

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas^a **Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la** **Producción^b**

Aprovechamiento de material textil residual del reciclaje de llantas como
agregado en productos asfálticos impermeabilizantes

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera Química^a
Ingeniera Mecánica^b

Presentado por:

Vanessa Elizabeth Castillo Mendoza
Kimberly Romina Pereda Ordinola

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

^a Referente a la estudiante Vanessa Elizabeth Castillo Mendoza

^b Referente a la estudiante Kimberly Romina Pereda Ordinola

DEDICATORIA

A mi hermana, por el apoyo que me brindó durante la carrera. A mi gata, mi señora, que me acompañó en todo momento. A mis amigos por levantarme emocionalmente más de una vez a lo largo de todos estos años. A mis padres que me ayudaron cuanto pudieron.

Vanessa Elizabeth Castillo Mendoza

A mis padres y mis hermanos, que, aunque estén lejos, siempre me han dado ánimos y su apoyo incondicional.

A mis tíos, por brindarme un hogar durante esta etapa de mis estudios.

A mis amigos, que me han acompañado en cada una de mis clases.

Sin ellos no habría sido posible culminar este proyecto.

Kimberly Romina Pereda Ordinola

AGRADECIMIENTOS

Les queremos agradecer a nuestro tutor, PhD Joan Vera por su guía y dirección, además de la motivación brindada para la realización del proyecto, sin duda nos llevamos un gran ejemplo y grandes enseñanzas de su parte.

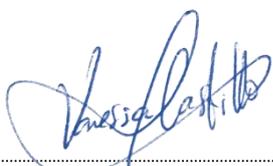
Al Laboratorio de Sólidos de FIMCP y al PhD Carlos Cuenca por su colaboración en el proyecto, siendo un aliado clave para el cumplimiento de los objetivos de proyecto.

A la ESPOL y a los profesores que nos han formado y compartido sus conocimientos durante toda nuestra etapa universitaria.

Vanessa Elizabeth Castillo Mendoza
Kimberly Romina Pereda Ordinola

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Vanessa Elizabeth Castillo Mendoza* y *Kimberly Romina Pereda Ordinola* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Vanessa Elizabeth
Castillo Mendoza



Kimberly Romina
Pereda Ordinola

EVALUADORES

.....
Nadia Flores M., MSc.

PROFESOR DE LA MATERIA^a

.....
Andrea Boero V., MSc.

PROFESOR DE LA MATERIA^b

.....
Joan Vera V., PhD.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Actualmente, los materiales asfálticos de impermeabilización presentan falencias en sus propiedades. Una alternativa contemplada para esto por la comunidad científica es la adición de fibras de refuerzo. Este proyecto tiene como objetivo general, modificar material asfáltico utilizando el material textil residual del reciclaje de llantas para la mejora de sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas. Resultando no solo la mejora de las propiedades del material, sino también, el aprovechamiento de un residuo que no tiene inserción en los procesos productivos del país. Para el efecto del proyecto se aplicaron metodologías de diseño de experimentos, con la cual se estableció trabajar con material asfáltico de aplicación a temperatura ambiente, *design thinking* como herramienta para desarrollar el acercamiento con el cliente, ideación, prototipado y evaluación del material resultante partiendo de los requisitos en normas INEN y ASTM para materiales bituminosos. Se evaluaron muestras con 1, 3, y 5% de fibra limpia y sucia, en mezcla con material asfáltico. Se obtuvo como resultados que el esfuerzo máximo registrado fue en la mezcla con 3% de fibra textil limpia con un valor promedio de 1.71 [MPa], y módulo de Young estimado de 44.82. Además de valores promedio de 0.91 g/mL de densidad, 43.13% de materia volátil, 8.57% de contenido de cenizas, 1h29 de tiempo de secado, óptima impermeabilización y 173 °C de punto de inflamación. Propiedades que en comparación con el material de referencia sin contenido de fibra fueron mejoradas, teniendo un material menos denso y con mejores propiedades impermeabilizantes, y de tracción mecánica.

Palabras Clave: llantas, material asfáltico, fibra textil residual, impermeabilizante, materiales compuestos.

ABSTRACT

Nowadays, asphalt waterproofing materials have shortcomings in their properties. A proposed alternative by the scientific community is the addition of reinforcement fibers. The general objective of this project is to modify the asphalt material using residual textile material obtained during tire recycling process to improve its physicochemical and mechanical properties. As a result, not only have we improved the properties of the materials but also harnessed a residue. For this project, we applied experimental design methodologies, establishing working with asphaltic material for application at room temperature, design thinking as a tool to develop the approach with the client, ideation, prototyping and evaluation of the resulting material based on the requirements of INEN and AST standards for bituminous materials. Samples using 1, 3, and 5% clean and dirty fiber mixed with asphaltic material were evaluated. As a result, the ultimate strength was obtained from the mixture with 3% clean fiber, with an average of 1.71 [MPa] and an estimated Yield Strength of 44.82 [MPa]. In addition, the average density of 0.91 g/ml, 43.13% of volatile material, 8.57% of ash content, 1.29h of drying time, optimal waterproofing, and 173°C of flash point. Compared with the reference material without fiber, these properties were improved, resulting in a less dense material, better waterproofing and mechanical tensile.

Keywords: *tires, asphalt material, residual textile fibers, waterproofing, compound materials.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco Teórico.....	3
1.4.1 Mezclas asfálticas: másticos bituminosos de impermeabilización	3
1.4.2 Materiales compuestos	3
1.4.3 Propiedades fisicoquímicas de los termoplásticos: Nailon 6,6	6
1.4.4 Propiedades mecánicas de los materiales	7
CAPÍTULO 2.....	11
2. Metodología	11
2.1 Empatizar.....	11
2.2 Definir	12
2.3 Idear.....	12
2.3.1 Atributos de diseño.....	13

2.3.1.1	Requerimientos de diseño	13
2.3.1.2	Funciones	13
2.3.2	Alternativas de solución	14
2.3.2.1	Mezcla con material impermeabilizante tipo I.	14
2.3.2.2	Mezcla con material impermeabilizante tipo II.	14
2.3.3	Criterios de selección	14
2.3.4	Selección de la alternativa de solución	18
2.3.5	Diseño de concepto.....	19
2.3.6	Diseño experimental.....	20
2.4	Prototipar	20
2.4.1	Pretratamiento del material textil	20
2.4.1.1	Limpieza manual.....	21
2.4.1.2	Limpieza con separador artesanal.....	21
2.4.2	Procedimiento de mezclado a temperatura ambiente	21
2.4.3	Prototipo de probetas	21
2.5	Evaluar.....	22
2.5.1	Pruebas y ensayos.....	22
2.5.1.1	Densidad.....	22
2.5.1.2	Determinación de cenizas.....	22
2.5.1.3	Determinación de materia no volátil y volátiles totales.	22
2.5.1.4	Punto de inflamación.	23
2.5.1.5	Estanquidad.....	23
2.5.1.6	Tiempo de secado.	23
2.5.1.7	Tracción.....	23
2.6	Análisis tecno-económico	24
CAPÍTULO 3.....		25

3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	25
3.1	Caracterización de la materia prima	25
3.2	Determinación de cenizas.....	25
3.3	Determinación de materia no volátil y volátiles totales.....	26
3.4	Densidad.....	27
3.5	Punto de inflamación	28
3.6	Estanqueidad.....	29
3.7	Tiempo de secado	30
3.8	Tracción.....	31
3.9	Línea de producción de fibra limpia (PFD).....	33
3.10	Análisis de costos	34
	CAPÍTULO 4.....	36
4.	Conclusiones Y RECOMENDACIONES	36
4.1.	Conclusiones	36
4.2.	Recomendaciones.....	37
	BIBLIOGRAFÍA	
	APÉNDICES	

ABREVIATURAS

ASTM American Society for Testing Materials

AEADE Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización

ODS Objetivos del Desarrollo Sostenible

USDOT U.S. Department of Transportation

UNE Asociación Española de Normalización

M.A. Material Asfáltico

MNV Materia No Volátil

MV Materia Volátil

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
mm	Milímetro
E	Módulo de elasticidad
w	Peso de cenizas
W	Peso de muestra original
Mf	Peso del contenedor después del calentamiento menos peso de contenedor vacío
Mi	Peso del contenedor antes del calentamiento menos peso del contenedor vacío
Rho	Densidad
C	Punto de inflamación observado

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Principales distribuciones de fibra en materiales reforzados, vista esquemática.....	4
Figura 1.2 Disposición de las fibras en el reforzamiento de materiales	5
Figura 1.3 Diagrama esfuerzo vs deformación de diferentes materiales	8
Figura 1.4 Tipos de fractura a analizar en la probeta.....	9
Figura 2.1 Esquema de metodología aplicada para el presente trabajo de investigación	11
Figura 3.1 Diagramas de Esfuerzo versus Deformación para las diferentes concentraciones de fibra sucia y limpia.	32
Figura 3.2 Process Flow Diagram para el proceso de limpieza de fibra.	34
Figura 3.3 Flujo de caja proyectado a 10 años plazo.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades de termoplásticos más empleados en la ingeniería	6
Tabla 2.1 Requisitos fisicoquímicos de los másticos Tipo I, antes de ser curados. ...	12
Tabla 2.2 Criterios de evaluación.....	15
Tabla 2.3 Escala para comparación de criterios según el análisis AHP.	15
Tabla 2.4 Comparación por pares detallada de los criterios de evaluación.	16
Tabla 2.5 Comparación por pares de criterios de seguridad.	16
Tabla 2.6 Comparación por pares de criterios de aplicación.	17
Tabla 2.7 Comparación por pares de criterios de costo.....	17
Tabla 2.8 Comparación por pares de criterios ambientales.....	18
Tabla 2.9 Escala de puntuaciones para los criterios de selección.....	18
Tabla 2.10 Matriz de selección de las alternativas de solución.....	19
Tabla 2.11 Diseño de experimentos establecido	20
Tabla 3.1 Promedio de contenido de cenizas para mezcla con fibra limpia y fibra sucia.	25
Tabla 3.2 Resultados promedio de ensayo de material volátil y no volátil.....	27
Tabla 3.3 Resultados de ensayo de densidad.....	28
Tabla 3.4 Resultados de ensayo de punto de inflamación en copa abierta Cleveland.	29
Tabla 3.5 Resultados cualitativos del ensayo de estanqueidad.....	30
Tabla 3.6 Resultados promedio del ensayo cualitativo de tiempo de secado.....	30
Tabla 3.7 Resultados obtenidos del ensayo de tracción.....	31

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Una de las problemáticas que se presentan en sectores con climas húmedos, es la corta duración de los materiales impermeabilizantes, su resistencia al clima y capacidad de aislamiento de humedad. Entre las alternativas para el mejoramiento de estos materiales se encuentra la adición de fibras, ya sean naturales o sintéticas (Girón & Ramírez, 2016).

La industria del reciclaje de llantas genera tres productos, caucho, acero inoxidable y material textil fundamentalmente constituido por nailon (Chaguay & Cañarte, 2022). Este último es una mezcla de microfibras provenientes del triturado de los neumáticos, estas son generadas en el proceso con un porcentaje de polvo de caucho (Zamorano, 2016).

En el Ecuador, se generan 240.000 llantas de desecho al año, aproximadamente se necesitan 500 años para que puedan desintegrarse en su totalidad (Peñaloza & Cisneros, 2022). Al ser un material de difícil reciclado, se acumula convirtiéndose en fuente de proliferación de plagas además de generar contaminación visual. La fibra textil obtenida del proceso de reciclaje de estos neumáticos no logra reintroducirse en los ciclos productivos, convirtiéndose en un residuo no aprovechado.

En el presente proyecto se presenta una estrategia como alternativa para el aprovechamiento del material textil recuperado del proceso de reciclaje de neumáticos, siendo adicionado a productos asfálticos para la generación de un material reforzado. Esto con el fin de mejorar sus características y propiedades tanto fisicoquímicas como mecánicas en distintas aplicaciones de impermeabilización dentro de la industria.

La empresa proveedora del material textil residual para este proyecto, la comercializa a industrias cementeras, las cuales lo aprovechan como material combustible dentro de sus procesos. Tal acción perjudica a los equipos en los cuales se emplea el material, reduciendo su vida útil, debido a que contiene trazas de caucho residual. Además, de que se emiten gases de combustión tóxicos al medio ambiente.

1.2 Justificación del proyecto

Los materiales asfálticos son utilizados para impermeabilizar superficies y uniones o juntas de construcción. Una de las problemáticas que suelen presentar es la baja resistencia que poseen a fuerzas de cizallamiento o alta cantidad de humedad (Adrianzen et. al, 2022). Una de las alternativas que han sido de gran interés es la adición de fibras que puedan reforzar estos materiales, reduciendo así los riesgos que poseen de quebrantarse o desprenderse de las superficies por humedades.

La utilización de la fibra textil residual del reciclaje de llantas para su reforzamiento se sustenta con base a los datos proporcionados por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) (2021), relacionados a la creciente acumulación de neumáticos y por ende de fibra no aprovechada. En su anuario más reciente, se detalla que, en el último año se han importado 57.455 toneladas de neumáticos.

De acuerdo con esto, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE) (2016) declara que cada año, entre neumáticos importados y de producción nacional, se obtienen más de 3 millones de llantas en el mercado, las cuales pasarán a ser un desecho luego de terminada su vida útil.

Con esta propuesta se introduce un modelo que sigue los principios de la economía circular, al mantener la fibra textil residual como materia prima en el proceso. Genera impacto, tanto a nivel nacional como internacional, al alinearse con los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) noveno y décimo segundo, ya que, se involucra con el desarrollo de infraestructuras resilientes y fomenta la innovación. Además, garantiza modalidades de consumo y producción sostenibles, buscando potencializar el uso de reciclados para la elaboración de nuevos materiales en el Ecuador y ser un precedente para la investigación extranjera.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Modificar material asfáltico utilizando el material textil residual del reciclaje de llantas para la mejora de sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Implementar un diseño experimental para la obtención de formulaciones de base asfáltico-textil basado en criterios técnicos de materiales impermeabilizantes.

2. Evaluar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las diferentes formulaciones obtenidas mediante los ensayos de referencia presentes en las normativas vigentes.
3. Analizar económicamente el proceso de obtención de la mezcla asfáltica reforzada con fibra textil residual para la evaluación de la viabilidad de la propuesta en el mercado.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Mezclas asfálticas: másticos bituminosos de impermeabilización

Un tipo de mezcla asfáltica es el cemento asfáltico, conformado de diferentes polímeros, tiene propiedades impermeabilizantes, otorga flexibilidad, altas resistencias y gran recubrimiento. Además, es utilizado en el ámbito de la construcción como pegante (Ortega, 2017). Se denominan másticos bituminosos a los materiales empleados en recubrimientos. Son mezclas con base de betunes naturales, betunes asfálticos u oxiasfaltos, de consistencia pastosa, se presentan en dos tipos (INEN, 1998):

- Tipo I: impermeabilizantes que están diseñados para su aplicación a temperatura ambiente mayor a 15 °C.
- Tipo II: impermeabilizantes, también conocidos como materiales bituminosos de aplicación en caliente, que requieren elevar su temperatura para su aplicación, esta depende del fabricante.

1.4.2 Materiales compuestos

Los materiales compuestos están constituidos por dos fases, una dispersa y una continua. Estas fases se encuentran separadas por una intercara, debido a que las fases no son solubles entre sí, formando mezclas heterogéneas. La fase continua es la que recubre o reúne a la fase dispersa, es también denominada matriz y es la que soporta y distribuye a la fase dispersa las fuerzas externas a las que esté sometido el material compuesto. La fase dispersa, es la fase de refuerzo para la matriz, suelen ser fibras de baja densidad con propiedades de resistencia.

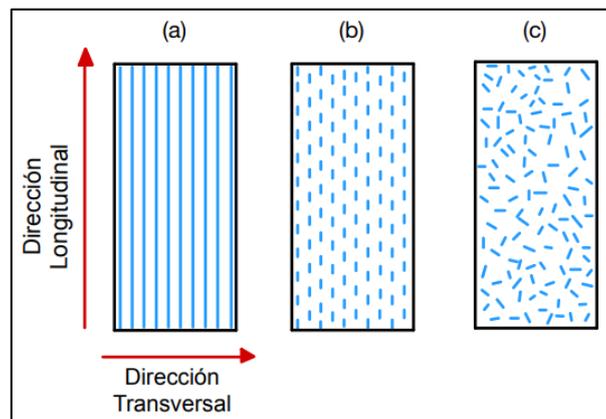
Las fibras son las encargadas de absorber los esfuerzos externos y darle mejores propiedades mecánicas al material multifase (Salazar & Zavaleta, 2016). En la figura 1.1. se muestra esquemáticamente la disposición de las fibras. Es importante considerar que mientras mejor esté distribuida la fibra, mejores propiedades tendrá el material resultante. Su distribución en el material suele ser aleatoria o de distribución espacial en

diferentes direcciones, a diferencia de los sistemas de parámetros concentrados, en los cuales no se presentan cambios espaciales en todo su volumen (Canales & Melo, 2019).

Los cementos asfálticos son matrices poliméricas, este tipo de matrices posee alto peso molecular por su naturaleza polimérica. Las propiedades elásticas y plásticas de este tipo de materiales suelen ser menores a otros materiales de refuerzo como lo son las fibras, las cuales favorecen a las propiedades mecánicas y la resistencia a la humedad de la matriz. Esta última es la que proporciona propiedades de resistencia química (Salazar & Zavaleta, 2016).

Figura 1.1

Principales distribuciones de fibra en materiales reforzados, vista esquemática.

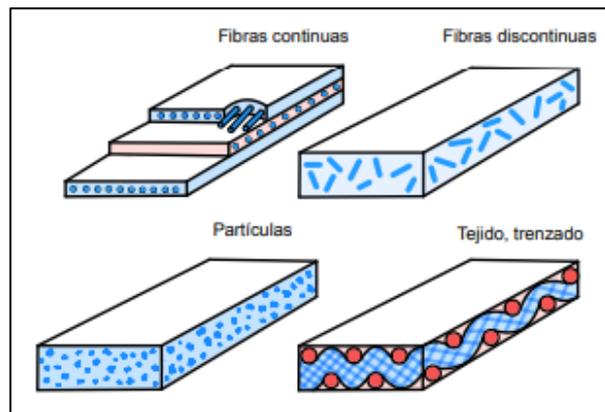


Nota. La figura muestra las fibras distribuidas a) continuas y alineadas, b) discontinuas y alineadas, c) discontinuas y al azar. Tomado de *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de materiales* (p. 542), por W. D. Callister, 2007, Reverté S.A.

En la figura 1.2. se muestran los diferentes tipos de disposición que pueden tener las fibras, al adicionarse a algún material que se requiera reforzar. Dentro de estos tipos de materiales se encuentran los anisotrópicos y los isotrópicos. Las propiedades de los materiales anisotrópicos varían en diferentes direcciones, dependiendo de la disposición de las fibras, además, requieren metodologías de diseño específicas. A diferencia de los materiales isotrópicos, en los cuales las propiedades son las mismas en todos sus diferenciales (Kutz, 2015).

Figura 1.2

Disposición de las fibras en el reforzamiento de materiales



Nota. La imagen muestra representaciones tridimensionales de la disposición de las fibras en materiales reforzados. Tomado de *Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Engineering Mechanics* (p. 403), por Myer Kutz, 2015, Wiley.

En el trabajo realizado por Ortega (2017) se presenta como alternativa, la adición de fibras a material asfáltico de impermeabilización, en este caso, cemento asfáltico. Ortega trabajó con diferentes fibras, entre ellas están, la fibra de vidrio, fibra de nailon reciclado, las proporciones utilizadas de fibra en la mezcla van del 5% al 25%, reformulando la mezcla asfáltica. Para la experimentación generó muestras siguiendo normativas nacionales, que fueron sometidas a ensayos fisicoquímicos y mecánicos. Para las mezclas con fibra de nailon reciclado, Ortega obtuvo valores de densidad en un rango de 1.01 – 1.09 g/mL, así mismo obtuvo porcentajes de contenido de sólidos en un rango de 48,86% para el 25% de contenido de fibra y un 52,29% para el 5% de contenido de fibra en la mezcla.

Por otro lado, Valencia (2018) presenta la adición en resina de poliéster de la fibra residual del reciclaje de llantas en forma de lana y en forma de hilos, en proporciones que van del 1% al 2%. Con esto Valencia logra obtener probetas las cuales son evaluadas a través de ensayos mecánicos, estos presentan limitaciones por la porosidad del material e irregularidades en la superficie. Finalmente, la autora recomienda una buena limpieza de la fibra residual, debido a que las trazas de caucho pueden afectar a las propiedades mecánicas de las probetas.

La adición de fibras a materiales de impermeabilización empleados en construcciones, otorgan mejores propiedades en cuanto a la absorción y

amortiguamiento de movimientos y la acción de rayos ultravioletas. Esto también dependerá de la forma en la que se aplique el material, la protección que se le dé y, además, del tipo de material que se utilice (Girón & Ramírez, 2016).

1.4.3 Propiedades fisicoquímicas de los termoplásticos: Nailon 6,6

El nailon o poliamida, es un polímero de tipo termoplástico industrial. Es un material altamente cristalino, resistente a deformaciones por altas temperaturas. Sus cadenas de carbono son muy flexibles, lo que provoca que sea menos viscoso y su procesado se desarrolle con facilidad.

Así mismo, su propiedad de ser flexible le atribuye otras ventajas como lo son, baja fricción superficial, resistencia a la abrasión, y alta lubricidad (Smith & Hashemi, 2006). Entre los diferentes tipos de nailon, los más vendidos son el nailon 6 y el nailon 6,6, debido a las propiedades que presentan frente a los demás, en la tabla 1.1 se presentan algunas de estas propiedades.

Tabla 1.1

Propiedades de termoplásticos más empleados en la ingeniería

Material	Densidad	Resistencia a la tensión	Resistencia al impacto, Izod	Resistencia dieléctrica	Temp. máx. de uso (sin carga)
	(g/cm ³)	(x1000 psi) (x1000 kg/cm ²)	(pie.lb/pulg) (J/m)	(V/mil)	°C
Nailon 6,6	1.13 - 1.15	9 – 12 (0.63-0.84)	2 (106.8)	385	82 - 150
Poliacetal, homo.	1.42	10 (0.7)	1.4 (74.7)	320	90
Policarbonato	1.2	9 (0.6)	12 – 16 (640.5-854.1)	280	120
Poliéster:					
PET ¹	1.37	10.4 (0.73)	0.8 (42.7)	...	80
PBT ²	1.31	8.0 - 8.2 (0.56-0.58)	1.2 - 1.3 (64.1-160.1)	590 - 700	120
Óxido de polifenileno	1.06 - 1.10	7.8 - 9.6 (0.55-0.67)	5 (266.9)	400 - 500	80 - 105

Material	Densidad	Resistencia a la tensión	Resistencia al impacto, Izod	Resistencia dieléctrica	Temp. máx. de uso (sin carga)
		(g/cm ³)	(x1000 psi) (x1000 kg/cm ²)	(pie.lb/pulg) (J/m)	(V/mil)
Polisulfona	1.24	10.2 (0.71)	1.2 (64.1)	425	150
Sulfuro de polifenileno	1.34	10 (0.7)	0.3 (16.0)	595	260

(1) Tereftalato de Polietileno

(2) Tereftalato de Polibutileno

Nota. La tabla muestra datos de propiedades de los termoplásticos más empleados en la industria. Tomado de *Fundamentos de la ciencia e ingeniería en materiales* (p. 512), 2006, por Smith & Hashemi, Mc Graw Hill.

