

Tratamiento de Residuo Sólido del Proceso de Curtiembres para la Fabricación de Cuero
Regenerado.

Adrián David Pino Arredondo, Samuel Elías Fragoso Colón

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Alberto Pertuz Comas

Ingeniero Mecánico, PhD.

Codirector

Oscar Rodolfo Bohórquez Becerra

Ingeniero Mecánico, PhD.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mis padres, Diomar Pino y Astrid Arredondo, quienes con su ejemplo me enseñaron el valor del esfuerzo, trabajo y constancia.

A mi hermana Nataly Pino, por motivarme a ser un gran ejemplo para ella.

A toda mi familia por inspirarme, motivarme a hacer una mejor persona cada día, y enseñarme que todo se logra con esfuerzo y dedicación.

A las personas involucradas en este proyecto que mediante sus consejos ayudaron a culminar esta encomienda.

Adrian David Pino Arredondo

A Dios, por haber guiado cada paso en este camino lleno de desafíos y aprendizajes.

A mis padres, Alfredo Fragoso y Ana María Colón, por su amor, sacrificio y ejemplo, que han sido mi mayor motivación.

A mis hermanos por su compañía constante en este camino

A quienes me acompañaron en el camino, a quienes me inspiraron, y también a quienes se alejaron, pero dejaron enseñanzas valiosas.

Samuel Elías Fragoso Colón

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por su bondad, misericordia infinita y la sabiduría que ha otorgado a lo largo de mi vida.

Al apoyo incondicional de mis padres.

Al Dr. Oscar Bohórquez por su colaboración, paciencia y muchos consejos.

Al semillero SIMA y a la UIS por brindarnos un espacio de enseñanza y crecimiento profesional.

A las personas involucradas en este proyecto que mediante sus consejos ayudaron a culminar esta encomienda.

A mi novia, Nasly Mora, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi crecimiento personal.

Adrian David Pino Arredondo

A Dios, por darme la sabiduría necesaria para culminar esta etapa y acompañarme.

A mis padres, Alfredo Fragoso y Ana María Colón, por siempre estar para mí en todo este recorrido y motivarme a seguir adelante.

A mis hermanos, que por su compañía hicieron de este camino un camino más fácil.

Al Dr. Oscar Bohorquez por su dedicación y ayuda en la realización de este proyecto.

A todas las personas que pasaron por mi vida en esta etapa, por todas las enseñanzas aprendidas de cada una de ellas.

Al semillero SIMA por todos los espacios compartidos de aprendizaje.

Samuel Elías Fragoso Colón

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Marco teórico	15
1.1 Materiales.....	15
1.1.1 Viruta de cuero.....	15
1.1.2 Salpas	16
1.1.3 Materiales compuestos.....	16
1.2 Propiedades y Ensayos.....	17
1.2.1 Modulo de Young	17
1.2.2 Ley de mezclas.....	18
1.2.3 Esfuerzo a la tracción.....	19
1.2.4 Resistencia al desgarro.....	19
1.2.5 Elongación	19
1.2.6 Dureza shore	20
1.3 Viabilidad financiera.....	20
2. Objetivos.....	21
2.1 Objetivo General.....	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
3. Metodología	22
3.1 Materiales de control.....	22
3.2 Obtención de probetas para ensayos mecánicos	23

3.2.1 Materiales para fabricación de probetas	23
3.2.2 Fabricación del material compuesto	25
3.3 Experimentos	30
3.3.1 Ensayo de tracción.	30
3.3.2 Ensayo de desgarro.	33
3.3.3 Ensayo de dureza.	34
3.4 Procesamiento de datos.....	34
3.5 Viabilidad financiera.....	35
3.5.1 Definición de alcances y supuestos.....	35
3.5.2 Identificación y cuantificación de costos para producción artesanal.....	36
3.5.3 Estimación de costos en la industria de curtiembres	36
3.5.4 Comparación de costos y análisis de viabilidad	37
4. Resultados y discusión.....	38
4.1 Ensayos de tracción.....	38
4.2 Ensayo de desgarro	46
4.3 Ensayo de dureza	48
5. Viabilidad financiera.....	51
5.1 Producción artesanal a mediana escala.....	51
5.2 Producción industrial a gran escala.....	52
5.3 Comparación de costos y análisis de viabilidad	54
6. Conclusiones.....	56
Referencias.....	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de cantidad de desechos de la industria de curtiembres en % de peso	13
Tabla 2. Materiales empleados para la fabricación del material.....	24
Tabla 3. Características de las combinaciones a realizar en las probetas experimentales	25
Tabla 4. Distribución de las probetas en los ensayos a realizar al material compuesto	26
Tabla 5 Equipos y maquinas empleados para los ensayos mecánicos.....	30
Tabla 6. Resultados de los ensayos de tracción de las salpas comerciales	39
Tabla 7. Resultados de pruebas de tracción de material compuesto.....	40
Tabla 8. Resultados de pruebas de desgarro de salpas comerciales	46
Tabla 9. Resultados de resistencia al desgarro del material compuesto	47
Tabla 10. Resultados de pruebas de dureza en las salpas comerciales	48
Tabla 11. Resultados de dureza shore D en material compuesto.....	48
Tabla 12. Costos de materia prima para producción de 1 m ² de salpa de material compuesto ...	51
Tabla 13. Costos de línea de producción de 1 m ² de salpa de material compuesto.....	52
Tabla 14. Costo de materiales para producción a gran escala de 1 m ² de salpa comercial.	53
Tabla 15. Costos de la línea de producción a gran escala de 1 m ² de salpa comercial.....	53
Tabla 16. Costos del 10% de desechos generados por la producción de 1 m ² de salpa.....	54
Tabla 17. Costo total por cada tipo de producción	55

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Numero de curtiembres en Colombia.....	12
Figura 2. Residuos sólidos (viruta de cuero) de una empresa de curtiembres.....	15
Figura 3. Salpas comerciales.....	16
Figura 4. Ejemplo de cómo se compone un material compuesto.	17
Figura 5. Identificación de las salpas comerciales.....	22
Figura 6. Tamizaje de la viruta de cuero.....	27
Figura 7. Gramera utilizada para pesar resina y viruta	27
Figura 8. Jeringa para verter catalizador y cobalto	28
Figura 9. Molde para probetas	29
Figura 10. Material compuesto en etapa de secado	29
Figura 11. Imagen de referencia de medidas de la norma de tracción.....	31
Figura 12. Probeta de material compuesto puesta para pruebas de tracción	32
Figura 13. Imagen de referencia de medidas de la norma de desgarro.....	33
Figura 14. Dimensiones de las probetas de dureza en mm.....	34
Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de producción industrial.....	37
Figura 16. Gráficas esfuerzo-deformación salpas comerciales.....	38
Figura 17. Gráfica esfuerzo- deformación del material compuesto y salpas comerciales.....	40
Figura 18. Resultado de la combinación CRISTALAN 856 en relación 50-50	41
Figura 19. Gráficas esfuerzo vs % de refuerzo fino.....	42
Figura 20. Gráfica esfuerzo vs % de refuerzo grueso.....	42

Figura 21. Gráfica módulo de Young vs % de refuerzo fino.....	44
Figura 22. Gráfica módulo de Young vs % de refuerzo grueso.....	44
Figura 23. Gráfica de porcentaje de elongación vs % de refuerzo fino.....	45
Figura 24. Gráfica de porcentaje de elongación vs % de refuerzo fino.....	45
Figura 25. Gráficas de barras de resistencia al desgarró del material compuesto y salpas comerciales.....	47
Figura 26. Gráfica de barras de dureza Shore D de material compuesto y salpas comerciales...	49

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Primera página de la ficha técnica de la resina CRISTALAN 872	63
Apéndice B. Segundo página de la ficha técnica de la resina CRISTALAN 872	64

Resumen

Título: Tratamiento de Residuo Sólido del Proceso de Curtiembres para la Fabricación de Cuero Regenerado*

Autores: Adrián David Pino Arredondo, Samuel Elías Fragoso Colón**

Palabras Clave: Material compuesto, Viruta de cuero, Curtiembres, Matriz polimérica, Salpas.

En este estudio se evaluó la reutilización de virutas de cuero (residuos del curtido) como refuerzo en la resina de poliéster CRISTALAN® 872. Desde el punto de vista mecánico, los compuestos con un 20-50 % de virutas (finas y gruesas) mostraron una reducción de la rigidez y la dureza superficial en comparación con la resina pura, pero ganaron ductilidad, mayor módulo de Young y absorción de energía al retrasar la propagación de grietas, destacando la formulación 8020F por equilibrar la resistencia al desgarro y la flexibilidad de una forma más parecida a la de las salpas comerciales.

Desde el punto de vista económico, el análisis de costes reveló que la producción industrial de salpas es hasta un 41% más costosa que la fabricación artesanal de las salpas convencionales, debido principalmente al elevado costo del manejo de desechos en la ciudad de Bucaramanga. Esto hace viable la producción artesanal, pero la limita a siempre reutilizar los desechos del proceso, lo que deja en evidencia que, si se llegan a acabar los desechos, existiría un costo adicional para la compra de desechos sólidos.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica.

Director: Alberto David Pertuz Comas. Ingeniero Mecánico, PhD.

Codirector: Oscar Rodolfo Bohorquez Becerra. Ingeniero Mecánico, PhD.

Abstract

Title: Treatment of Solid Waste from the Tanning Process for the Production of Reconstituted Leather*

Authors: Adrian David Pino Arredondo, Samuel Elías Fragoso Colón**

Keywords: Composite material, Leather shavings, Tanneries, Polymer matrix, Salpas.

In this study, the reuse of leather shavings (tanning residues) was evaluated as reinforcement in CRISTALAN® 872 polyester resin. From a mechanical standpoint, the composites containing 20–50% of shavings (both fine and coarse) showed a reduction in stiffness and surface hardness compared to the pure resin, but gained ductility, a higher Young's modulus, and improved energy absorption by delaying crack propagation. The 8020F formulation stood out for balancing tear resistance and flexibility in a way more similar to commercial salpas.

From an economic standpoint, the cost analysis revealed that industrial production of salpas is up to 41% more expensive than the artisanal manufacturing of conventional salpas, mainly due to the high cost of waste management in the city of Bucaramanga. This makes artisanal production viable, but limits it to always reusing process waste. This highlights that if the waste supply runs out, there would be an additional cost for acquiring solid waste.

* Degree work

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Director: Alberto David Pertuz Comas. PhD. Mechanical Engineering.

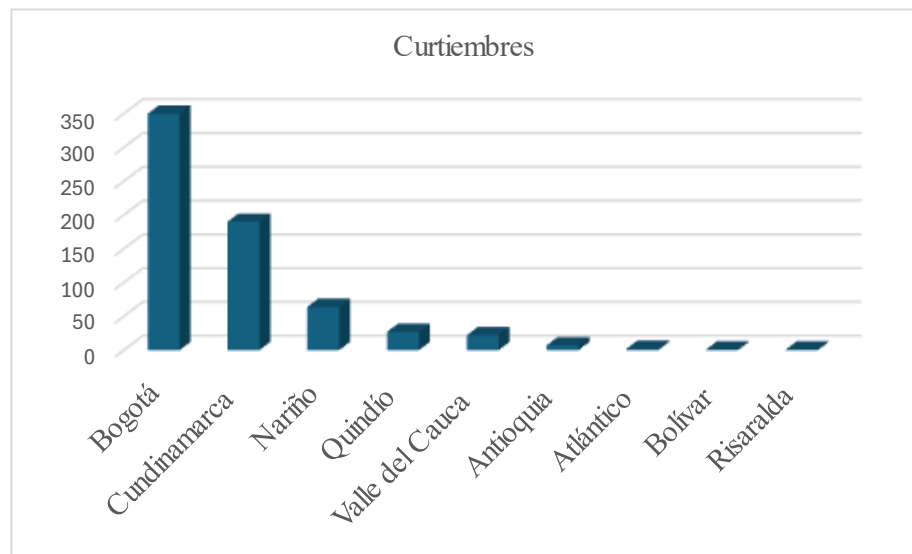
Codirector: Oscar Rodolfo Bohorquez Becerra. PhD. Mechanical Engineering.

Introducción

La industria del cuero, también conocida como curtiembre, es un sector clave que ha contribuido activamente a la economía colombiana con un 1,4% del PIB (Colombia productiva, 2019). Actualmente, el 80% de las curtiembres del país se concentran en el departamento de Cundinamarca y Bogotá, específicamente en los municipios de Villapinzón y Chocontá, así como en el barrio San Benito, ubicado en el sur de la capital. El departamento de Nariño aporta el 9,6%, mientras que el 9,07% restante se distribuye entre Quindío, Santander, Valle del Cauca, Antioquia, Atlántico, Bolívar y Risaralda (Martínez Buitrago & Romero Coca, 2017).

