

## Análisis de la resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja para elaborar sombreros de fieltro

<http://doi.org/10.53358/ideas.v6i2.961>

Luis Chamorro Ortega<sup>1</sup>, Willam Esparza Encalada<sup>1</sup>, Betty Jaramillo Tituaña<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

<sup>2</sup>Instituto Superior Tecnológico Tena, Tena, Ecuador

*lchamorro@utn.edu.ec, wresparza@utn.edu.ec, betty.jaramillo@itstena.edu.ec*

*Fecha de envío, septiembre 28/2023 - Fecha de aceptación, diciembre 8/2023- Fecha de publicación, julio 15/2024*

**Resumen:** La investigación para obtener no tejido de lana de oveja (NWW) para la aplicación en sombreros de fieltro, inicia desde el lavado de la lana de oveja (SW) se centrifuga y seca al ambiente, luego se abre y mezcla SW en la máquina abridora y mezcladora (O) para obtener una homogenización con promedio de fibra 40mm, a continuación ingresa a la máquina carda (C) consiguiendo alinear las fibras en dirección de máquina (MD) y dirección contraria (CD) enrollado capa sobre capa sobre un cono con forma adecuada en grosor y tamaño. Posteriormente se coloca en una plancha vibradora (VP) al que ingresa vapor a 120o C desde un caldero de vapor (SB) hacia la capa de SW, se amasa y frota con movimientos circulares de vaivén para compactar y enfieltrar formando el NWW colocando al ambiente y secando con diferentes formas y tamaños. Los datos encontrados se analizaron mediante el software Past 4 y tienen una confiabilidad del 95% ( $P>0,05$ ), llegando a la conclusión que su elongación (E) MD y CD tienen promedios de 59,56 y 58,27% respectivamente, en resistencia a la tracción (TS) 335,846 Newton en MD y 392,218 Newton en CD, resaltando más la energía a la rotura (EB) con 20052,36 Joules en MD y 21951,38 Joules en CD cuando se aplica una fuerza.

**Palabras Clave:** Lana, no tejido, sombrero.

**Abstract:** The research to obtain non-woven sheep wool (NWW) for application in felt hats begins with the washing of sheep wool (SW), which is then centrifuged and air-dried. Next, SW is opened and blended in the opening and mixing machine (O) to achieve homogenization with an average of 40mm. It is then processed in the carding machine (C) to align the fibers in the machine direction (MD) and cross direction (CD), and then it is rolled layer by layer onto a properly sized and shaped cone. Subsequently, it is placed on a vibrating plate (VP) where steam at 120°C is introduced from a steam boiler (SB) onto the SW layer. It is kneaded and rubbed with circular reciprocating movements to compact and felt, forming the NWW. Finally, it is left in the open air to dry with various shapes and sizes. The data obtained were analyzed using Past 4 software and have a 95% reliability ( $P>0.05$ ). The conclusion reached is that the elongation (E) in MD and CD has averages of 59.56% and 58.27%, respectively. The tensile strength (TS) is 335.846 N in MD and 392.218 N in CD, with greater energy at break (EB) being observed at 20,052.36 joules in MD and 21,951.38 joules in CD when force is applied.

**Keywords:** Wool, non-woven, hat.

## Introducción

El análisis de la resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja es fundamental para la elaboración de sombreros de fieltro de alta calidad. La resistencia a la tracción se refiere a la capacidad del material para soportar tensiones y estiramientos, mientras que la elongación mide la capacidad del material para estirarse sin romperse. Estos parámetros son importantes para garantizar la durabilidad y calidad del sombrero de fieltro final, puesto que un material que no cumple con estas características podría romperse o desgastarse fácilmente. En este sentido, el análisis de la resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja es crucial para seleccionar los materiales adecuados y asegurar la producción de sombreros de fieltro de alta calidad y durabilidad.