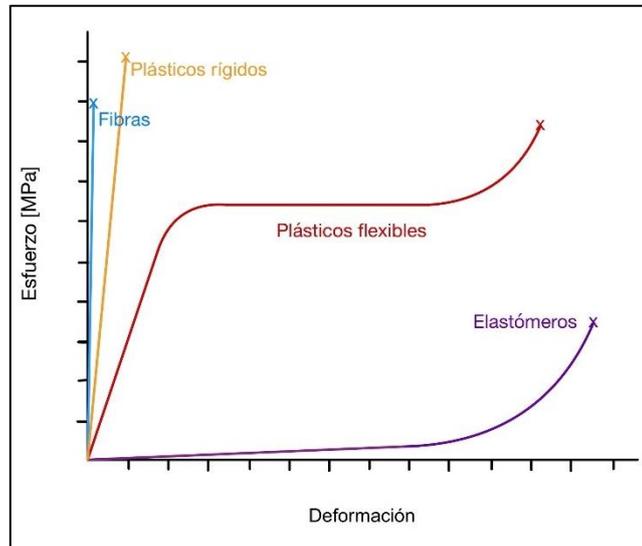
Como se observa, una de las propiedades notables de estos termoplásticos es su baja densidad, la cual proporciona ventajas dependiendo del diseño de materiales de ingeniería. Estos materiales poseen una baja resistencia a la tracción, en el caso del nailon, esta medida es cambiante debido a su naturaleza de ser un material plástico “duro”. Por lo general los termoplásticos poseen propiedades de anticorrosión siendo permeables y muy resistentes a la acción de agentes químicos (Smith & Hashemi, 2006).

1.4.4 Propiedades mecánicas de los materiales

Para la caracterización mecánica de los materiales, es necesario realizar un ensayo de tracción, el cual consiste en la aplicación de una carga uniaxial a una probeta, provocando su deformación hasta que se produce su rotura. En mecánica, se conoce como probeta a la muestra de un material con forma y dimensiones establecidas por normativas, el cual será sometido a ensayos mecánicos (Real Academia de Ingeniería, 2014).

Figura 1.3

Diagrama esfuerzo vs deformación de diferentes materiales



Nota. La figura muestra las curvas de esfuerzo-deformación para fibras, plásticos y elastómeros. Tomado de *Educación Química* (p. 298), 2010, por J. Carreño Alonso & M.T. Méndez Bautista.

El punto de rotura del material es también denominado esfuerzo de fractura (Callister, 2007). Mediante este ensayo, se obtiene una gráfica de esfuerzo versus deformación que varía su comportamiento según el tipo de material, tal como se muestra en las curvas para polímeros de la figura 1.3.

En esta curva se identifican dos regiones: la región elástica en la cual el material deformado puede regresar a su longitud original, y la región plástica, donde el material se deforma de manera permanente. La región elástica en muchos materiales describe una relación lineal entre la tensión y la deformación, expresada mediante la ley de Hooke mostrada en la Ecuación 1.1.

$$\sigma = E \epsilon \quad (1.1)$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad

σ : esfuerzo

ϵ : deformación unitaria

El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es un parámetro que determina la fuerza de los enlaces del material en la zona elástica. Un mayor módulo de elasticidad, indica que el material es más rígido, y un módulo menor, indica que este es más elástico. Si el material no se comporta de forma lineal, se usa el

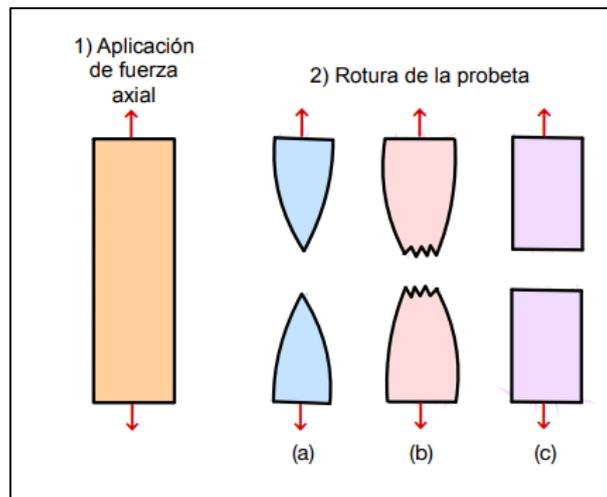
módulo tangente o módulo secante, analizan la fuerza versus separación interatómica (Smith & Hashemi, 2006).

Entre las regiones plástica y elástica está el límite elástico que representa el esfuerzo en el que el material presenta fluencia, es decir, empieza a deformarse plásticamente. Este se determina identificando en el eje x el punto en el que la deformación es de 0.002 (in/in) o (m/m) y trazando una línea paralela a la curva de la zona elástica.

En la zona plástica se encuentra el valor de resistencia máxima a la tracción, este es el valor máximo de tensión en la gráfica (Callister 2004; Smith & Hashemi, 2006). Mediante inspección visual de la probeta, se identifica si el material de estudio es de fractura frágil o dúctil, como se observa en la figura 1.4.

Figura 1.4

Tipos de fractura a analizar en la probeta.



Nota. a) Fractura dúctil b) Fractura moderadamente dúctil c) Fractura frágil. Tomado de *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de materiales* (p. 195), por W. D. Callister, 2007, Reverté S.A.

La importancia de analizar estas propiedades mecánicas en los materiales impermeabilizantes se debe a que al serán empleadas comúnmente sobre concreto y entre tejas. Esta membrana de material asfáltico aplicada, además de tener la capacidad de recubrimiento impermeabilizante, necesita soportar los agrietamientos que se produzcan en la estructura, contracciones y expansiones térmicas, lo cual está relacionado con la rotura y elasticidad del material. Debe considerarse que la aplicación de refuerzos de fibras textiles en los impermeabilizantes aumenta la resistencia a la

rotura, lo que permite mejor unión ante agrietamientos, sin embargo se sacrifica elasticidad. Esto se debe a dos factores, el aumento de espesor de la membrana y a la naturaleza de la fibra (ARDEX, 2018).

CAPÍTULO 2

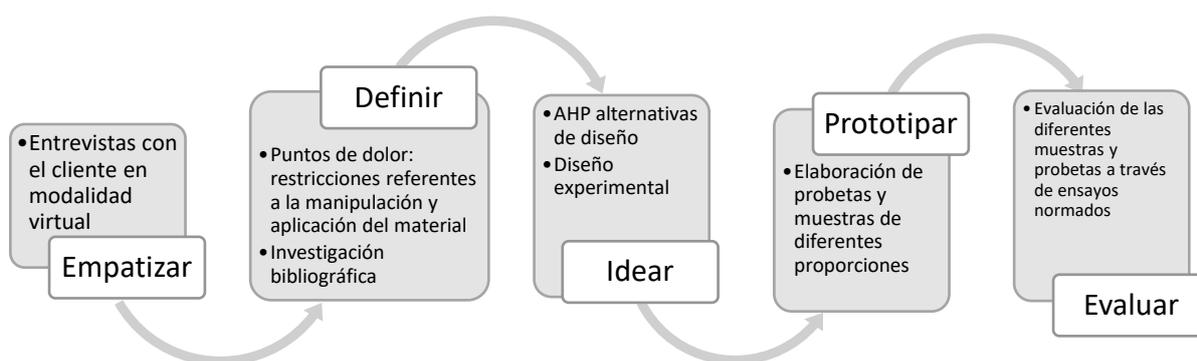
2. METODOLOGÍA

Se desarrollaron metodologías basadas en los ensayos de Ortega (2017) y Valencia (2018) en cuanto al tipo de mezclado de la fibra, proporciones a utilizar en las mezclas y ensayos de evaluación y caracterización. Se procedió con el desarrollo del diseño de experimentos, teniendo en cuenta la cantidad de muestras por ensayos versus el factor tiempo. Fueron utilizadas dos metodologías de investigación y desarrollo de proyectos, *Design Thinking* y *Analytic Hierarchy Process*, con esto, se logró obtener la mejor alternativa de diseño.

La Figura 2.1, explica esquemáticamente la metodología implementada con los recursos empleados en cada etapa del proceso. Empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar, fueron las etapas cubiertas, cada una con resultados significativos que aportaron a la etapa siguiente, resultando así, un prototipo evaluado a través de pruebas que garantizan su eficacia y calidad.

Figura 2.1

Esquema de metodología aplicada para el presente trabajo de investigación



2.1 Empatizar

Para la etapa de empatizar se utilizó como recurso, la entrevista con el cliente. Siendo el cliente, la empresa proveedora del material textil residual. Mediante las reuniones sostenidas, se pudo recabar información del proceso, gastos energéticos,

implementación de nuevas máquinas para la optimización del proceso, cantidad de fibra producida, entre otros datos que aportaron al análisis realizado en las etapas posteriores.

2.2 Definir

Con base a la revisión bibliográfica realizada, un análisis del entorno en el que se llevó a cabo la experimentación y la identificación de puntos de dolor, se pudieron definir las diferentes restricciones que se presentaron, tales como el financiamiento propio, los equipos y tecnología disponible otorgada por la institución y las restricciones presentes en las normativas.

En la tabla 2.1 se detallan los parámetros normativos para materiales asfálticos impermeabilizantes presentes en la norma INEN 2 135:98, basados en la norma española UNE 104-232-89. Teniendo en cuenta que hace falta la tecnología para abarcar todos los ensayos y el correcto análisis de las diferentes variables, se estableció la búsqueda de alternativas en la siguiente etapa.

Tabla 2.1

Requisitos fisicoquímicos de los másticos Tipo I, antes de ser curados.

Requisitos	Unidad	Tipo I		Método de ensayo
		Mín.	Máx.	
Densidad a 25 °C		0.9	-	NTE INEN 923
Punto de inflamación en vaso abierto Cleveland	°C	35	-	NTE INEN 808
Contenido de cenizas	% m/m	-	30	NTE INEN 1492

Nota. La tabla muestra los requisitos para propiedades de los másticos Tipo I de aplicación a temperatura ambiente. Tomado de *NTE INEN 2 135:98 Productos derivados del petróleo. Impermeabilizantes. Másticos bituminosos. Requisitos* (p. 3), 1998, por Instituto Ecuatoriano de Normalización.

2.3 Idear

En la etapa “Idear” se buscó establecer la alternativa de diseño más viable empleando la metodología de alternativas de selección, AHP, con esto, se definió un diseño de experimentos. En esta etapa se tomaron en cuenta las características que

debe tener el material resultante de la mano con las condiciones de experimentación, es decir, las restricciones analizadas en la etapa “Definir”.

2.3.1 Atributos de diseño

2.3.1.1 Requerimientos de diseño

Se entiende por requerimientos de diseño a aquellas características que el cliente desea encontrar en el producto y que el usuario potencial analizará al momento de su adquisición, en cuanto a funcionalidad y atributos (Dym & Little, 2002). El cliente espera darle una aplicación comercial al residuo de fibra textil que produce, que necesite una mínima inversión, planteando así la posibilidad de usar la fibra como un agregado a los materiales impermeabilizantes comerciales. Por otro lado, el usuario final, espera obtener un impermeabilizante a bajo costo y de mejor calidad que los presentes en el mercado. A continuación, se presentan los requerimientos de diseño:

- Fácil aplicación sobre la superficie de trabajo
- Seguro de aplicar
- Estable en su almacenamiento
- Aprovecha la mayor cantidad posible de fibra
- Es un producto ecológico
- Bajo costo de materia prima
- Bajo costo en la mano de obra para su aplicación
- Se debe poder evaluar mediante ensayos de laboratorio.
- Homogeneidad en la aplicación

Durante el diseño del material, fue necesario conocer bajo que límites se diseñará.

Para este proyecto se encontraron restricciones legales, tecnológicas y económicas.

- La mezcla bituminosa debe cumplir la normativa ecuatoriana INEN 2 135:98.
- La universidad debe tener la tecnología necesaria para la caracterización de la mezcla.
- La materia prima debe ser de libre acceso al público general.

2.3.1.2 Funciones

Se conoce como funciones en diseño a aquellas cosas que debe hacer el diseño (Dym & Little, 2002). En este caso, se buscó hacer un material impermeabilizante con fibra textil reciclada, por lo que ha cumplir lo siguiente:

- El material debe impedir la filtración de agua.

- La mezcla debe mejorar la capacidad de impermeabilización del material original.

2.3.2 Alternativas de solución

Las propiedades y características de los dos tipos de materiales asfálticos considerados en este análisis fueron extraídos de sus fichas técnicas comerciales.

2.3.2.1 Mezcla con material impermeabilizante tipo I.

Trabajar una mezcla empleando el mástico tipo I, tiene la ventaja de ser de fácil manipulación, tanto en su aplicación como para realizar los ensayos pertinentes para su caracterización, al encontrarse en estado líquido a temperatura ambiente. Sin embargo, la mezcla de este material con la fibra tiende a producir aglomeraciones, por lo que las propiedades de este presentan mayor variación entre muestras. Otra desventaja de este material es que el tiempo de secado total está entre 24 y 36 horas. El almacenamiento del impermeabilizante no debe ser menor a -10°C ni mayor a 40°C. Este material cuesta aproximadamente \$3.75/kg.

2.3.2.2 Mezcla con material impermeabilizante tipo II.

Como segunda alternativa de solución se propuso trabajar con mezclas que se trabajan en caliente. Para esto se necesitó mantener el material a una temperatura a la que se pueda mezclar con la fibra y ser vertido sobre la superficie a trabajar. Esto dificulta su utilización y lo hace más peligroso de manipular. Sin embargo, tiene la ventaja de que cuenta con menor tiempo de secado, y se mezcla mejor con la fibra, siendo más homogéneo. Este material no puede ser almacenado a temperatura menor a 5°C o mayor a 40°C. El costo de este material es de aproximadamente \$1.95/kg.

2.3.3 Criterios de selección

Para el análisis de las alternativas de diseño, se utilizó el proceso analítico jerárquico (AHP, de sus siglas en inglés, *Analytic Hierarchy Process*), el cual permite identificar qué características considera el cliente más importantes. En la tabla 2.3 se presentan los atributos de diseño que se consideraron.

Tabla 2.2*Criterios de evaluación.*

1. Seguridad	
1.1.	Riesgo durante la aplicación
1.2.	Almacenamiento
2. Aplicación	
2.1.	Fácil de aplicar
2.2.	Homogeneidad en la aplicación
2.3.	Bajo tiempo de secado
3. Costo	
3.1.	Materia prima
3.2.	Mano de obra
3.3.	Ensayos de caracterización
4. Sostenibilidad	
4.1.	Materia prima ecológica
4.2.	Aprovechamiento de fibra

Se utilizó la escala descrita en la tabla 2.3 para evaluar la importancia relativa entre atributos.

Tabla 2.3*Escala para comparación de criterios según el análisis AHP.*

Escala	Descripción comparativa entre los criterios A y B
1	A y B son de igual importancia
3	El criterio A tiene una importancia moderada sobre criterio B
5	El criterio A tiene una importancia fuerte sobre el criterio B
7	El criterio A tiene una importancia mucho más fuerte que el criterio B
9	El criterio A es de extrema importancia
1/n	Relación inversa

Una vez detallado esto, se procedió a realizar la comparación por pares de los criterios de diseño. En la tabla 2.4 se analizó el peso según el tipo de criterio, y en las tablas 2.5 a 2.8 se comparan los criterios del mismo tipo entre ellos.

Tabla 2.4

Comparación por pares detallada de los criterios de evaluación.

CRITERIO	Seguridad	Aplicación	Costo	Sostenibilidad	Total de fila	Peso
Seguridad	1	3	0.2	0.33	4.53	0.16
Aplicación	0.33	1	3	0.16	4.49	0.16
Costo	5	0.33	1	0.33	6.66	0.23
Sostenibilidad	3	6	3	1	13	0.45
SUMA TOTAL					28.68	1

Tabla 2.5

Comparación por pares de criterios de seguridad.

1. SEGURIDAD (0.16)					
CRITERIO	Riesgo de aplicación	Almacenamiento	Total de fila	Peso relativo	Peso absoluto
Riesgo de aplicación	1	0.33	1.33	0.25	0.04
Almacenamiento	3	1	4	0.75	0.12
SUMA TOTAL			5.33	1	0.16

Tabla 2.6*Comparación por pares de criterios de aplicación.*

CRITERIO	2. APLICACIÓN (0.16)			Total de fila	Peso relativo	Peso absoluto
	Fácil aplicación	Homogeneidad	Tiempo de secado			
Fácil aplicación	1	5	3	9	0.54	0.09
Homogeneidad	0.2	1	0.2	1.4	0.08	0.01
Tiempo de secado	0.33	5	1	6.33	0.38	0.06
SUMA TOTAL				16.73	1	0.16

Tabla 2.7*Comparación por pares de criterios de costo.*

CRITERIO	3. COSTO (0.23)			Total de fila	Peso relativo	Peso absoluto
	Materia prima	Mano de obra	Evaluable en laboratorio			
Materia prima	1	3	0.17	4.17	0.24	0.05
Mano de obra	0.33	1	0.2	1.53	0.09	0.02
Evaluable en laboratorio	6	5	1	12	0.68	0.16
SUMA TOTAL				17.7	1	0.23

Tabla 2.8

Comparación por pares de criterios ambientales.

4. SOSTENIBILIDAD					
(0.45)					
CRITERIO	Materia prima ecológica	Aprovechamiento de fibra	Total de fila	Peso relativo	Peso absoluto
Materia prima ecológica	1	0.17	1.17	0.14	0.06
Aprovechamiento de fibra	6	1	7	0.86	0.39
SUMA TOTAL			8.17	1	0.45

2.3.4 Selección de la alternativa de solución

De acuerdo con los pesos calculados en la comparación por pares, se analizaron ambas alternativas propuestas, mediante una matriz de selección. En esta se dio diferente calificación al desempeño de las alternativas en cada uno de los criterios de acuerdo con la escala propuesta en la tabla 2.9.

Tabla 2.9

Escala de puntuaciones para los criterios de selección.

Puntuación	Descripción
0	No cumple el criterio
1	Cumple el criterio de forma regular
2	Buen cumplimiento del criterio
3	Muy buen cumplimiento del criterio
4	Excelente cumplimiento del criterio

Tabla 2.10*Matriz de selección de las alternativas de solución.*

Criterio	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Mezcla con material impermeabilizante Tipo I		Mezcla con material impermeabilizante Tipo II	
		Puntuación	Ponderación	Puntuación	Ponderación
Riesgo de aplicación	0.02	4	0.08	2	0.04
Almacenamiento	0.05	2	0.1	1	0.05
Fácil aplicación	0.13	3	0.39	1	0.13
Homogeneidad	0.02	1	0.02	3	0.06
Tiempo de secado	0.09	1	0.09	3	0.27
Materia prima	0.05	1	0.05	2	0.1
Mano de obra	0.02	3	0.06	2	0.04
Evaluable en laboratorios	0.16	3	0.48	1	0.16
Materia prima ecológica	0.06	2	0.12	1	0.06
Aprovechamiento de la fibra	0.39	4	1.56	4	1.56
SUMA TOTAL	1	25	2.95	19	2.47

De acuerdo con la tabla 2.10 se obtuvo que la mejor alternativa de solución es la alternativa 1, por lo que se procedió al diseño experimental con mezcla asfáltica de material impermeabilizante Tipo 1, es decir con aplicación a temperatura ambiente.

2.3.5 Diseño de concepto

La solución planteada consta únicamente de dos elementos en la mezcla: el material textil y el impermeabilizante de base asfáltica. Al momento de diseñar la mezcla,

se deben considerar dos factores de gran importancia, la calidad de la fibra textil utilizada y la relación fibra/material asfáltico. Para esto, se debe realizar una serie de ensayos de laboratorio, cuyo fin es determinar las propiedades de las mezclas y compararlas entre ellas, determinando cuáles presentan las mejores propiedades y resultan en un menor costo de producción.

2.3.6 Diseño experimental

Para el diseño experimental se propuso trabajar con fibra contaminada con caucho, denominada como fibra textil sucia y fibra textil sometida a proceso de limpieza, denominada fibra textil limpia. El tipo de diseño empleado es el rediseño, ya que se plantea un nuevo tipo de impermeabilizante, siendo las variables de interés la proporción de esta respecto al material asfáltico y su presentación, ya sea esta limpia o sucia.

Tabla 2.11

Diseño de experimentos establecido

Ensayo	Mezcla	Proporciones	
		Fibra	M.A.
1	Fibra textil sucia + Material asfáltico de aplicación a T ambiente	1%	99%
2	Fibra textil sucia + Material asfáltico de aplicación a T ambiente	3%	97%
3	Fibra textil sucia + Material asfáltico de aplicación a T ambiente	5%	95%
4	Fibra textil limpia + Material asfáltico de aplicación a T ambiente	1%	99%
5	Fibra textil limpia + Material asfáltico de aplicación a T ambiente	3%	97%
6	Fibra textil limpia + Material asfáltico de aplicación a T ambiente	5%	95%

2.4 Prototipar

2.4.1 Pretratamiento del material textil

Para el arranque del proceso, fue necesario el pretratamiento de la fibra textil, la cual sale del proceso de reciclado con residuos de caucho. El objetivo de esta tarea fue eliminar la mayor cantidad de caucho residual presente en la fibra.

2.4.1.1 Limpieza manual

- Se empleó un tamiz de 45 micras para eliminar el polvo de caucho.
- Se golpeó la fibra en el tamiz para poder separar los pedazos grandes de caucho.
- Este proceso se realizó hasta notar que el contenido de polvo de caucho disminuyera.
- Seguido, se eliminaron los pedazos de caucho más pequeños manualmente.

2.4.1.2 Limpieza con separador artesanal

- Se utilizó una botella de plástico a la que se le realizaron agujeros pequeños en la base.
- Se colocó el material textil dentro de la botella junto con clavos pequeños.
- Se colocó la salida de aire del soplador de hojas en la boquilla de la botella con la fibra textil.
- Se accionó el soplador de hojas mientras se agitó la botella, se mantuvo esta acción hasta notar que la fibra tomó una apariencia blanquecina.

2.4.2 Procedimiento de mezclado a temperatura ambiente

- Se elaboraron muestras con contenido de 1, 3, y 5% de fibra, de acuerdo con la masa requerida por el ensayo.
- Se pesó la cantidad necesaria de material asfáltico para la mezcla.
- Se pesó la masa necesaria de fibra para las formulaciones respectivas (fibra limpia o sucia).
- Se separó las partes de la fibra que se encontraban formando bolas.
- Con ayuda de una espátula o de un agitador de vidrio, se mezcló adicionando poco a poco la fibra textil en el material asfáltico.
- La mezcla resultante se utilizó según lo requerido por el ensayo.

2.4.3 Prototipo de probetas

La máquina de ensayos universal del Laboratorio de Sólidos de FIMCP de la ESPOL, cuenta con mordazas para probetas con ancho de hasta 40mm, por lo cual se requirieron ensayos previos para determinar la posibilidad de trabajar con las dimensiones de las probetas normadas. Se realizaron probetas prototipo con las dimensiones de 50x200 [mm] de acuerdo con la norma INEN 2065 (2013), además de probetas de 40x200 [mm] y de 20x200 [mm].