Figura 1.

Numero de curtiembres en Colombia



Nota: Adaptado de Martínez Buitrago & Romero Coca, 2017.

En este sector, se generan aproximadamente 150.000 toneladas de residuos sólidos al año en Colombia, los cuales se clasifican según la tabla 1. Aunque la mayoría de estos residuos se aprovechan efectivamente en la producción de colágeno, alimento para animales y fertilizantes, el 4% del peso total corresponde a las virutas de cuero, un subproducto del proceso de rebaje o lijado que no es aprovechado efectivamente (Sánchez & Cortes, 2016). Estas virutas contribuyen a un desafío ambiental que llevan consigo todas las curtiembres, siendo este sector un sector en donde sus procesos produce un alto índice de contaminación (Cabrera & Pinzón, 2013).

Tabla 1.*Clasificación de cantidad de desechos de la industria de curtiembres en % de peso*

RESIDUO	% EN PESO
Carnaza	61
Unche	16
Recortes de cuero terminado	7
Lodos de pelambre	12
Viruta	4

Nota: Adaptado de Sánchez & Cortes, 2016.

Para abordar la contaminación y los residuos de la industria de curtiembres, se han propuesto soluciones alternativas como el cuero regenerado, un material elaborado a partir de desechos de cuero procesado. Este se emplea comúnmente en la fabricación de bolsos, correas y partes del calzado, pero recientemente ha surgido interés en aplicarlo en otros productos, como las salpas u odenas. Las salpas son un material compuesto reforzado, hecho de recortes de cuero molido y aglutinantes vegetales, que combina partículas de cuero como refuerzo y un aglutinante, otorgándole propiedades mecánicas similares a las del cuero tradicional, como resistencia a la tracción y al desgarro (SENA, 2019).

Aprovechar las virutas de cuero no solo es una cuestión técnica, sino también una oportunidad para cuidar el medio ambiente y darle un nuevo propósito a lo que se considera residuo. Por un lado, transformar estos desechos en cuero regenerado es una forma de apoyar la cultura sobre el impacto ambiental y promover una economía circular que valore cada recurso. Por otro lado, conocer a fondo las propiedades mecánicas de manera analítica de este nuevo material es esencial para descubrir aplicaciones prácticas que puedan mejorar procesos y productos en diversas industrias. Con todo esto como propósito, surge la pregunta: ¿Puede la creación y caracterización de un material compuesto a partir de virutas de cuero ofrecer nuevos usos y oportunidades en el mercado?

Ante la creciente necesidad de prácticas industriales sostenibles, el desarrollo de cuero regenerado a partir de virutas de cuero ofrece una solución prometedora. Este enfoque no solo reduce la cantidad de desechos vertidos, compitiendo con el cuero tradicional como materia prima, sino que también fomenta la economía circular al transformar residuos en recursos aprovechables.

1. Marco teórico

A continuación, se exponen fundamentos teóricos que facilitan la comprensión de los conceptos esenciales abordados en este trabajo de grado.

1.1 Materiales

Los materiales son sustancias que se convierten en productos. Existen en la naturaleza o pueden ser derivados unos de otros. La ciencia de los materiales clasifica estos como: metales, cerámicos, polímeros, materiales compuestos y materiales semiconductores (Euroinnova, 2025)

1.1.1 Viruta de cuero

Es un residuo sólido generado en la industria curtidora durante el proceso de lijado o rebajado del espesor del cuero. Está compuesta principalmente por un complejo de colágeno y cromo, y suele tener un tamaño de partícula entre 1 y 3 mm, o en ocasiones incluir retazos enteros mayores a 6 mm (Medina Ninacondor et al., 2018)(Flores et al., 2009).

Figura 2.

Residuos sólidos (viruta de cuero) de una empresa de curtiembres



1.1.2 Salpas

Se refieren a un tipo de cuero sintético utilizado como soporte y refuerzo en la fabricación de artículos de marroquinería, calzado, bolsos, cinturones y otros productos. Este material, también conocido como "cuerson" u "odenas", está compuesto por restos triturados de cuero unidos con adhesivos y recubiertos con una capa protectora, lo que le proporciona rigidez, durabilidad y resistencia, además de facilitar un montaje rápido y una terminación compacta en los productos (Canodiy, s.f).

Figura 3.

Salpas comerciales

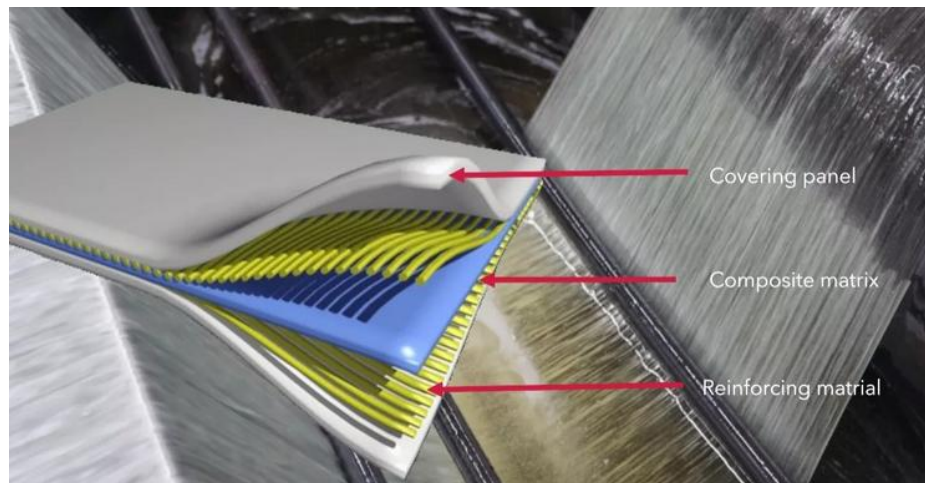


1.1.3 Materiales compuestos

Un material compuesto es un material formado por la combinación macroscópica de dos o más materiales diferentes, que mantienen una interfase reconocible entre sí, con el objetivo de obtener propiedades superiores o diferentes a las de los componentes individuales por separado. Generalmente, está compuesto por una matriz (fase continua) y un refuerzo (fase dispersa), y sus componentes conservan su identidad dentro de la estructura final (Stupenengo, 2011).

Figura 4.

Ejemplo de cómo se compone un material compuesto.



Nota: Tomado de (Morgan, 2024).

1.2 Propiedades y Ensayos

Los materiales poseen diferentes propiedades que los hacen únicos. Estas propiedades son factores que influyen cualitativa o cuantitativamente en la respuesta de un determinado material a la imposición de estímulos y restricciones (Infinitia, 2021).

1.2.1 Modulo de Young

El módulo de Young, también conocido como módulo de elasticidad longitudinal, es una propiedad mecánica que mide la rigidez de un material sólido. Define la relación entre la tensión (fuerza por unidad de superficie) y la deformación (cambio proporcional en longitud) en un material dentro del régimen de elasticidad lineal bajo una deformación uniaxial. Este parámetro es fundamental para caracterizar el comportamiento elástico de materiales y se determina comúnmente mediante ensayos de tracción (Rodríguez, 2020).

1.2.2 Ley de mezclas

Es la técnica de homogeneización más simple para materiales compuestos. Esta ley permite calcular propiedades macroscópicas del compuesto, como densidad o módulo de Young longitudinal, a partir de las propiedades y fracciones volumétricas de sus componentes (fibra y matriz). Se considera un elemento de volumen representativo (EVR) formado por fibras y matriz, y se asume que las deformaciones y tensiones se distribuyen de manera uniforme según la dirección de la fibra. Por ejemplo, el módulo de Young longitudinal E_1 se calcula considerando la acción de una fuerza en la dirección de la fibra, sumando las contribuciones ponderadas de cada fase. Esta regla es útil para estimar propiedades mecánicas básicas, aunque es una simplificación que no contempla interacciones complejas entre componentes (Sánchez Cepillo, 2011).

La ley de mezclas para materiales compuestos de fibra corta se usa para determinar el módulo de Young resultante del material compuesto. Esta ley establece que el módulo elástico del compuesto está comprendido entre un máximo y un mínimo y es función de la fracción volumétrica entre otros factores (Kar, 2017).

$$E_c = \eta_L \cdot \eta_0 \cdot E_R \cdot V_R + E_m \cdot V_m \quad (1)$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad del material compuesto

E_m = Módulo de elasticidad del material matriz

E_R = Módulo de elasticidad del material de refuerzo

V_m = fracción volumétrica del material matriz

V_R = fracción volumétrica del material de refuerzo

η_L = Factor de corrección de longitud

η_0 = Factor de corrección de orientación

1.2.3 Esfuerzo a la tracción

La fuerza por unidad de área, o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través de una sección dada, se llama esfuerzo sobre esa sección y se representa con la letra griega sigma. El esfuerzo en un elemento con área transversal A sometido a una carga axial P se obtiene al dividir la magnitud P de la carga entre el área A (Ferdinand, 2010).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Donde:

$P = \text{Fuerza [N o lbf]}$

$A = \text{Área [m o in]}$

1.2.4 Resistencia al desgarro

La resistencia al desgarro es la fuerza por unidad de espesor necesaria para iniciar o propagar un desgarro en una muestra de caucho o elastómero, usando distintas geometrías de probeta (ASTM International, 2020).

$$T_s = \frac{F}{d} \quad (3)$$

Donde:

$F = \text{Fuerza máxima registrada durante la ruptura [N o lbf]}$

$d = \text{Espesor de la probeta [mm]}$

1.2.5 Elongación

La elongación se define como la medida del cambio de longitud de una probeta bajo tensión, en relación con su longitud original (Callister, 2018).

$$\%AL = \frac{L - L_0}{L_0}$$

(4)

Donde:

$\%AL$ = *Porcentaje de alargamiento*

L_0 = *Longitud inicial de la probeta [cm]*

L = *Longitud final de la probeta [cm]*

1.2.6 Dureza shore

La escala de dureza Shore es un método para medir la dureza o resistencia a la indentación de materiales, especialmente elastómeros y plásticos. Fue inventada por Albert Ferdinand Shore en la década de 1920 y se utiliza para evaluar la flexibilidad o rigidez de diferentes materiales mediante un durómetro, que presiona un indentador contra la superficie del material bajo una carga específica. El valor de dureza se expresa en una escala numérica de 0 a 100, donde un número mayor indica un material más duro. Existen varias escalas Shore, siendo las más comunes Shore A (para materiales blandos como gomas) y Shore D (para materiales más duros como plásticos rígidos). La elección de la escala depende del tipo de material a medir y la aplicación (Industrial Physics, 2024).

1.3 Viabilidad financiera

La viabilidad financiera es la capacidad de un proyecto, empresa o negocio para generar un flujo de caja positivo que permita cubrir sus costos operativos, cumplir con sus obligaciones financieras y garantizar su sostenibilidad en el tiempo. Se evalúa mediante el análisis de costos e ingresos proyectados, retorno de inversión (ROI), flujo de caja y rentabilidad, asegurando que los recursos sean suficientes para mantener la operación y justificar la inversión (Faster capital, 2025).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Desarrollar un material compuesto de matriz polimérica con refuerzo de residuos de cuero animal, evaluando sus propiedades mecánicas para la reutilización de desechos de la industria de curtiembres en la fabricación de salpas, cumpliendo con la misión de la Universidad Industrial de Santander de brindar conocimientos y soluciones a las diferentes necesidades de la industria.

2.2 Objetivos Específicos

Obtener probetas adecuadas para ensayos mecánicos de tracción, dureza y desgarre, utilizando diferentes concentraciones de viruta de cuero y aglomerante.

Analizar el comportamiento mecánico del material compuesto mediante la prueba de tracción según ASTM D2209-00, de dureza según ASTM D2240 y desgarre según norma ASTM D4704-13.

Estudiar la viabilidad financiera del material compuesto fabricado para su utilización como salpas en la industria del calzado.

3. Metodología

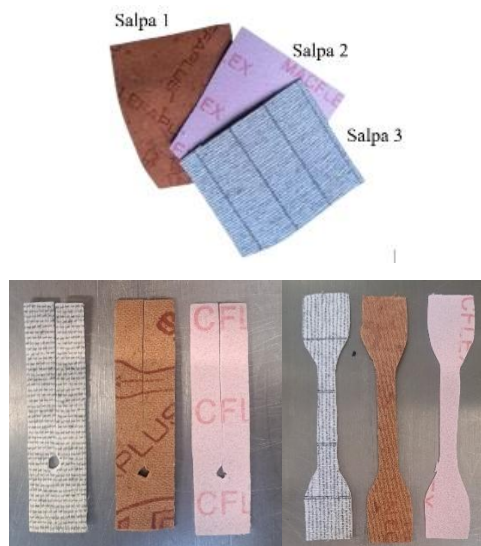
En este apartado se exponen los procesos metodológicos que se realizaron con el fin de cumplir lo estipulado en los objetivos, desde la fabricación del material compuesto, su caracterización mecánica, hasta los aspectos relevantes que se tuvieron en cuenta para el análisis de la viabilidad financiera.

