laminado. Asimismo, la evaluación de la resistencia a la humectación (AATCC 22) mostró una clasificación de repelencia total (Categoría 100 / ISO 5), lo que indica que la matriz de poliuretano actúa eficazmente como barrera frente a la humedad. En conjunto, estos resultados validan la viabilidad del material desarrollado como una alternativa técnica

sostenible, capaz de valorizar residuos y ofrecer propiedades competitivas frente a materiales convencionales.

5.5.5 Recomendaciones

- Se recomienda realizar la disolución en recipientes herméticos para evitar la volatilización del solvente y mantener la relación técnica 1:2, evitando variaciones en la viscosidad. El mezclado debe ser constante y lento para prevenir la formación de burbujas, procediendo a la aplicación inmediata sobre el residuo textil para asegurar una fluidez óptima y una interfase de adhesión uniforme y sólida.

- Se propone sustituir los moldes de MDF por sistemas de compresión con placas de acero y cierre mecánico de presión constante, lo que permite compensar automáticamente la expansión del solvente y elimina la rotación manual durante el ciclo térmico a 80 °C. Es imperativo respetar un periodo de reposo de 24 horas previo al desmolde para garantizar la disipación de tensiones térmicas, asegurando la estabilidad dimensional y la resistencia mecánica definitiva del laminado.

- Se sugiere realizar estudios de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para verificar la continuidad de la matriz y descartar microfisuras imperceptibles. Este análisis valida el sellado de la interfase, garantizando la impermeabilidad y durabilidad mecánica del material, por otro lado, es fundamental promover el desarrollo de estos laminados, ya que su fabricación a partir de residuos textiles y poliméricos representa una alternativa ecológica que mitiga el impacto ambiental y fomenta la economía circular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abidnejad, R., Baniasadi, H., Fazeli, M., Lipponen, S., Kontturi, E., Rojas, O. J., & Mattos, B. D. (2025). High-fiber content composites produced from mixed textile waste: Balancing cotton and polyester fibers for improved composite performance. *International Journal of Biological Macromolecules*, *292*, 139227. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139227

Akindoyo, J. O., Beg, Mohammad., Ghazali, S., & Islam, Muhammad. (2016). Polyurethane types, synthesis and applications-a review. In *RSC Advances* (Vol. 6, Number 115, pp. 114453–114482). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/c6ra14525f

Albini, G., Brunella, V., Placenza, B., Martorana, B., & Guido, V. (2019). Comparative study of mechanical characteristics of recycled PET fibres for automobile seat cover application. *Journal of Industrial Textiles*, *48*(6), 992–1008. https://doi.org/10.1177/1528083717750887

Asociación Estadounidense de Químicos y Coloristas Textiles (AATCC). (2010). *Water Repellency: Spray Test*.

Assagra, Y. A. O., Altafim, R. A. P., Silva, J. F. R. Da, Basso, H. C., Lahr, F. A. R., & Altafim, R. A. C. (2013). Laminated composite based on polyester geotextile fibers and polyurethane resin for coating wood structures. *Materials Research*, *16*(5), 1140–1147. https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000100

Bakshi, A. S. (2015). *Development and study of waterproof breathable fabric using silicone oil and polyurethane binder Recommended Citation*. http://commons.emich.edu/theses/611

Bergant, Z., Savin, A., & Grum, J. (2018). Effects of manufacturing technology on static, multi-frequency dynamic mechanical analysis and fracture energy of cross-ply and quasi-isotropic carbon/epoxy laminates. *Polymers and Polymer Composites*, *26*(5–6), 358–370. https://doi.org/10.1177/0967391118798266

Bhavsar, P., Bhave, M., & Webb, H. K. (2023). Solving the plastic dilemma: the fungal and bacterial biodegradability of polyurethanes. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, *39*(5), 122. https://doi.org/10.1007/S11274-023-03558-8

Burgada, F., Arrieta, M. P., Borrell, B., & Fenollar, O. (2024). Development of Eco-Efficient Composite from Textile Waste with Polyamide Matrix. *Polymers*, *16*(14). https://doi.org/10.3390/polym16142061