Al realizar los ensayos de tracción, las probetas de 50x200 [mm], se registró falsa rotura por sobrepasar el ancho de sujeción de las mordazas, al producirse elongación desigual, por lo que se descartó trabajar con ellas. Todas las probetas tuvieron comportamientos elásticos similares (revisar Apéndice A), por lo que se concluyó que el ancho de estas no afecta a los resultados. Para reducir el tiempo de ensayo, y por presentar mejor agarre, se decidió trabajar con probetas de 20x200 [mm].

2.5 Evaluar

2.5.1 Pruebas y ensayos

Se sometió a las probetas y muestras realizadas a ensayos de evaluación fisicoquímicas y mecánicas. Estos procedimientos y las cantidades de material empleadas en ellos se describen en el apéndice B. Los resultados obtenidos en esta etapa se analizaron a través de estadística clásica descriptiva.

2.5.1.1 Densidad.

Al tratarse de una mezcla heterogénea, se determinó la densidad de la mezcla en diferentes proporciones destinando una masa total. Dicha masa fue colocada en un recipiente volumétrico. El volumen que ocupó la mezcla fue anotado. La densidad se calculó con la siguiente ecuación:

$$\rho_{mezcla} = \frac{\text{masa total de la mezcla}}{\text{volumen total de la mezcla}} \quad (2.1)$$

2.5.1.2 Determinación de cenizas.

El ensayo de determinación de cenizas mide el nivel de contaminación de la muestra que se está analizando mediante el tratamiento térmico de la misma. Según la norma INEN 1492 (2013), para la determinación de cenizas de productos de petróleo se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Ceniza, \%P} = \frac{w}{W} \times 100 \quad (2.2)$$

En donde:

w: peso de la ceniza que se obtiene en gramos

W: peso de la muestra original en gramos

2.5.1.3 Determinación de materia no volátil y volátiles totales.

La pérdida de masa por calentamiento es un indicador de la susceptibilidad térmica de los materiales asfálticos, esta susceptibilidad aumenta a medida que la pérdida de masa por calentamiento es mayor, este ensayo no arroja datos relacionados

al contenido de agua del material (Ramírez, 2005). Según la normativa INEN 1024 (2015) el contenido de materia no volátil se calcula con la siguiente ecuación:

$$MNV = \frac{M_2 - M_1}{M} \times 100\% \quad (2.3)$$

En donde:

M_1 : masa del papel aluminio vacío, en gramos.

M_2 : masa del papel aluminio con el residuo después del calentamiento, en gramos.

M : masa de la muestra, en gramos.

Mientras que el contenido de materia volátil es la diferencia de la materia no volátil con el 100%.

2.5.1.4 Punto de inflamación.

El ensayo de punto de inflamación y fuego en copa abierta Cleveland, según la norma INEN 808 (2013) es un dato indicador del punto de ignición de la muestra, es aplicado a temas de seguridad industrial, almacenaje y tratamiento del material en cuestión.

2.5.1.5 Estanquidad.

El ensayo de estanqueidad es una forma de evaluar la permeabilidad de algún material. El material es dejado por 24 horas en contacto constante con la superficie de un tanque lleno de agua. Se evalúa la capacidad de resistencia del material a la acción del agua (Ortega, 2017).

2.5.1.6 Tiempo de secado.

El ensayo se realizó con la finalidad de determinar el tiempo en el que las muestras están secas al tacto. Se dispuso de un pedazo de papel film, se delimitaron áreas de 50x50 [mm], en las cuales se colocó una capa de 5 gramos de muestra siguiendo el diseño de experimentos establecido. Se anotó el tiempo de colocación de muestra y el tiempo final de secado.

2.5.1.7 Tracción.

El ensayo de tracción es utilizado para la evaluación de la resistencia de los materiales al ser sometidos a una fuerza, conocida como carga. El ensayo se realizó en una máquina de ensayos para tracción según la validación realizada durante la etapa de prototipado, tomando 5 probetas rectangulares de 200x20 mm de una lámina del material. El procesamiento de los resultados obtenidos se realizó utilizando Matlab.

2.6 Análisis tecno-económico

Para evaluar la viabilidad del proyecto, se realizó el análisis tecno-económico considerando las proporciones de fibra-material asfáltico que serían usadas por el consumidor final, de acuerdo con los resultados de desempeño de las mezclas.

Se inició definiendo al público objetivo, siendo empresas constructoras y ferreterías. Solo en Guayaquil, existen alrededor de 2,071 empresas relacionadas a la venta y fabricación de productos de construcción (Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros, 2022). De estas empresas se eligió trabajar con el 7%, siendo 150 empresas, debido a la capacidad de producción anual. Con este análisis y la cantidad de fibra producida por semana, dato proporcionado por el cliente, se estableció la presentación de comercialización de sacos de un quintal.

Se consideraron precios de fibras comerciales entre ellas, la fibra de polipropileno virgen, de la cual se venden 142 gramos a \$2.27, sin embargo, al considerar el posicionamiento de la empresa en el mercado, se eligió trabajar bajo el método de fijación de precios basado en el costo, en donde se determinó un porcentaje de utilidad esperada. Para el caso de la comercialización de la fibra limpia, se adicionaron equipos para su limpieza, almacenamiento y empaque.

A este análisis también se integró la depreciación de los equipos, gastos administrativos, costo de mano de obra, suministros, gastos fijos los y un préstamo para el caso de la línea de producción de fibra limpia. El préstamo contemplado cubre los gastos de la compra de nueva maquinaria. El análisis se realiza con una proyección de 10 años plazo. Se calculó también el VAN y el TIR, variables que denotan la viabilidad del proyecto a lo largo de los 10 años de inversión. Para la aceptación del proyecto, debe cumplirse que el cálculo del VAN resulte ser un valor positivo. Además la TIR debe ser mayor a la tasa de descuento, caso contrario se rechaza el proyecto.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Caracterización de la materia prima

Se realizó la cuantificación del contenido de caucho en la materia prima, a través de su limpieza. Para esto fue utilizada la metodología de extracción manual, debido a que con el sistema del separador artesanal se perdía material. De una muestra representativa de 100 g de fibra, el 77.5% representó un residuo de polvo de caucho y pedazos de caucho de mayor dimensión unidas a cuerdas de fibra.

La separación y cuantificación de estos últimos no fue posible. Sin embargo, se pudo separar el residuo en polvo de caucho el cual representó un 12.1%. Los pedazos de caucho más grandes y los que están unidos con la fibra textil representaron el 65.4% de la muestra. El 19.1% restante representa la fibra limpia y un 3.4% de pérdida de material por la manipulación en el proceso de limpieza.

3.2 Determinación de cenizas

En la tabla C.1 del apéndice C, se muestran los resultados obtenidos para el ensayo de cenizas, realizado por triplicado para cada composición. Para todos los resultados no se apreció variación entre pesos, sin embargo, se observó variación entre los resultados de las réplicas, siendo estas mayores al 2% para las mezclas con fibra sucia. Esto se debió al contenido de polvo y trazas de caucho, los cuales no fueron uniformes para las muestras. En la tabla 3.1 se muestran los resultados promedio del ensayo.

Tabla 3.1

Promedio de contenido de cenizas para mezcla con fibra limpia y fibra sucia.

PROPORCIONES	Cont. Ceniza Promedio	
	Fibra sucia	Fibra limpia
0%	8.71%	
1%	8.79%	8.61%
3%	8.34%	8.57%
5%	8.17%	8.10%

Después de la ignición del material y el proceso de combustión total en la mufla, se observó que la ceniza obtenida era de color rojizo. Esto pudo darse por la presencia de óxidos extraños en el material asfáltico, recordando que está compuesto de polivinil acetato 114, solución de alcohol polivinílico, caolín, resina acrílica estirenada 445, otras fibras minerales y microbicidas (Ortega, 2017).

De acuerdo con los resultados obtenidos para las tres composiciones, el contenido de cenizas disminuye en comparación con el dato obtenido para el material sin la adición de fibra, a pesar de esto, sigue estando dentro del límite máximo permisible cual es de 30% [m/m], como se muestra en la tabla 2.2.1. Se calculó la desviación estándar de los resultados, teniendo una desviación del 0.0028 para las muestras de mezcla con fibra limpia y un 0.0032 para las muestras de mezcla con fibra sucia, además se realizó un análisis de varianzas (ANOVA) (Tabla D.6) en el cual se obtuvo una significancia del 0.9 para la comparación entre ambos sistemas, para la comparación entre el material sin fibra y las mezclas con fibra sucia se obtuvo una significancia de 0.8023, mientras que para la comparación con fibra limpia se obtuvo una significancia de 0.8401.

Estos valores de significancia son mayores al 0.05 establecido para la evaluación de los criterios del modelo, además los valores de desviación entre muestras son pequeños, con esto podemos decir que al agregar la fibra en mayor o menor proporción o ya sea sucia o limpia no se alterará significativamente esta propiedad.

3.3 Determinación de materia no volátil y volátiles totales

En las tablas C.2 y C.3 se muestran los resultados obtenidos para el ensayo de contenido de materia volátil y no volátil. El ensayo se realizó siguiendo la norma NTE INEN 1024, la cual indica que se debe realizar por duplicado hasta que el error entre las dos mediciones sea menor al 1%.

Durante el proceso de pesado, se observó que la muestra de aproximadamente 1 gramo perdía peso constantemente, esto por las propiedades mismas del material asfáltico comercial. Debido a esto, la muestra fue tapada durante la medición para disminuir errores relativos entre ensayos, a pesar de que esta pérdida de masa contribuyera al dato de materia volátil final.

Tabla 3.2*Resultados promedio de ensayo de material volátil y no volátil.*

PROPORCIONES	PROM. MNV		PROM. MV	
	Fibra	Fibra	Fibra	Fibra
	limpia	sucia	limpia	sucia
1%	50.53%	52.24%	49.47%	47.76%
3%	53.87%	53.48%	46.13%	46.52%
5%	54.11%	53.96%	45.89%	46.04%

La tabla 3.2 contiene los resultados promedio del ensayo. En ambos casos, el contenido de sólidos o material no volátil aumenta a medida que la proporción de fibra en la mezcla es mayor. En concordancia con esto, el contenido de material volátil disminuye a medida que el contenido de fibra aumenta.

Esto sucede por la composición de fibra presente en la mezcla, al haber menos material asfáltico y más fibra, la cual no se volatiliza, por ende pasa a ser parte del material no volátil. Se calculó la desviación estándar entre las muestras de cada uno de los sistemas, siendo de 0.0088 para las mezclas con fibra sucia y 0.0200 para las mezclas con fibra limpia, además se realizó un ANOVA (Tabla D.6), en el cual se obtuvo una significancia del 0.4533, este valor es mayor al 0.05 establecido para la evaluación de los criterios del modelo, con esto se puede decir que no hay variaciones significativas entre los sistemas como en el caso del contenido de cenizas.

3.4 Densidad

Los resultados del ensayo se muestran en la tabla 3.3, puede notarse que las mezclas con fibra sucia son mucho más densas. Al pesar la fibra limpia para las mezclas, en volumen, era mucho más robusta que la fibra sucia. Para esta última, el peso del caucho influía directamente, que el volumen sea menor. Se realizó el análisis de la influencia de la fibra constituida en su mayoría por nailon en base a sus propiedades como termoplástico.

Tabla 3.3*Resultados de ensayo de densidad.*

Proporciones		Vaso de precipitación [g]	Muestra [g]	M.A. [g]	Fibra [g]	Vol. Muestra [mL]	Densidad [g/mL]
Fibra sucia	1%	27.3	20	19.8	0.2	18.75	1.07
	3%	27.3	20	19.4	0.6	19.25	1.04
	5%	27.3	20	19.0	1.0	20.00	1.00
Fibra limpia	1%	26.2	20	19.8	0.2	20.67	0.97
	3%	49.2	20	19.4	0.6	22.00	0.91
	5%	26.2	20	19.0	1.0	22.50	0.89

Como puede verse en la tabla 1.1 el nailon 6.6 es uno de los termoplásticos menos densos en comparación con los demás usados en ingeniería, esto les da la propiedad a las mezclas de ser ligeras. Así mismo en comparación con los resultados obtenidos por Ortega (2017), la densidad es incluso menor siendo su máximo un 1.09 g/mL para la mezcla con el 5% de fibra, mientras que para el caso de estudio es de 1 g/mL para las mezclas con fibra sucia y llega a ser de 0.89 g/mL para la fibra limpia.

La tendencia de los datos demuestra que a medida que la proporción de fibra aumenta, la densidad disminuye, esto se debe a que, al ser una mezcla heterogénea, la fibra crea espacios vacíos haciendo que su volumen sea mayor que su masa. Estos espacios vacíos se crean en su intercara, en donde se encuentran en cohesión la matriz y la fibra de refuerzo, al ser menos denso, el material será menos duro y más flexible.

3.5 Punto de inflamación

Los resultados del ensayo de punto de inflamación en copa abierta Cleveland se muestran en la tabla 3.4. A medida que aumenta la proporción de fibra, el punto de inflamación también aumenta, no obstante, realizando la comparación entre las mezclas con fibra sucia y fibra limpia, puede observarse que este es menor para las mezclas con fibra limpia.

Tabla 3.4

Resultados de ensayo de punto de inflamación en copa abierta Cleveland.

	Proporciones	Fibra [g]	M.A. [g]	Primera llama [°C]
Fibra limpia	1%	0.7	69.3	132
	3%	2.1	67.9	173
	5%	3.5	66.5	174
Fibra sucia	1%	0.7	69.3	150
	3%	2.1	67.9	180
	5%	3.5	66.5	176

Esto se da debido a que, para las mezclas con fibra sucia se cuenta con una proporción de caucho y polvo de caucho el cual es inflamable a muy altas temperaturas, aumentando así el punto de inflamación de la mezcla. A pesar de que en el caso de la mezcla con fibra limpia el punto de inflamación disminuya, se mantiene dentro del límite normado presente en la tabla 2.2.1, el cual es un límite mínimo de 35 °C.

3.6 Estanqueidad

En la tabla 3.5 se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de estanqueidad. Los resultados fueron favorables para los 6 ensayos, esto se pudo constatar después de transcurridas las 24 horas de ensayo para cada membrana de mezcla en comparación con los resultados obtenidos por Ortega (2017) en donde utiliza fibra de vidrio como agregado, los cuales resultaron desfavorables para el sistema.

Tabla 3.5*Resultados cualitativos del ensayo de estanqueidad.*

	PROPORCIONES	M.A. [g]	Fibra [g]	Impermeabilidad
Fibra limpia	1%	29.7	0.3	CUMPLE
	3%	29.1	0.9	CUMPLE
	5%	28.5	1.5	CUMPLE
Fibra sucia	1%	29.7	0.3	CUMPLE
	3%	29.1	0.9	CUMPLE
	5%	28.5	1.5	CUMPLE

Mediante este ensayo se pudo poner a prueba la permeabilidad del material, observándose que la fibra residual actúa como barrera permeable, esto también se debe a las propiedades mismas de resistencia a la humedad que le otorga la fibra.

3.7 Tiempo de secado

Para el ensayo de tiempo de secado, se obtuvieron los tiempos promedio en los cuales la muestra se secó al tacto, es decir en la superficie. Los resultados del ensayo realizado por duplicado (Tabla C.4). La tendencia de los datos es directamente proporcional, a medida que aumenta la concentración de fibra en la muestra, también aumenta el tiempo de secado.

Tabla 3.6*Resultados promedio del ensayo cualitativo de tiempo de secado.*

Contenido de fibra	PROMEDIO	
	[hh:mm]	
	Fibra sucia	Fibra limpia
1%	0:35	1:31
3%	0:34	1:29
5%	0:31	1:28

Para las mezclas con fibra sucia el tiempo de secado es menor que para las mezclas con fibra limpia, esto se debe a que la cantidad de fibra para las mezclas con fibra sucia es menor, por lo que habrá más material asfáltico y menos superficie ocupada por la fibra, es decir que el material asfáltico se podrá extender por toda la superficie sin

que queden partes de este entre las fibras, siendo esto lo que retrasa el secado superficial.

3.8 Tracción

En el ensayo de tracción, se obtuvo un reporte con datos de fuerza aplicada y deformación de cada probeta. A pesar de que se realizaron cinco probetas para cada tipo de muestra, al trabajarse con una mezcla no homogénea, se obtuvo diferentes espesores en las probetas. Debido al método de corte manual utilizado, existió variación en el ancho de las probetas, considerándose un error sistemático. La longitud inicial de cada probeta se midió con un flexómetro desde el borde de placas metálicas que se ubicaron en las mordazas. Las placas se colocaron manualmente intentando que sean lo más paralelas posible a las mordazas y alineadas entre ellas, sin embargo, se observó durante los ensayos placas ligeramente inclinadas o desalineadas.

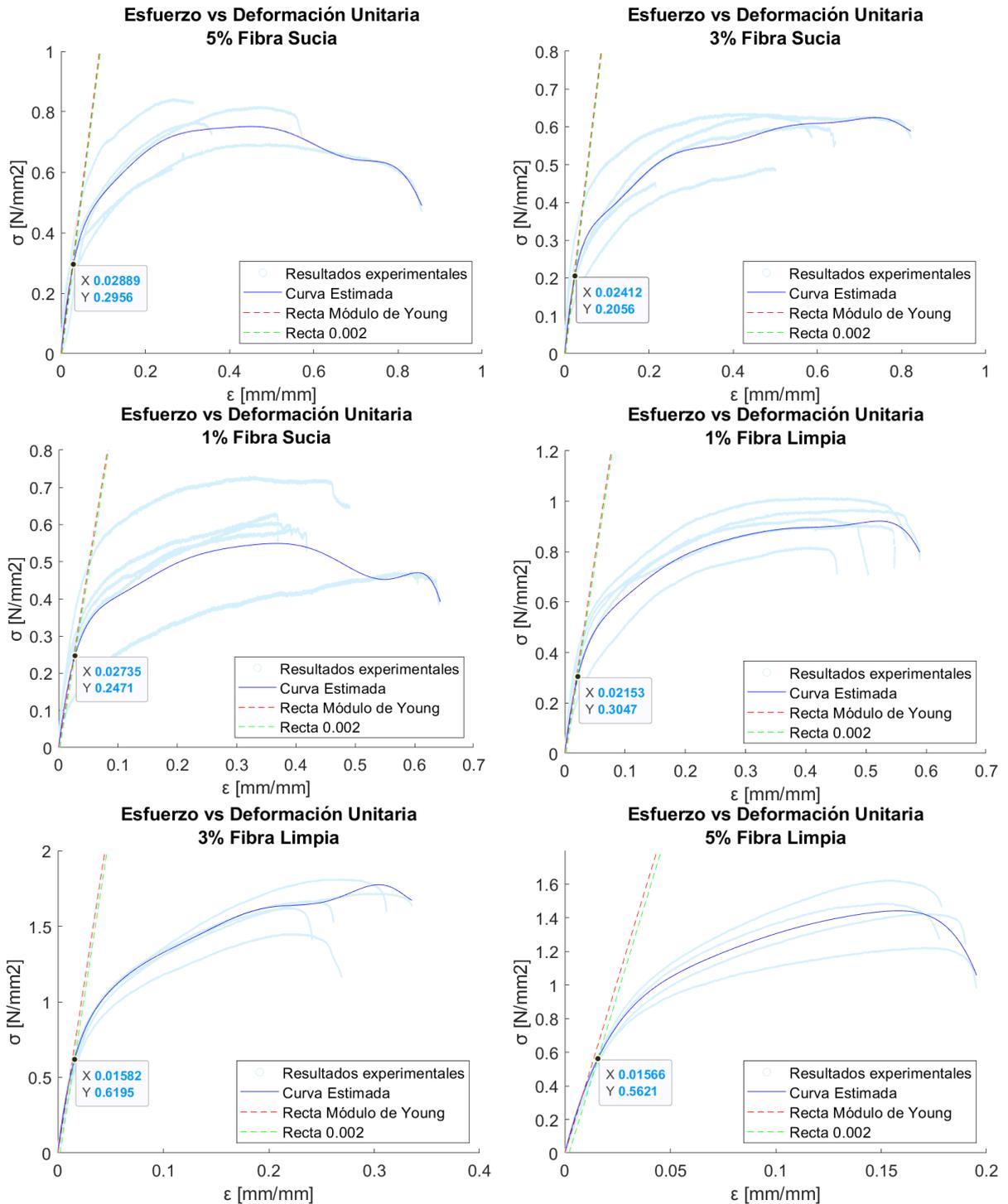
Tabla 3.7

Resultados obtenidos del ensayo de tracción.

Propiedades	Contenido de fibra sucia			Contenido de fibra limpia		
	1%	3%	5%	1%	3%	5%
Fuerza máxima $F_{m\acute{a}x}$ [N]	37.97	47.65	61.28	65.29	112.28	107.41
Esfuerzo máximo $\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]	0.56	0.56	0.75	0.82	1.71	1.46
Módulo de Young E [MPa]	9.74	9.29	10.99	15.60	44.82	41.16
Límite elástico $\sigma_{0.002}$ [MPa]	0.25	0.20	0.29	0.30	0.62	0.56

Figura 3.1

Diagramas de Esfuerzo versus Deformación para las diferentes concentraciones de fibra sucia y limpia.



Realizando la comparativa entre los diagramas obtenidos en la figura 3.1, se observa mayor variación en el comportamiento mecánico en las mezclas de fibra sucia. La diferencia en los puntos de rotura y por ende en los esfuerzos máximos, se debe a

que existieron más concentradores de esfuerzos e irregularidades superficiales. Estos son atribuidos a que la fibra sucia es una materia prima que produce mezclas más heterogéneas, al tener en su composición mayor cantidad de trazas de caucho y otros textiles. Las mezclas producidas con este material soportaron bajos esfuerzo, lo cual produce mala resistencia a agrietamientos.

Por otro lado, las mezclas con fibra textil limpia fueron más homogéneas obteniendo un comportamiento similar entre ellas. Los esfuerzos máximos y el módulo de elasticidad mayor registrado se dieron en la mezcla del 3%. Se deduce que esta es la concentración máxima de fibra admitida por el material que permite una buena cohesión en la mezcla y que exista una buena disposición de la fibra a lo largo del material. En la fibra textil sucia, el esfuerzo máximo sigue aumentando por lo que no se llegó al máximo de fibra.

Los esfuerzos máximos mayores registrados fueron en la fibra textil limpia, para la mezcla de 3%, con un valor promedio de 1.71 [MPa], módulo de Young estimado de 44.82 [MPa] y un límite elástico de 0.62 [MPa]. De acuerdo con la ficha técnica del producto original, se estima que este tiene un esfuerzo máximo de 1.47 [MPa], por lo que esta propiedad ha sido mejorada, siendo más resistente a agrietamientos. La rigidez del material aumentó como se esperaba debido a que se agregó la fibra, por lo que resiste más a ser deformado.