3.1 Materiales de control

Para la fabricación del material compuesto adecuado para su utilización como alternativa a las salpas comerciales, fue necesario conocer las propiedades mecánicas de estas, las cuales se extrajeron directamente de muestras obtenidas en el comercio local, realizando las mismas pruebas mecánicas que se realizaron al material compuesto: tracción, desgarró y dureza. En la Figura 5 se realiza la identificación de las salpas para su posterior análisis y se presentan las probetas de estas salpas comerciales para tracción y desgarró respectivamente.

Figura 5.

Identificación de las salpas comerciales



Las salpas comerciales al ser un producto en el mercado del calzado deben suplir una amplia gama de necesidades en esta industria, por tanto, sus precios y propiedades varían respecto a sus aplicaciones. La salpa 1 es un material más rígido utilizado principalmente para calzado que necesita más resistencia y durabilidad en entornos difíciles, como botas de trabajo industrial y/o deportivos en casos especiales, siendo este el más costoso de las salpas adquiridas. La salpa 2 y 3 son materiales más blandos, a comparación de la salpa 1, utilizados en zapatos convencionales y de uso cotidiano, manejando un precio más módico en comparación de la salpa 1, siendo la salpa 3 la más económica de todas. Por tanto, se pone como referencia y valores de control los resultados obtenidos de la salpa 2. Adicionalmente, teniendo en cuenta estas características, se tomaron como propiedades principales el esfuerzo último, módulo de Young, porcentaje de elongación, resistencia al desgarro y dureza.


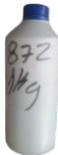







3.2 Obtención de probetas para ensayos mecánicos

La obtención del material compuesto y sus respectivas probetas se llevó a cabo mediante un proceso manual, a continuación, se presentan los pasos metodológicos aplicados.

3.2.1 Materiales para fabricación de probetas

En la tabla 2 se pueden observar todos los materiales que se usaron para la fabricación de las probetas, cada uno de estos materiales se seleccionaron teniendo en mente el procesado para la fabricación de estas.

Tabla 2.
Materiales empleados para la fabricación del material

Materiales	Descripción	Imagen de referencia
Virutas de cuero	Material de residuo de curtiembre comercial en la zona franca de Bucaramanga	
Resina CRISTALAN® 872	Resina poliéster	
Cobalto	Material utilizado en la preparación de la resina flexible	
Catalizadores	Material utilizado para el curado de las resinas	
Madera para molde	Material utilizado para el moldeo del material compuesto	
Silicona acética	Fijador de las partes del molde	
Gramera	Herramienta utilizada para medir en gramos los pesos de viruta y resina	
Malla para tamizado	Malla de unas dimensiones de agujeros de 6 milímetros para separar la viruta fina y gruesa	
Tijeras para hojalata	Herramienta para cortar y dar forma a las probetas a ensayar	

Nota: las imágenes mostradas en esta tabla fueron elaboradas propiamente a excepción de la silicona acética y malla para tamizado. Tomado de (Shang Kai Steel Co., 2025) y (Casa Ferretera, 2025).

3.2.2 *Fabricación del material compuesto*

Se planteó inicialmente la implementación del material CRISTALAN 856@ con un módulo de Young de 0,17 GPa, una vez obtenidas las propiedades mecánicas de las salpas comerciales se recurrió a la ley de mezclas para materiales compuestos de fibras cortas ($\eta_L \approx 0.9$) con orientación al azar en 3D ($\eta_0 = 0.2$) (Kar, 2017) mencionada anteriormente (Véase la ecuación 1), para validar la selección tomada. Mediante esta ecuación se determina, una vez obtenido previamente el módulo de Young de control proveniente de las salpas comerciales, el módulo de Young del material matriz deseado, considerando una fracción volumétrica para la viruta de 0,2 y de 0,8 para el material matriz, para el módulo de Young de la viruta de cuero se utilizó 11,5 GPa (Nazir et al., 2025).

$$E_c = 0,9 * 0,2 * 11.500 * 0,2 + E_m * 0,8$$

Una vez se tuvo el módulo de Young del material matriz, se procedió a la fabricación de las salpas con el material compuesto. Como primera instancia se determinaron las proporciones en base de volumen según los autores Sánchez y Cortes (Sánchez & Cortes, 2016), siguiendo su modelo de proporción refuerzo-matriz, con el fin de fabricar quince probetas de cada combinación para los distintos ensayos, esta información se encuentra resumida en la tabla 3 y 4.

Tabla 3.

Características de las combinaciones a realizar en las probetas experimentales

Relación Aglomerante/ viruta	Tamaño de viruta
50-50	Fina

70-30	
80-20	
50-50	
70-30	Gruesa
80-20	

De esta manera para la identificación de las probetas se dispuso de una codificación en donde los dos primeros dígitos corresponden al porcentaje en peso de resina en el material compuesto, los dos últimos dígitos corresponden al porcentaje de la viruta y la letra final corresponde a si el refuerzo es viruta fina (F) o viruta gruesa (G, con un tamaño de partícula mayor a 6 mm) como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4.

Distribución de las probetas en los ensayos a realizar al material compuesto

Probetas	Ensayos de tracción	Ensayos de desgarro	Ensayos de dureza	Total
5050F	5	5	5	15
7030F	5	5	5	15
8020F	5	5	5	15
5050G	5	5	5	15
7030G	5	5	5	15
8020G	5	5	5	15
Total	30	30	30	90

Seguido de la clasificación de las probetas, se tamizó la viruta de cuero para dividirla entre viruta fina y gruesa, las cuales se usaron en la mezcla del material compuesto, el proceso se puede observar en la figura 6.

Figura 6.

Tamizaje de la viruta de cuero



Posteriormente se pesó la viruta y la resina, para cumplir con cada proporción correspondiente, haciendo una relación con la densidad para cumplir con la fracción volumétrica indicada como se puede observar en la figura 7.

Figura 7.

Gramera utilizada para pesar resina y viruta



Una vez se pesaron ambos materiales, se procedió a mezclarlos y a verterlos en el molde, esto se realizó mediante la técnica de moldeo abierto por aplicación manual (Groover, 2007), la cual consiste en preparar la mezcla de resina y catalizador en un molde. Para verter el catalizador

y el cobalto, se usó la jeringa mostrada en la figura 8, debido a que la proporción de estas tenían que ser de 1.5% y 0.5% respectivamente en base al peso de la resina, información que fue suministrada por el distribuidor donde se compró la resina, cobalto y catalizador.

Figura 8.

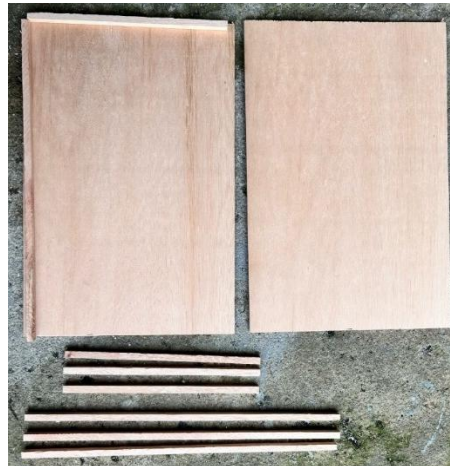
Jeringa para verter catalizador y cobalto



Luego se agregó al resultado la cantidad y tamaño determinado de viruta de cuero realizando una mezcla manual hasta que se vea homogéneamente distribuido el refuerzo. El molde consta de unas medidas de 45cm*26cm*2mm, dicho molde fue fabricado de tal manera que tenga la capacidad de poder extraer todas las probetas necesarias para una combinación mediante cortes como se puede ver en la figura 9.

Figura 9.

Molde para probetas



Una vez terminado el proceso, se dejó secar por 24 horas bajo condiciones ambientales como se puede ver en la figura 10.

Figura 10.

Material compuesto en etapa de secado





Finalmente se retira el material compuesto seco y se realiza el debido corte para obtener las probetas según sea necesario acorde a la norma ASTM 2209-00 de tracción D4704-13 de desgarro y D2240-15 de dureza y adicionalmente se realiza un lijado superficial para garantizar una superficie pareja de las probetas de ensayo.

3.3 Experimentos

Los equipos empleados para la caracterización y procesado del material compuesto se describen en la tabla 5. El equipo MTS bionix se encargó de realizar los ensayos de tracción y desgarro y el durómetro se encargó de realizar los ensayos de dureza, ambas siguiendo las normas estipuladas anteriormente en los objetivos.

Tabla 5

Equipos y maquinas empleados para los ensayos mecánicos

Equipos	Descripción	Imagen de referencia
MTS Bionix	Maquina universal de ensayos	
Durómetro portátil	Equipo de medición de dureza en la escala de Shore A/B/C/D	

Nota: las imágenes mostradas son de elaboración propia excepto el durómetro portátil. Tomado de (Importmercado S.R.L., 2025)

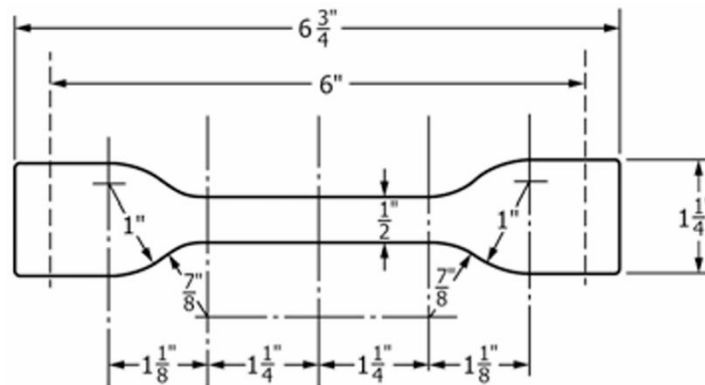
3.3.1 Ensayo de tracción.

Los ensayos de tracción se realizaron bajo la normativa ASTM D2209-00, la cual es un estándar para la prueba de tracción para cueros, la velocidad de la prueba se configuro en 254 mm/min tal como indica la normativa en el apartado 6.1 y previo al ensayo se midió el área transversal de la probeta (ASTM international, 2021b). En la figura 11 se puede apreciar las dimensiones que debe tener la probeta a la hora de hacer los ensayos. De esta manera se puede

observas como quedaron las probetas de material compuesto siguiendo las dimensiones de esta norma.

Figura 11.

Imagen de referencia de medidas de la norma de tracción



in.	mm	in.	mm
1/2	12.7	1 1/4	31.8
7/8	22	6	152
1	25.4	6 3/4	171
1 1/8	28.6		

Nota: Tomado de (ASTM international, 2021b).

Figura 12.

Probeta de material compuesto puesta para pruebas de tracción



Una vez se tienen los resultados, la norma indica que estos se analizan y se reportan de la siguiente manera: La resistencia a la tracción del cuero se expresa en unidades de fuerza por unidad de área. Se calcula dividiendo la carga máxima de ruptura entre el área original de la sección transversal de la muestra (Véase la ecuación (2)).

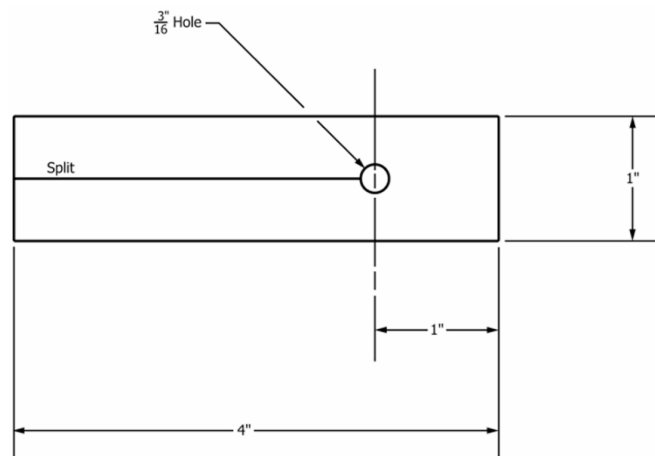
También se calcula la elongación en la ruptura, la cual se determina midiendo el porcentaje de alargamiento de la muestra en el momento de la ruptura (Véase la ecuación (4)). La longitud inicial se toma de las dimensiones de las probetas indicadas por la norma y la final se mide una vez la probeta llega a la ruptura.

