

# Agglomerated materials based on residual leather from the footwear industry: Study of tensile strength, absorption and shrinkage.

Elva Olortiga Ortíz<sup>1</sup> ; Rosa Silva Aliaga<sup>1</sup> ; César Arévalo-Aranda, Dr<sup>2</sup> ; Aldo Castillo Chung, MSc<sup>3</sup> ; José Albán Palacios, Dr<sup>4</sup> ; Alexander Vega Anticona, Dr<sup>5</sup> ; Danny Chávez Novoa, MSc<sup>5\*</sup> .

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Trujillo-Perú, [Isabel\\_capricornio\\_92@hotmail.com](mailto:Isabel_capricornio_92@hotmail.com), [ekatherineo49@gmail.com](mailto:ekatherineo49@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte, Perú, [cesar.arevalo@upn.edu.pe](mailto:cesar.arevalo@upn.edu.pe)

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [alrocas@unitru.edu.pe](mailto:alrocas@unitru.edu.pe)

<sup>4</sup>Departamento de Física, Universidad Nacional de Piura, Perú, [jalbanp@unp.edu.pe](mailto:jalbanp@unp.edu.pe)

<sup>5</sup>Departamento de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [avega@unitru.edu.pe](mailto:avega@unitru.edu.pe), [dchavez@unitru.edu.pe](mailto:dchavez@unitru.edu.pe)

\*Corresponding author: [dchavez@unitru.edu.pe](mailto:dchavez@unitru.edu.pe) Av. Juan Pablo s/n, Phone +51949790880

*Abstract– In the present investigation, leather waste from the footwear manufacturing industry was used to make polymer-bound compounds. The objective of this work was to find the most appropriate leather and polymer mixtures that achieve the best physical-mechanical properties for possible use in applications in the leather-footwear sector. For this purpose, the effect of the type of binder polymer (polyester resin (RP), polyurethane (PU) and urea-formaldehyde (UF)) and the polymer/leather mass ratio (70/30; 80/20 and 90/10) on tensile strength, linear shrinkage and absorption were studied. In addition, the influence of the average leather particle size (0.840mm; 2mm and 4.76mm) and the leather/PU volume ratio (70/30, 80/20 and 90/10) on the tensile strength were studied. For the process of elaboration of study specimens with constant thickness, the manual hydraulic pressing method was used using an open steel mold and 8 tons of force.*

*From the results obtained in the agglomerates with different polymers, it was determined that the PU allows obtaining the highest values of tensile strength, achieving a value of 9.5 MPa at a vol. ratio of 90/10 PU/leather. While the 70/30 UF/leather mix achieved the lowest tensile strength with a value of 1.7 MPa. Regarding moisture absorption, the highest value of 129% was obtained for the 70/30 UF/leather combination, while the minimum absorption of 5% was presented in the 90/10 PU/leather compound. For linear contraction, the lowest levels were obtained in the 70/30 PU/leather compound, while the highest values were identified in 90/10 RP/leather agglomerates.*

*In the case of the agglomerated compounds of leather and PU, it was determined that for the 90/10 leather/PU ratio, the tensile strength tends to increase as the particle size becomes smaller. However, for the 70/30 and 80/20 ratios, the behavior is inverse, but the highest mechanical tensile strength (6.02 MPa) was obtained in test tubes with 70/30 leather/PU and 4.76 mm particle size of recycled leather.*

**Keywords:** agglomerate, residual leather, footwear, polyurethane, polymeric compounds

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Materiales aglomerados a base de cuero excedente de la Industria del calzado: Estudio de la resistencia a la tensión, absorción y contracción.

Elva Olortiga Ortíz<sup>1</sup> ; Rosa Silva Aliaga<sup>1</sup> ; César Arévalo-Aranda, Dr<sup>2</sup> ; Aldo Castillo Chung, MSc<sup>3</sup> ; José Albán Palacios, Dr<sup>4</sup> ; Alexander Vega Anticona, Dr<sup>5</sup> ; Danny Chávez Novoa, MSc<sup>5\*</sup> .

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Trujillo-Perú, [Isabel\\_capricornio\\_92@hotmail.com](mailto:Isabel_capricornio_92@hotmail.com), [ekatherineo49@gmail.com](mailto:ekatherineo49@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte, Perú, [cesar.arevalo@upn.edu.pe](mailto:cesar.arevalo@upn.edu.pe)

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [alrocas@unitru.edu.pe](mailto:alrocas@unitru.edu.pe)

<sup>4</sup>Departamento de Física, Universidad Nacional de Piura, Perú, [jalbanp@unp.edu.pe](mailto:jalbanp@unp.edu.pe)

<sup>5</sup>Departamento de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [avega@unitru.edu.pe](mailto:avega@unitru.edu.pe), [dchavez@unitru.edu.pe](mailto:dchavez@unitru.edu.pe)

\*Corresponding author: [dchavez@unitru.edu.pe](mailto:dchavez@unitru.edu.pe) Av. Juan Pablo s/n, Phone +51949790880