La viabilidad en las industrias depende de poder crecer y fabricar productos de calidad provenientes de la lana de una manera más respetuosa posible con el ambiente, según la organización internacional textil de lana (TWTO), que ha adoptado el estándar de etiqueta ecológica de la UE como eco-lana, con los niveles de producción estándar de lana; se asumió que los genotipos de ovejas, "carne" tenían un peso de vellón limpio de 3,2 y 4,0 kg [7].

Analizando en conjunto se encuentran 19 razas de ovejas de lana gruesa en todo el mundo, los patrones de mezcla de razas de ovejas probablemente se deben a la expansión de los nómadas y a través de la red de comercio de la Ruta de la Seda [15]. La característica de la lana juega un papel importante en la determinación de su precio, si la lana no cumple con requisitos como el diámetro de la fibra, la longitud de la fibra y la fuerza de la fibra, significa que los agricultores recibirán precios más bajos [27]. Las propiedades de tensión son importantes para la fibra de lana, debido a su efecto directo sobre las propiedades mecánicas de los hilos y telas, la lana merino convencional (CM), y la de Australian Soft Rolling Skin (SRS), no existe una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a la rotura mientras el alargamiento de rotura promedio es ligeramente mayor para SRS (37%) que CM (34%), y SRS (2,38 GPa) tiene un módulo más bajo que CM (2,53 GPa) [25].

Los atributos de la fibra de lana, como el rizado (curvatura), la morfología de las escamas, la relación orto-córtex (OtC) y la recuperación de humedad, pueden tener una influencia significativa en el desempeño de la suavidad, la fibra SRS en comparación con (CM) y rangos de diámetro de fibra (por debajo de 14,5 micras, 16,5-18,5 micras) [26], comparados con otras fibras de lana Merino (18,5 a 20,5 micras), donde las más gruesas son con mayores valores [9].

Los productos industriales de fibras animales, como el cashmere y la lana, son altamente valiosos y a menudo se adulteran durante el marketing, por este motivo, la identificación de las fibras de cashmere y lana se realizan generalmente mediante la distinción de las características morfológicas de la superficie [12]. En la que, la producción de una oveja merina individual de lana está influenciada por las interacciones sinérgicas de la genética de las ovejas, el clima, el manejo de la granja y la nutrición disponible para todo el rebaño [21]. Para su aplicación la lana se mezcla con otras fibras para mejorar la comodidad, la protección, la durabilidad y las características de fácil cuidado, y para impartir una funcionalidad especial [13].

Con el aumento de la contaminación ambiental, ha aumentado la necesidad de explorar materiales compuestos amigables con el medio ambiente en previsión de un futuro sostenible [11], en el marco de la economía circular y del acuerdo verde, la valorización de la lana sucia para crear nuevos recursos con componentes aislantes en la construcción y diversidad de aplicaciones [17]. Como en esta investigación, donde el análisis térmico muestra la ganancia de conductividad del 40% al 52%, aumento la resistencia a la flexión del 30% al 74% y una disminución en la resistencia a la compresión del 48% al 71% [3]. Otra investigación con la inclusión de fibra de lana natural de oveja (SW) en la composición de un bloque de freno ferroviario y luego compararlo con un conjunto de tres fibras comúnmente utilizadas en la industria de materiales de fricción: fibra de aramida (AF), fibra de celulosa (CF) y fibra de poliacrilonitrilo (PAN), produjo mejores resultados que la celulosa [14]. Otra de las aplicaciones es de absorción de sonido, la lana de oveja se convierte en un material de aislamiento térmico satisfactorio con propiedades acústicas deseables en las propiedades acústicas y mecánicas del concreto del 0,5% al 2,5% de fibras de lana de oveja (WF) de desecho y WF modificadas (MWF) [2]. Además se elaboró un material compuesto utilizando papeles de desecho, cáscaras de avellanas, piñas y lana de oveja encontrando que la resistencia a la compresión es alta 32,8093 N/mm<sup>2</sup>, y la resistencia a la flexión más alta 6,352 N/mm<sup>2</sup> completamente respetuoso con el ambiente, biodegradable y de bajo costo a partir de residuos de biomasa [8].