3.3.2 *Ensayo de desgarro.*

Los ensayos de desgarro se realizaron bajo la normativa ASTM D4704-13 enfocada para la normalización de las propiedades del cuero. Se utilizó la misma adaptación en las mordazas que en la prueba de tracción y la velocidad de extensión de la máquina se graduó en 254 mm/min como lo indica la norma en el apartado 8.3. En el procedimiento de las pruebas de cada probeta fue necesario registrar el momento inicial de la rotura de la probeta junto con el valor de la carga correspondiente, ya que la normativa señala que este es el valor de interés, así como el espesor de la probeta previo al inicio del ensayo. En la figura 13 se pueden ver las dimensiones estipuladas por la norma para las probetas de desgarro.

Figura 13.

Imagen de referencia de medidas de la norma de desgarro



Nota: Tomado de (ASTM international, 2023).

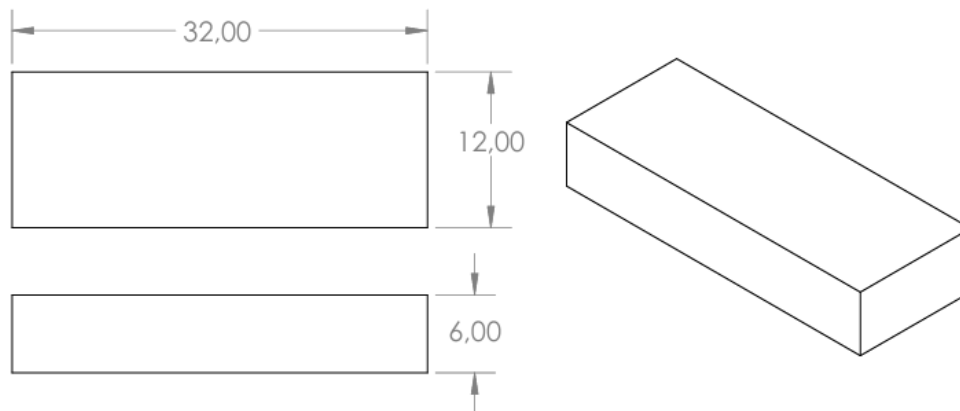
Igualmente, al ensayo de tracción, el ensayo de desgarro indica el cálculo de la resistencia al desgarro, la cual se determina dividiendo la fuerza máxima registrada entre el espesor original de la muestra (Véase la ecuación 3). De esta manera, el espesor se mide antes de realizar el ensayo de desgarro.

3.3.3 Ensayo de dureza.

Los ensayos de dureza se realizaron bajo la normativa ASTM D2240, Se utilizó un durómetro en la medición tipo Shore D, el cual generalmente es utilizado para materiales flexibles o blandos. La norma determina que, para este tipo de durómetro, la probeta a ensayar debe tener un espesor mínimo de 6 mm. Este durómetro se calibró según las especificaciones del fabricante, una vez calibrado se colocó las probetas destinadas a la prueba de dureza sobre una superficie dura y estable y se le aplicó el durómetro con suficiente presión durante un lapso de un segundo como lo indica la norma en el apartado 9.2.4, este procedimiento se realiza cinco veces en diferentes puntos arbitrarios de la probeta y se saca el promedio de las mediciones. (ASTM international, 2021a) . En la figura 14 se puede observar un plano hecho en SolidWorks de las dimensiones de las probetas de dureza, esto debido a que la norma en si no muestra físicamente la forma de la probeta, solo menciona el espesor y la longitud mínima que debe tener.

Figura 14.

Dimensiones de las probetas de dureza en mm



3.4 Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó el software OriginLab, el cual es una herramienta para el análisis y visualización de datos de una manera efectiva. Los datos se obtuvieron directamente del software de la máquina de ensayos universal en un formato .TXT el cual se convirtió a un formato .XLSX para su análisis, la información proporcionada en los archivos fue:

mm (desplazamiento durante el ensayo), N (Fuerza en Newton), Segundos (Tiempo de ejecución del ensayo). De estos datos se exportaron a OriginLab solo los relevantes para el análisis (mm y N).

Para la obtención de los valores de esfuerzo último se seleccionó el valor máximo alcanzado en cada prueba justo con su coordenada en el eje x, la cual sería la deformación a la fractura. El módulo de Young se calculó siguiendo lo recomendado en la norma ASTM D638-14 la cual estipula calcular el módulo de Young entre 0,05% - 0,25% de deformación del material (ASTM International, 2014)

3.5 Viabilidad financiera

En este apartado se realiza el estudio financiero del proceso de fabricación del material compuesto en contraste con la producción de las salpas comerciales teniendo en cuenta tiempos, materia prima, cantidades, costos de operación de maquinaria y costos de manejo de residuos.

3.5.1 Definición de alcances y supuestos

Para la viabilidad financiera de este proyecto se buscó comparar los costos de producción artesanal, escalado a una capacidad un poco mayor para su comercialización, con los costos de producción en un ámbito industrial a gran escala sin tener en cuenta mano de obra, depreciaciones de maquinaria, ni cualquier otro costo indirecto. Esta comparación determina si el proceso artesanal, ajustado al comercio, es o no competitivo frente a los métodos industriales establecidos.

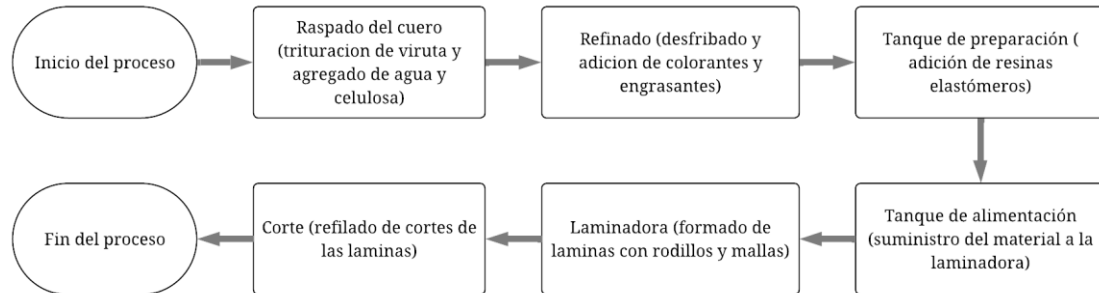
El análisis se enfocó en los costos directos de producción de las salpas en ambos escenarios. En el escenario artesanal, se incluyeron los costos de materiales y equipos, calculando el costo por metro cuadrado de las salpas escalando a una producción comercial. Para el escenario industrial, los costos de producción se estimaron a partir de la literatura técnica sobre procesos industriales en curtiembres. No se incluyeron costos indirectos ni proyecciones de ingresos, debido a que el enfoque se limitó a la comparación de costos de producción.

3.5.2 Identificación y cuantificación de costos para producción artesanal

Para la identificación y cuantificación de los costos se tuvo en cuenta un proceso de curtido que permite el reaprovechamiento de los residuos sólidos. Según Medina Ninacondor, Aguilar Franco y Villegas Álvarez (2019), la línea productiva de estos residuos sólidos está constituida por cuatro unidades, la primera que se encarga del acondicionamiento de la materia prima, la segunda unidad de mezclado y moldeado, la tercera unidad de prensado y secado y finalmente la unidad de acabado. Para la realización de esta parte del proyecto solo se tienen en cuenta las últimas tres unidades por lo que ya se tiene el residuo sólido crudo y no se necesita de un acondicionamiento de este por lo que se pasa a la siguiente etapa del proceso. Dicho esto, la cuantificación de los costos se llevó a cabo teniendo en cuenta solamente el gasto energético de los equipos para un lote de producto terminado (7 planchas de producto terminado de 70x50 cm) con un total de tiempo de procesado de 225 minutos distribuidos en las diferentes unidades del proceso y teniendo en cuenta el precio de los materiales utilizados para la fabricación de las salpas.

3.5.3 Estimación de costos en la industria de curtiembres

Para la estimación de los costos de las salpas comerciales se tuvo en cuenta todo el proceso industrial que este abarca y su precio aproximado de gasto para cada subproceso. Según el Servicio Nacional de Aprendizaje (Materiales de Refuerzo, s.f.), el proceso industrial para la producción de salpas u odenas se puede observar en la figura 13.

Figura 15.*Diagrama de flujo del proceso de producción industrial*

Teniendo en cuenta el respectivo proceso, se estimó un tiempo para cada etapa del proceso en donde también se produce un lote de salpas como se mencionó anteriormente, y considerando el tiempo estimado se calculó el gasto energético de cada equipo con base en el precio del kWh en la ciudad de Bucaramanga, Santander (ESSA Santander, 2025). También se tienen en cuenta los materiales a usar en todo el procesado de las salpas los cuales son: resinas aglutinantes (NGOC CHAU TM DV IMPORT EXPORT COMPANY LIMITED, 2019), pigmento negro de carbono (Free-zone, 2025) y pulpas de celulosa (CTS España, 2021).

3.5.4 Comparación de costos y análisis de viabilidad

La comparación de costos se llevó a cabo mediante una tabla que presenta el costo de producción experimental por m² y el precio promedio de mercado por m². El análisis de viabilidad incluyó una evaluación cuantitativa basada en la relación entre ambos valores, considerando factores como la escala de producción, el uso gratuito de equipos en el escenario y la optimización industrial. Se identificaron las limitaciones del análisis, como la falta de economías de escala en el proceso experimental, y se reflexionó sobre el potencial de competitividad con ajustes en la producción a mayor escala.

4. Resultados y discusión

En esta sección se muestran los resultados experimentales luego de procesar los datos obtenidos en los ensayos mecánicos. Se presentan los resultados de las salpas comerciales como instrumentos de control y posteriormente se revisan los resultados del material fabricado con el fin de realizar una validación de las propiedades mecánicas en contraste con las salpas comerciales. Se discutieron los comportamientos analizando los valores de desviación estándar de cada propiedad analizada y validando su comportamiento con los valores de control obtenidos previamente y diferencias porcentuales entre los valores de las propiedades principales.

4.1 Ensayos de tracción

En la Figura 16 se presentan las gráficas obtenidas de los resultados de los ensayos de tracción en las salpas comerciales, así mismo en la Tabla 6 se recopilan los datos obtenidos del análisis de las estas.

Figura 16.

Gráficas esfuerzo-deformación salpas comerciales

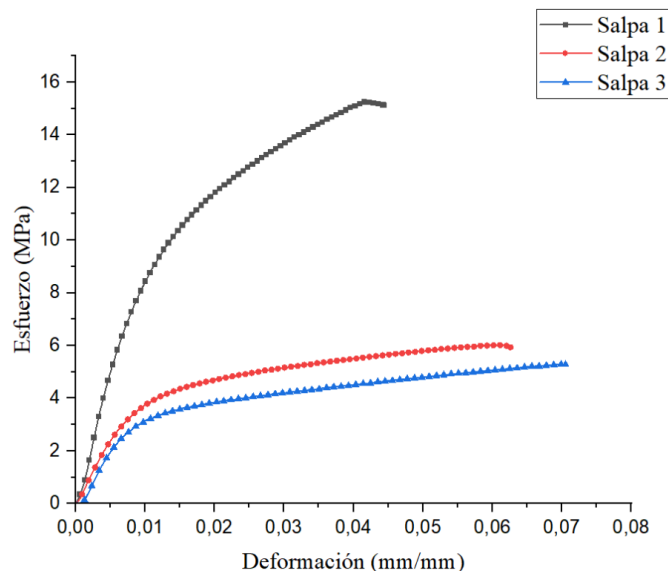


Tabla 6.*Resultados de los ensayos de tracción de las salpas comerciales*

Salpa	Su (MPa)	E (MPa)	Sy (MPa)	Deformación unitaria (%)
1	15,51 ± 0,74	972,3 ± 99	9,98 ± 0,39	4,49 ± 0,35
2	6,11 ± 0,55	490,7 ± 45	3,80 ± 0,39	7,07 ± 0,24
3	5,43 ± 0,52	479,8 ± 79	2,94 ± 0,46	7,86 ± 0,36

Los resultados experimentales de los ensayos de tracción revelan diferencias significativas entre las salpas. La salpa 1 presenta el mayor esfuerzo último siendo de 15,51 MPa y módulo de Young 972,31 MPa, indicando que es el material más fuerte y rígido. Sin embargo, su baja deformación máxima que fue de 4,49% denota una menor ductilidad, lo que podría limitar su capacidad de flexión. Las Salpas 2 y Salpas 3, con esfuerzos últimos de 6,11 MPa y 5,43 MPa respectivamente, y módulos de Young de 490,21 MPa y 478,64 MPa, muestran menor resistencia y rigidez, pero mayor ductilidad con porcentajes mayores que la Salpa 1, obteniendo 7,07% y 7,86%. Este comportamiento se relaciona con la aplicación de cada salpa en la industria, siendo la salpa 1 con mayor *Su* para poder obtener un mejor desempeño bajo cargas fuertes en el entorno de trabajo, mientras que las salpas 1 y 2 tienen un comportamiento más dúctil para brindar mayor confort en aplicaciones cotidianas.