**Resumen**– En la presente investigación se utilizó excedentes de cuero provenientes de la industria manufacturera de calzado para elaborar compuestos aglomerados con polímeros. El objetivo de este trabajo fue encontrar las mezclas de cuero y polímero más adecuadas que consigan las mejores propiedades físico-mecánicas para su posible empleo en aplicaciones del sector cuero-calzado. En esta perspectiva se estudió el efecto del tipo de polímero aglomerante resina poliéster (RP), poliuretano (PU) y urea-formaldehído (UF) y de la relación masa de polímero versus cuero (70/30; 80/20 y 90/10) sobre la resistencia a la tracción, contracción lineal y absorción de humedad. Además, se estudió la influencia del tamaño promedio de partícula de cuero (0.840mm; 2mm y 4.76mm) y de la relación en volumen de cuero/PU (70/30; 80/20 y 90/10) sobre la resistencia a la tracción. Para el proceso de elaboración de probetas de los compuestos aglomerados a espesor constante se usó el método de prensado hidráulico manual usando un molde abierto de acero y 8 toneladas de fuerza.

De los resultados obtenidos en los aglomerados con diferentes polímeros, se determinó que el PU permite obtener los mayores valores de resistencia a la tracción consiguiendo un valor de 9.5 MPa a una relación vol., de 90/10 de PU/cuero. En tanto que la mezcla 70/30 de UF/cuero consiguió la menor resistencia a la tracción con un valor de 1.7 MPa. En cuanto a la absorción de humedad se obtuvo el mayor valor de 129 % para la combinación UF/cuero 70/30, mientras que la mínima absorción de 5% se presentó en el compuesto 90/10 de PU/cuero. Para la contracción lineal, los niveles más bajos se obtuvieron en el compuesto PU/cuero 70/30, en tanto los más altos fueron identificadas en probetas de RP/cuero 90/10.

En cuanto a los compuestos aglomerados de cuero y PU, se determinó que para la relación 90/10 cuero/PU, la resistencia a la tracción tiende a aumentar conforme el tamaño de partícula se hace más pequeño. No obstante, para las relaciones 70/30 y 80/20 el comportamiento es inverso, sin embargo, la mayor resistencia mecánica en tracción (6.02 MPa) se obtuvo en probetas con 70/30 cuero/PU y 4.76 mm de tamaño de partícula de cuero reciclado.

**Palabras clave:** compuesto polimérico, cuero, calzado,

poliuretano, aglomerado.

## I. INTRODUCCION

La palabra cuero proviene del latín *curium* que significa piel de animal curtida. Una de las grandes aplicaciones del cuero es la manufactura de calzado [1].

La producción y comercialización de calzados de cuero es una actividad económica que crece principalmente al ritmo de la población de las grandes ciudades. En los últimos años la competitividad de este sector se ha visto comprometida por la importación de productos de calzado de bajo costo proveniente principalmente del mercado chino que representa la principal amenaza para el sector calzado peruano, por lo que es necesario generar un cambio en torno al mejoramiento a través de la innovación, nuevas tecnologías, moda, y aumento de la productividad [2]. Además, el costo elevado del cuero peruano, hace necesario pensar el aprovechamiento de los residuos que genera los recortes y excedentes de cuero que genera la industria del sector manufacturero de calzado [3]. La industria manufacturera del calzado se vería beneficiada con un insumo innovador mediante un proceso productivo con el uso de tecnologías limpias generando un cuero recuperado para un uso final como falsas o plantillas para calzados de seguridad industrial, que servirá para la mejora de su competitividad y rentabilidad en el mercado [4].

En la manufactura del calzado quedan retales de cuero que no son aprovechados como posible materia prima y generan contaminación ambiental debido a los innumerables procesos de acondicionamiento por los que han pasado las pieles de animales para convertirse en una materia prima durable y resistente, lo que lo hace un material duradero y por tanto no biodegradable, pues se sabe que esta demora algo más de cien años en degradarse, por lo que la contaminación continúa en el tiempo [5]. La tecnología ha avanzado a pasos agigantados, igualmente la preocupación del ser humano por el medio ambiente ha generado una conciencia que no se había

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

visto con anterioridad. Es un hecho cierto que la ciudad de Trujillo - Perú es productora de calzado y que la misma no es suficiente para atender la demanda interna, en virtud a que debe atender compromisos en el exterior; consecuente con lo anterior el desperdicio de material es abundante, además que no existe una política de protección ambiental en cuanto al reciclaje del cuero sobrante, y mucho menos sitios adecuados para guardarlos, máxime se tienen en cuenta que son elementos que no se descomponen a mediano plazo, además que contaminan el ambiente. Una alternativa de reúso de estos sobrantes es mezclándolas con aglomerantes poliméricos como adhesivos.

Los aglomerantes adquieren esa cualidad de forma inherente o por medio de una reacción química. Tradicionalmente se han clasificado en cuatro grupos: aéreos, hidráulicos, hidratos y químicos. Estos últimos endurecen como consecuencia de una reacción química como las resinas poliéster (RP), poliuretanos (PU), urea-formaldehídos (UF), etc., que son fáciles de trabajar, fácilmente disponibles, tienen costos razonables y buenas propiedades adhesivas [6, 7].