Se desarrolló fieltros técnicos con lanas gruesas y finas, evaluando el aislamiento térmico, resiliencia y resistencia a la abrasión. Los resultados muestran que la lana gruesa en mezclas con lana fina en la proporción de 60:40 se puede utilizar para la preparación de fieltros técnicos [19]. Las fibras proteicas, incluyendo lana fibras, absorben selectivamente iones de metales preciosos; por lo tanto, pueden usarse potencialmente en aplicaciones de tratamiento de aguas residuales, mostró un rendimiento de adsorción de Pd(II) superior en comparación del tejido sin tratar, con una recuperación de Pd del 81% [1]. Además, con la lana se realiza accesorios hospitalarios con una resistencia a la tracción similar a la del fieltro de poliéster, una elongación superior a la del 100% algodón y mezcla, tensión de desgarro inferior, menor resistencia al deslizamiento y buena resistencia al pilling [20].

También se elaboró laminados híbridos de fieltro de fibra de vidrio/lana y se han fabricado a mano utilizando una resina epoxi y se han sometido a cargas de impacto de tracción, flexión y caída de peso hasta la penetración [6]. Como otras condiciones de obtención y caracterización de un fieltro de carbón activado, utilizando como precursor lana de oveja, los resultados revelaron una alta influencia de la temperatura de carbonización en las propiedades fisicoquímicas y texturales de los productos [18].

Se crearon composites de epoxy rellenos de fibras animales y revelaron que los composites de polímero con fibras animales no tejidas y punzonadas con agujas (N) muestran una buena adherencia interfacial entre la fibra y la matriz [11].

El proceso de resistencia al fieltrado o anti-fieltrado es un proceso de acabado para los productos de lana que garantiza la estabilidad dimensional del producto durante los procedimientos de lavado y limpieza, principalmente cubriendo o eliminando las escamas de la superficie de las fibras de lana [5]. Uno de los procesos iniciales para la formación del no tejido de lana de oveja es el proceso de carbonización de lana, que se utiliza tradicionalmente para depurar las fibras textiles de lana de residuos vegetales, desempeñando un papel clave en términos de calidad de los tejidos producidos [4]. Se toma en cuenta las características deseables del uso final de la lana, la propiedad de afieltrado se considera una propiedad

positiva y/o negativa de las fibras de lana, dado que la propiedad de fieltro se considera un indicador de calidad [24]. Con las aplicaciones industriales realizadas en diferentes campos, se pretende realizar un análisis de las propiedades de Resistencia a la tracción y elongación del no tejido de lana de oveja como una posible aplicación en la fabricación de sombreros, por ser un material maleable y muy fácil de otorgar formas en su aplicación.

## Metodología

El método aplicado en este tema se realizó mediante la investigación bibliográfica de información de los procesos de elaboración a partir de lana de oveja (SW) y elaborar no tejido de lana (NWW) con el propósito de caracterizar mediante las normas ISO 3801:1977: textiles-no tejidos- determinación de masa por unidad de longitud y masa por unidad de área. ISO 9073-3\_1989: parámetros de Resistencia a la tracción (TS) y elongación (E). ISO 13934-2 (2014): tiempo de rotura (BT) y energía a la rotura (EB).