Como resultado de la ecuación de ley de mezclas, una vez definido el valor del módulo de Young entre los materiales de control, seleccionado la salpa 2 con un valor de 490 MPa, se encuentra que el módulo de Young deseado es de 95 MPa para el material de matriz, que con

respecto al material sugerido contempla una diferencia de 0,07GPa aproximadamente, lo cual se considera aceptable y se realiza el debido proceso de fabricación con dicho material.

En la Figura 17 se presentan las gráficas obtenidas de los ensayos de tracción de las combinaciones del material compuesto y su comparación visual en contraste con las salpas comerciales. En la tabla 7 se recopilan los datos obtenidos del ensayo de tracción luego de su procesamiento.

Figura 17.

Gráfica esfuerzo- deformación del material compuesto y salpas comerciales

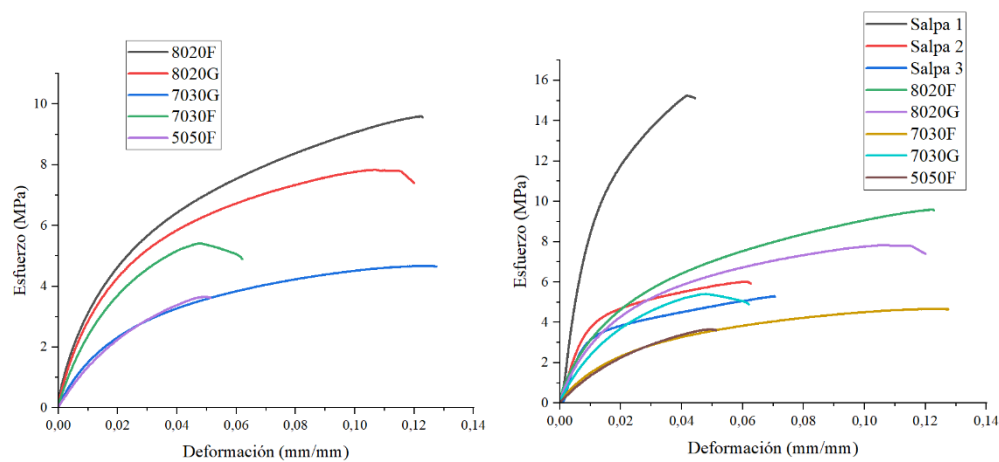


Tabla 7.

Resultados de pruebas de tracción de material compuesto

Probeta	Su (MPa)	E (MPa)	Sy (MPa)	Deformación unitaria (%)
5050F	4,44 ± 1,30	166,79± 36	2,39 ± 0,89	5,16 ± 0,46
7030F	4,58 ± 0,22	255,94± 10	2,94 ± 0,84	5,71 ± 1,14
7030G	5,72 ± 1,81	163,2 ± 20	1,97 ± 0,1	10,52 ± 2,96
8020F	9,48 ± 0,58	441,66± 26	3,93 ± 0,57	13,58 ± 2,10
8020G	8,42 ± 1,14	395,4 ± 26	3,26 ± 0,46	12,53 ± 2,17

En la fabricación del material compuesto con el producto CRISTALAN® 872 se descartó la combinación de viruta gruesa a una relación de 50-50 debido a que se crearon aglomeraciones de material de refuerzos excesivas y no se obtuvo un espesor lo suficientemente uniforme como se muestra en la figura 18, este comportamiento es debido a la alta cantidad de refuerzo y su gran tamaño (C. Li et al., 2021; Nazir et al., 2025).

Figura 18.

Resultado de la combinación CRISTALAN 856 en relación 50-50



En los resultados experimentales del ensayo de tracción se obtuvieron el mayor y menor S_u en las combinaciones 8020F, con 9,8 MPa, y 5050F, con 4,4 MPa respectivamente. Comparado con las salpas comerciales se logra ver que 8020F se posiciona un 10% por encima del valor promedio de las salpas comerciales, superando los valores de las salpas 2 y 3 en un 37,65 y 44,6% respectivamente. En la figura 19 se representa una gráfica del comportamiento de las propiedades de S_u , presentando una tendencia a la disminución de los valores a medida que se aumenta el porcentaje de viruta de cuero fino.

El comportamiento observado en la utilización de refuerzo grueso fue similar al refuerzo fino, presentando una disminución a medida que se aumenta el refuerzo, como se observa en la

figura 20, no obstante, en el refuerzo grueso se evidencia una tendencia más lineal y controlada que la vista en refuerzo fino, una de las causantes de esta diferencia puede atribuirse a la poca cantidad de valores representados en la gráfica de refuerzo grueso, es necesario profundizar en más intervalos de porcentajes de refuerzo para obtener una aproximación más acertada.

Figura 19.

Gráficas esfuerzo vs % de refuerzo fino

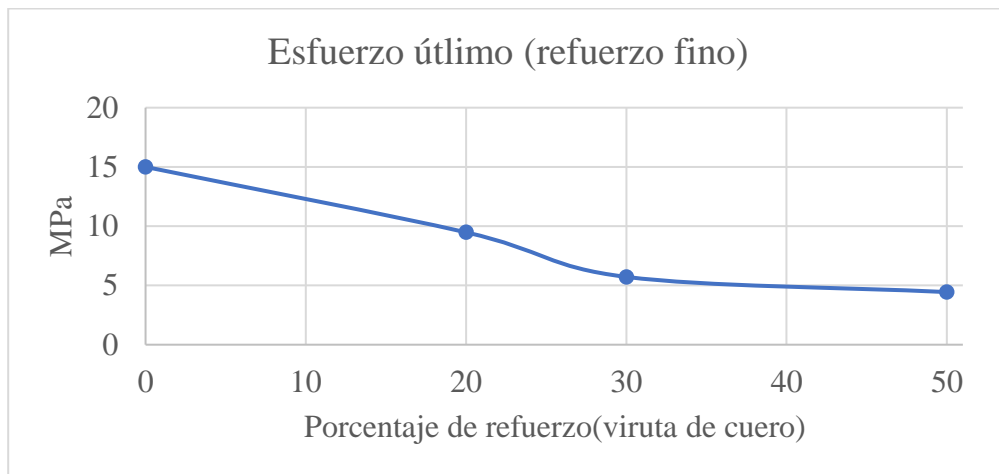
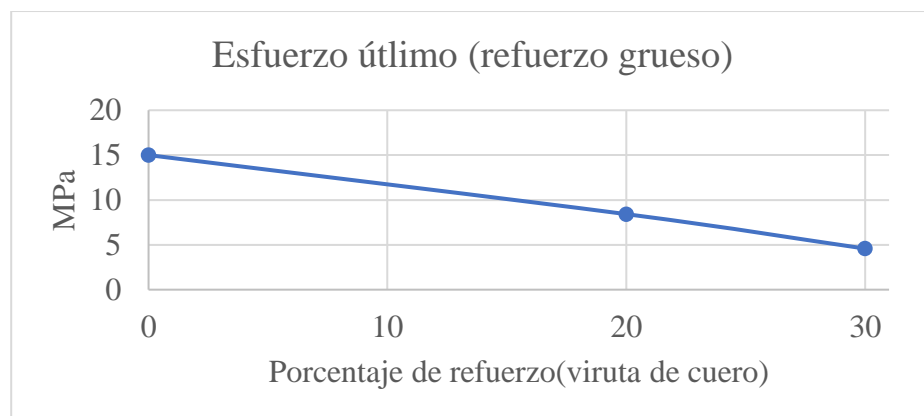


Figura 20.

Gráfica esfuerzo vs % de refuerzo grueso



En la Figura 21 se presenta el comportamiento el módulo de Young al aumentar el porcentaje de viruta de cuero fino, mostrando como valor óptimo un 20% de fracción volumétrica de refuerzo en la composición del material y evidenciando que, una vez superado este porcentaje, existe una disminución en los valores de esta propiedad. Este mismo comportamiento también se observó en la utilización del refuerzo grueso como se muestra en la Figura 22.

Esta tendencia resulta contraria a lo previsto por la ley de mezclas empleada, basada en los módulos de elasticidad de los materiales constituyentes. Para la combinación 8020F, con un valor de 441,66 MPa, el valor experimental obtenido tuvo un margen de error del 19,7% con respecto al valor esperado de 550 MPa. Sin embargo, al aumentar la fracción de refuerzo a 30 y 50% se esperaba un aumento en el valor del módulo de Young, caso contrario a lo valores obtenidos, con 255,94 MPa y 166,79 MPa respectivamente. Este comportamiento es debido a la unión y adhesión entre fases del material compuesto, dado que el material matriz es un polímero termoestable hidrófobo, su capacidad de adhesión con fibras naturales, como las fibras de colágeno dentro de la viruta de cuero, es baja como lo mencionan algunos autores (Aziz et al., 2005; Giehl et al., 2024; K. Li et al., 2015; Wu, 2014). Dicha tendencia también fue observada por Ramaraj con el material ABS como material matriz, disminuyendo aproximadamente el 50% de su módulo de Young con una fracción en peso de 0,15 de viruta de cuero (Ramaraj, 2006). De igual manera el tamaño de la viruta afecta el rendimiento de esta propiedad del material, teniendo que la combinación de 7030G presentó un 63,76% del valor de 7030F, y en el caso de 8020G fue del 89,52% con respecto a 8020F, demostrando que una mayor fracción de refuerzo implica mayor afectación del material al modificar su tamaño. Estas diferencias concuerdan con otras referencias bibliográficas en las que se indican que tener una relación de tamaño alta del refuerzo de viruta de cuero afecta negativamente las propiedades (Nazir et al., 2025).

Figura 21.

Gráfica módulo de Young vs % de refuerzo fino

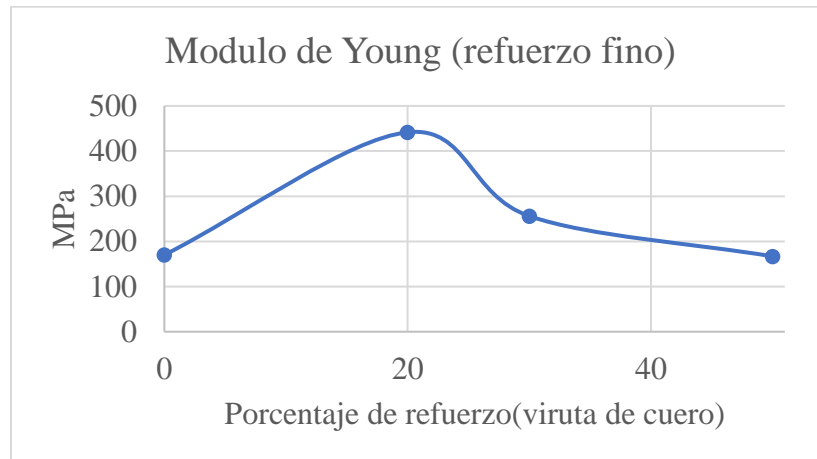
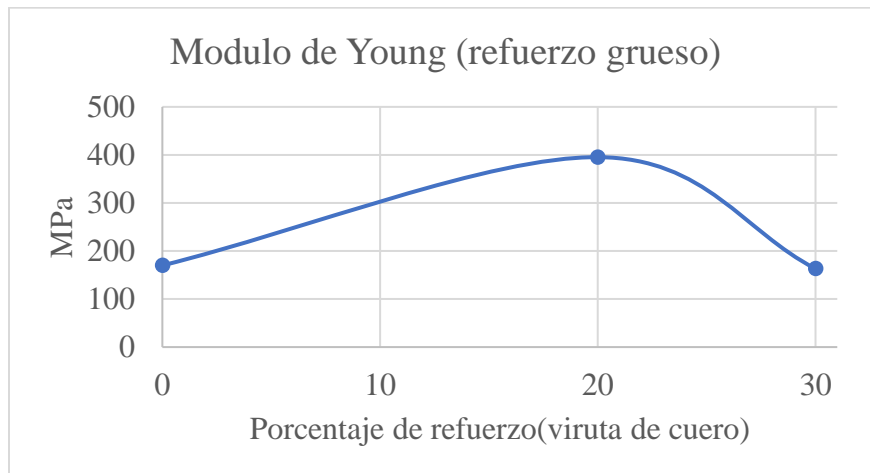


Figura 22.