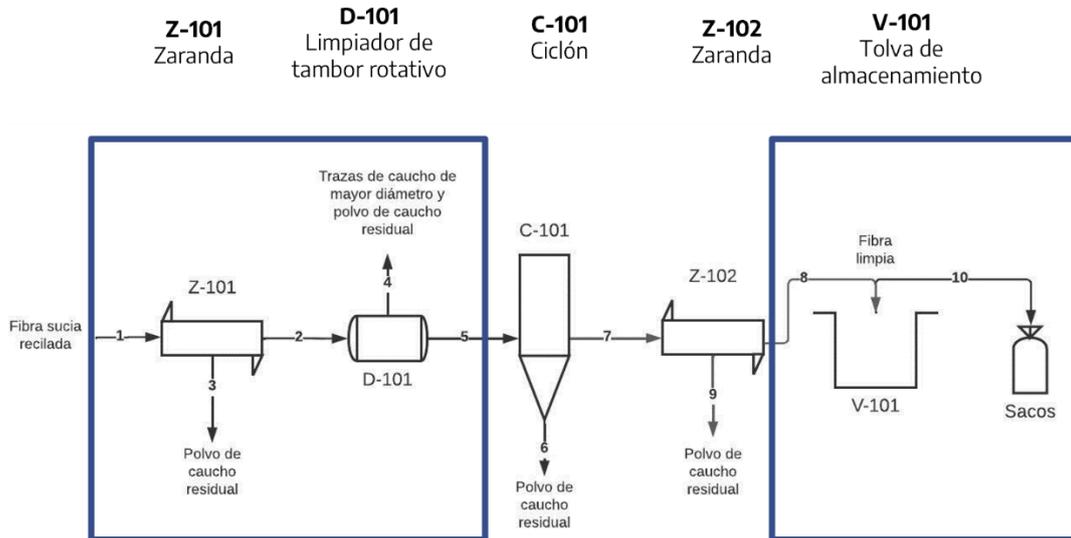
Se realizó un ANOVA para los datos obtenidos de esfuerzo (Tabla D.6), con esto, se obtuvo una significancia de 0.001 comparando los sistemas de mezcla con fibra sucia y con fibra limpia. El nivel de significancia obtenido es menor al establecido por el modelo ($\alpha = 0.05$), por lo cual puede decirse que existe variación en los sistemas.

3.9 Línea de producción de fibra limpia (PFD)

De acuerdo con los resultados, las mezclas con fibra limpia presentan mejores propiedades que las mezclas con fibra sucia. Partiendo de esta premisa, se plantea el proceso de limpieza de la fibra de forma industrial en la figura 3.2, en donde se adicionan al proceso una zaranda (Z-101) para eliminar el polvo de caucho, un limpiador de tambor rotatorio (D-101), para eliminar las trazas de mayor diámetro de caucho y un tanque de almacenamiento ubicado a nivel de piso (V-101), en forma general. La fibra será transportada a través de transportadores de banda dentada, los cuales servirán para el personal que la empacará a medida que esta se vaya produciendo. Los equipos Z-102 y C-101, corresponden a una zaranda y un silo-ciclón con los cuales ya cuenta la planta.

Figura 3.2

Process Flow Diagram para el proceso de limpieza de fibra.



3.10 Análisis de costos

El análisis tecno económico permitió conocer la factibilidad económica del proyecto al aumentar una línea de producción para la limpieza de la fibra. Según datos proporcionados por la gerencia de planta, por semana se generan 15 toneladas de fibra sucia. A través de la caracterización de la materia prima se obtuvo que de la fibra sucia un 19.12% es fibra limpia. Llevando este análisis a la cantidad de producción semanal se obtuvo un equivalente a 3 toneladas de fibra limpia a la semana. Para determinar el precio de venta unitario se utilizó el método de fijación de precios basado en el costo (Tabla E.2), fijando una utilidad esperada del 10%.

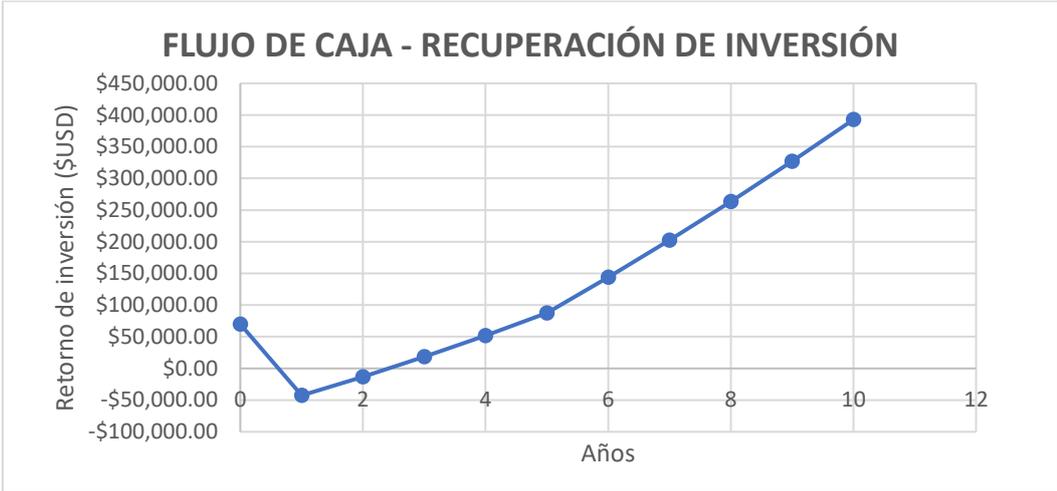
Para la nueva línea de limpieza de fibra, fue necesario aumentar el número de equipos (Tabla E.4). La compra de estos se simuló mediante un crédito en una entidad bancaria con la tasa de interés más baja del mercado, la cual es del 9.76% a 5 años (Tabla E.5). Para la operación de la nueva línea de limpieza de fibra es necesario que la planta incurra en costos y gastos mensuales variables.

Se consideraron, sacos para el empaque, y costos y gastos fijos como los salarios de los operarios y asesores de ventas (Tabla E.6). Además de gastos de mantenimiento y la depreciación de los equipos. En el flujo (Tabla E.1), se consideró la inversión inicial en el año 0. Los egresos e ingresos generados se proyectaron en base a la tasa de

inflación a noviembre 2022, según datos del Banco Central del Ecuador en el Boletín mensual de inflación (2022) es del 3.64% y la tasa mensual es de - 0.01%.

Figura 3.3

Flujo de caja proyectado a 10 años plazo.



Se obtiene un VAN de \$214,548 durante los 10 años. Además, una TIR que es mayor a la tasa de descuento, siendo de 47%. El precio de venta propuesto para la fibra reciclada es de \$2.01/kg, siendo menor al de la fibra de polipropileno que se encuentra en el mercado a \$2.27/142g. Al tener un TIR mayor a la tasa de descuento y un VAN positivo, podemos decir que el proyecto tiene rentabilidad en los 10 años proyectados, esto a pesar de haber considerado una inversión inicial, la cual es teóricamente recuperada en el tercer año de operación con la venta de la fibra.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se estableció un modelo de diseño experimental basado en la metodología Design Thinking. A través del Proceso Analítico Jerárquico se pudo establecer que la mejor alternativa para la facilidad del estudio, son las mezclas con material asfáltico de aplicación a temperatura ambiente, por variables como su costo, riesgos de aplicación y su capacidad de ser evaluadas a través de ensayos de laboratorio. A partir de esto se ensayaron dos sistemas de mezcla siendo estos, mezclas con fibra limpia y las mezclas con fibra sucia o contaminada con polvo y trazas de caucho considerando tres proporciones 1, 3, y 5% de fibra en las mezclas, teniendo un diseño experimental de tipo rediseño, siendo las variables independientes, la presentación de la fibra, es decir, fibra limpia o sucia y la composición en la que esta se aplique a la mezcla.

A través de los ensayos realizados a las diferentes formulaciones establecidas en el diseño experimental se concluye que la formulación con mejores resultados es la de 3% de fibra limpia, este material presentó los valores más altos para esfuerzo máximo, teniendo un valor promedio de módulo de Young de 44.82, además de un menor contenido de cenizas en comparación con el material comercial, mejor capacidad impermeabilizante después de 24 horas en contacto directo con agua, una baja densidad de 0.91 g/mL y por ende mayor flexibilidad, un punto de inflamación elevado de 173 °C y un tiempo de secado el cual va en concordancia con el contenido de materia volátil, es decir, que el tiempo es mayor por el contenido de fibra, la cual no es volátil.

Se obtuvo un material menos denso, lo cual otorga ventajas para su transportación y almacenamiento, además de que el material se vuelve más ligero para aplicaciones en techos o juntas. El material resultante también tiene bajo contenido de ceniza en comparación al material comercial, con el análisis de la desviación estándar y ANOVA para las propiedades de cenizas y material volátil y no volátil se concluye que para este tipo de propiedades no existe alteración significativa en la matriz, lo cual es beneficioso dado que se mejoran las propiedades de resistencia, pero sigue manteniendo sus propiedades fisicoquímicas dentro de los rangos permisibles por las normativas. Así

mismo el material posee mejores propiedades de impermeabilización, alto punto de inflamación y mejora en las propiedades de tracción.

Cumpliendo con el tercer objetivo específico, la viabilidad económica del proyecto se evaluó a través de un análisis tecno económico, con el cual se obtuvo un valor para el VAN de \$214,548, un TIR de 47% y una tasa de descuento de 7.32% indicadores de rentabilidad. Siendo el TIR mayor a la tasa de descuento, y un VAN positivo, se concluye que el proyecto es viable en sus 10 años proyectados, considerando un precio de venta de \$2.01 por kilogramo con un 10% de utilidad. Además el valor destinado a la inversión es recuperado al tercer año siendo este un periodo corto de tiempo, a partir del cual se aprovecha la utilidad generada del 10%.

La caracterización de la materia prima demuestra que con la limpieza de la fibra textil no sólo se aprovecha el recurso fibra, sino que también se redirige el polvo de caucho y las trazas de caucho de mayor diámetro a los demás procesos de reciclaje que se realizan dentro de la planta.

Esto representa un reciclaje de residuos que siendo reintroducidos al proceso otorgan un mayor rendimiento. Otra de las consideraciones para tener en cuenta, es que la fibra limpia es mucho más ligera, lo que beneficiaría a su transporte y almacenaje, representando menos espacio, menos peso y por ende menos viajes.

Por último, el uso de las fibras recicladas reemplazaría la necesidad de fabricar fibras vírgenes tales como la fibra de vidrio o fibras de polipropileno, reduciendo así los desechos del proceso, el uso de recursos energéticos y de agua, y por ende reutilizando un desecho que no es biodegradable al ser sintético.

4.2. Recomendaciones

Es recomendable que se realicen ensayos de tracción al material de referencia para obtener valores más representativos al sistema que se está trabajando. Esto debido a que las condiciones de ensayo y de toma de muestras usadas en laboratorios especializados son óptimas, mientras que, en los ensayos realizados en este proyecto, se contó con restricciones técnicas que producen muestras de baja calidad.

Así mismo, la toma de más de tres muestras puede dar mejores resultados en referencia a métodos de tratamiento estadístico, esto con el fin de disminuir errores entre las muestras, además de que es un indicativo de la efectividad del procedimiento experimental en el laboratorio. Es recomendable que se considere la elaboración de sistemas más robustos con datos de por lo menos 5 muestras por sistema.

Se recomienda la adición de la fibra para otro tipo de aplicaciones como lo son aislantes acústicos, aislantes térmicos y reforzamiento de concreto (Carné, 2016), entre otros. Existen antecedentes bibliográficos internacionales de este tipo de aplicaciones, por lo que sería adecuado evaluarlo con las fibras que producen las plantas de reciclaje del país, generando así, nuevas alternativas para el aprovechamiento de este pasivo ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Adrianzen, O., Azula, J., Pacherras, C., Rodríguez, E., & Muñoz, S. (2022). Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria. *Revista Infraestructura Vial* , 24(43). doi:10.15517/iv.v24i43.47931
- Aguado, L. (2010). *Reciclado de neumáticos para la fabricación de láminas impermeabilizantes en la construcción [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid]*. Obtenido de https://oa.upm.es/5497/2/TESIS_MASTER_LUIS_AGUADO_ALONSO.pdf
- ARDEX. (23 de Noviembre de 2018). *Technical Bulletin - TB 073: Misconceptions about membrane elongation*. Obtenido de http://cdn.ardexaustralia.com/pdf/tech%20bulletins/TB073.005_MisconceptionsAboutMembraneFlexibilities.pdf
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2021). *Anuario*. Quito: Noah Publicidad. Obtenido de <https://www.aeade.net/anuario/>
- ASTM. (2000). *Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts*. Obtenido de ASTM D 244: <https://www.astm.org/d0244-09r17.html>
- ASTM. (2010). *ASTM D2196*. Obtenido de Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield type) Viscometer: <https://www.astm.org/d2196-20.html>
- Banco Central del Ecuador. (2022). *Boletín mensual de inflación: Resultados a noviembre 2022*. Obtenido de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Notas/Inflacion/inf202211.pdf>
- Callister, W. D. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de materiales*. Barcelona: Reverté s.a.
- Canales, E., & Melo, D. (2019). *Dinámica de procesos para Ingenieros Químicos*. Chile: Universidad de Concepción. doi:ISBN 978-956-227-454-8
- Carné, I. (2016). *Caracterización de hormigón con fibras sintéticas recicladas [Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de Valencia]*. Riunet. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/69086/CARN%C3%89%20>

%20Caracterizaci%C3%B3n%20de%20hormig%C3%B3n%20con%20Fibras%20 sint%C3%A9ticas%20recicladadas.pdf?seq

- Carreño Alonso, J., & Méndez Bautista, M. T. (Octubre de 2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educación Química*, 21(4), 291-299.
- Chaguay, E., & Cañarte, N. (2022). *Aprovechamiento químico de amidas alifáticas provenientes de la industria de reciclaje de llantas como estrategia para reducir el nylon residual [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]*. Obtenido de www.dspace.espol.edu.ec
- Dym, C. L., & Little, P. (2002). *El proceso de diseño en ingeniería*. México: Limusa Wiley.
- Girón, A., & Ramírez, F. (2016). *Impermeabilización de superficies en la construcción de edificios [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4982/Gir%C3%B3nRodr%C3%ADguezAndr%C3%A9sFelipe2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INEN. (1998). *Productos derivados del petróleo. Impermeabilizantes. Másticos Bituminosos. Requisitos. NTE INEN 2 135:98*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2135.pdf>
- INEN. (2013). *Productos de petróleo. Determinación de cenizas NTE INEN 1492*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización : <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
- INEN. (2013). *Productos derivados del petróleo. Determinación del punto de inflamación y fuego en copa abierta Cleveland NTE INEN 808*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
- INEN. (2013). *Productos derivados del petróleo. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de las propiedades de tracción NTE INEN 2065*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
- INEN. (2015). *Pinturas y productos afines. Determinación de materia no volátil y volátiles totales NTE INEN 1024*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización: <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
- Kutz, M. (2015). *Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Engineering Mechanics*. USA: Wiley.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2016). *1.500.000 unidades de neumáticos fuera de uso se recuperaron en Ecuador en dos años*.

- Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/1-500-000-unidades-de-neumaticos-fuera-de-uso-se-recuperaron-en-ecuador-en-dos-anos/>
- Ortega, V. (2017). *Reformulación del proceso de elaboración de cemento asfáltico en la empresa Imptek - Chova del Ecuador S.A [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]*. Dspace. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10876>
- Peñaloza, V., & Cisneros, M. (2022). Análisis económico de productos a partir de reciclados. Caso: recicladora verde neumático. *Res Non Verba*, 12(1), 3. doi:<https://doi.org/10.21855/resnonverba.v12i1.618>
- Ramírez, L. (2005). *Evaluación del efecto de la pérdida de masa por calentamiento sobre las propiedades de ligantes y mezclas asfálticas*. Dspace. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1451?show=full>
- Real Academia de Ingeniería. (2014). *Diccionario Español de Ingeniería*, 1.0. Recuperado el 23 de 01 de 2023, de <https://diccionario.raing.es/es/lema/probeta>
- Salazar, A., & Zavaleta, C. (2016). *Influencia del tiempo de secado por microondas y concentración de trimetoxivinilsilano aplicados a fibras de queratina, sobre la resistencia a la tracción, de un material compuesto de matriz poliéster [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]*. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7944/SALAZAR%20BRINGAS%2c%20Addler%20Rafael%20ZAVALETA%20BLAS%2c%20Clara%20Mercy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Smith, W., & Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Mc Graw Hill.
- Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros. (2022). Obtenido de <https://www.supercias.gob.ec/portalscvs/index.htm>
- Valencia, R. (2018). *Caracterización mecánica y térmica del nylon resultante del reciclaje de neumáticos para la fabricación de un panel interno de puerta de un vehículo liviano*. [Tesis de pregrado, Universidad Internacional SEK]. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3119>
- Zamorano, M. (2016). *Investigación con fibra reciclada de neumático (f.r.n.) para aplicaciones acústicas [Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de Valencia]*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=115537>

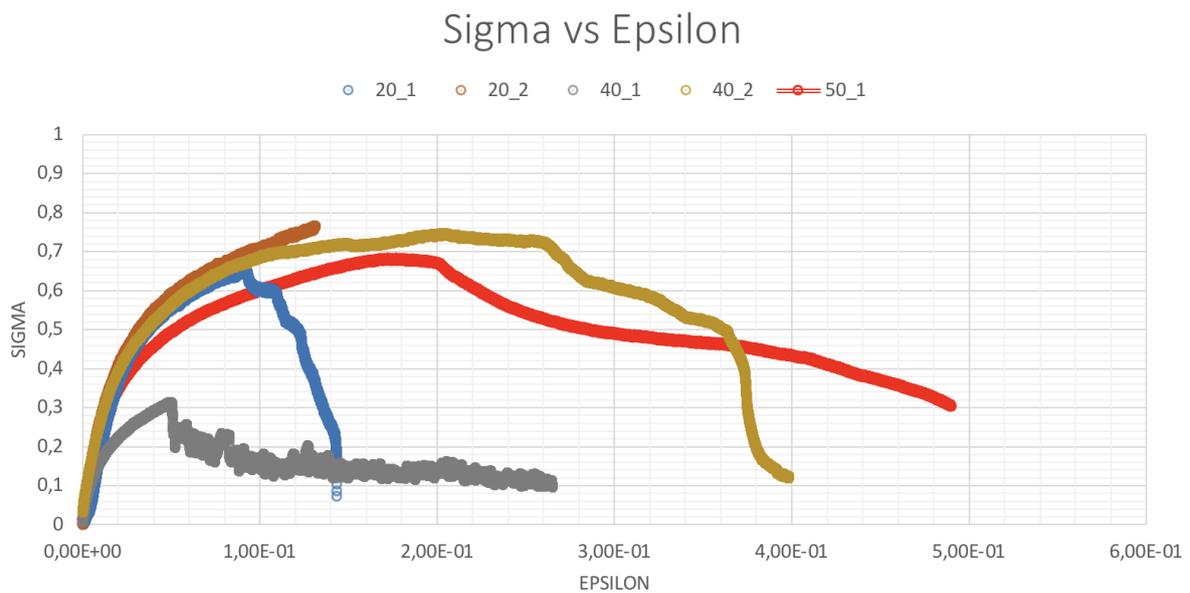
APÉNDICES

APÉNDICE A

ANÁLISIS PRELIMINAR

Figura A.1.

Diagrama de esfuerzo ces deformación del prototipado.



Nota. En la región elástica del material, se aprecia que las curvas 20-1 y 20-2 de 20 mm de ancho y las de 40-2 de 40 mm de ancho siguen la misma curvatura.

APÉNDICE B

MATRIZ DE ENSAYOS

TABLA B.1 Matriz de ensayos

ENSAYO	PROPORCIONES		CANTIDADES [g]		NORMA	PROCEDIMIENTO
	FIBRA	M.A.	FIBRA	M.A.		
Caracterización de materia prima	100%		100		-	1) Se toma una muestra representativa de un saco de materia prima, seccionándolo en tres partes, fondo, medio y superficie 2) Se pesa la funda o recipiente en el cual se va a guardar y pesar la muestra 3) Se realiza la limpieza manual de la muestra de 100 g 4) Empleando un tamiz, se elimina el polvo de caucho 5) Para la eliminación de los pedazos más grandes de caucho se procede sacudiendo la muestra en el tamiz y también se los retira manualmente 6) Finalmente se pesa cada producto (polvo de caucho, pedazos de caucho de mayor dimensión y fibra limpia)
Determinación de cenizas	1%	99%	0.10	9.90	NTE INEN 1492:2013 ASTM D 482-07	1) Precalentar la mufla a una temperatura cercana a 175 °C 2) Se pesan 10 g de muestra (mezcla fibra sucia o limpia - material asfáltico) en un crisol de cerámica 3) Se procede quemando la muestra hasta su ignición, se deja quemar hasta que la llama se extinga 4) Rápidamente se debe ingresar la muestra a la mufla, setear la mufla a 175 °C
	3%	97%	0.30	9.70		5) Dejar la muestra dentro de la mufla durante una hora 6) Después de transcurrido el tiempo en la mufla se debe sacar el crisol y dejar enfriar en un desecador 7) Cuando el crisol esté a temperatura ambiente, sacar del desecador y pesar en una balanza analítica
	5%	95%	0.50	9.50		8) Después de pesado el crisol, volver a introducirlo al desecador y llevarlo hasta la mufla 9) Repetir nuevamente el proceso hasta que el coeficiente de variación entre el peso obtenido y el anterior sea menor al 2%
	1%	99%	0.01	0.99	NTE INEN 1024:2016	1) Precalentar la estufa a una temperatura cercana a 140 °C 2) Pesar aproximadamente 1 gramo de muestra en papel aluminio

Determinación de materia volátil y no volátil	3%	97%	0.03	0.97	ASTM D 2369:2010	<p>3) Doblar el papel aluminio por la mitad y aplastar hasta que la muestra se haya distribuido por el papel, de tal manera que forme una capa</p> <p>4) Introducir las muestras en la estufa y setear la temperatura a 140 °C, dejar en la estufa por 1 hora</p> <p>5) Después de transcurrido el tiempo, sacar de la estufa e introducir las muestras rápidamente en el desecador</p> <p>6) Pesas las muestras y anotar el peso obtenido. Repetir el ensayo por duplicado hasta que el error entre los pesos sea menor al 1%</p>
	5%	95%	0.05	0.95		
Densidad	1%	99%	0.2	19.8	-	<p>1) En un recipiente de medición volumétrica pesar 20 gramos de muestra</p> <p>2) Anotar el volumen que ocupa la mezcla</p> <p>3) Calcular la densidad como masa sobre volumen</p>
	3%	97%	0.6	19.4		
	5%	95%	1	19		
Punto de inflamación en copa abierta Cleveland	1%	99%	0.7	69.3	NTE INEN 808:2013 ASTM D92-12	<p>1) Cubrir la copa Cleveland con papel aluminio, formando una canasta. Señalar el tope</p> <p>2) En la canasta antes formada, pesar 70 gramos de muestra</p> <p>3) Armar el sistema de ensayo según la norma INEN</p> <p>4) Ubicar la canasta de papel aluminio en la Copa Cleveland</p> <p>5) Ubicar el termómetro de tal manera que no tope con el fondo ni las paredes de la copa</p> <p>6) Encender el mechero y pasar la pequeña llama del sistema por la superficie de la copa</p> <p>7) Al momento de detectar la primera llama, anotar la temperatura que marca el termómetro</p>
	3%	97%	2.1	67.9		
	5%	95%	3.5	66.5		
Estanqueidad	1%	99%	0.3	29.7	-	<p>1) Destinar un recipiente en el cual se pueda mantener en contacto una capa del material con agua.</p> <p>2) Medir las dimensiones de este recipiente</p> <p>3) En un pedazo de papel film dibujar estas dimensiones</p> <p>4) Con 10 gramos de muestra realizar láminas del material en el papel film</p> <p>5) Dejar curar por 7 días las láminas realizadas</p> <p>6) Llenar el recipiente con agua y ubicar la lámina en su superficie, se debe mantener en contacto con el agua en todo momento</p> <p>7) Dejar este sistema por 24 horas. Al cumplirse con el tiempo, tomar observaciones del estado de la lámina</p>
	3%	97%	0.9	29.1		
	5%	95%	1.5	28.5		
Tiempo de secado	1%	99%	0.05	4.95	NTE INEN 1011 ASTM D 1005:1995	<p>1) Colocar 5 gramos de muestra en un área delimitada de 50x50 [mm] en papel film</p> <p>2) Esparcir uniformemente la muestra en todo el área, realizar las muestras por duplicado</p> <p>3) Anotar el tiempo en el que la muestra se seca, para esto se monitoreará dando topes con el dedo.</p>
	3%	97%	0.15	4.85		
	5%	95%	0.25	4.75		