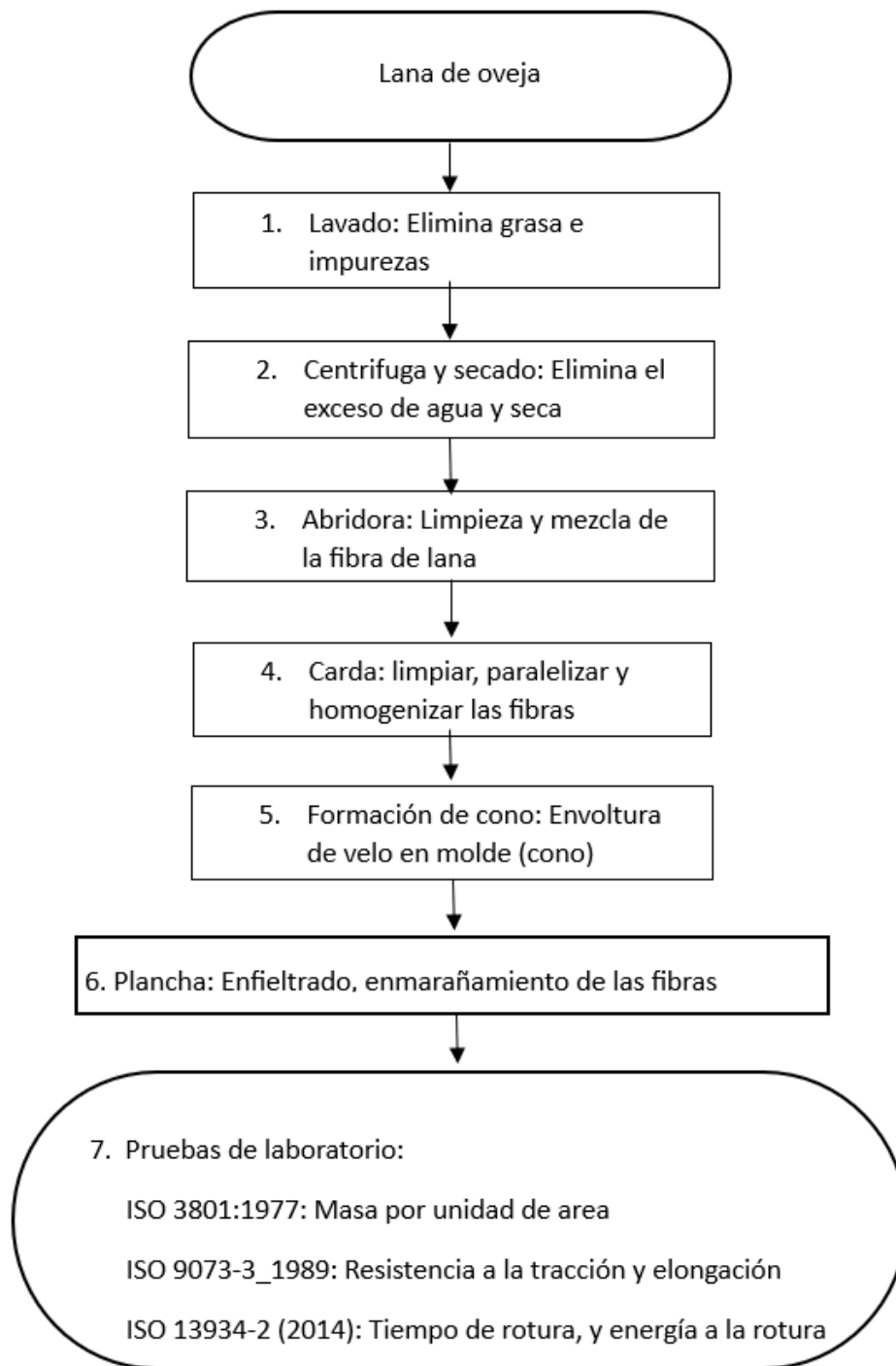
## Materiales y equipos

Al elaborar y obtener el NWW a partir de SW, se utilizó equipos, materiales que se encuentran en el medio, a más de maquinaria construida artesanalmente que se detalla a continuación:

- Fibra de lana de oveja SW longitud promedio 40mm
- Abridora (O): Cilindro de 60cm de diámetro, púas de 0,5cm de diámetro y 4cm de longitud, cilindros alimentadores, telera alimentadora
- Carda (C): Cilindros alimentadores, likerín, gran tambor, cilindros cardadores, cilindros desborradores, doffer, cilindro cónico de envoltura de molde.
- Plancha vibradora (VP): Excéntrica, planchas de bronce, soporte de presión.
- Caldero de vapor (SB): 15btu
- Troquel (DC): Equipo de corte muestras circulares
- Dinamómetro Titan 5 (D)

## Proceso de obtención de no tejido de lana

El proceso para elaboración del NWW, inicia a partir de la selección de la SW adecuada para la producción del NWW con una longitud de 40mm, teniendo en cuenta la calidad y el tipo de fibra utilizada con una finura de 24 micras como se muestra en la figura 1:



*Fig. 1. Flujograma de proceso no tejido de lana.*

Primeramente se lava la lana de oveja SW para eliminar las ceras, grasas e impurezas que contiene, se centrifuga y se seca al ambiente, una vez seco, se da tres pasos en la máquina O y mezcladora de fibras, donde se abre estas y elimina las impurezas para obtener una homogenización entre todas las longitudes de fibras de lana con un promedio de 40mm, a continuación pasa a la máquina C para homogenizar, paralelizar y eliminar las impurezas (hojas, espinas y material celulósico) consiguiendo alinear las fibras en la misma dirección en forma de velo y luego en forma de red muy similar a un colchón, enrollando capa sobre capa en un cono uniforme de fibras y con forma adecuada para el sombrero de un peso determinado de acuerdo a su grosor y tamaño. Posteriormente se coloca en la VP al