Gráfica módulo de Young vs % de refuerzo grueso



En la deformación a la fractura se observó un comportamiento similar al S_u tanto en refuerzo grueso como fino, tal como se presentan en las figuras Figura 23 y Figura 24 , en donde la combinación 7030F obtuvo una deformación 55% menor que la combinación 7030G, caso contrario en las muestras 8020 que a mayor tamaño de refuerzo disminuyó su deformación en un 8%, sin embargo, se observa que la muestra 7030G mostró una desviación estándar mayor, por lo

cual indica que pudieron existir anomalías en algunas muestras que favorecieran una mayor deformación provocadas por la fabricación manual del material.

Figura 23.

Gráfica de porcentaje de elongación vs % de refuerzo fino

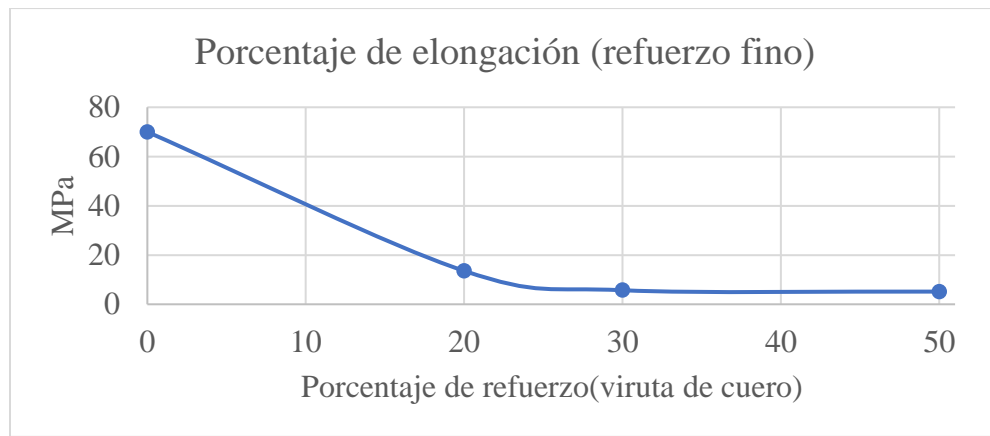
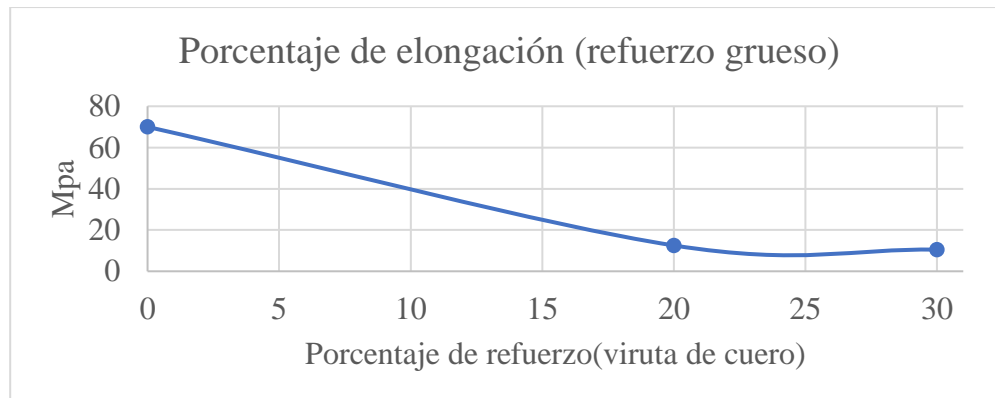


Figura 24.

Gráfica de porcentaje de elongación vs % de refuerzo fino



En la mayoría de los resultados en los ensayos de tracción se evidenciaron desviaciones estándares elevadas, estas variaciones fueron causadas principalmente por la fabricación manual tanto del material como de las probetas.

En aspectos generales la combinación 8020F mostró propiedades más similares a los valores de control seleccionados, obteniendo un valor de S_u un 55% mayor, un módulo de Young 10% menor y una deformación unitaria 92% mayor. Adicionalmente presentó un S_y similar al observado en la salpa 2 con un 4% de diferencia.

4.2 Ensayo de desgarro

En la tabla 8 y tabla 9 se observan los resultados obtenidos para la fuerza de desgarro en las distintas formulaciones del material compuesto que evidencian una tendencia creciente conforme se incrementa la proporción de viruta. En particular, las composiciones de 8020 alcanzaron los valores más elevados, 13,72 N/mm para viruta gruesa y 14,61 N/mm para viruta fina, siguiendo la tendencia que muestra la literatura, demostrando que una menor concentración de refuerzo favorece la resistencia al desgarro (Nazir et al., 2025). Además, las formulaciones con viruta gruesa demostraron una ligera superioridad respecto a las de viruta fina, sugiriendo que el tamaño del refuerzo contribuye favorablemente a la contención de propagación de grieta. La desviación estándar relativamente baja en estas mediciones indica una buena reproducibilidad y consistencia de los resultados.

Tabla 8.

Resultados de pruebas de desgarro de salpas comerciales

Salpa	Resistencia al desgarro (N/mm)
1	13,25 ± 2,19
2	21,71 ± 2,37
3	27,08 ± 4,3

Tabla 9.

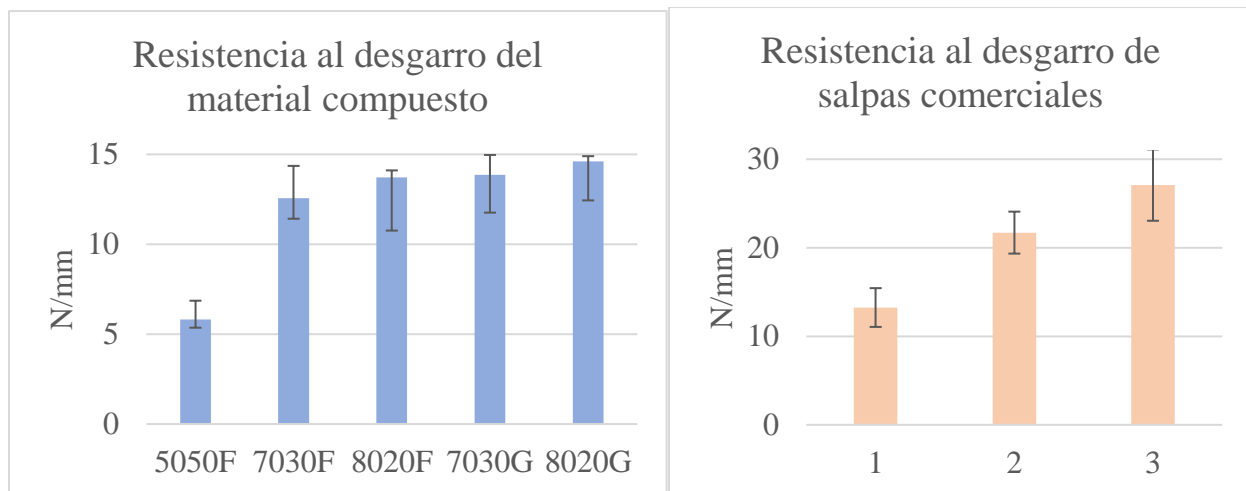
Resultados de resistencia al desgarro del material compuesto

Probetas	Resistencia al desgarro (N / mm)
5050F	5,82 ± 1,04
7030F	12,56 ± 1,80
7030G	13,86 ± 1,11
8020F	13,2 ± 0,39
8020G	14,61 ± 0,29

Al comparar el material compuesto con las salpas comerciales, estas últimas presentan una fuerza de desgarro promedio superior, alrededor de 20 N/mm. La formulación 8020G destaca como la más competitiva, alcanzando el 73% de esta resistencia promedio de las salpas comerciales, estando un 63,3% por debajo de los valores del valor de control, seguida por la combinación 8020F con un 60,8%.

Figura 25.

Gráficas de barras de resistencia al desgarro del material compuesto y salpas comerciales



4.3 Ensayo de dureza

En los resultados de ensayos de dureza, que se recopilan en las tablas 9 y 10, las salpas comerciales muestran un comportamiento similar a los ensayos de tracción en donde predomina la salpa 1 con una dureza de 80,8 shore D, que es un valor significativamente mayor a comparación de salpas 2 y 3.

Tabla 10.

Resultados de pruebas de dureza en las salpas comerciales

Salpas	Dureza Shore D
1	80,8 ±1,2
2	43,1 ±0,8
3	55,8 ±1,7

Tabla 11.

Resultados de dureza shore D en material compuesto

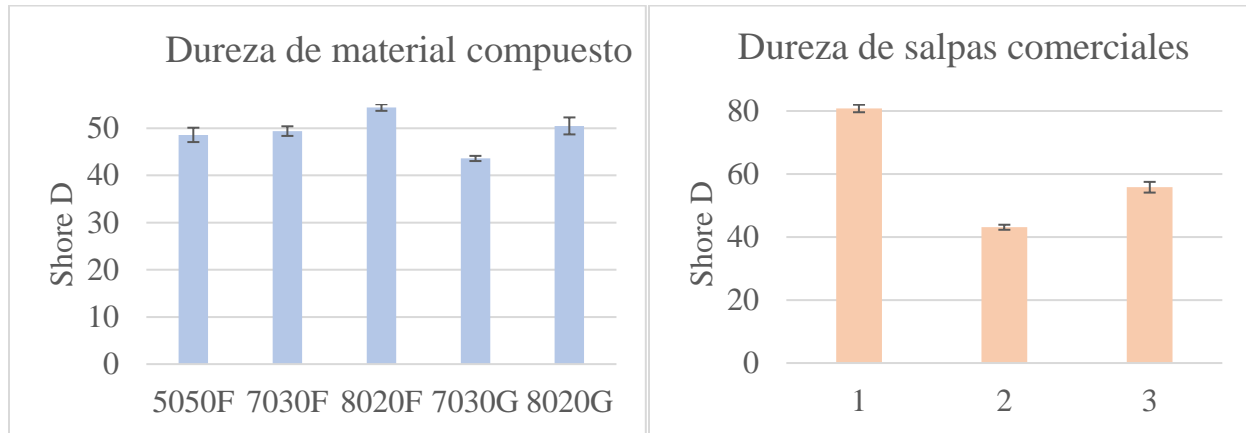
Probeta	Dureza Shore D
5050F	48,6 ± 1,52
7030F	49,4 ± 1,02
8020F	54,4 ± 0,70
7030G	43,6 ± 0,55
8020G	50,5 ± 1,80

Las combinaciones del material compuesto exhiben una tendencia similar a sus propiedades de esfuerzo último, mostrando valores máximos y mínimos de 43,6 Shore D para 7030G y 54,4 Shore D para 8020F, con un aumento de aproximadamente 10 puntos de dureza.

El aumento de la fracción de refuerzo favoreció a la disminución de la rigidez superficial del material, funcionando como un relleno flexible. El cambio el tamaño de refuerzo no fue una variable para el cambio significativo en la dureza del material compuesto, en las combinaciones de 7030 y 8020 se mantuvo una diferencia aproximada de 4,5 Shore D.

Figura 26.

Gráfica de barras de dureza Shore D de material compuesto y salpas comerciales



En general las combinaciones del material compuesto mostro una dureza menor en comparación con las salpas comerciales, sin embargo, la combinación 8020F, con 54,4 Shore D, se encuentra por encima de la salpa 2 un 26,23%, y con respecto a la salpa 3 con 2,5% por debajo, desatacando por su similitud y cercanía en términos de dureza.

En comparación directa con la salpa 2, la combinación 8020F demuestra un desempeño mecánico similar en aspectos clave. Su esfuerzo último de 9,48 MPa representa un incremento del 55% frente a los 6,11 MPa de la salpa 2, mientras que el límite elástico de 3,93 MPa es un 3,4% mayor que los 3,80 MPa del control, lo que denota su mayor capacidad de carga antes de la deformación plástica. Aunque su módulo de Young experimental de 441,7 MPa es un 10% inferior al valor de 490,7 MPa de la salpa 2, esta falencia en se ve compensada por una deformación unitaria de 13,58%, un 92% más que el 7,07% registrado en la salpa 2, aportando un equilibrio entre tenacidad y elasticidad. En los ensayos de desgarro, 8020F alcanzó 13,2 N/mm, equivalente al 61% de la resistencia de la salpa 2 (21,71 N/mm), lo cual, pese a ser menor, se presenta como el segundo valor más alto obtenido, seguido de 8020G por un 9,6%. Por último, en dureza Shore D, 8020F obtuvo 54,4, un 26% más que los 43,1 de la salpa 2, confirmando una superficie más

resistente a penetraciones. Este conjunto de propiedades valida la elección de 8020F como candidato principal para posteriores etapas de validación y optimización industrial.