Carrera de Ingeniería en Textiles - Google Maps. (2024). https://www.google.com/maps/place/Carrera+de+Ingenier%C3%ADa+en+Textiles/@0.3793585,-78.123805,17z/data=!4m6!3m5!1s0x8e2a3b38f9cd91ed:0x961fee2a0b1df71!8m2!3d0.3779638!4d-78.1236011!16s%2Fg%2F11qr6fvl3n!5m2!1e4!1e2?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYwOC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

Chamis, C. (1984). *Mechanics of Composite Materials: Past, Present, and Future*.

Chugá, V., Naranjo, M., Godoy, O., & Basantes, A. (2025). Sustainable Treatments in Denim Fabric: A Systematic Review of Environmental Impact. *Sustainability*, *17*(23), 10469. https://doi.org/10.3390/su172310469

Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008 Decreto Legislativo 0 Registro Oficial*. www.lexis.com.ec

El Universo. (2020). *Ecuador genera 375 mil toneladas de residuos sólidos urbanos al año, pero solo recicla el 4% de estos desechos | Ecología | La Revista | El Universo*.

https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/30/nota/9111586/ecuador-genera-375-mil-toneladas-residuos-solidos-urbanos-ano-solo/?utm_source=chatgpt.com

Esfera Textil. (2025). *Coating & Lamination in Textiles*. https://www.textilesphere.com/2019/12/coating-lamination-in-textiles.html?utm_source=chatgpt.com

Esparza, W. R., Herrera-Villarreal, W. A., & Lara Castro, L. O. (2026). Innovation in Orthotics: Development of Technical Textiles from Bamboo Cellulose. *Polymers*, *18*(6). https://doi.org/10.3390/polym18060669

Gama, N. V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane Foams: Past, Present, and Future. *Materials*, *11*(10), 1841. https://doi.org/10.3390/MA11101841

García, M., & García, M. (2013). *Los métodolos de la investigación*.

Global Organic Textile Standard International Working Group. (2014). *Grupo de Trabajo Internacional sobre la Norma Textil Orgánica Global-Comité Técnico-Manual para la implementación de la Norma Textil Orgánica Global (GOTS)*. www.global-standard.org

Gonzáles, M., & Rivada, M. (2016). *Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas*.

Guerrero, V. (2025, April 29). *Esperanza ambiental: bacterias contra el poliuretano* - Revista ¿Cómo ves? - Divulgación de la Ciencia, UNAM*. https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/117/esperanza-ambiental-bacterias-contra-el-poliuretano

guide-to-composites-1. (2023).

Hakoo, A. (2018). *Tejidos textiles recubiertos y laminados - Página 4 de 4 - Escuela Textil*. https://www.textileschool.com/3152/coated-and-laminated-textile-fabrics/4/

Hosur, M., Islam, M., & Jeelani, S. (2008). Low-Velocity Impact Response of Braided Carbon/Epoxy Composites. In *ICCES* (Vol. 6, Number 1).

James Heal. (2012). *OPERATOR'S GUIDE INCUBATOR OVENS HX30 and HX60*. http://www.james-heal.co.uk

James Heal. (2014). *Titan 5*.

Kadolph, S. (2014). *Textiles*. Pearson Education Limited.

Kati´c, I., Salopek, I., Potoˇci´c, V., & Cubri´c, G. (2023). Changes in Mechanical Properties of Fabrics Made of Standard and Recycled Polyester Yarns Due to Aging. *Polymers 2023, Vol. 15, Page 4511*, *15*(23), 4511. https://doi.org/10.3390/POLYM15234511

Kemona, A., & Piotrowska, M. (2020). Polyurethane Recycling and Disposal: Methods and Prospects. *Polymers*, *12*, 1752. https://doi.org/10.3390/polym12081752

López, I., Diaz, J., & Torres, J. (2024). Tratamientos de reciclaje aplicados al residuo de espuma rígida de poliuretano (PUR): Artículo de revisión. *Revista UIS Ingenierías*, *23*(4). https://doi.org/10.18273/revuin.v23n4-2024008