	1%	99%	0.8	79.2		1) Colocar 80 gramos de muestra en un área delimitada de 50x200 [mm] en papel film
Tracción	3%	97%	2.4	77.6	NTE INEN 2065:2013	2) Esparcir uniformemente la muestra en todo el área, realizar 5 muestras por concentración de fibra
	5%	95%	4	76		3) Curar las muestras por 7 días, desmoldar y reservar. Someter a estas muestras (probetas) a ensayos de tracción según la norma INEN

APÉNDICE C

REPORTES DE ENSAYOS DE TRACCIÓN

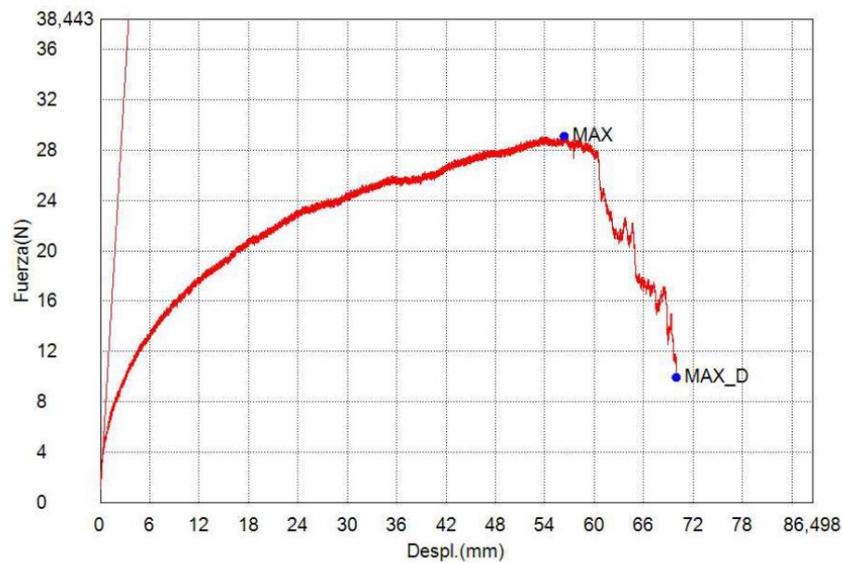
Figura C.1

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 1% (P-1S-01).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1S-01.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	5/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	3mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	17,5978	--	9,95000	29,1427

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	2,9000	20,5000	95,0000

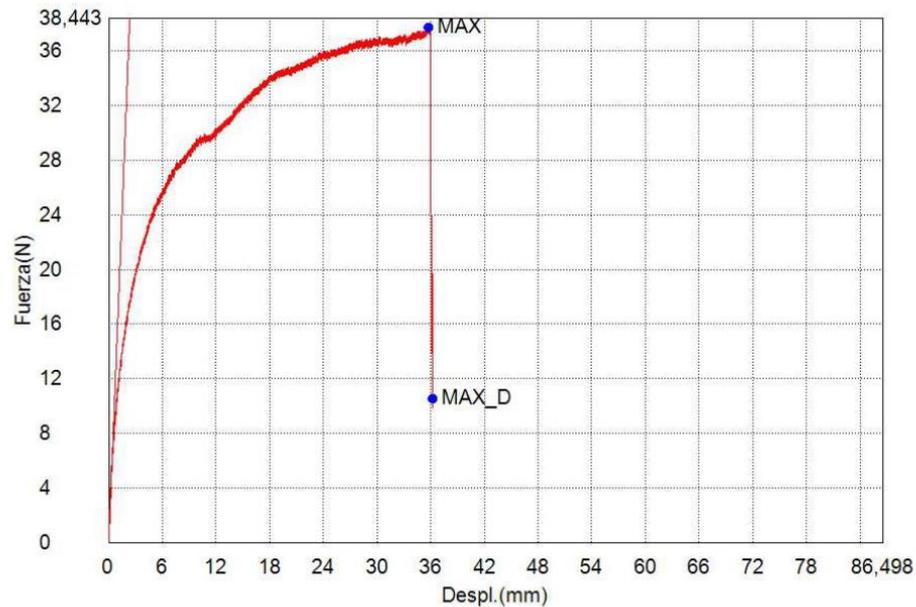
Figura C.2

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 1% (P-1S-02).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1S-02.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	5/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	3mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	23,8546	--	10,4984	37,7655

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,1000	20,6000	92,0000

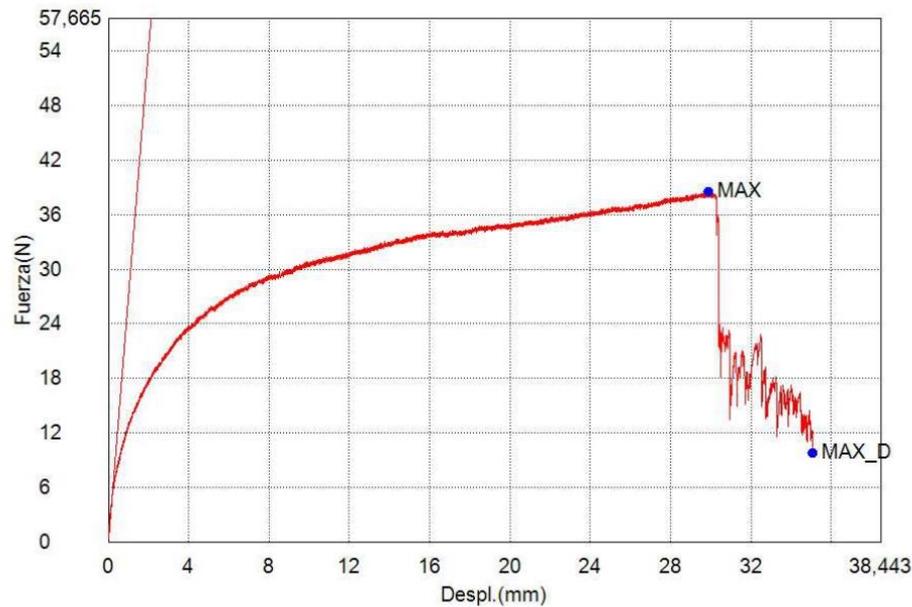
Figura C.3

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 1% (P-1S-03).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1S-03.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	5/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1 _ 1	37,0039	--	9,78311	38,5046

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1 _ 1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1 _ 1	3,1000	19,5000	82,0000

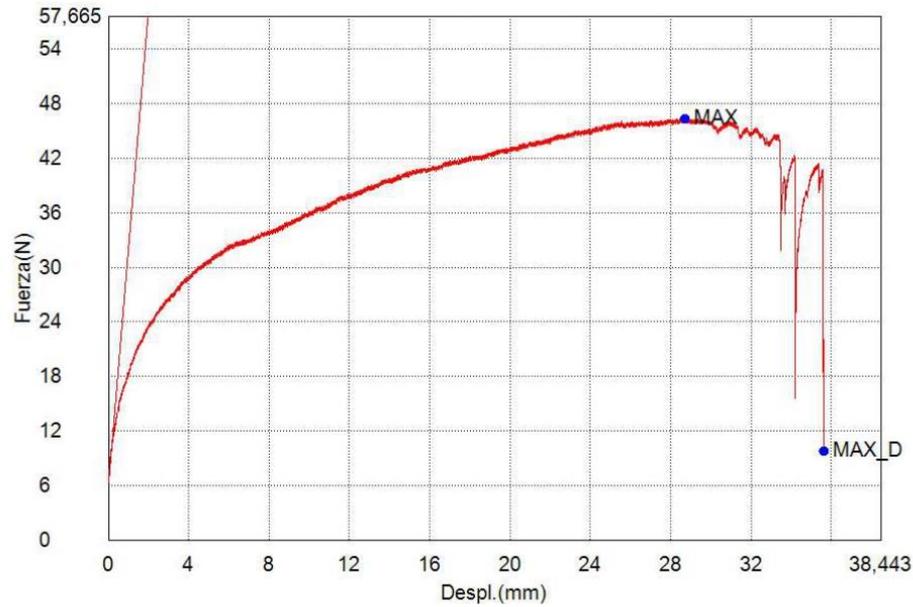
Figura C.4

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 1% (P-1S-04).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1S-04.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	5/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	31,9003	--	9,72748	46,3804

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,3000	20,0000	80,0000

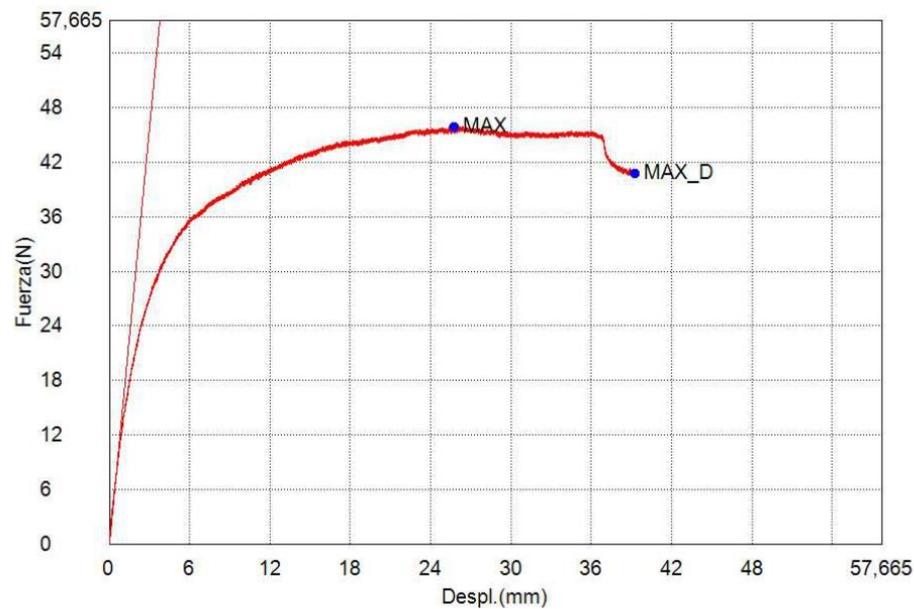
Figura C.5

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 1% (P-1S-05).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1S-05.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	5/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max.Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	19,5465	--	40,7934	45,9194

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,1000	20,3000	80,0000

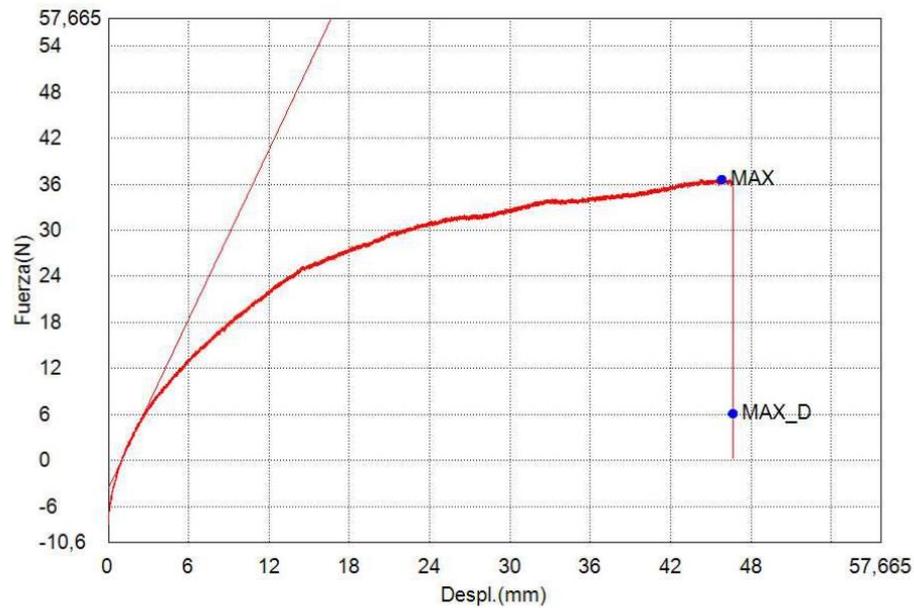
Figura C.6

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 3% (P-3S-01).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3S-01.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	9/1/2023	Fecha de ensayo	9/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max._Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	3,74991	--	6,03994	36,6688

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	4,5200	20,2000	93,0000

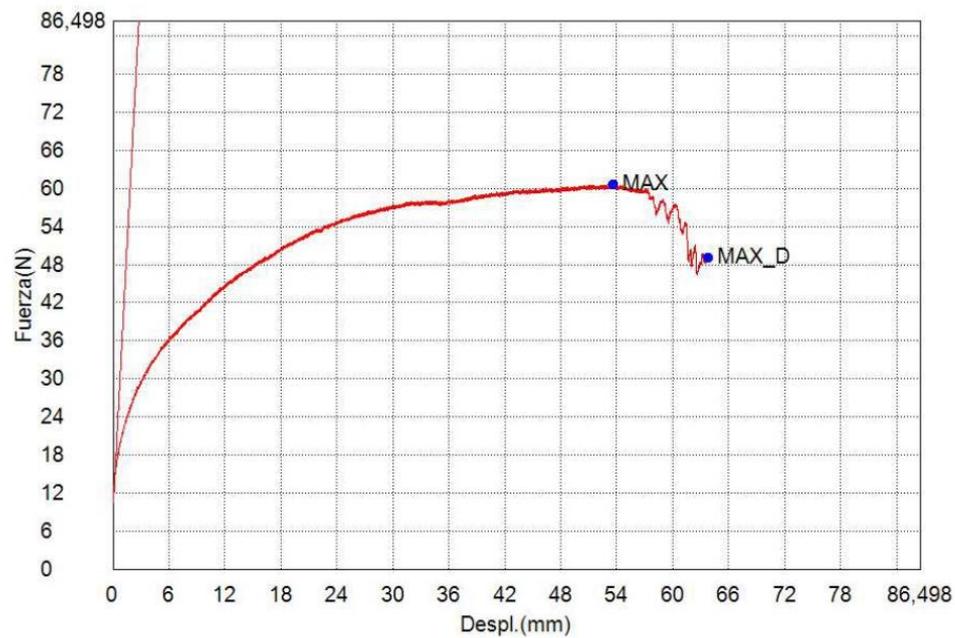
Figura C.7

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 3% (P-3S-02).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3S-02.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	9/1/2023	Fecha de ensayo	9/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	30,9137	--	49,0427	60,5663

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	4,0500	20,3500	91,0000

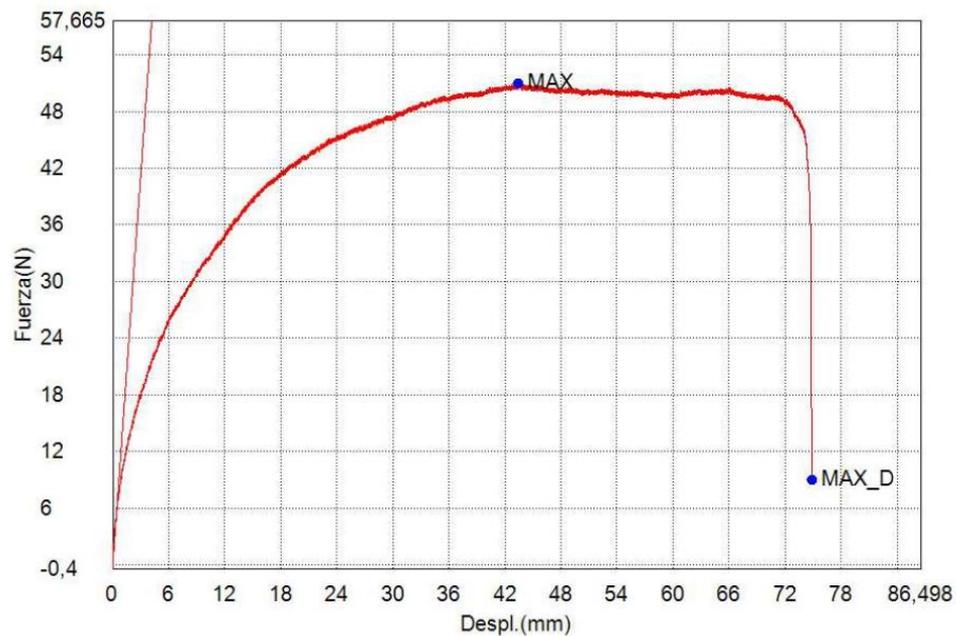
Figura C.8

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 3% (P-3S-03).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3S-03.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	9/1/2023	Fecha de ensayo	9/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	17,9308	--	8,97249	50,9739

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,4800	19,9900	90,0000

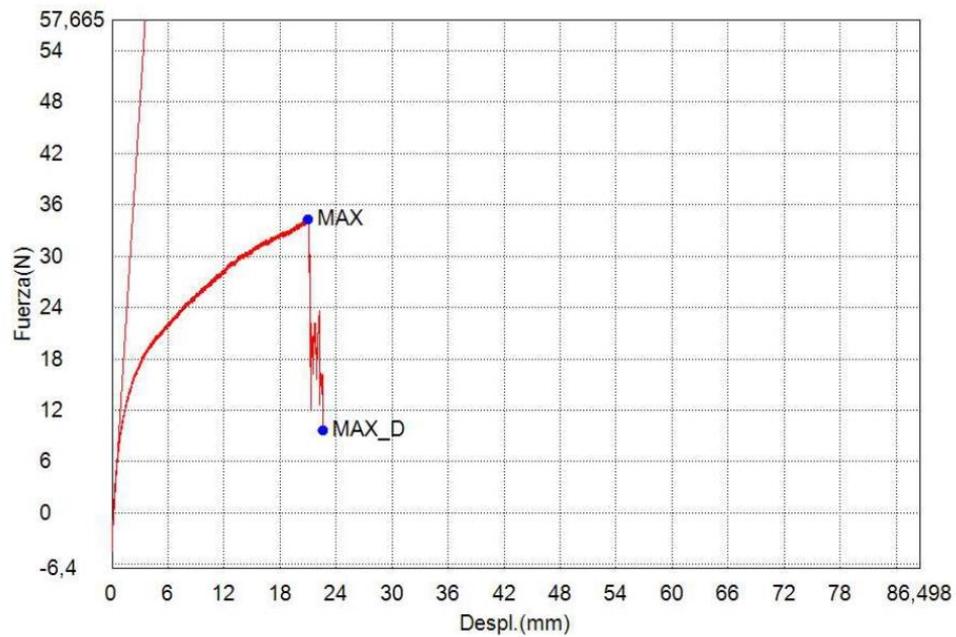
Figura C.9

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 3% (P-3S-04).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3S-04.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xtmas
Fecha de informe	9/1/2023	Fecha de ensayo	9/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	19,0995	--	9,67979	34,3243

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	4,0300	20,0500	90,0000

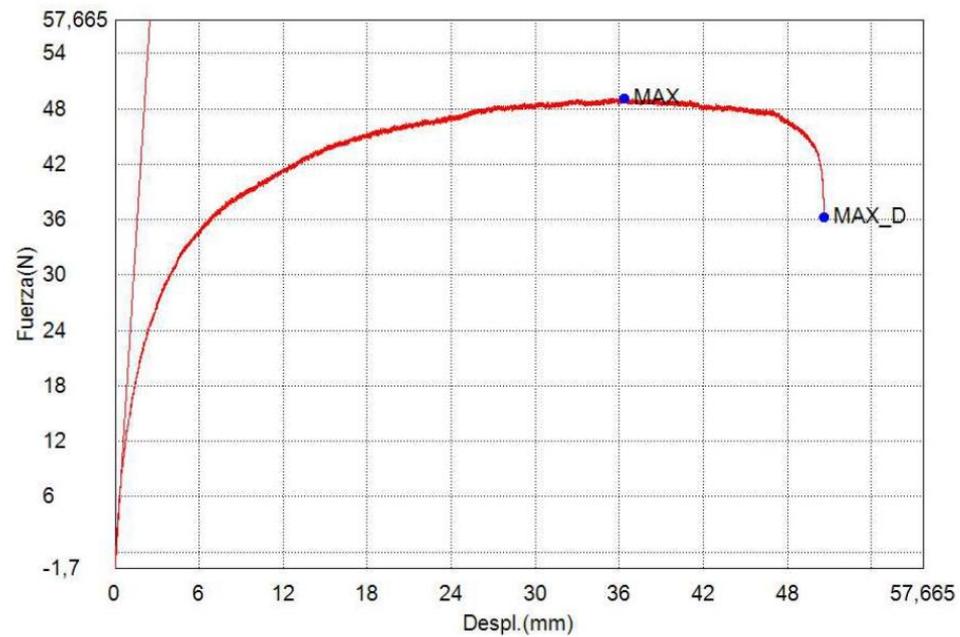
Figura C.10

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 3% (P-3S-05).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3S-05.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	9/1/2023	Fecha de ensayo	9/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	25,3196	--	36,2635	49,1460

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	4,0700	19,9500	85,0000

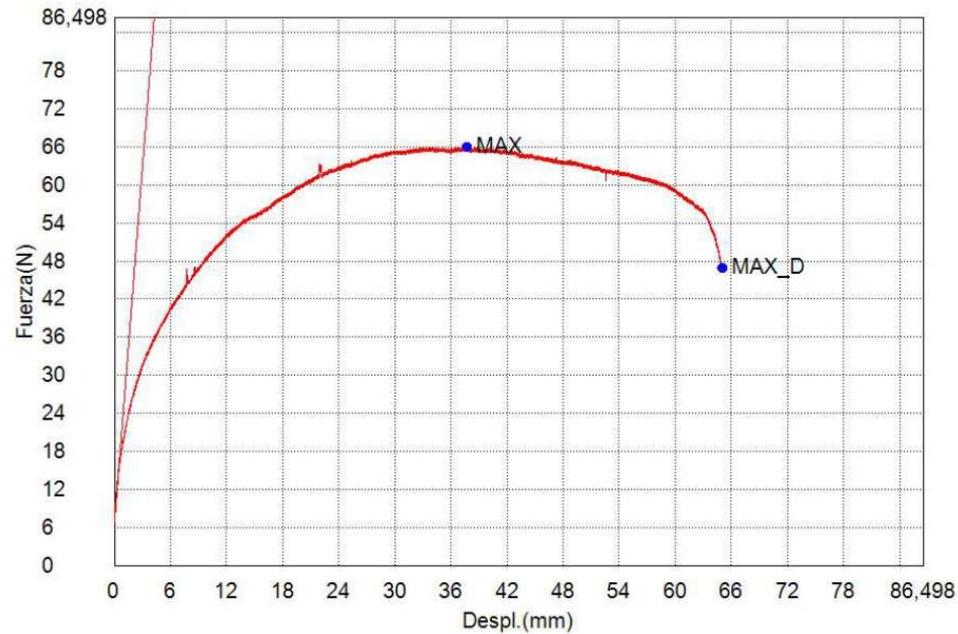
Figura C.11

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 5% (P-5S-01).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5S-01.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	6/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	21,0037	--	46,8493	66,0261