5. Viabilidad financiera

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la recopilación de costos de materiales y costos energéticos de cada tipo de producción para su comparativa y determinación de viabilidad.

5.1 Producción artesanal a mediana escala

Los resultados financieros que se muestran en este apartado se obtuvieron luego de un estudio del proceso artesanal/experimental antes mencionado. En la Tabla 12 y la tabla 13 se muestran los precios unitarios de los materiales utilizados y su respectiva línea de producción para la fabricación de salpas para el comercio del calzado.

Tabla 12.

Costos de materia prima para producción de 1 m² de salpa de material compuesto

Materiales	Peso por lote		
	[kg]	Precio unitario [COP/kg]	Costo [COP]
Virutas de Cuero	0,045	0	\$0,00
Resina Cristalan 872	1,136	29.000	\$32.944
Cobalto	0,00568	140	\$0,7952
Catalizador	0,01704	252	\$4,294
Subtotal [COP/m ²]			\$32.949,1

Tabla 13.

Costos de línea de producción de 1 m² de salpa de material compuesto

Equipos	Tiempo estimado [hrs]	Potencia estimada [kW]	Consumo [kWh]	Costo [COP]
Primera unidad (Mezclado y moldeado)				
Mezclador	0,1714	0,94	0,1611	\$118,08
Bomba de vacío	0,057	11,2	0,6384	\$745,32
Segunda unidad (Prensado y secado)				
Prensa hidráulica	0,0357	11,11	0,3967	\$463,14
Tercera Unidad (Acabado)				
Pigmentadora	0,0257	23,69	0,61	\$712,16
Subtotal [COP/m ²]				\$2.038,7

En la tabla 12 se aprecia el peso utilizado de cada material para la fabricación de un metro cuadrado de salpas y el precio unitario en pesos por kg de material requerido en el comercio, teniendo así un subtotal solo en materiales de \$32.944 pesos, siendo la resina 872 el insumo de mayor impacto económico debido a su proporción de uso y su precio unitario. En la tabla 13 se aprecia el costo del proceso por el cual tiene que pasar la materia prima para tener un producto terminado, el consumo total de energía es aproximadamente 1,8062 kWh, lo que representa un costo por m² de salpa de \$2.038,7 pesos, siendo la bomba de vacío el equipo con mayor consumo energético. De esta manera se tiene un costo de fabricación por m² de salpa de \$34.987,8 pesos.

5.2 Producción industrial a gran escala

Para la producción industrial se tuvo en cuenta un procesado mayor que el de la producción artesanal, cabe aclarar que para esta producción se tienen en cuenta los costos de manejo de desechos generados por la producción de 1 m² de salpas (EMAB, 2025), asumiendo un 10% del peso total en desechos lo cual nos deja con 0.1 kg de desechos de cuero. Los resultados financieros

de este apartado se muestran en las tablas 14, 15 y 16, donde se pueden apreciar los costos materiales energéticos y de manejo de desechos de toda la producción.

Tabla 14.

Costo de materiales por m2 de salpa para producción industrial.

Materiales	Peso por plancha [kg]	Precio unitario [COP/kg]	Costo [COP]
Residuo de cuero	0,75	0	\$0,00
Pulpa celulosa	0,6	4.450	\$2.670,00
Resinas aglutinantes	0,12	45.310,6	\$5.437,27
Colorantes y engrasantes	0,03	13.100	\$3.930,00
Subtotal [COP/m ²]			\$12.037,27

Tabla 15.

Costos del proceso de fabricación por m2 de salpa.

Procesos	Tiempo estimado [hrs]	Potencia estimada [kW]	Consumo [kWh]	Costo [COP]
Refinado	0,33	1,1	0,3663	\$379,12
Raspado	0,17	22	3,74	\$3.870,90
Laminadora	0,17	55	9,35	\$9.677,25
Tanque de preparación	0,25	3	0,75	\$776,25
Tanque de alimentación	0,67	6	4,02	\$4.160,70
Refilado	0,333333	3	1,0	\$1.035,00
Subtotal [COP/m ²]				\$19.899,22

Tabla 16.*Costos del 10% de desechos generados por la producción de 1 m² de salpa*

Manejo de desechos	Costo [COP/ton]	Desechos generados [kg]	Costos por desechos [COP]
Costo de recolección y transporte	\$118.315,34	0,1	\$11.831,5
Costos de disposición final	\$32.742,00	0,1	\$3.274,2
Costo de tratamientos de lixiviados	\$8.815,00	0,1	\$881,5
Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos	\$10.400,00	0,1	\$1.040
Incentivo por ser relleno sanitario regional	\$4.468,00	0,1	\$446,8
Total			\$17.474

En la tabla 14, se aprecia el peso utilizado de cada material para la fabricación de un m² de salpa, que a comparación de la tabla 12, los materiales usados en la industria son diferentes por lo que hace variar el costo total de materiales, dando así \$12.037,27 pesos, siendo las resinas aglutinantes lo que más influye en el costo total, con esto se ve la diferencia de precios entre la resina utilizada en la industria y la utilizada en el proceso artesanal. En la tabla 15 se muestran los costos energéticos del proceso de fabricación siendo el costo total por m² de salpa de \$19.899,22 pesos, siendo el proceso de laminado el más costoso debido a la potencia utilizada por la maquinaria. Teniendo así un costo total para la producción industrial de \$31.936,49. En la tabla 16 se observan los costos por los manejos de desechos en Bucaramanga, Santander, teniendo un total de \$17.474 pesos, siendo los costos de recolección y transporte el más caro, costando \$11.831,5 pesos debido al costo tan elevado por tonelada de desechos.

5.3 Comparación de costos y análisis de viabilidad

En este apartado se presenta la comparación entre los costos de producción por metro cuadrado de material generado de los dos escenarios: artesanal e industrial. En la tabla 17 se observan los costos totales de producción para estos dos escenarios.

Tabla 17.*Costo total por cada tipo de producción*

	Costo total de materiales	Costo total energético	Costo total por desechos	Total
Producción artesanal	\$32.949,1	\$2.038,7	-	\$34.987,8
Producción industrial	\$12.037,27	\$19.899,22	\$17.474	\$49.410,49

El costo total por metro cuadrado en el artesanal fue de \$34.987,8 pesos y en el escenario industrial de \$49.410,49 pesos, lo que quiere decir que la producción industrial es aproximadamente 41% más costosa, esto debido netamente al costo por el manejo de desechos, ya que quitando este el costo de producción industrial por m² de salpa sería de \$31.936,49 pesos.

6. Conclusiones

Los resultados de los ensayos mecánicos indican que la formulación 8020F presenta un esfuerzo último de 9,48 MPa, un 55 % superior al de la salpa 2 (6,11 MPa), y una deformación a la fractura de 13,58 %, un 92 % mayor que la de la salpa 2 (7,07 %). El módulo de Young experimental para 8020F fue de 441,7 MPa, apenas un 10 % inferior al valor de control (490,7 MPa) y con una desviación del 19,7 % respecto al valor predicho por la ley de mezclas. En el ensayo de desgarró, 8020F alcanzó 13,2 N/mm, manteniendo una desviación estándar reducida, y en dureza Shore D obtuvo 54,4, un 26 % por encima de los 43,1 de la salpa 2. Estos datos sugieren que, frente a la salpa 2, la combinación 8020F ofrece un equilibrio entre resistencia, rigidez y capacidad de deformación adecuado para futuras etapas de validación y aplicación.

Al analizar las tendencias frente al porcentaje de viruta, se observó un aumento del módulo y del esfuerzo último hasta aproximadamente 20 % de refuerzo fino, seguido de una reducción al incrementar la fracción de viruta, mientras que en refuerzo grueso la disminución de propiedades siguió un comportamiento lineal. Estas variaciones apuntan a una interacción débil entre la matriz poliéster y las virutas de cuero que amerita un estudio más detallado en intervalos adicionales de porcentaje de refuerzo para obtener con certeza un punto óptimo más acertado.

La incorporación de acoplantes heterofuncionales (DIH + HEA) se perfila como una vía para mejorar la adhesión interfásica y optimizar las propiedades mecánicas del material fabricado (K. Li et al., 2015).

El análisis comparativo de costos demuestra una diferencia en términos aprovechamiento de residuos sólidos, ya que la producción artesanal es aproximadamente 30% más económica por metro cuadrado producido. Esto debido al monto a pagar por el manejo de estos residuos sólidos, el cual es ahorrado en este proceso.

La resina aglutinante es el insumo más costoso en ambos escenarios, representando más del 90% del costo de los materiales. Esto sugiere que la viabilidad del proceso depende en gran

parte de la selección adecuada de este y de las estrategias para reducir su costo, como compras a escala.

El proceso artesanal es viable debido a la reutilización de los desechos que genera el procesado del cuero, sin embargo por lo visto en las tablas se puede apreciar que si comercialmente las industrias reutilizaran estos residuos no habría manera de que la alternativa sea competitiva, ya que la proporción de resina utilizada industrialmente es muy pequeña en comparación a la utilizada en este proyecto, y siendo esta la más influyente en el costo de materia prima, nos deja en una posición de buscar un producto mas económico o la utilización de menos proporción de esta resina.

Referencias

- ASTM International. (2014). *ASTM D638-14: Standard test method for tensile properties of plastics*. <https://doi.org/10.1520/D0638-14>
- ASTM International. (2020). *ASTM D624-00(2020): Standard test method for tear strength of conventional vulcanized rubber and thermoplastic elastomers*. <https://doi.org/10.1520/D0624-00R20>
- ASTM International. (2021a). *ASTM D2240-15(2021): Standard test method for rubber property—Durometer hardness*. <https://doi.org/10.1520/D2240-15R21>
- ASTM International. (2021b). *ASTM D2209-00(2021): Standard test method for tensile strength of leather*. <https://doi.org/10.1520/D2209-00R21>
- ASTM International. (2023). *ASTM D4704-13(2023): Standard test method for tearing strength (tongue tear) of leather*. <https://doi.org/10.1520/D4704-13R23>
- Aziz, S. H., Ansell, M. P., Clarke, S. J., & Panteny, S. R. (2005). Modified polyester resins for natural fibre composites. *Composites Science and Technology*, 65(3–4), 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2004.08.005>
- Cabrera Pérez, L. T., & Pinzón Pérez, L. J. (2013). Diagnóstico, análisis y propuesta de mejora ambiental y administrativa, presentada a la empresa curtiembres Alexandra en el barrio San Benito-Bogotá [Tesis de pregrado no publicada]. Escuela Colombiana de Carreras Industriales.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.

Canodiy. (s.f.). MTS. Cuero o Salpa 0,6 mm color negro (Referencia R-13613). Recuperado el 4 de mayo de 2025, de <https://www.canodiy.es/cuero-regenerado/1822-R+13613-9999999006821.html>

Casa Ferretera. (2025). Silicona Afix Pegadit acética, 50 mL [Página web]. Casa Ferretera. Recuperado el 4 de mayo de 2025, de <https://www.casaferretera.com/silicona-afix-pegadit-acetica-50ml-trans/p>

Colombia Productiva. (2019). *Infografía del sector sistema moda (textiles, confecciones, cuero, calzado y marroquinería)* [Infografía]. Colombia Productiva. Recuperado el 4 de mayo de 2025, de <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-capacita/publicaciones/pactos-por-el-crecimiento/pacto-por-el-crecimiento-y-para-la-generacion-8/infografia-sistema-moda-29-11>

CTS España. (2021). *Pulpa de papel ARBOCEL®* [Página web]. CTS España. Recuperado el 4 de mayo de 2025, de <https://shop-espana.ctseurope.com/339-pulpa-de-papel-arbocel>

ESSA Santander. (2025). *Tarifas junio 2025* [PDF]. ESSA. Recuperado el 4 de mayo de 2025, de <https://www.essa.com.co/site/Portals/0/documentos/mi-factura/tarifas/2025/Tarifa%20Junio%202025.pdf>

Euroinnova. (2025). *Materiales de la ingeniería*. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de <https://www.euroinnova.com/blog/materiales-de-la-ingenieria>

Faster Capital. (2025). *¿Qué es la viabilidad financiera?* Recuperado el 31 de agosto de 2025, de <https://fastercapital.com/es/contenido/Que-es-la-viabilidad-financiera.html>

Ferdinand, B. (2010). *Mecánica de materiales* (5.^a ed.). McGraw-Hill.