López, O. (2009). *"Establecimiento de las condiciones de reacción para la depolimerización de poliuretano de estructura conocida, mediante técnicas químicas."*

Lu, Q. S., Sun, L. H., Yang, Z. G., Li, X. H., & Jin, S. L. (2010). Optimization on the thermal and tensile influencing factors of polyurethane-based polyester fabric composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *41*(8), 997–1005. https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2010.04.005

Marina Textil. (2025). *Tejido laminado y tejido recubierto, ignífugos - Marina Textil*. https://marinatextil.com/es/tejidos-para-altas-temperaturas/tejido-laminado-y-tejido-recubierto?utm_source=chatgpt.com

Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. In *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. https://doi.org/10.35622/inudi.b.080

Mendiburu, V., Larraza, I., Echeverria, A., Harismendy, I., Peña, C., & Eceiza, A. (2023). Thermoset polyurethanes from biobased and recycled components. *Journal of Polymers and the Environment*, *31*(11), 4946–4959. https://doi.org/10.1007/S10924-023-02891-1

Methanex. (2015). *SECCIÓN 2: Identificación de los peligros 2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla*.

Mohíte, P. (2014). *Cursos de aprendizaje de Nptel: Materiales y estructuras compuestas | PDF | Materiales compuestos | Fibras*. https://es.scribd.com/document/340922639/Nptel-Learning-Courses-Composite-Materials-and-Structures?utm_source=chatgpt.com

Mora, E., Ramírez, E., Chuga, V., Lara, O., Pineda, A., & Lovato, G. (2022). *Influencia de la temperatura y tiempo en la resistencia del colorante artemisa (ambrosia peruviana) en hilo de abacá influence of temperature and time on the resistance of the dye mugwort (ambrosia peruviana) in abaca thread*.

Naciones Unidas. (2023). *The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish*.

Nguyen, T., Tolochko, B., Gorbunov, F., & Fadina, A. (2024). MgAl-Layered Double Hydroxides: Synthesis, Characteristics, and Their Effects on Flame Retardant and Mechanical Properties of Casting Polyurethane. *Inorganic Materials: Applied Research*, *15*(1), 224–229. https://doi.org/10.1134/S2075113324010209

Njuguna, J., Muchiri, P., Karuri, N., Herzog, M., Dimitrov, K., & Mwema, F. (2021). Determination of thermo-mechanical properties of recycled polyurethane from glycolysis polyol. *Scientific African*, *12*, e00755. https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2021.E00755

Nohlen, D. (2020). *El método comparativo*.

Organización Internacional de Normalización (ISO). (2016). *Rubber-or plastics-coated fabrics-Determination of tensile strength and elongation at break*. www.iso.org

Palacios, R. M. (2002). *Investigación cualitativa y cuantitativa Diferencias y limitaciones*. www.monografias.com

Pillich, M., Schilling, J., Bosetti, L., & Bardow, A. (2024). What to do with polyurethane waste? The environmental potential of chemically recycling polyurethane rigid foam. *Green Chemistry*, *26*(21), 10893–10906. https://doi.org/10.1039/D4GC02594F

Programa Ecolectivos. (2022). *Reciclar el Plástico | 1*.

Proyecto de Circularidad y Comercio de Textil Usado (PNUMA). (2025, March 24). *Proyecto de Circularidad y Comercio de Textil Usado | PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. https://www.unep.org/circularity-and-used-textile-trade-project

Puentes, G. (2024). Research and Publish. 3. How to Conduct a Statistical Analysis of Research. *Revista Colombiana de Gastroenterologia*, *39*(3), 296–301. https://doi.org/10.22516/25007440.1265

Ramos, C. (2021). Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, *10*(1), 1–7. https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356

Revista Técnica de Medio Ambiente (RETEMA). (2024). *La reutilización de ropa tiene un impacto ambiental 70 veces menor, según un nuevo estudio | RETEMA*. https://www.retema.es/actualidad/la-reutilizacion-de-ropa-tiene-un-impacto-ambiental-70-veces-menor-segun-un-nuevo?utm_source=chatgpt.com