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	4,2100	20,2300	95,0000

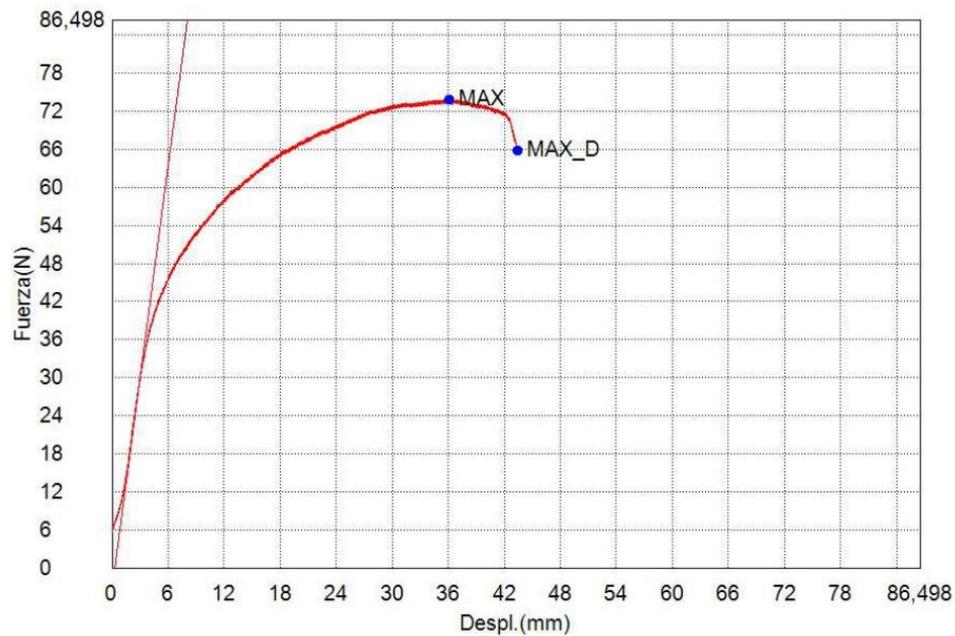
Figura C.12

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 5% (P-5S-02).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5S-02.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	6/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS) Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	12,6799	--	65,8035	73,8700

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	4,0700	20,5000	95,0000

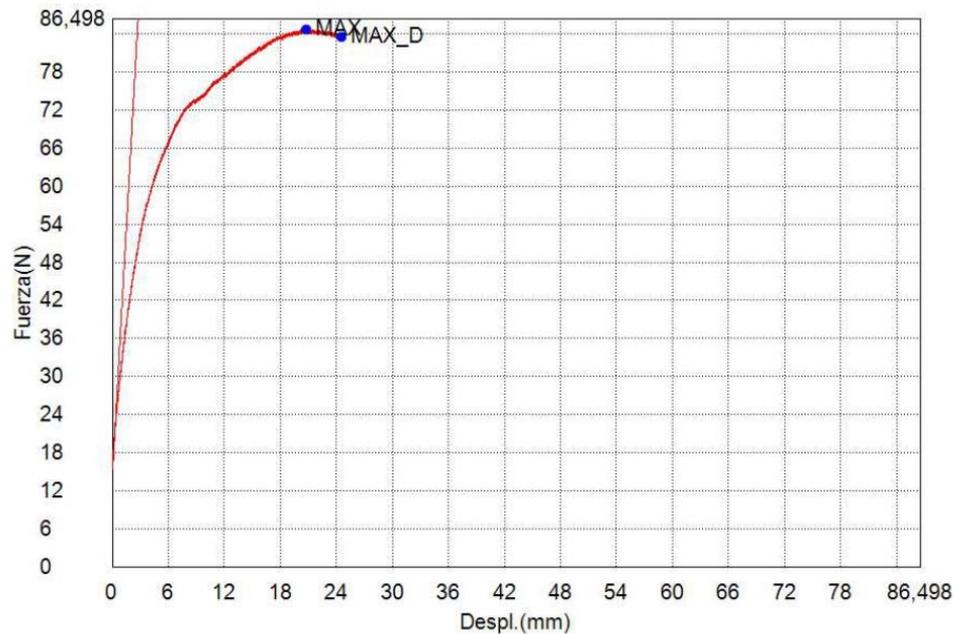
Figura C.13

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 5% (P-5S-03).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5S-03.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	6/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	30,4597	--	83,5180	84,7737

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	4,0700	20,2100	95,0000

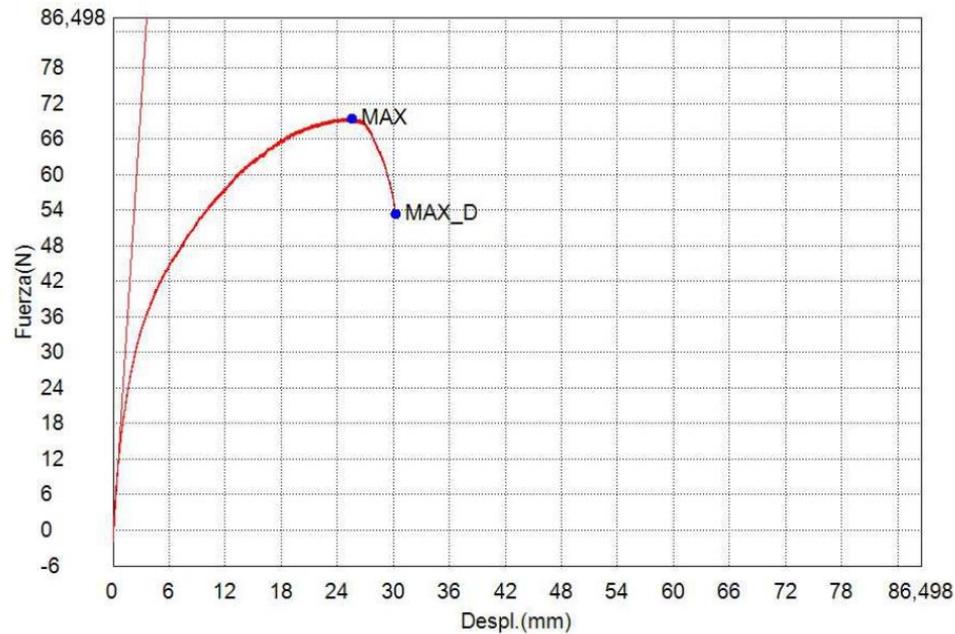
Figura C.14

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 5% (P-5S-04).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5S-04.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	6/1/2023	Fecha de ensayo	6/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	20,6081	--	53,2707	69,4752

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	4,5600	20,4800	78,0000

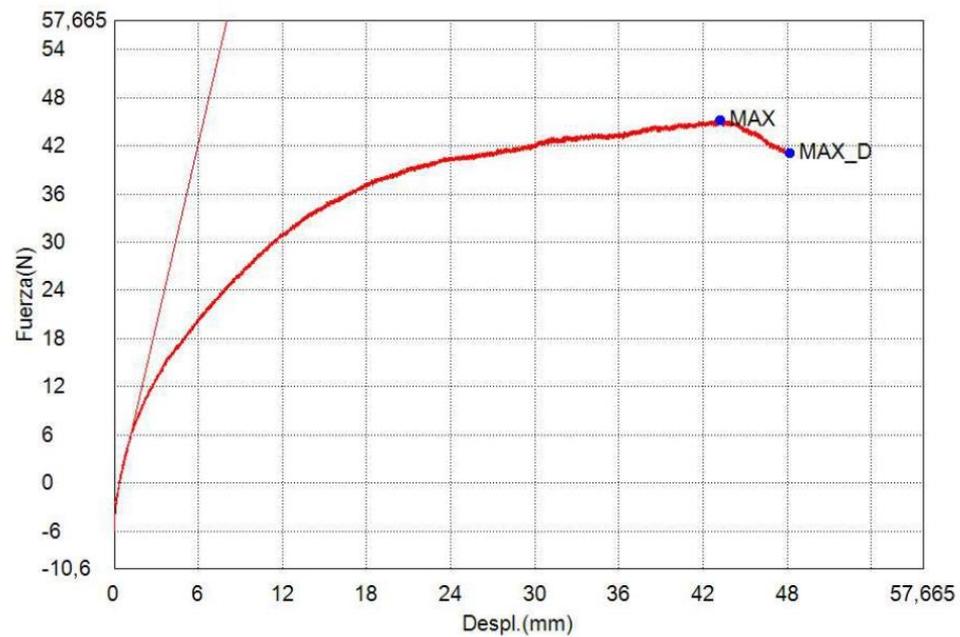
Figura C.15

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra sucia al 5% (P-5S-05).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5S-05.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	9/1/2023	Fecha de ensayo	9/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1 _ 1	7,47369	-.-	41,0875	45,1803

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1 _ 1	-.-



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1 _ 1	4,5500	20,3900	92,0000

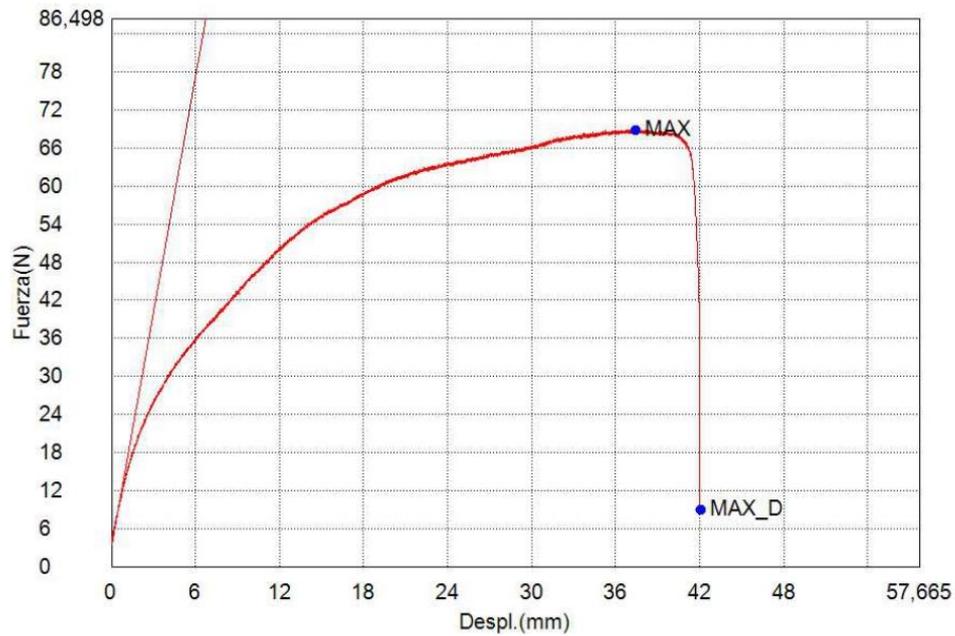
Figura C.16

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 1% (P-1L-01).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1S-01.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max._Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calo. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	14,2302	--	9,01222	68,8950

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,9000	20,5400	92,0000

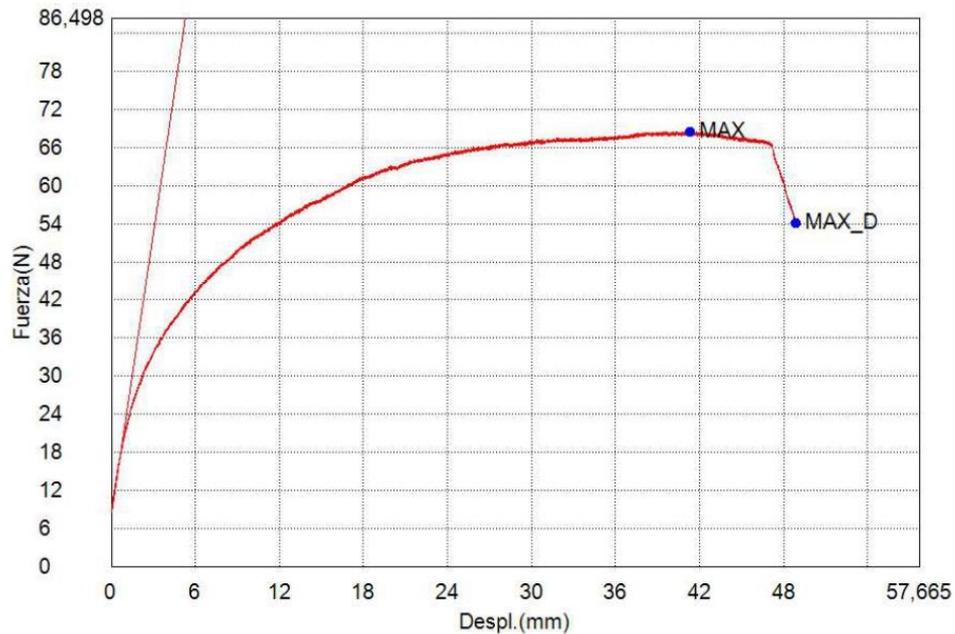
Figura C.17

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 1% (P-1L-02).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1L-02.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	21,8287	--	54,0574	68,5612

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,3200	19,9000	97,0000

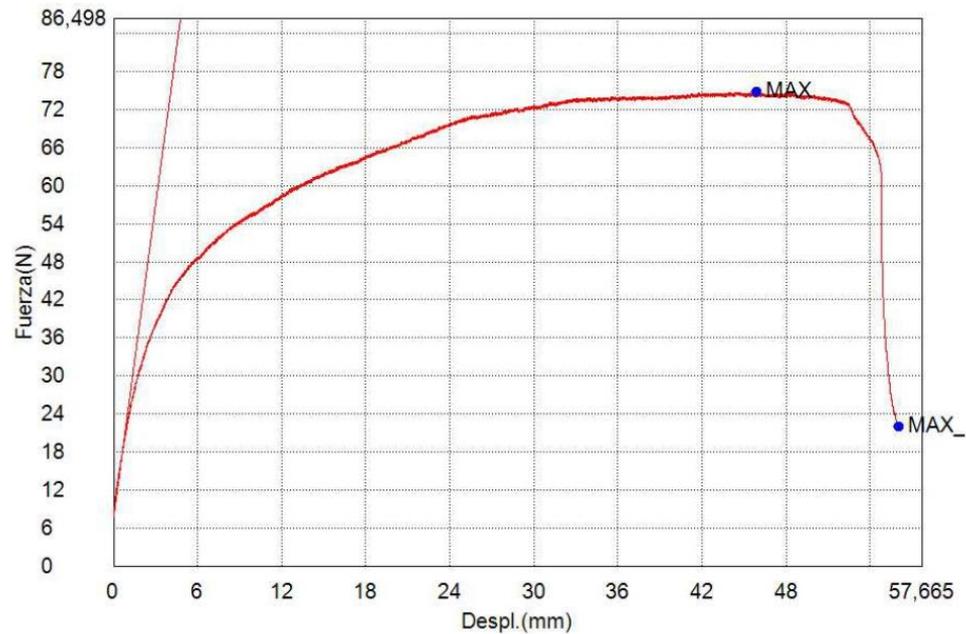
Figura C.18

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 1% (P-1L-03).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1L-03.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	22,2786	--	21,9186	74,8475

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,4900	19,8000	93,0000

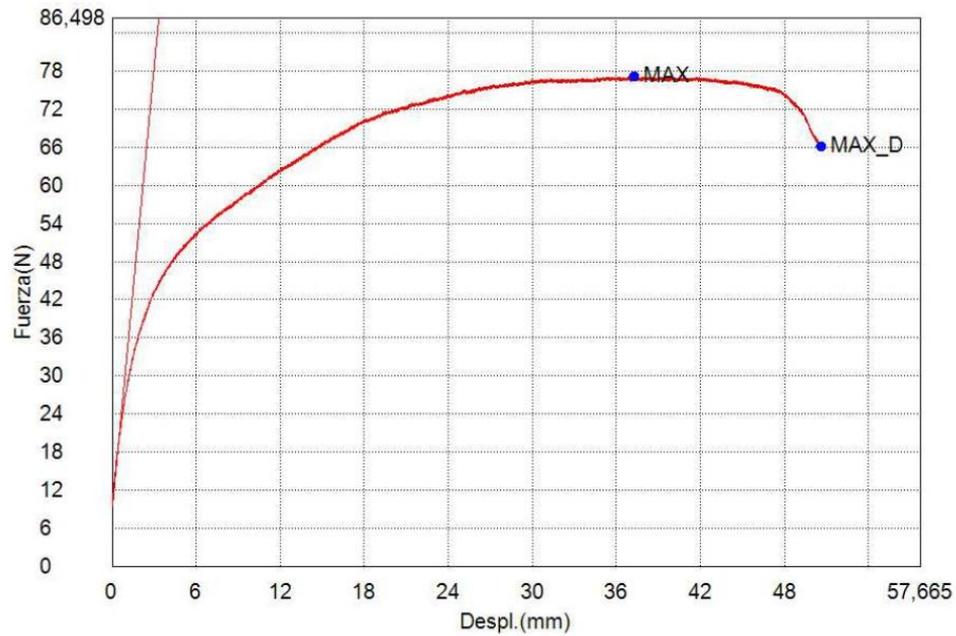
Figura C.19

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 1% (P-1L-04).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1L-04.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	31,1970	--	66,0976	77,1284

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,3100	20,1500	89,0000

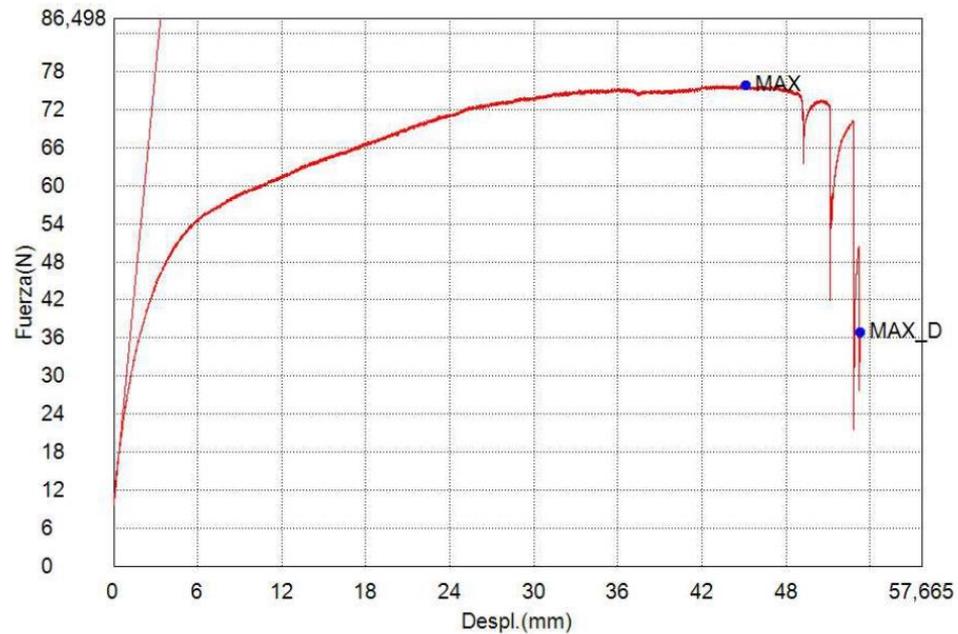
Figura C.20

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 1% (P-1L-05).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-1L-05.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	28,5580	--	36,9469	75,9045

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,6300	20,1300	90,0000

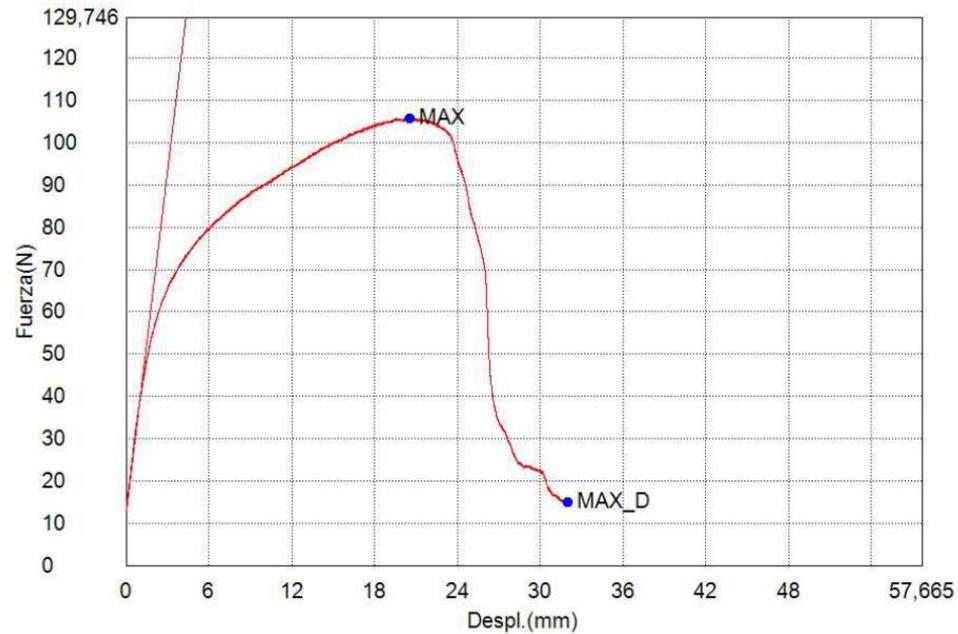
Figura C.21

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 3% (P-3L-01).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3L-01.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1 _ 1	39,5326	-.-	14,8535	105,739

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1 _ 1	-.-



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1 _ 1	3,1900	19,7900	92,0000

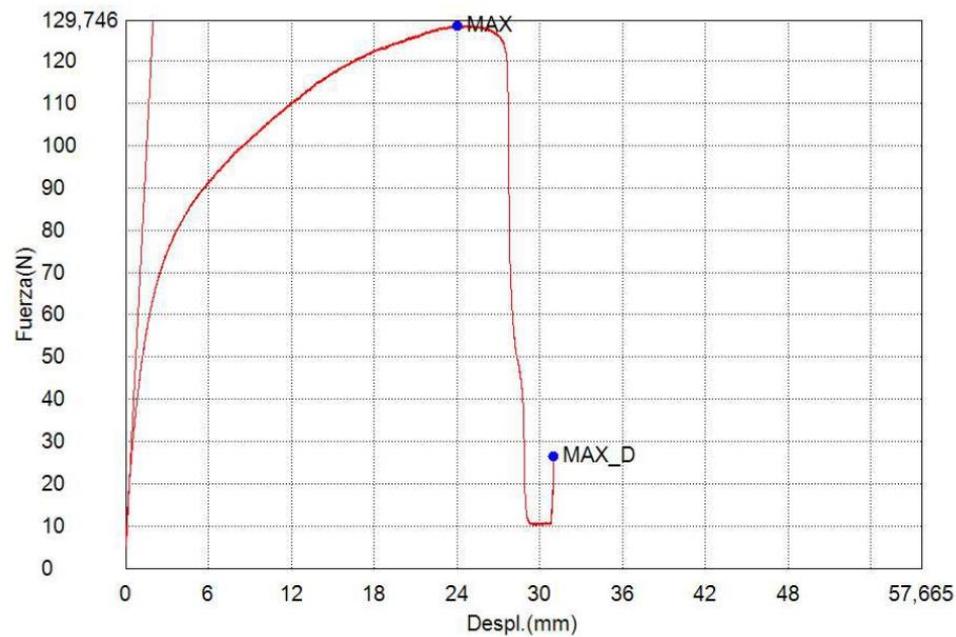
Figura C.22

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 3% (P-3L-02).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3L-02.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	72,9781	-.-	26,4565	128,444