El cuero aglomerado es una clase de cuero elaborado a partir de mezclar virutas de desechos de pieles curtidas mezcladas con otros materiales plásticos o textiles que da como resultado un material con algunas propiedades inferiores a la del material original. Nike ha presentado un cuero aglomerado denominado *Flyleather* constituido por 50 % de cuero reciclado y el resto por fibras poliéster y las emplea en la fabricación de algunas zapatillas siendo más ligero y más resistente que el cuero tradicional [8, 9]. Se ha elaborado un material aislante aprovechando la baja conductividad térmica del cuero, y el poder adhesivo de las “colas” producto de la hidrólisis del colágeno; generando un material aglomerado, utilizando como carga las virutas y como adhesivo los productos de la reacción [10]. Otros investigadores han evaluado las condiciones de operación de presión (100 y 150 kg/cm<sup>2</sup>) y temperatura de curado (70 y 80°C) para obtener láminas de cuero recuperado con un aglomerante polimérico consiguiendo resistencia a la tracción de hasta 5.50 MPa, resistencia al desgarre de hasta 694 N, nivel de compresibilidad entre 10 y 20% y hasta 18% de absorción de agua. También se han desarrollado tableros aglomerados a base fibras de pino con cuero y UF como polímero aglomerante consiguiendo resistencias mecánicas a la tracción perpendicular de 0.40 MPa [11].

El aspecto más importante de ésta investigación es recuperar el valor de aquel desecho utilizándolo como constituyente principal para la fabricación de un material aglomerado que podría ser empleado dentro de esta industria en plantillas o falsas de calzado o en otras industrias como el de la arquitectura en elementos decorativos; para ello se pretende conseguir un material compuesto a base de viruta de cuero recuperado aglomerándolo con tres tipos de resinas poliméricas: RP, UF y PU en diferentes proporciones en masa, y también mediante el estudio del efecto del tamaño de partícula en una mezcla de aglomerante cuero/PU, todo ello

con el fin de encontrar las mejores propiedades en cuanto a resistencia mecánica, capacidad de absorción y nivel de contracción.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales empleados

Se emplearon 3 polímeros aglomerantes: PU a partir de dos componentes (A y B) proporcionado por Silika moldes e insumos. Resina poliéster ortoftálica líquido de uso general preacelerada con cobalto. Se empleó urea de uso agrícola y formol al 40% proporcionado por Dropaksa para formar UF.

### B. Secuencia experimental

Se prepararon compuestos de cuero particulado mezclándolo con 3 tipos de resinas: PU, PE y UF a diferentes relaciones masa polímero/cuero de 70/30, 80/20 y 90/10 manteniendo fija el tamaño promedio de partícula de cuero en 2 mm. Para este grupo de mezclas se estudió la influencia del tipo de polímero y de la relación masa aglomerante/cuero sobre la resistencia a la tracción, el porcentaje de absorción y la contracción lineal.

Por otro lado, se prepararon mezclas con relación vol., cuero/PU a 70/30, 80/20 y 90/10 empleando distintos tamaños promedio de partículas de cuero de 0.48 mm; 2 mm y 4.76 mm. En este grupo de probetas se investigó la influencia del tamaño de partícula y de la relación volumen de cuero/PU sobre la resistencia a la tracción de los aglomerados compuestos.

1) *Disposición y acondicionamiento del cuero:* Se consiguieron excedentes de cuero provenientes de residuos generados de las empresas productoras de calzado de la provincia de Trujillo-Perú. Se trituró el cuero en molino de cuchillas y luego de ello se procedió a separar y clasificar el material mediante una caracterización granulométrica para determinar el rango de tamaño de partículas. Para el grupo de probetas con diferentes tipos de polímero y relación masa polímero/cuero se seleccionó y usó aquellas partículas de 2 mm de tamaño promedio que sean retenidas por malla N°8 (Fig. 1). En tanto para aquellas probetas a diferentes tamaños de partículas de cuero, se emplearon tamices granulométricos malla N. 16 (0.480 mm), malla N. 8 (2 mm) y malla N. 4 (4.76 mm).



Fig. 1. Selección granulométrica del cuero particulado.

2) *Preparación y caracterización de resinas poliméricas:* Las resinas poliméricas fueron caracterizadas mediante puntos

de gelificación. Se evaluó las cantidades necesarias y adecuadas de los componentes que permitan lograr un tiempo de curado adecuado para la reacción y un correcto moldeo del compuesto aglomerado.

3) *Mezclado y moldeo*: El cuero y el polímero fueron mezclados en cantidades pre-establecidas hasta consistencia uniforme, asegurando la dispersión de las partículas de cuero. Luego se vertió y distribuyó la mezcla dentro de un molde de acero según el tipo de probeta a obtener (Fig. 2), todo ello teniendo en cuenta el tiempo de gelificación del polímero. El moldeo fue realizado mediante compresión en una prensa hidráulica manual usando una presión de compactación de 8 toneladas. La Tabla I indica las cantidades empleadas de los aglomerantes poliméricos en cada sistema de mezcla con el cuero.