Rios, C., Cruz, R., Rodriguez, J., & Perez, E. (2012). *Study Of Mechanical Behavior Of Textile Reinforced Composite Materials Estudio del comportamiento mecánico de materiales compuestos reforzados con textiles*. *79*, 115–123. https://www.researchgate.net/publication/258918653

Risteska, S., Srebrenkoska, V., Zhezhova, S., Srebrenkoska, S., Risteski, S., Jordeva, S., & Longurova, S. (2024). The Effect of Textile Structure Reinforcement on Polymer Composite Material Mechanical Behavior. *Polymers 2024, Vol. 16, Page 3478*, *16*(24), 3478. https://doi.org/10.3390/POLYM16243478

Rodrigues, A., Figueiredo, L., Diogo, H., & Bordado, J. (2018). Mechanical behavior of PET fibers and textiles for Stent-Grafts using video extensometry and image analysis. *Science and Tecnology of Materials*, *30*, 23–33. https://doi.org/10.1016/J.STMAT.2018.11.001

Ruiz-Bustos, R., López-Uceda, A., López-Martínez, M. I., & Van Duijn, J. (2023). The Mechanical Performance of Recycled Slate Waste Fiber Composites Based on Unsaturated Polyester Resins. *Materials*, *16*(17). https://doi.org/10.3390/ma16176041

Salgado Carmen. (2007). *Textile Coating* . https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1624/textile-coating?utm_source=chatgpt.com

Sánchez, E., Oviedo, N., Banda, L., Guerra, K., Burbano, Á., & Godoy, D. (2021). Transformación de residuos textiles en fibras, mediante la construcción de una máquina desfibradora de tejidos textiles. *Ecuadorian Science Journal*, *5*(3), 73–83. https://doi.org/10.46480/esj.5.3.145

Sánchez-Solis, Y., Raqui-Ramirez, C. E., Huaroc-Ponce, E. J., & Huaroc-Ponce, N. M. (2024). Importancia de Conocer la Normalidad de los Datos Utilizados en los Trabajos de Investigación por Tesistas. *Revista Docentes 2.0*, *17*(2), 404–413. https://doi.org/10.37843/rted.v17i2.554

Shim, E. (2013). Bonding requirements in coating and laminating of textiles. *Joining Textiles: Principles and Applications*, 309–351. https://doi.org/10.1533/9780857093967.2.309

Shoaie, P., & Bazargan, A. (2025). Emergence of gasoline as a cheap and effective solvent for recycling shelf-stable multi-layer aseptic cartons. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, *19*(4), 44. https://doi.org/10.1007/s11783-025-1964-0

Su, J., Jiang, Z., Fang, C., Yang, M., Wu, L., & Huang, Z. (2022). The Reinforcing Effect of Waste Polyester Fiber on Recycled Polyethylene. *Polymers*, *14*(15). https://doi.org/10.3390/polym14153109

Tausif, M., Pliakas, A., O'Haire, T., Goswami, P., & Russell, S. J. (2017). Mechanical properties of nonwoven reinforced thermoplastic polyurethane composites. *Materials*, *10*(6). https://doi.org/10.3390/ma10060618

Universidad Técnica del Norte. (2022a). *Convocatoria Investiga UTN 2022*. https://www.utn.edu.ec/investiga2022/

Universidad Técnica del Norte. (2022b). *Lineas de Investigación*. https://investigacion.utn.edu.ec/lineas-de-investigacion/?utm_source=chatgpt.com

Venkatesan, H., & Gowrishankar, V. (n.d.). *Coated and Laminated Textile Materials and Process*. Retrieved www.fibre2fashion.comwww.fibre2fashion.com