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	-.-



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,4900	20,5200	82,0000

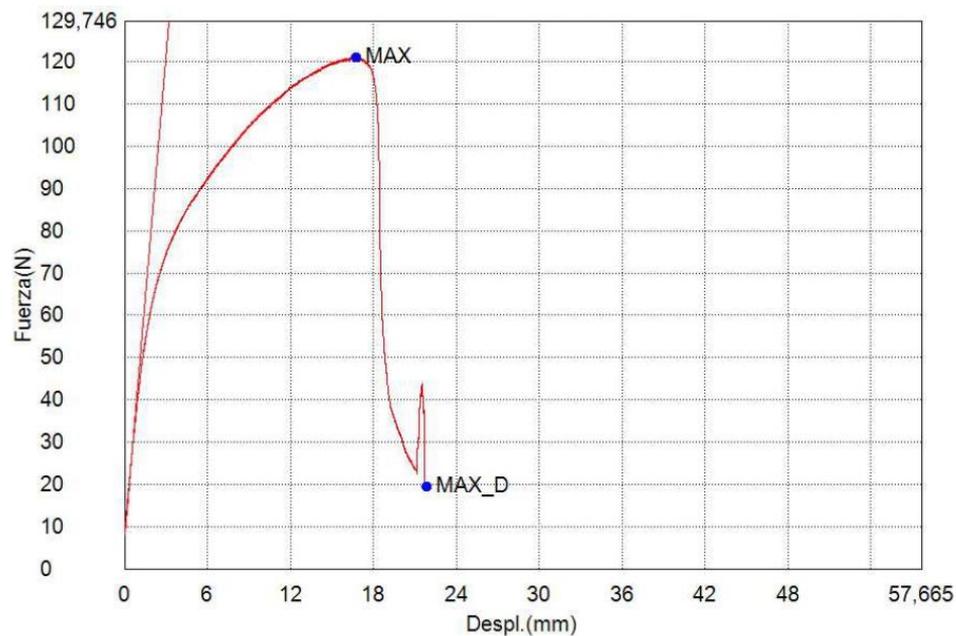
Figura C.23

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 3% (P-3L-03).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3L-03.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	41,8470	--	19,4470	121,005

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,4800	19,9900	76,0000

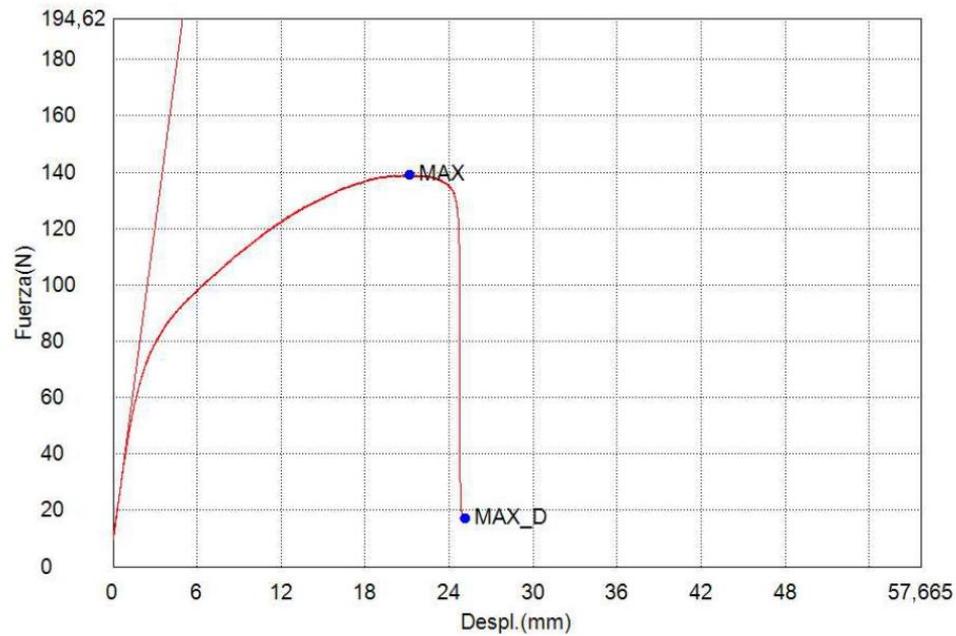
Figura C.24

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 3% (P-3L-04).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3L-04.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	41,6085	--	16,9595	138,974

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,4800	20,4700	79,0000

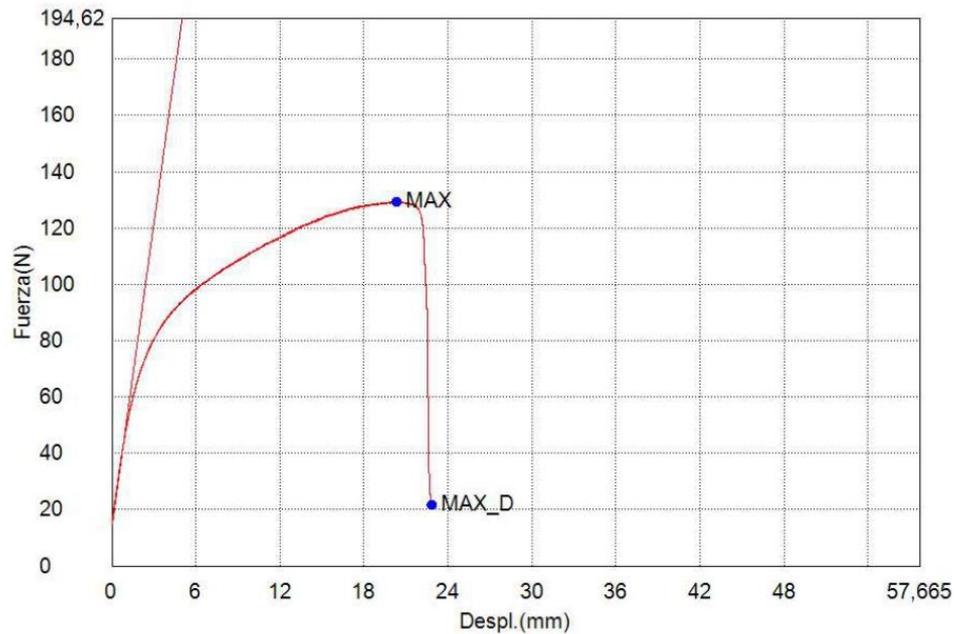
Figura C.25

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 3% (P-3L-05).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-3L-05.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xtmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS) Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max. Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	44,7646	--	21,5054	129,453

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,3500	20,4600	85,0000

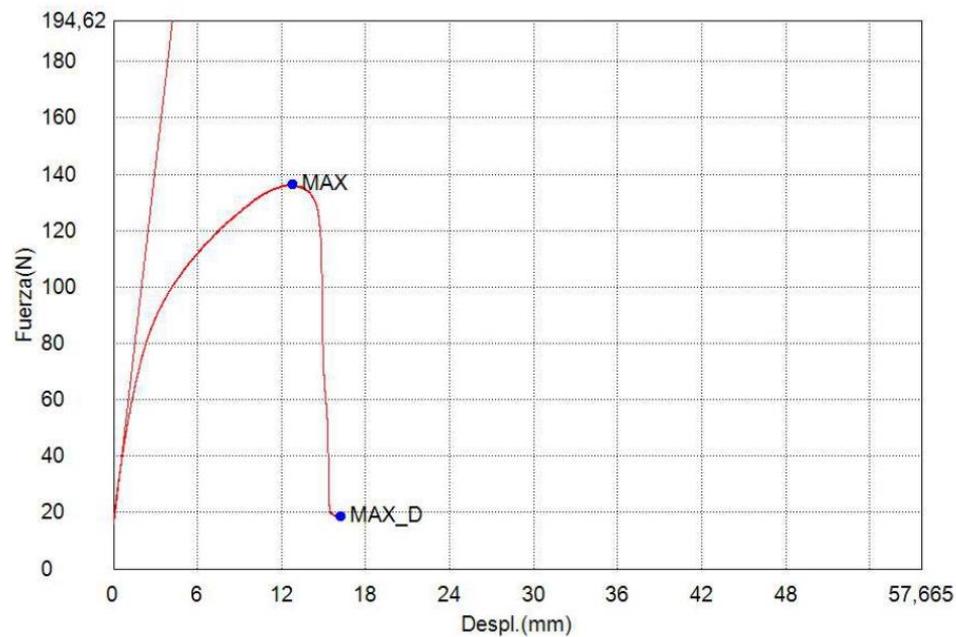
Figura C.26

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 5% (P-5L-01).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5L-01.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	47,4516	--	18,6682	136,423

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,6200	20,4500	82,0000

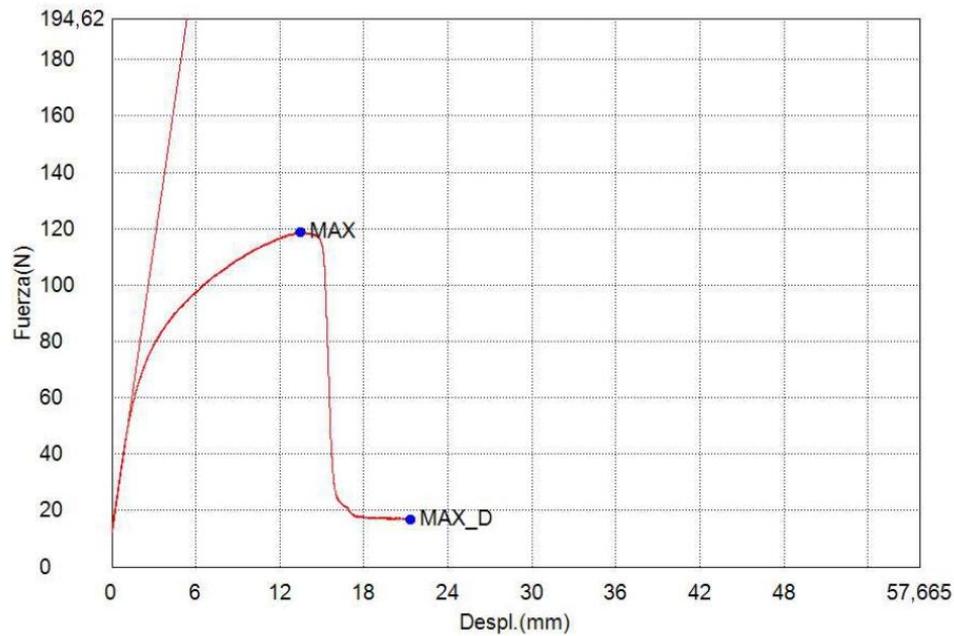
Figura C.27

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 5% (P-5L-02).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5L-02.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xtmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	37,0440	--	16,9357	118,709

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,6900	20,0600	80,0000

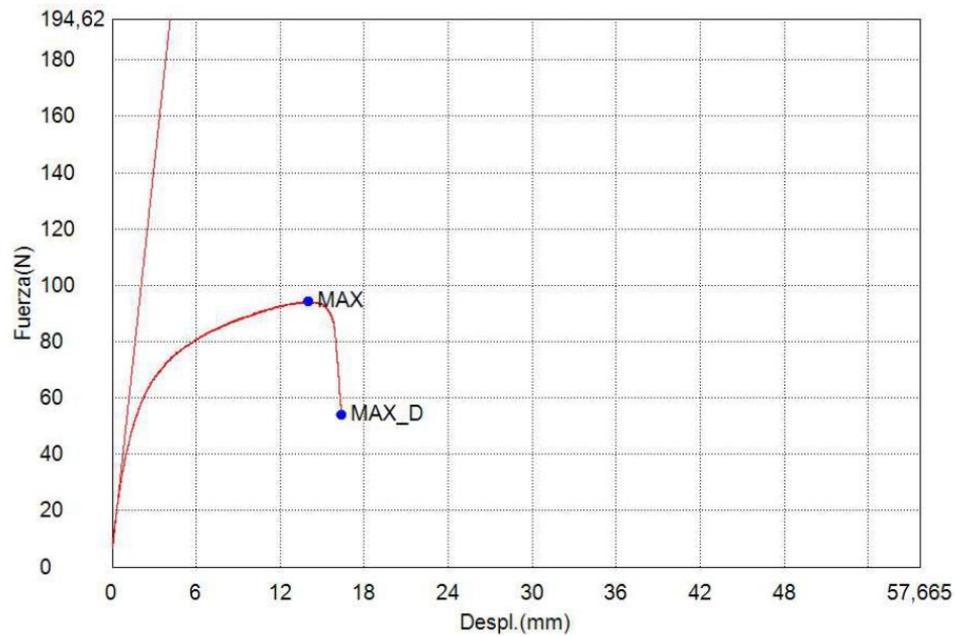
Figura C.28

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 5% (P-5L-03).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5L-03.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Displ_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	52,8480	--	54,0018	94,3979

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,5000	20,3700	82,0000

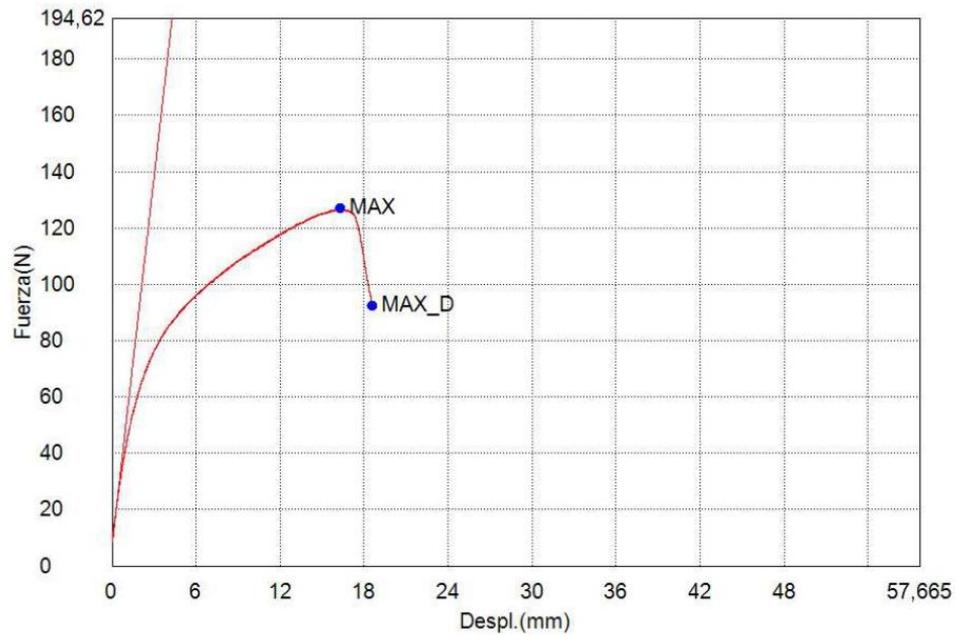
Figura C.29

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 5% (P-5L-04).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5L-04.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	47,9670	--	92,4826	126,863

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,7700	19,8800	82,0000

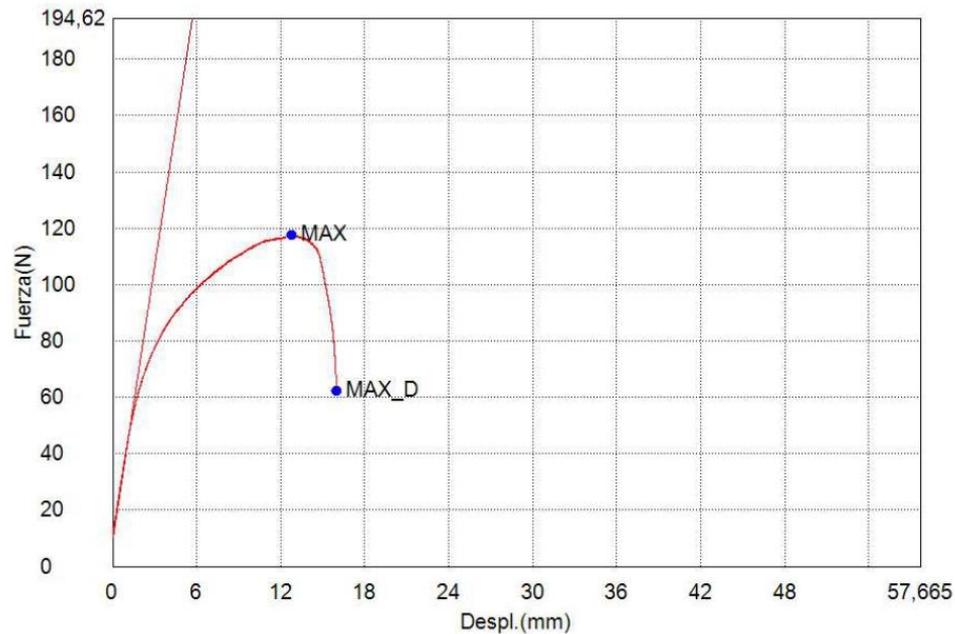
Figura C.30

Reporte de ensayo de tracción para probeta con fibra limpia al 5% (P-5L-05).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	P-5L-05.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Metodo_Ref_Imp.xmas
Fecha de informe	10/1/2023	Fecha de ensayo	10/1/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	8mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Elastico_Devided	PF(%FS)_Fuerza	Max_Disp_Fuerza	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	0,1 %		Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N	N	N
1_1	38,7811	--	62,3703	117,469

Nombre	Rotura_Fuerza
Parametros	Sensibilidad 10
Unidad	N
1_1	--



Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
1_1	3,6300	19,7000	85,0000

APÉNDICE D

PROCESAMIENTO DE DATOS

Apéndice D. 1. Procesamiento de datos de ensayos físicoquímicos

Tabla D.1.

Resultados obtenidos del ensayo de contenido de cenizas.

PROPORCIONES	PESO DE CRISOL [g]	PESO DEL CRISOL+AI [g]	PESO 1 [g]	CENIZA [g]	CV ENTRE REPET	CONT CENIZA 1	PESO FINAL [g]	CV ENTRE PESOS	CENIZA [g]	CV ENTRE REPET	CONT CENIZA 1
0%	34.658	35.498	36.352	0.854		8.54%	36.353	0.001%	0.8543		8.54%
0%	36.829	37.450	38.336	0.886	1.84%	8.86%	38.336	0.000%	0.8854	1.81%	8.85%
0%	42.578	43.204	44.078	0.875		8.75%	44.078	0.001%	0.8743		8.74%
1%	34.660	35.460	36.366	0.906		9.06%	36.364	0.004%	0.904		9.04%
1%	35.989	36.789	37.655	0.866	2.57%	8.66%	37.654	0.002%	0.865	2.46%	8.65%
1%	41.772	42.572	43.440	0.868		8.68%	43.440	0.000%	0.868		8.68%
3%	42.890	43.730	44.551	0.820		8.20%	44.551	0.001%	0.821		8.21%
Fibra Sucia	3%	44.999	45.666	46.523	0.858	2.57%	46.524	0.001%	0.858	2.53%	8.58%
	3%	42.565	43.175	43.996	0.821		43.998	0.002%	0.822		8.22%
	5%	42.890	43.724	44.544	0.820		44.544	0.000%	0.820		8.20%
	5%	36.812	37.604	38.364	0.760	6.65%	38.367	0.005%	0.763	6.51%	7.63%
	5%	30.193	30.708	31.576	0.868		31.577	0.002%	0.869		8.69%
1%	37.590	37.590	38.461	0.872		8.72%	38.464	0.004%	0.874		8.74%
1%	37.213	38.004	38.870	0.865	1.43%	8.65%	38.866	0.006%	0.862	1.53%	8.62%
1%	35.497	36.215	37.063	0.848		8.48%	37.063	0.000%	0.848		8.48%
3%	34.661	35.276	36.139	0.863		8.63%	36.136	0.006%	0.860		8.60%
Fibra Limpia	3%	35.988	36.603	37.475	0.872	1.61%	37.472	0.006%	0.868	1.65%	8.68%
	3%	41.760	42.356	43.201	0.845		43.197	0.006%	0.841		8.41%
	5%	40.275	43.527	44.346	0.820		44.346	0.000%	0.819		8.19%
	5%	44.996	45.507	46.309	0.802	1.15%	46.309	0.000%	0.802	1.06%	8.02%
	5%	42.567	43.197	44.003	0.806		44.007	0.006%	0.809		8.09%

Tabla D.2*Resultados para materia volátil y no volátil de ensayos con mezcla con fibra limpia.*

Fibra limpia + material asfáltico										
Proporciones	M.A [g]	Fibra [g]	Aluminio [g]	Al + muestra [g]	Muestra [g]	Peso final + Al [g]	Peso final [g]	MNV	MV	Error
1%	0.99	0.01	0.3039	1.3063	1.0024	0.8116	0.5077	50.65%	49.35%	0.24%
1%	0.99	0.01	0.3276	1.3272	0.9996	0.8315	0.5039	50.41%	49.59%	
3%	0.97	0.03	0.3522	1.3523	1.0001	0.8865	0.5343	53.42%	46.58%	0.89%
3%	0.97	0.03	0.3360	1.3354	0.9994	0.8788	0.5428	54.31%	45.69%	
5%	0.95	0.05	0.3120	1.3056	0.9936	0.8508	0.5388	54.23%	45.77%	0.23%
5%	0.95	0.05	0.3529	1.3520	0.9991	0.8924	0.5395	54.00%	46.00%	

Tabla D.3*Resultados para materia volátil y no volátil de ensayos con mezcla con fibra sucia.*

Fibra sucia + material asfáltico										
Proporciones	M.A [g]	Fibra [g]	Aluminio [g]	Al + muestra [g]	Muestra [g]	Peso final + Al [g]	Peso final [g]	MNV	MV	Error
1%	0.99	0.01	0.3174	1.3182	1.0008	0.8449	0.5275	52.71%	47.29%	0.94%
1%	0.99	0.01	0.3486	1.3486	1.0000	0.8663	0.5177	51.77%	48.23%	
3%	0.97	0.03	0.2949	1.2947	0.9998	0.8273	0.5324	53.25%	46.75%	0.45%
3%	0.97	0.03	0.3214	1.3176	0.9962	0.8564	0.5350	53.70%	46.30%	
5%	0.95	0.05	0.3520	1.3603	1.0083	0.8989	0.5469	54.24%	45.76%	0.57%
5%	0.95	0.05	0.3573	1.3567	0.9994	0.8937	0.5364	53.67%	46.33%	