TABLA I  
CANTIDAD DE COMPONENTES EMPLEADOS PARA LA POLIMERIZACIÓN DE LOS POLÍMEROS AGLOMERANTES

Sistema	Cantidades de componentes
RP/cuero	RP polimerizado con 10% estireno y 1% MEK.
PU/cuero	PU polimerizado en 50/50 vol., de componentes A y B.
UF/cuero	UF obtenido con 30 g. úrea /20 ml formol (40%).

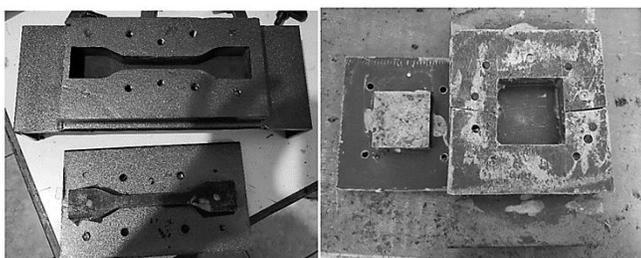


Fig. 2. Moldes de acero para la elaboración de probetas para ensayo de tracción y absorción y contracción lineal.

4) *Curado*: Luego del moldeo se realizó un curado posterior a 60°C por 24 horas en una estufa para asegurar la polimerización completa del aglomerante en las probetas mediante calentamiento (Fig. 4a).

5) *Ensayo de tracción*: El ensayo se llevó a cabo utilizando un equipo Zwick/Roell SP-600, donde las probetas de compuestos aglomerados a base de cuero tuvieron forma y dimensiones de acuerdo a la norma ASTM D2209, además fueron sometidas a esfuerzo de tracción incremental siguiendo las contemplaciones de la misma norma (Fig. 3).

6) *Ensayo de absorción de agua estática*: De acuerdo con la norma ASTM D6015 se realizó el ensayo para determinar la capacidad de absorción de agua en probetas de 60 x 60 mm<sup>2</sup>, sumergiendo las probetas en agua destilada a 23°C por un periodo de 24 horas.

7) *Ensayo de contracción lineal*: Se midieron las dimensiones finales de las probetas de compuestos aglomerados luego del post curado y solidificación. Luego, por comparación de las dimensiones de los moldes se pudo determinar el porcentaje de contracción lineal en probetas

moldeadas con dimensiones preliminares de 60 x 60 mm<sup>2</sup>. (Fig. 4b)

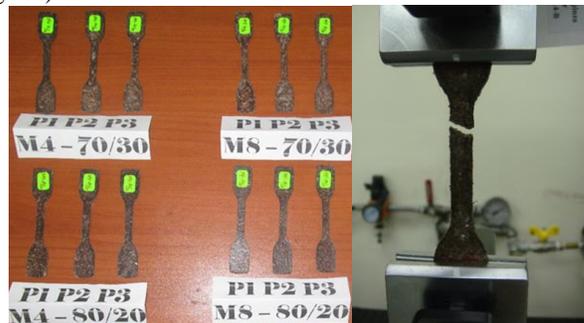


Fig. 3. Probetas y ensayo de tracción de los aglomerados compuestos.



Fig. 4. (a) Post curado de probetas cuadradas. (b) Medida de dimensión final para ensayo de contracción.

8) *Análisis estadístico*: Se realizó un análisis de varianza efectuado a un nivel de confianza del 95%.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 1. Caracterización de materia prima

Las resinas poliméricas utilizadas como aglomerantes fueron caracterizadas sobre el tiempo que tardan en llegar a la condición de gelificación como medida en la que desarrollan la polimerización y tienden a aumentar la viscosidad que causa el entrecruzamiento molecular. Los resultados del tiempo de gelificación de los polímeros aglomerantes se muestran en la Tabla II.

TABLA II  
TIEMPOS DE GELIFICACIÓN DE POLÍMEROS AGLOMERANTES

Aglomerante	Tiempo, min
RP	11.3
PU	16.7
UF	25.1

#### 2. Ensayo de tracción

La Fig. 5 muestra los valores de resistencia a la tracción de las probetas de aglomerados compuestos con diferentes aglomerante y relación aglomerante/cuero. Se puede observar que la mayor resistencia se alcanzó en los aglomerados obtenidos con PU a una relación de 90/10 con un valor de 9.5 MPa lo que representa un incremento del 70% de la resistencia en comparación con el conseguido con el mismo sistema polímero/cuero a relación 70/30. Por otro lado, se identificó que los valores más bajos de resistencia se presentaron en los aglomerados con UF y relación de 70/30 con un valor de 1.7

MPa. En la misma figura se puede notar una tendencia a incrementar la resistencia mecánica conforme la relación polímero/cuero aumenta desde 70/30 a 90/10 principalmente en los aglomerados elaborados con polímeros de PU y de UF.

Es importante resaltar que la literatura científica reporta valores de resistencia mecánica en tracción mayores a 15 MPa en materiales hechos exclusivamente con polímeros de PU, RP o UF [12-14]. Los valores de resistencia mecánica a tracción alcanzados en los aglomerados de esta investigación fueron menores a los reportados en la literatura para los materiales 100% poliméricos del que fueron usados. Es por ello que la resistencia mecánica de tracción de los materiales aglomerados fue afectada por factores difíciles de controlar como la viscosidad del polímero, la capacidad del polímero de impregnar completamente al cuero, la adhesión del cuero con el polímero, el nivel de compactación alcanzado, además de la uniformidad de toda la mezcla para conseguir un producto lo más compacto posible.