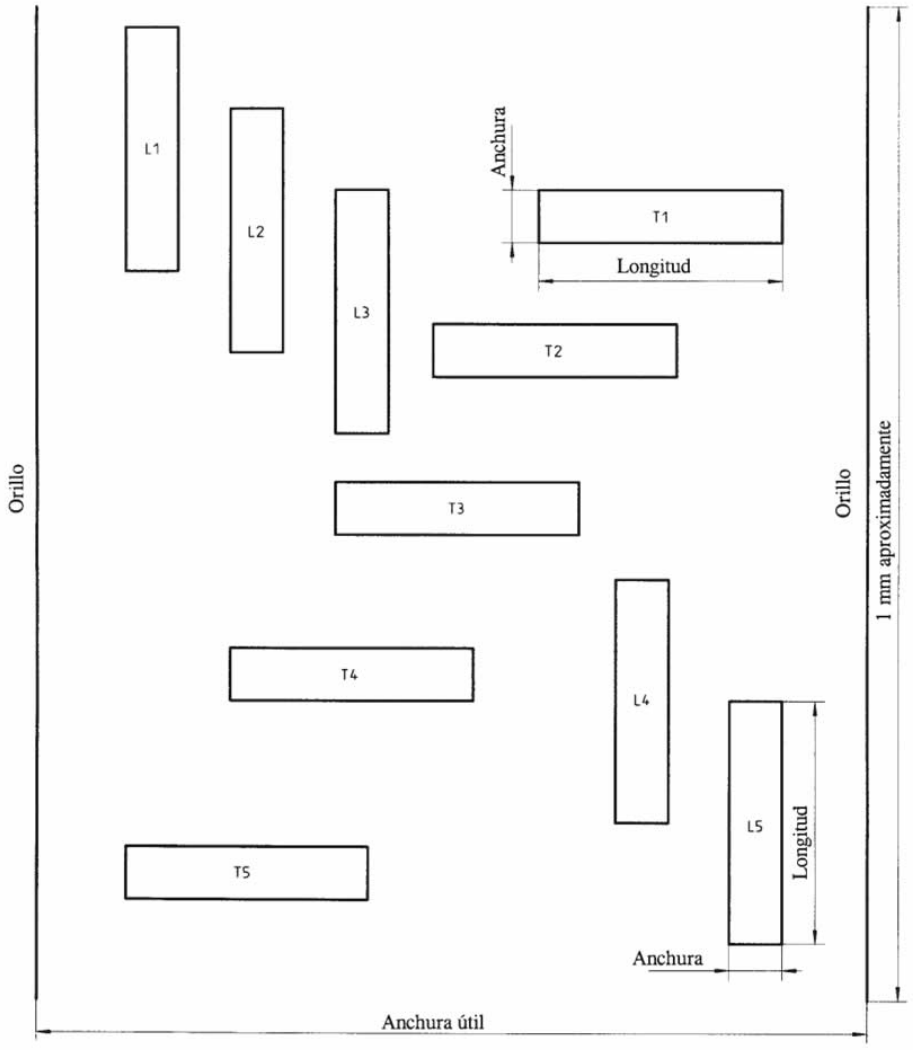
Yuan, Y., Guo, Q., Xu, L., & Wang, W. (2025). Rigid Polyurethane Foam Derived from Renewable Sources: Research Progress, Property Enhancement, and Future Prospects. *Molecules 2025, Vol. 30, Page 678*, *30*(3), 678. https://doi.org/10.3390/MOLECULES30030678

Zhang, J., Yeoh, G., & Kabir, I. I. (2025). Polyurethane Materials for Fire Retardancy: Synthesis, Structure, Properties, and Applications. *Fire 2025, Vol. 8, Page 64*, *8*(2), 64. https://doi.org/10.3390/FIRE8020064

Zhao, Y., & Zhong, W. (2023). Recent Progress in Advanced Polyester Elastomers for Tissue Engineering and Bioelectronics. In *Molecules* (Vol. 28, Number 24). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/molecules28248025