Flores, H. A., Retamar, J. C., Orué, S., Lacoste, A., & Pérez, L. (2009). *Virutas de cuero: Obtención de un adhesivo como sustituto de materiales ureicos* [Ponencia]. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Free-zone. (2025). *Pigmento Negro Carbono, 30 ml*. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1423324605-pigmento-negro-carbono-30ml-JM>

Giehl, D., Hansen, É., Robinson, L. C., & de Aquim, P. M. (2024). Reusing finished leather waste to produce pigmented thermoplastic polyurethane composite. *Collagen and Leather*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s42825-024-00149-7>

Groover, M. P. (2017). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (6.^a ed.). McGraw Hill.

Importmercado. (s. f.). *¿Qué es el cuero regenerado?* Recuperado el 31 de agosto de 2025, de <https://importmercado.com/cuero-regenerado>

Shore, E. (s. f.). *Dureza Shore explicada*. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de <https://es.shore.com/dureza-shore-explicada>

Infinita Ingeniería. (s. f.). *Ensayo de tracción: qué es y cómo se realiza*. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de <https://www.infinitaingenieria.com/ensayo-de-traccion>

Kar, K. K. (2017). *Handbook of composite materials: Processing, applications, characterizations*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0951-5>

Li, C., Li, R., Lyu, P., Wang, Y., Zhang, C., Dai, F., & Liu, X. (2021). The fabrication of thermoplastic polyurethane/leather powder composite film with excellent mechanical

property. *Composites Communications*, 25, 100694.

<https://doi.org/10.1016/j.coco.2021.100694>

Li, K., Qiu, R., & Liu, W. (2015). Improvement of interfacial adhesion in natural plant fiber-reinforced unsaturated polyester composites: A critical review. *Reviews of Adhesion and Adhesives*, 3(1), 98–120. Scrivener Publishing LLC.

<https://doi.org/10.7569/RAA.2015.097301>

Martinez Buitrago, S. Y., & Romero Coca, J. A. (2017). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: Un análisis de su competitividad. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 26(1), 83–101. <https://doi.org/10.18359/rfce.2357>

Medina Ninacondor, K. E., Aguilar Franco, J. A., & Villegas Alvarez, J. (2019). Diseño de una propuesta de una planta industrial para el aprovechamiento de residuos sólidos del proceso de curtido (Artículo profesional). *Nexo Revista Científica*, 32(01), 75–87. <https://doi.org/10.5377/nexo.v32i01.7989>.

Morgan, E. (s. f.). Sustainable leather management: Cleaner production and circular economy in practice. Blog. Recuperado de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624001374>

Nazir, M. U., Mascolo, R., Bouic, P., Hassan, M. M., Harris, J., Naderizadeh, S., Busfield, J. J. C., Zhang, H., Papageorgiou, D., & Bilotti, E. (2025). Upcycling leather waste: The effect of leather type and aspect ratio on the performance of thermoplastic polyurethane composites. *Sustainable Materials and Technologies*, 43, e01221.

<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01221>



- Ngoc Chau TM DV Import Export Company Limited. (s. f.). Leather waste recycled leather scraps for regenerated leather. *Alibaba*. Recuperado de <https://www.alibaba.com/product-detail/>
- Ramaraj, B. (2006). Mechanical and thermal properties of ABS and leather waste composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 101(5), 3062–3066. <https://doi.org/10.1002/app.24113>
- Rodríguez, A. (2020, June 29). *El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal*. <https://www.servosis.com/el-modulo-de-young-o-modulo-de-elasticidad-longitudinal/>
- Sánchez Cepillo, D. I. (2011). Diseño óptimo de laminados en materiales compuestos: Aplicación del MEF y el método de las superficies de respuesta [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla]. Repositorio Biblos-e Archivo. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70238/>
- Sánchez, J., & Cortes, R. (2016). Evaluación de la viruta de cuero generada en el proceso de rebaja [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle].
- SENA. (2019). *Materiales de refuerzo*. <https://xn--mypequeotaller-wnb.com/wp-content/uploads/2021/03/Materiales-de-refuerzo-2.pdf>
- Shang Kai Steel Co., Ltd. (2025). *Tipo general / Soluciones de Malla Metálica Expandida de Alta Calidad – Certificado ISO*. <https://www.sksteeltw.com/es/product/general-type.html>
- Stupenengo, F. (2011). Materiales y materias primas: Materiales compuestos (Capítulo 10, Guía didáctica). Ministerio de Educación de la Nación – Educ.ar – INET.
- Wu, C. S. (2014). Mechanical properties, biocompatibility, and biodegradation of cross-linked cellulose acetate-reinforced polyester composites. *Carbohydrate Polymers*, 105(1), 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.062>

Apéndices

Apéndice A.

Primera página de la ficha técnica de la resina CRISTALAN 872

Ficha técnica

CRISTALAN® 872

Resina poliéster insaturado isoftálica de alta flexibilidad

DESCRIPCION

CRISTALAN® 872 es una resina isoftálica flexible, diseñada para modificar resinas isoftálicas rígidas y algunas resinas ortoftálicas y tereftálicas. Su uso favorece la disminución de la fragilidad en los sistemas reforzados con fibra de vidrio.

APLICACIONES

Sus usos más frecuentes están en la fabricación de moldes de PRFV donde se sugieren adiciones de CRISTALAN® 872 del 15% y en la fabricación de modelos de PRFV hasta del 50%. Otros usos se presentan en el encapsulado de piezas para la industria eléctrica o electrónica y en aplicaciones decorativas, artesanías y vaciados grandes, que no requieren resistencia estructural, donde se puede aplicar aún sola.

ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LÍQUIDA

Propiedad	Unidad	MIN	MAX	Método
Apariencia	Líquido amarillo transparente			ASTM D2090
Viscosidad Brookfield ⁽¹⁾	cP	600	800	ASTM D2196
Sólidos	%	66	70	ASTM D1259
Tiempo de gel @ 25°C (2)	min	14	17	ASTM D2471
Tiempo de máxima exotermia ⁽²⁾	min	30	40	ASTM D2471
Temperatura de máxima exotermia ⁽²⁾	°C	85	105	ASTM D2471
Estabilidad	meses		6	

(*) Métodos internos de evaluación adaptados a las normas ASTM listadas.
 (1) Viscosidad Brookfield a 25°C. Viscosímetro RVF, aguja 2, 20 rpm, 1 mm.
 (2) Evaluación de reactividad a 25°C: 100 g de CRISTALAN® 872, más 0.5 ml. de Secan 706 (Cobalto al 6%), más 1.0 ml. de MEKP Norox® 9.

RECOMENDACIONES DE USO

Debido a que la resina es no pre-acelerada, se deben emplear promotores de curado como el octoato de cobalto en conjunto con el iniciador MEKP. Es indispensable tener la precaución de no mezclar el cobalto con el MEKP porque se genera una explosión que puede ser fatal. Primero se debe agregar el promotor a la resina, garantizar la homogeneidad y luego adicionar el MEKP.

Para curado a temperatura ambiente entre 20 y 25°C se sugiere la siguiente formulación:

	Partes en peso (phr)
CRISTALAN® 872	100
Estireno	---
Octoato de Cobalto (Co 6%)	0.2 a 0.5
MEK peróxido (9 % oxígeno activo)	1 a 3

(1) La cantidad exacta de Estireno depende de la viscosidad final deseada según la aplicación.

Dado que esta resina se utiliza para modificar otras resinas de poliéster insaturado, se deben tener presente los requerimientos de curado para el sistema final.

FORMA DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO

La resina CRISTALAN® 872 puede reemplazar hasta 20%, en peso de una resina isoftálica CRISTALAN®. El porcentaje de sustitución depende de las características finales que se desean obtener.

La resina se debe mezclar muy bien con la resina a modificar. Se sugieren mezcladores neumáticos o mecánicos con conexión a tierra. Esta operación no se debe hacer con aire a través porque se puede contaminar el sistema con agua o aceite de la línea.


La modificación con CRISTALAN® 872 a la resina base, no impide el uso de aditivos especiales, como pregeles para impartir tixotropía, pastas pigmento CRISTALAN® o la pasta retardante al fuego CRISTALAN® 190.

Colombia: ANDERCOL
 Planta Medellín: Carrera 64A # 15 - 36
 Planta Bucaramanga: Carrera 60 # 15 - 36
 Planta Cartagena: Zona Industrial Mariscal
 Edificio 11 de Prosperidad
 ☎ + 57 (31) 447 38 60

Ecuador: Petroquim
 Petrolero Industrial Interoceano
 Av. 13 de Octubre
 ☎ + 593 (41) 373 18 80

Brazil: Novopol
 Av. São Roque, 1000
 Av. São Roque, 1000 - Vila São Roque
 São Paulo - SP
 ☎ + 55 (11) 5072 1000

México: ANDERMEX
 Planta Km 1.1 Autopista Alamosa
 San Nicolás de los Ríos, Jalisco
 CP 39008 Alamosa
 San Nicolás, México DL
 ☎ + 52 (333) 229 01 19



RESPONSABILIDAD INTEGRAL
 C.A.S. S. de R.L.

Apéndice B.

Segunda página de la ficha técnica de la resina CRISTALAN 872

Ficha técnica




Se deben hacer pruebas previas con las mezclas de resinas y los aditivos agregados antes de implementar la producción a nivel industrial, con el fin de validar su curado, el desempeño mecánico y químico del sistema.

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Sin reforzar)⁽¹⁾

Propiedad	Método ⁽¹⁾	Sistema Internacional		Sistema Inglés	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
Tensión					
Esfuerzo	ASTM D638	MPa	15	psi	2176
Módulo	ASTM D638	GPa	0.17	kpsi	25
Deformación	ASTM D638	%	70.0	%	70.0
Otras propiedades					
HDT @ 1.82 Mpa ⁽²⁾	ASTM D648	°C	9	°F	48

(*) Métodos internos de evaluación adaptados a las normas ASTM listadas.
 (1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.
 (2) Esta propiedad fue medida en DWA Q800 con norma adaptada según la ASTM D648.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

La información detallada para el manejo seguro de este material se encuentra en la Hoja de Seguridad de Materiales. Andercol S.A.S mantiene permanentemente actualizada la información de las hojas de seguridad de todos sus productos. Se recomienda antes de la manipulación de este producto consultar todos los detalles encontrados en dicho documento.

La resina CRISTALAN® 872 está clasificada como "líquido inflamable" según código NFPA 30 (división 3.3.25.2), por tener un punto de inflamación de 31°C en crisol cerrado. Debe mantenerse alejado de llamas abiertas.

Esta resina tiene un tiempo de vida equivalente a seis (6) meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando esté almacenada en un lugar fresco, libre de rayos de sol directo, a una temperatura menor de 25 °C. Se suministra en tambores metálicos de 230 kg.

Fecha actualización: 01/07/2021
Versión: V5

Limitación de responsabilidades:

- Los datos contenidos en este documento, están basados en nuestros conocimientos y experiencias actuales.
- Este documento no constituye un contrato o promesa de calidad, aplicación, desempeño y resultado final del uso del producto, los cuales dependen de su correcta aplicación según lo determinan las reglas del arte, por lo que el cliente no está exonerado de realizar sus propias validaciones y pruebas a efectos de verificar el comportamiento.
- La garantía de calidad del producto se dará únicamente al momento de la venta según las especificaciones técnicas de este documento.
- Nos reservamos el derecho de cambiar la composición del producto y los datos de esta publicación, incluyendo pero sin limitarse a dibujos, fotografías, datos, coeficientes, pesos, opiniones, recomendaciones de uso, características y sugerencias, en el ámbito del progreso técnico o nuevos desarrollos y no constituyen una garantía expresa o tácita de la idoneidad o aptitud del producto para un propósito particular.

Colombia: Andercol
 Planta Medellín: Carrera 64A N° 95 - 84
 Planta Barbosa: Carrera Gordiano - Páez Km 4
 Planta Cartagena: Zona Industrial Nacional
 El Estero 11 vía Teacualúa
 ☎ +57 301 647 50 40

Ecuador: Poliquim
 Parque Industrial Primavera
 Km. 7.3 vía Daule
 ☎ +593 041 373 18 30

Brazil: Novosol
 Av. São Rodrigues, 8800,
 Km. 04, São João del-Rei, MG,
 Brasil
 Unidade: Novosol
 WhatsApp: +55 31 3211 1188
 ☎ +55 31 3211 1188

México: ANDERMEX
 Planta Km. 43 Autopista Atlix
 San Miguel nuevo punto industrial
 CP 39044 Atlix, Puebla
 Telmex: México D.F.
 ☎ +52 3633 229 01 19

Empresa afiliada a