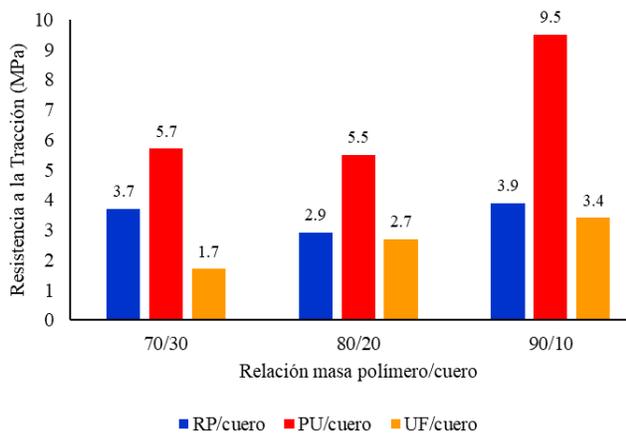


Fig. 5. Resistencia a tracción de aglomerados de cuero con RP, PU y UF a diferentes relaciones masa.

Los mayores valores de resistencia mecánica alcanzada en los sistemas PU/cuero y UF/cuero en relación 90/10 es por causa de la presencia de mayor cantidad de polímero usado en las mezclas. Esto permite una mayor facilidad de alcanzar una condición uniforme en el mezclado, haciendo posible con ello una mejor impregnación y penetración polimérica que mediante presión consigue una mejor aglomeración de partículas de cuero, propiciando un moldeo más efectivo. Esta mejor impregnación del polímero en las partículas de cuero favorecería la interacción física-química en la interface propiciando mejor unión adhesiva y menor proporción de defectos incorporados durante la etapa del moldeo por prensado [15]. Las menores resistencias mecánica (5.5MPa – 5.7 MPa) alcanzada en las muestras de PU/cuero 70/30 y 80/20 se deba posiblemente a que en ambas mezclas la cantidad de PU no haya sido lo suficiente para alcanzar circundar e impregnar totalmente al cuero. Como puede observarse en imágenes de estereoscopia de la Fig. 6 la mayor cantidad de PU circundan con mayor facilidad las partículas

de cuero, haciendo que el compuesto aglomerado tenga unas propiedades que estén influenciadas principalmente por las propiedades del PU que está en mayor cantidad. Una razón importante de la obtención de una menor resistencia mecánica alcanzada en los aglomerados con RP y con UF es por la fragilización que pudo haber generado microgrietas y/o tensiones residuales que resultaron durante la polimerización en cada uno de estos polímeros tal y como la reporta Richardson & Lokensgard (2000) en la que estos polímeros tienen una baja energía de impacto Izod como el caso el caso específico de UF que comprende valores de 0.0125 J/mm - 0.13 J/mm en comparación con la del PU que tiene una energía de impacto izod mayor a 0.25 J/mm.

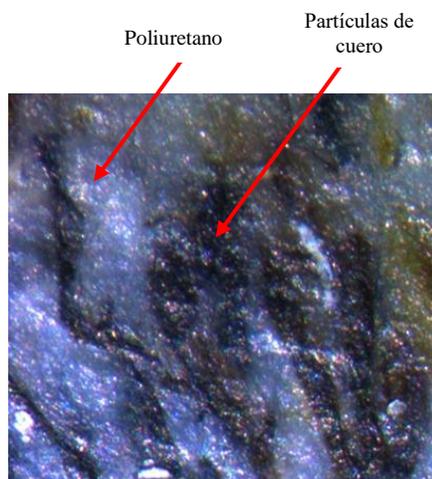


Fig. 6. Imagen de estereoscopia a 5X para muestra 90/10 poliuretano/cuero.

La resistencia para el PU usado para suelas exteriores de calzado usualmente recae entre 10 MPa - 15 MPa [16, 17]; con ello se puede decir que el mayor valor de resistencia alcanzada de 9.5MPa en este trabajo con PU/cuero a 90/10 resulta tener un valor que se aproxima al mínimo requerido para suelas de calzado que requiere que tenga un mínimo de 12 MPa para ser empleado como suelas exteriores [17]. A pesar que este valor de resistencia mecánica mayor alcanzada en este trabajo no sería tan apropiado para suela exterior, si podría ser empleada para plantillas de montaje, falsas y protección de membranas porque estarían incorporadas en la parte intermedia y no requieren las propiedades de aquellas expuesta hacia el exterior al contacto con el piso.

En la Fig. 7 se muestra los valores promedios de la resistencia a la tracción para los aglomerados únicamente preparadas con PU y partículas de cuero de diferentes tamaños a diferentes relaciones en volumen cuero/PU. De esta figura se puede observar que los mejores valores de resistencia a la tracción en los aglomerados se presentaron para una relación volumen cuero/PU de 70/30 con un tamaño de partícula de 4.76 mm obteniéndose de esta manera una resistencia máxima de 6.02 MPa en tanto que el mínimo valor conseguido fue para la relación 90/10 a igual tamaño de partícula de cuero consiguiendo con ello una resistencia mecánica de 3.1 MPa.