Anexo 1

Esquema del corte de probetas para evaluar en el Dinamómetro



Leyenda

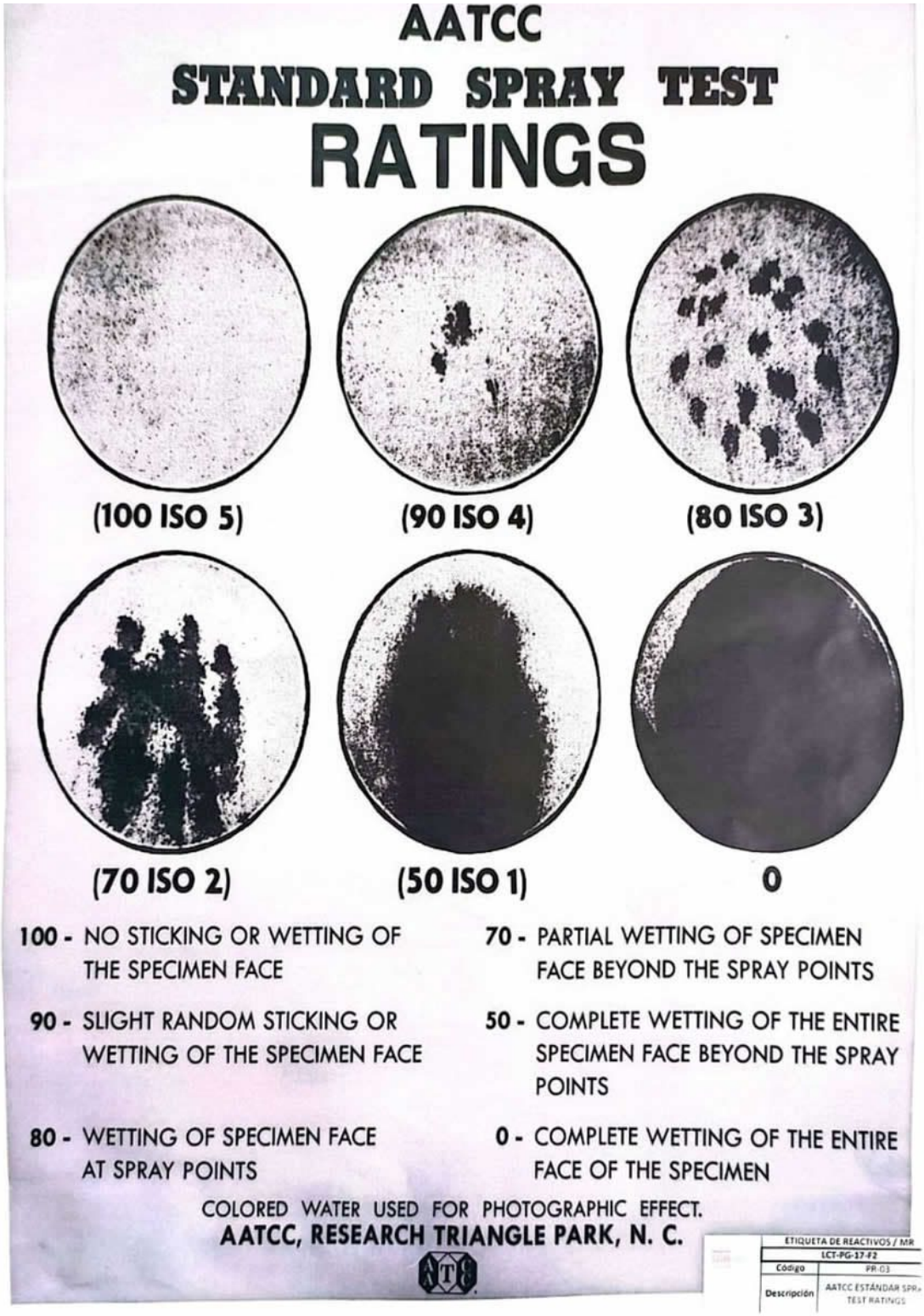
L: Probetas cortadas en dirección longitudinal

T: Probetas cortadas en dirección transversal

Fig. 4 – Ejemplo que indica cómo pueden cortarse las probetas

Anexo 2

Clasificación de prueba de rociado estándar



Anexo 3

Imágenes del proceso del laminado