Tabla D.4*Resultados obtenidos del ensayo cualitativo de tiempo de secado.*

Muestra	Tipo de fibra	Contenido de fibra	Hora de aplicación [hh:mm]	Hora de secado [hh:mm]	Tiempo de secado al tacto [hh:mm]	Error%
1S-01	Sucia	1%	10:32	11:08	0:36	0.14%
1S-02	Sucia	1%	10:32	11:06	0:34	
3S-01	Sucia	3%	10:44	11:17	0:33	0.14%
3S-02	Sucia	3%	10:47	11:22	0:35	
5S-01	Sucia	5%	11:56	12:28	0:32	0.07%
5S-02	Sucia	5%	11:58	12:29	0:31	
1L-01	Limpia	1%	14:15	15:47	1:32	0.07%

1L-02	Limpia	1%	14:16	15:47	1:31	
3L-01	Limpia	3%	14:17	15:47	1:30	0.07%
3L-02	Limpia	3%	14:18	15:47	1:29	
5L-01	Limpia	5%	14:21	15:50	1:29	0.14%
5L-02	Limpia	5%	14:23	15:50	1:27	

Apéndice D. 2. Procesamiento de datos de ensayo mecánico

A partir de los datos brutos de fuerza y alargamiento obtenidos en el ensayo de tracción, se procedió a calcular el esfuerzo con la ecuación siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

Donde:

$$\sigma: \text{Esfuerzo ingenieril} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

F : Fuerza instantánea registrada por el equipo [N]

A_o : Área inicial de la sección transversal

Siendo:

$$A_o = TW$$

T : Espesor de la probeta

W : Ancho de la probeta

También se calculó la deformación unitaria:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_o}$$

Donde:

$$\varepsilon: \text{deformación unitaria} \left[\frac{mm}{mm} \right]$$

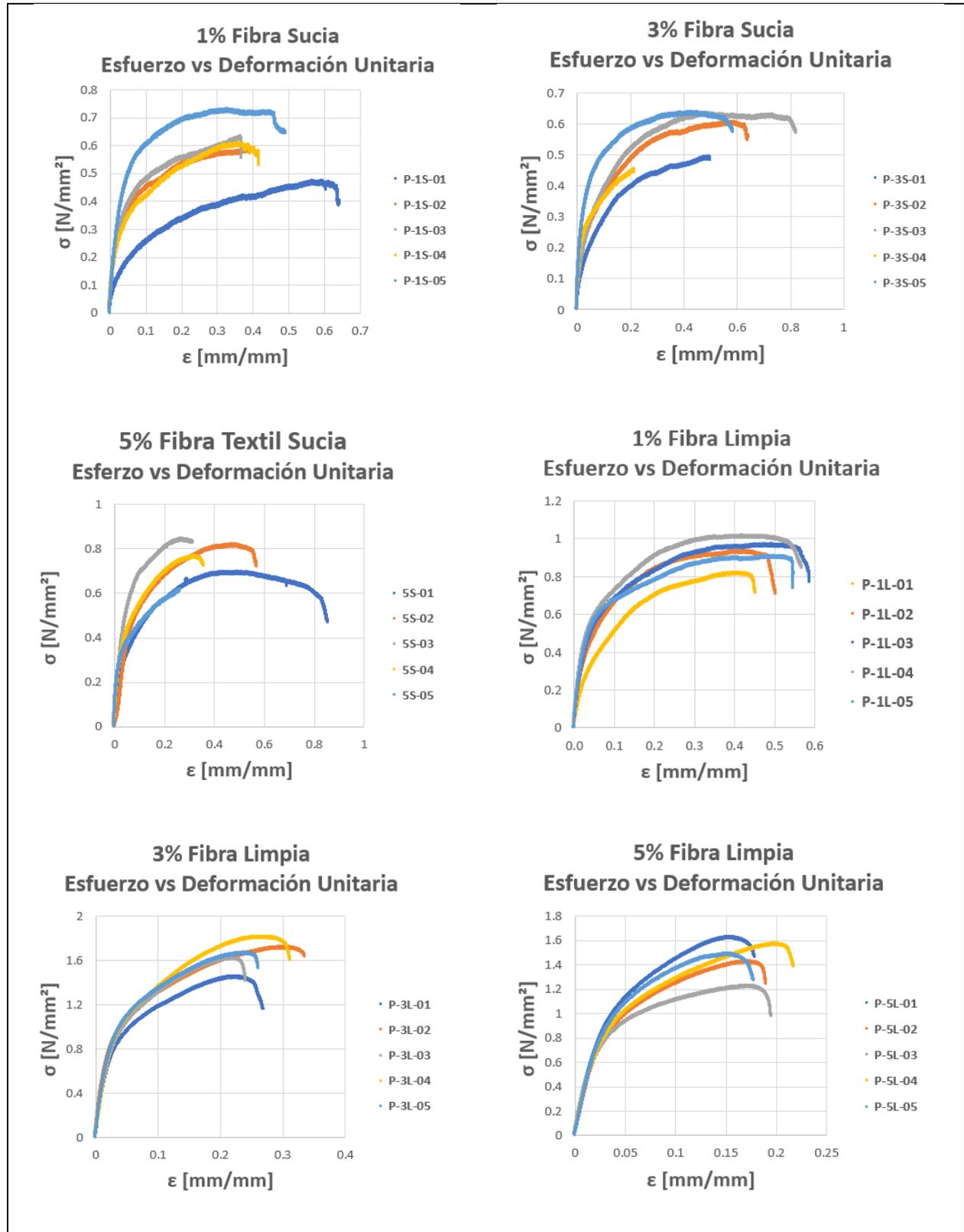
δ : alargamiento registrado por el equipo [mm]

L_o : longitud inicial de la probeta entre las mordazas [mm]

A partir de estas ecuaciones se obtuvieron en Excel los gráficos presentes a continuación para cada una de las probetas.

Figuras D.1

Diagramas de datos brutos de esfuerzo vs deformación unitaria obtenidos de los ensayos.



A demás, se identificaron las fuerzas y esfuerzos máximos en cada probeta, para determinar sus valores promedio en cada formulación

Tabla D.5.

Resultados de ensayo de tracción para probetas con de fibra textil limpia

Muestra	Fuerza máxima $F_{m\acute{a}x}$ [N]	Esfuerzo máximo $\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]
1% Fibra Sucia		
P-1S-01	28.1	0.31
P-1S-02	37.62	0.56
P-1S-03	38.18	0.61
P-1S-04	40.05	0.60
P-1S-05	45.91	0.73
Promedio	37.97	0.56
3% Fibra Sucia		
P-3S-01	46.60	0.49
P-3S-02	49.82	0.60
P-3S-03	51.31	0.64
P-3S-04	38.81	0.45
P-3S-05	51.72	0.64
Promedio	47.65	0.56
5% Fibra Sucia		
P-5S-01	59.21	0.70
P-5S-02	68.20	0.82
P-5S-03	69.28	0.84
P-5S-04	71.39	0.76
P-5S-05	38.31	0.62
Promedio	61.28	0.75
1% de Fibra Limpia		
P-1L-01	65.49	0.82
P-1L-02	59.99	0.93
P-1L-03	67.01	0.96

P-1L-04	67.68	1.01
P-1L-05	66.26	0.90
Promedio	65.28	0.92
3% de Fibra Limpia		
P-3L-01	92.39	1.45
P-3L-02	112.97	1.72
P-3L-03	112.70	1.62
P-3L-04	128.97	1.81
P-3L-05	114.36	1.97
Promedio	112.28	1.71
5% de Fibra Limpia		
P-5L-01	120.21	1.62
P-5L-02	105.47	1.42
P-5L-03	87.30	1.22
P-5L-04	117.76	1.57
P-5L-05	106.33	1.49
Promedio	107.414	1.46

A partir de los datos brutos procesados, se realizó un código en Matlab para la determinación de una curva que describa un comportamiento estimado para cada mezcla. Con esto, se pudo determinar el módulo de Young, y trazar la recta de proporcionalidad 0.002 para identificar el límite elástico el límite elástico. Este código se utilizó para el procesamiento de todos los datos

Código de Matlab

```
clear
clc
warning off
%%Importar datos
data=readtable("P1L.xlsx"); %Importar datos procesados de
esfuerzo y deformación para el ensayo a analizar
data2=table2array(data);
epsilon=data2(:,5);
epsilonT=transpose(epsilon);
sigma=data2(:,6);
```

```

%%Curva de aproximación de datos brutos
grado=9;
[A,B]=polyfit(epsilon,sigma,grado);
numgrado=grado+1;
A(1,numgrado)=0;

ec=poly2sym(A);
CurvadeAproximacion=vpa(ec,3)
R2=1-(B.normr/norm(sigma-mean(sigma)))^2
yfit=polyval(A,epsilon);

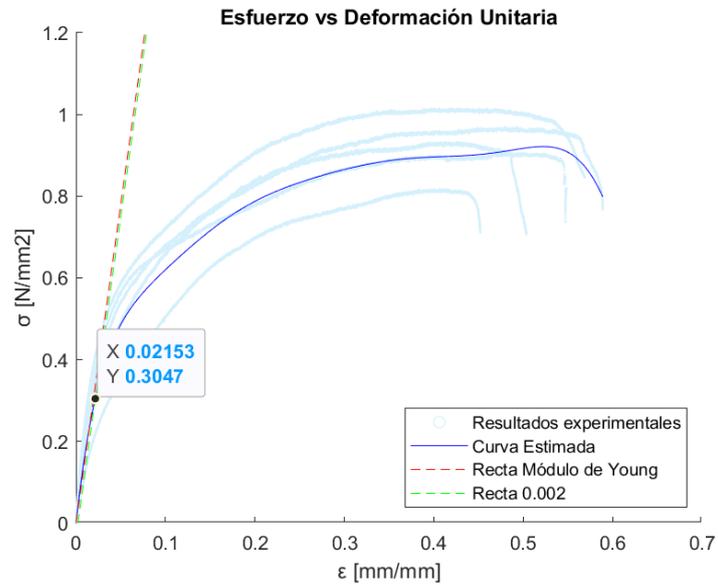
%%Modulo De Young
x=epsilon;
szep=size(epsilon);
szep2=szep(1);
youngfit=fit(epsilon(1:10000),sigma(1:10000),'poly1','Lower',[1
0], 'Upper',[100 0]) %%La cantidad de datos tomados en el fit
para la pendiente que determina el modulo de Young debe ser
ajustada según la curva estimada
fityvalue=coeffvalues(youngfit);
ModuloYoung=fityvalue(1)

%Alargamiento
b0=ModuloYoung*-0.002;
b=ones(szep2,1)*b0;
y=ModuloYoung.*x+b;
figure(1)
cscatter=[ 0.8314 0.9412 0.9882];
scatter(epsilon,sigma,1,cscatter);
hold on
plot(youngfit,'--r',epsilon, yfit,'b')
hold on
plot(x,y,'--g')
legend({'Resultados experimentales','Curva Estimada','Recta
Módulo de Young','Recta 0.002'},'Location','southeast')
hold on

title('Modulo de Young')
title('Esfuerzo vs Deformación Unitaria')
ylabel('σ [N/mm²]')
xlabel('ε [mm/mm]')
xlim([0 0.7]);
ylim([0 1.2]);

```

Resultados obtenidos de la simulación



CurvadeAproximacion =

$$6.81e+4*x^9 - 2.04e+5*x^8 + 2.58e+5*x^7 - 1.8e+5*x^6 + 7.61e+4*x^5 - 2.01e+4*x^4 + 3280.0*x^3 - 323.0*x^2 + 19.8*x$$

$$R2 = 0.8867$$

youngfit =

Linear model Poly1:

$$\text{youngfit}(x) = p1*x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 15.6 \text{ (15.53, 15.67)}$$

$$p2 = 0 \text{ (fixed at bound)}$$

$$\text{ModuloYoung} = 15.6020$$

Apéndice D. 3. Análisis ANOVA

Tabla D.6

Resumen de resultados obtenidos para el ANOVA.

Ensayo	Mezclas		Diferencia de medias	Significancia (p)
	Grupo 1	Grupo 2		
Determinación de cenizas	Fibra limpia	Fibra sucia	0.1288	0.9
	Fibra limpia	Sin fibra	-1.0622	0.8401
	Fibra sucia	Sin fibra	-1.1191	0.8023
Contenido de volátiles	Fibra limpia	Fibra sucia	0.0048	0.4533
Esfuerzo	Fibra limpia	Fibra sucia	-0.7427	0.001

Código empleado para el ANOVA:

```
import numpy as np
import pandas as pd
from scipy import stats
from scipy.stats import bartlett #igualdad de varianzas
from scipy.stats import normaltest #prueba de normalidad
from scipy.stats import f_oneway #prueba anova
from statsmodels.stats.multicomp import pairwise_tukeyhsd

datos = pd.read_csv("/CenizaG.csv", index_col = 0)
datos
datos.boxplot()

datos

#Prueba de normalidad
S,p = normaltest(datos['FIBRA LIMPIA'])
alpha = 0.05
print('p = {:g}'.format(p))

if p<alpha:
    print('No existen evidencias estadísticas para suponer normalidad')
else:
    print('Existen evidencias estadísticas para suponer normalidad')

#Prueba de normalidad
S,p = normaltest(datos['FIBRA SUCIA'])
alpha = 0.05
print('p = {:g}'.format(p))
```

```

if p<alpha:
    print('No existen evidencias estadísticas para suponer normalidad')
else:
    print('Existen evidencias estadísticas para suponer normalidad')

#Homocedasticidad
alfa = 0.05
Stat,p = bartlett(datos['FIBRA LIMPIA'],datos['FIBRA SUCIA'])
print('p = {:g}'.format(p))

if p<alpha:
    print('No existen evidencias estadísticas para suponer igualdad de varianza')
else:
    print('Existen evidencias estadísticas para suponer igualdad de varianza')

#ANOVA
#Ho: Todas las medias son iguales
#Ha: Al menos una de las medias es diferente
#Criterio:  $F_c < F$  entonces Ho es verdadero
# y si  $F_c \geq F$  entonces Ho es falso

Fc , p = f_oneway(datos['SIN FIBRA'].values,datos['FIBRA LIMPIA'].values,
datos['FIBRA SUCIA'].values)

#Grados de libertad:
# k=numero de factores(3), N = numero de datos(18)
#numerador = k-1 (3 - 1) y el denominador = N-k (26 - 3)
deno = 26 - 3
num = 3 - 1
import scipy.stats

F = scipy.stats.f.ppf(q=1-0.05, dfn=num, dfd=deno)

if Fc < F:
    print('Fc = {:g}'.format(Fc), ' < ', 'F = {:g}'.format(F), ' p = {:g}'.format(p))
    print('No existen evidencias suficientes para rechazar Ho')
    print(', por lo que podemos suponer que Todas las medias son iguales')
else:
    print('Fc = {:g}'.format(Fc), ' > ', 'F = {:g}'.format(F), ' p = {:g}'.format(p))
    print('Existen evidencias suficientes para rechazar Ho')
    print(', por lo que podemos suponer que Al menos una de las medias es diferente')

df = pd.DataFrame({'data': np.concatenate([datos['SIN FIBRA'].values,datos['FIBRA LIMPIA'].values,datos['FIBRA SUCIA'].values]),

```

```
        'factor':np.repeat(['SIN FIBRA','FIBRA SUCIA','FIBRA L
IMPIA'],repeats=9)})

#Comparación multiple de tukey

tukey = pairwise_tukeyhsd(endog=df['data'],
                           groups=df['factor'],
                           alpha=0.05)

print(tukey)
```

APÉNDICE E
ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO

Tabla E.3

Flujo de caja del proceso propuesto para la producción de fibra residual limpia.

	AÑOS										
	Pre-operativo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Venta de fibra de nylon		302,854.93	313,878.85	325,304.04	337,145.10	349,417.18	362,135.97	375,317.72	388,979.28	403,138.13	417,812.36
Total ingresos	-	302,854.93	313,878.85	325,304.04	337,145.10	349,417.18	362,135.97	375,317.72	388,979.28	403,138.13	417,812.36
Egresos											
Costos variables											
Suministros (Sacos)		1,809.60	1,875.47	1,943.74	2,014.49	2,087.82	2,163.81	2,242.58	2,324.20	2,408.81	2,496.49
Costos Fijos											
Sueldos y salarios de 4 operarios			-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sueldo mensual		43,200.00	44,772.48	46,402.20	48,091.24	49,841.76	51,656.00	53,536.28	55,485.00	57,504.65	59,597.82
Aporte patronal		4,816.80	4,992.13	5,173.85	5,362.17	5,557.36	5,759.64	5,969.29	6,186.58	6,411.77	6,645.16
Decimo tercer sueldo		3,600.00	3,731.04	3,866.85	4,007.60	4,153.48	4,304.67	4,461.36	4,623.75	4,792.05	4,966.49
Decimo cuarto sueldo		2,700.00	2,798.28	2,900.14	3,005.70	3,115.11	3,228.50	3,346.02	3,467.81	3,594.04	3,724.86
Asesor de ventas											
Sueldo mensual		57,600.00	59,696.64	61,869.60	64,121.65	66,455.68	68,874.67	71,381.70	73,980.00	76,672.87	79,463.76
Aporte patronal		6,422.40	6,656.18	6,898.46	7,149.56	7,409.81	7,679.53	7,959.06	8,248.77	8,549.02	8,860.21
Decimo tercer sueldo		4,800.00	4,974.72	5,155.80	5,343.47	5,537.97	5,739.56	5,948.48	6,165.00	6,389.41	6,621.98
Decimo cuarto sueldo		1,800.00	1,865.52	1,933.42	2,003.80	2,076.74	2,152.33	2,230.68	2,311.87	2,396.03	2,483.24
Operario de calidad											
Sueldo mensual		14,400.00	14,924.16	15,467.40	16,030.41	16,613.92	17,218.67	17,845.43	18,495.00	19,168.22	19,865.94
Aporte patronal		1,605.60	1,664.04	1,724.62	1,787.39	1,852.45	1,919.88	1,989.76	2,062.19	2,137.26	2,215.05
Decimo tercer sueldo		1,200.00	1,243.68	1,288.95	1,335.87	1,384.49	1,434.89	1,487.12	1,541.25	1,597.35	1,655.50
Decimo cuarto sueldo		450.00	466.38	483.36	500.95	519.18	538.08	557.67	577.97	599.01	620.81
Mantenimiento de maquinarias		50,000.00	51,820.00	53,706.25	55,661.16	57,687.22	59,787.04	61,963.28	64,218.75	66,556.31	68,978.96
Depreciacion de maquinarias		7,011.00	7,011.00	7,011.00	7,011.00	7,011.00	7,011.00	7,011.00	7,011.00	7,011.00	7,011.00
Luz y agua		52,500.00	54,411.00	56,391.56	58,444.21	60,571.58	62,776.39	65,061.45	67,429.69	69,884.13	72,427.91
Gastos de suministros		1,825.67	1,892.12	1,961.00	2,032.38	2,106.36	2,183.03	2,262.49	2,344.84	2,430.20	2,518.66
Gastos administrativos		1,200.00	1,243.68	1,288.95	1,335.87	1,384.49	1,434.89	1,487.12	1,541.25	1,597.35	1,655.50
Pago del Capital del Préstamo		11,538.85	12,665.04	13,901.15	15,257.90	16,747.07	-	-	-	-	-
Intereses bancarios		6,842.74	5,716.54	4,480.44	3,123.68	1,634.51	-	-	-	-	-
Total Egresos	-	275,322.66	284,420.10	293,848.72	303,620.51	313,748.01	305,862.56	316,740.76	328,014.92	339,699.47	351,809.33
Inversión inicial											
Activos Fijos	(70,110.00)										
Total Inversión Inicial	(70,110.00)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de Caja	(70,110.00)	27,532.27	29,458.74	31,455.32	33,524.59	35,669.18	56,273.41	58,576.96	60,964.36	63,438.66	66,003.03
Flujo de Caja acumulado		(42,577.73)	(13,118.99)	18,336.33	51,860.92	87,530.10	143,803.50	202,380.46	263,344.82	326,783.48	392,786.51

Tabla E.2*Determinación de precio de venta unitario.*

Método de fijación de precios basado en el costo	
Total de egresos (costos) del primer año	\$ 275,322.66
Total de sacos en quintales producidos de fibra limpia en el año	1,508
Costo unitario por saco (quintal) producido	\$ 182.57
Costo unitario por kilogramo producido	\$ 1.83
Porcentaje (%) de utilidad esperada	10%
Precio unitario de venta por kilogramo	\$ 2.01
Precio unitario de venta por saco (quintal)	\$ 200.83

Tabla E.3*Resultados de la venta de fibra residual limpia al año.*

Venta anual de fibra residual limpia	
Capacidad de producción por semana [g]	2,868,000.00
Capacidad de producción por semana [kg]	2,868.00
Sacos de 1 quintal por semana	29.00
Precio por kilogramo	\$ 2.01
Precio por quintal	\$ 200.83
Venta de fibra a la semana	\$ 5,824.13
Venta de fibra al año	\$ 302,854.93

Tabla E.4*Simulación de préstamo para inversión en línea de producción de fibra residual limpia.*

Inversión para nylon limpio			
Descripción	Cantidad	Valor	Total
Drum cleaner	2	\$8,000.00	\$16,000.00
Tamiz eléctrico	2	\$1,935.00	\$3,870.00
Balanza	2	\$120.00	\$240.00
Tolva de almacenamiento	2	\$15,000.00	\$30,000.00
Bandas transportadoras	2	\$10,000.00	\$20,000.00
TOTAL			\$70,110.00

Tabla E.5

Simulación de préstamo para inversión en línea de producción de fibra residual limpia.

Detalle de simulación de crédito				
Destino: activo fijo	Tasa nominal:	9.76%	Monto: 70,110	
Tipo: Cuota fija	Tasa efectiva:	9.76%	Plazo: 5 años	
Periodo	Saldo	Capital	Interés	Cuota
0	70,110.00	-	-	-
1	58,571.15	11,538.85	6,842.74	18,381.58
2	45,906.11	12,665.04	5,716.54	18,381.58
3	32,004.97	13,901.15	4,480.44	18,381.58
4	16,747.07	15,257.90	3,123.68	18,381.58
5	0.00	16,747.07	1,634.51	18,381.58

Tabla E.6

Salario del personal requerido para la gestión del proceso.

Recursos Humanos	Cantidad	Unitario	Total
Operarios			
Sueldo anual	6	\$ 7,200.00	\$ 43,200.00
Aporte patronal	6	\$ 802.80	\$ 4,816.80
Décimo tercer sueldo	6	\$ 600.00	\$ 3,600.00
Décimo cuarto sueldo	6	\$ 450.00	\$ 2,700.00
Asesor de ventas			
Sueldo anual	4	\$ 14,400.00	\$ 57,600.00
Aporte patronal	4	\$ 1,605.60	\$ 6,422.40
Décimo tercer sueldo	4	\$ 1,200.00	\$ 4,800.00
Décimo cuarto sueldo	4	\$ 450.00	\$ 1,800.00
Operario de calidad			
Sueldo anual	1	\$ 14,400.00	\$ 14,400.00
Aporte patronal	1	\$ 1,605.60	\$ 1,605.60
Décimo tercer sueldo	1	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
Décimo cuarto sueldo	1	\$ 450.00	\$ 450.00