Según la Figura 4.3 la reducción del tamaño de partícula de cuero repercute desfavorablemente en la resistencia mecánica de tracción en la relación 70/30 vol., la cual es la que comprende la mayor cantidad de polímero aglomerante del conjunto de muestras estudiadas en esta investigación. Quiere decir que para la relación 70/30 que emplea la mayor cantidad de PU (30%), su resistencia mecánica disminuye conforme se reduce el tamaño de partícula del cuero. Esto infiere que el PU a 30% vol., permite impregnar, adherir y compactar partículas con mayor facilidad si éstas son más grandes en tamaño y menor en cantidad de partículas, que si estas partículas fueran más pequeñas en tamaño y en cantidades de partículas mucho más grande. Lo anterior puede justificarse si se considera que un tamaño de partícula menor y en cantidades de partículas mucho mayor tendrá una mayor área superficial al cuál hay que impregnar y para conseguirlo se requerirá mayor cantidad de polímero en comparación a la de la misma muestra de cuero si esta estuviera constituida de partículas más grandes en tamaño y en cantidades de partículas inferiores.

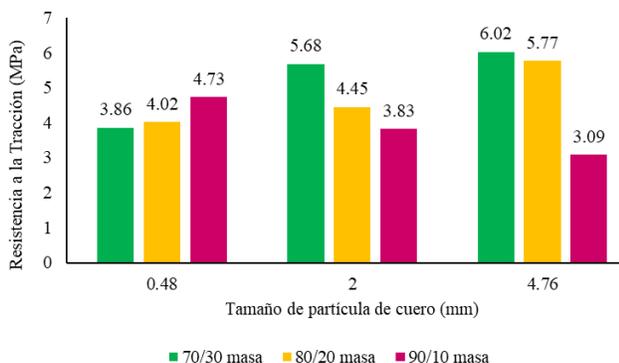


Fig. 7. Resistencia a la tracción de aglomerados de PU y cuero con diferentes tamaños de partícula a diferentes relaciones volumen de cuero/PU.

### 3) Ensayo de absorción

A fin de conseguir un material aglomerado que absorba la menor cantidad posible de humedad, en la Fig. 8 se presentan los valores promedios del ensayo de absorción de los aglomerados de cuero elaborados en esta investigación.

Los datos indican que para todos los sistemas polímero/cuero, la mayor absorción se presenta cuando la relación es de 70/30 masa la que contiene la mayor cantidad de cuero en las mezclas de todas las muestras elaboradas, mientras que las relaciones 90/10 masa al tener menor cantidad de cuero, éstas absorben la humedad en menores porcentajes. De acuerdo con estos resultados se puede apreciar que el mayor porcentaje de absorción se consigue en aglomerados UF/cuero 70/30 masa con un valor de 129 %. En tanto, la absorción más baja se presentó en los materiales aglomerados PU/cuero 90/10 masa, presentando un valor promedio de 5%.

Los polímeros generalmente tienen un nivel de absorción muy bajo. La literatura reporta que el PU tiene una absorción de 0.02% - 0.5%, la RP una absorción de 0.05% - 0.5% y la absorción de la UF es 0.4 % - 0.8% [18-20]. Es por ello que el

causante de la absorción de humedad en los materiales estudiados es la presencia del cuero que aun cuando está en forma de partículas de 2 mm de tamaño, tiene una naturaleza microfibrrosa la que en caso no haya sido completamente sellada por el aglomerante polimérico pudiera permitir pasar y alojar humedad en los espacios libres entre aquellas partículas de cuero. Otra razón de la gran absorción es la condición de partículas pequeñas en el cuero que representa un área superficial mayor que provocaría mayor capacidad de retención de humedad [19]. Es por ello que al haber mayor proporción de cuero en un material aglomerado es de esperar que estas partículas puedan albergar mayor cantidad de agua de absorción. Se ha reportado en la literatura científica efectos similares acerca del aumento de la absorción de humedad cuando se aumenta la cantidad de cuero en mezclas con RP [20, 21] y también cuando se incrementa la cantidad de aserrín de madera que es mezclada con UF [13]. Esta propiedad es crucial para aplicaciones donde estos aglomerados compuestos se tuvieran que usar como componentes de calzados que estarían expuestos a humedad por el sudor del cuerpo, lluvias, etc., por lo que se pretende conseguir la mínima absorción para evitar el hinchamiento del material.

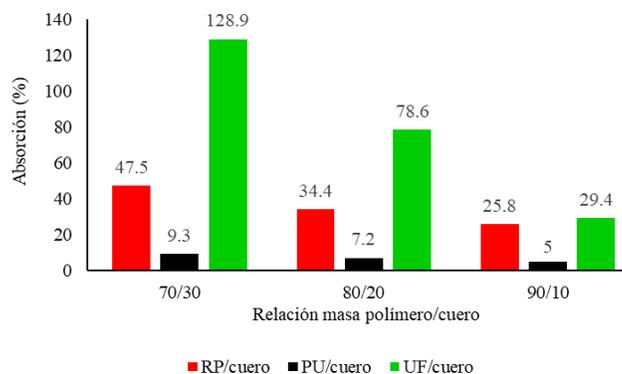


Fig. 8. Resultados del ensayo de absorción para cada sistema polímero/cuero a diferentes relaciones masa.

### 4) Ensayo de contracción lineal

La Fig. 9 muestra los resultados del ensayo de contracción lineal como una medida de la variabilidad dimensional de las muestras moldeadas, curadas y solidificadas. Según estos resultados, el sistema RP/cuero causó los mayores niveles de contracción, en tanto que el sistema PU/cuero generó pequeños niveles de contracción lo cual se busca en los productos moldeados. La mayor alteración dimensional se presentó a una relación de 90/10 masa en aglomerados RP/cuero con un valor de contracción de 11.5%. Algunos investigadores refieren que la RP puede causar una contracción volumétrica de hasta 8% [22-23]. Por otro lado, se manifiesta que se forma un entrelazamiento de cadenas moleculares con una rapidez significativa lo que hace solidificar intensamente en función a la proporción de catalizador y ello puede inducir a una alta contracción del material [24-25].

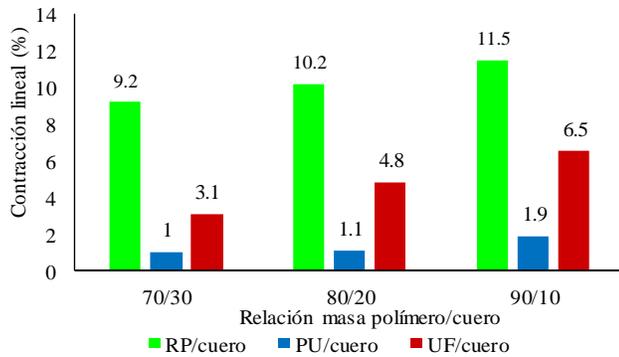


Fig. 9. Contracción lineal a diferentes relaciones masa de polímero/cuero.

La contracción es mayor cuando se incrementa la relación polímero/cuero por la cantidad cada vez mayor de polímero presente en la mezcla. Los aglomerantes utilizados en esta investigación solidifican por curado y cuando alcanzan su estado final densifican generando una contracción dimensional. Es por ello que mayores niveles de contracción experimentarán los aglomerados que tengan mayor proporción de polímero.

#### IV. CONCLUSIONES

De esta investigación se puede concluir:

El tipo de aglomerante polimérico que resultó ser el más apropiado para los compuestos aglomerados fue el poliuretano que permitió alcanzar resistencia a la tracción con valores de 9.5 MPa en una relación masa 90/10. En tanto que los mejores resultados de absorción, debiendo ser el menor posible, se consiguieron en compuestos con el mismo polímero y misma relación masa consiguiéndose un valor de 5%. Sin embargo, los compuestos aglomerados a una relación masa 70/30 del mismo sistema poliuretano/cuero fueron los que consiguieron la mínima contracción lineal con un valor de 1% el más bajo valor conseguido entre todas las muestras estudiadas en esta investigación. Este valor de contracción lineal de 1% no dista mucho de lo conseguido para el mismo sistema poliuretano/cuero, pero a una relación masa 90/10 cuyo valor es 1.9% de contracción.

La condición más favorable para conseguir las mejores propiedades de los aglomerados compuestos estudiadas en esta investigación es el sistema poliuretano/cuero y relación masa 90/10 en tanto que un tamaño de partícula muy pequeño resultó ser perjudicial para la resistencia mecánica quedando la mejor opción la de 4.76 mm.

Esta investigación permitió obtener un material aglomerado como una alternativa de aplicación de los excedentes residuales de cuero proveniente de la fabricación de calzado. De esta manera se les brinda valor agregado a estos desechos de tal forma de permitir al sector cuero y calzado de la región y del país mejorar la productividad y competitividad desde sus materias primas.

- [1] M. S. Pires Costa, «CALÇADO MASCULINO: Integração entre o design e o processo de produção,» UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2015.
- [2] Dirección de Investigación, Desarrollo, Innovación y Transferencia Tecnológica, «BOLETÍN DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA,» Instituto Tecnológico de la Producción-Ministerio de la Producción del Perú, 15 mayo 2018. [En línea]. Available: [https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/CCAL\\_001-2018.pdf](https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/CCAL_001-2018.pdf). [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [3] S. M. Velásquez Restrepo y J. Castro Corrales, «Identificación de factores de éxito para el sector cuero, calzado y marroquinería en Colombia, usando metodología Delphi: análisis estructural y juego de actores,» *Informador Técnico*, vol. 77, n° 2, pp. 136-146, 2013.
- [4] L. G. Segundo Paredes, «Situación actual de la producción de cuero de calzado en las Mype del Perú,» PUCP, Lima, 2020.
- [5] T. Martínez Wilchez y K. V. Parada Tellez, «Análisis de la generación de residuos de cuero en los procesos de producción del sector calzado y marroquinería del área metropolitana de cúcuta,» UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL, Cúcuta-Colombia., 2020.
- [6] C. J. Aguas-Díaz, J. P. Llanga-Cantuña, C. D. Vazco-Silva y V. G. Acosta-Coba, «Chonta natural fiber and polyester resin matrix in automotive internal parts,» *KOINONIA*, vol. 6, n° 11, pp. 180-198, 2021.
- [7] L. Jaramillo-Zapata y I. Patiño-Arcila, «Selection of Unsaturated Polyester Resins for Closed Resin Transfer Moulding Processes,» *Rev. Tecno Lógicas*, vol. 1, n° 28, pp. 109-127, 2012.
- [8] Instituto Tecnológico de la Producción, «Innovador sistema para fabrical suelas,» CITECCAL, Lima, 2017.
- [9] FY20 NIKE, Inc. Impact Report, «BREAKING BARRIERS,» Purpose Nike, 01 junio 2019. [En línea]. Available: <https://purpose-cms-preprod01.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2021/03/30191542/FY20-NIKE-Inc.-Impact-Report1.pdf>. [Último acceso: 17 09 2022].
- [10] J. Vega-Baudrit, M. Sibaja-Ballester, M. E. Hernández-Hernández y P. Alvarado-Aguilar, «Síntesis y caracterización de redes elastoméricas de poliuretano utilizado en la elaboración de calzado: Estudio de la relación estructura-propiedad,» *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 7, n° 2, pp. 99-112, 2006.
- [11] J. Alarcón castro, J. C. Briede Westermeyer, C. Di Bartolo y C. Droggett Castillo, «Valorización de cuero de vacuno residual de manufactura de calzado, como estrategia sustentable para la elaboración de tableros de pinus radiata en Bio Bio Chile,» *Interciencia*, vol. 40, n° 2, pp. 138-144, 2015.
- [12] J. L. Perales Alcacio, «Desarrollo y evaluación biomecánica de plantillas de poliuretano usadas en calzado de seguridad,» CIATEC, León-Guanajuato, 2010.
- [13] K. Ejiogu Ibe, O. Odiji Mary, O. Ayejagbara Mosunmade, N. B. Shekarri Tachye y U. Ibeneme, «Mechanical Properties of Urea Formaldehyde Particle Board Composite,» *American Journal of Chemical and Biochemical Engineering*, vol. 2, n° 5, pp. 10-15, 2018.
- [14] D. Hernández Falagán, «Poliéster armado con fibra de vidrio en la obra de Tous y Fargas,» *Informes de la Construcción*, vol. 69, n° 546, p. e196, 2017.
- [15] N. Goncalves Garcia, E. A. Prado dos Reis, E. Roque Budenberg, D. L. da Silva Agostini, L. Oliveira Salmazo, F. Camargo Cabrera y A. E. Job, «Natural rubber/leather waste composite foam: A new eco-friendly material and recycling approach,» *Applied Polymer Science*, vol. 132, n° 41636, pp. 1-10, 2014.
- [16] M. I. Hasan, T. Rashid y M. S. Arefin, «An Analysis on the Sustainability of Different Outsole Materials During Shoe Flexing Using FEA Method,» de *International Conference on Mechanical, Industrial and Materials Engineering*, Rajshahi, Bangladesh, 2016.

- [17] R. Karkalic, J. Radulovic y D. Jovanovic, «Characteristics of polyurethane and elastomer parts for shoe industry producee by liquid injection molding thecnology,» *VOJNOTEHNIČKI GLASNIK / MILITARY TECHNICAL COURIER*, vol. 65, n° 4, pp. 948-967, 2017.
- [18] Richardson & Lokensgard, *Industria del Plástico: plástico Industrial*, España: Paraninfo, 2000.
- [19] L. González Hernández, «Elastómeros termoestables y termoplásticos,» de *Ciencia y Tecnología de los materiales poliméricos*, Madrid, CSIC, 2007, pp. 247-277.
- [20] G. Wypych, *Handbook of Polymers*, Toronto: ChemTec Publishing, 2016.
- [21] M. A. Hashem y S. Nur-A-Tomal, «Tannery Solid Waste Valorization Through Composite Fabrication: A Waste-to-Wealth Approach,» *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 37, n° 5, pp. 1-5, 2018.
- [22] A. Arias, «Estudio de materiales compuestos de cuero recuperado aglomerados con resina polimérica,» PUCP, Lima, 2013.
- [23] K. Ravichandran y N. Natchimuthu, «Natural Rubber - Leather Composites,» *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 15, n° 2, pp. 102-108, 2005.
- [24] I. A. Moujдин, H. S. Totah, H. A. Abulkhair, A. O. Alsaiani, A. A. Shaiban y H. A. Organji , «Development of Low Shrinkage Curing Techniques for Unsaturated Polyester and Vinyl Ester Reinforced Composites,» *Materials*, vol. 15, n° 2972, pp. 1-18, 2022.
- [25] A. Gaitán, G. Fonthal y H. Ariza-Calderón, «Production and physical properties of agglomerates of *Pennisetum purpureum* schum, *Philodendron longirrhizum* and *Muse acuminata*,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 25, n° 1, pp. 5-11, 2016.