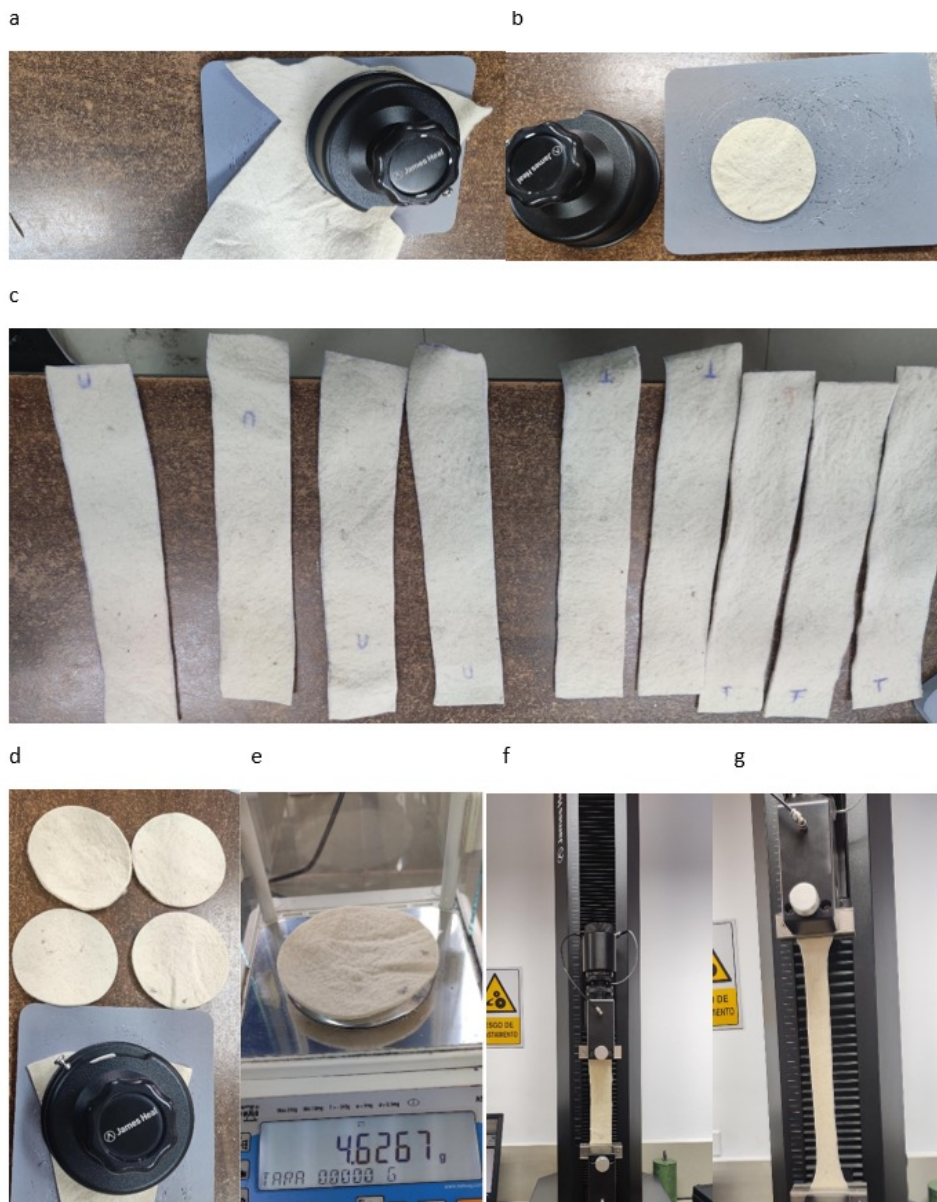


que se alimenta con vapor a 1200 °C desde un SB a la capa de fibras de lana con forma de un colchón para sombrero, se amasa y se frota con movimientos circulares de vaivén con la VP para unir y compactar las fibras y crear el no tejido por entrecruzamiento de las fibras. Este proceso se debe repetir varias veces para lograr el grado de compactación y entrelazamiento deseado. Una vez formado el NWW, se deja secar para la elaboración de sombreros de fieltro con diferentes formas y tamaños, según se requiera como se observa en la figura 2.



Fig. 2. (a) abridora y mezcla, (b) alimentación carda, (c) envoltura de velo en carda, (d) colchón formado con capas de velo de carda, (e) Planchado enfieltro, (f) no tejido planchado (g) no tejido en forma de cono seco.

Obtenido el NWW de SW, se realiza un control de calidad en el laboratorio. Preparación de las muestras: Se cortan muestras del no tejido de lana de oveja NWW en forma de rectángulos 5x25cm, siguiendo la norma ISO 13934-2 (2014) de resistencia a tracción y elongación para el tamaño de las muestras. Con el equipo DC de corte muestras circulares, se corta con un diámetro de 10cm y con el equipo D para asegurarse que el NWW cumpla con los requisitos de TS, se sujetan al dispositivo de ensayo de tracción y se estiran gradualmente hasta que se rompan, se determina la fuerza necesaria para producir la rotura y se registra el valor de la TS, la E se define como el cambio en la longitud dividido por la longitud inicial, expresado en porcentaje, también se analiza el BT y EB, así como con otros requisitos de calidad necesarios para la fabricación de sombreros que se muestran en la figura 3.



*Fig. 3. Proceso de análisis en laboratorio. (a) corte circular de muestra sobre superficie plana eva por unidad de área. (b) forma de corte circular 10cm. (c) corte de muestras 5 x 25 cm de ancho y altura. (d) muestras cortadas. (e) peso de muestra en balanza. (f) dinamómetro colocado la muestra antes de realizar el análisis. (g) muestra realizando el análisis de Resistencia a la tracción, elongación, tiempo de rotura y energía a la rotura en el dinamómetro Titan 5.*

## Resultados

Realizado los análisis en el laboratorio utilizando el equipo D mediante las 5 muestras obtenidas para el proceso de análisis según la norma ISO 13934-2 (2014), se expresa en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultado de los datos encontrados en laboratorio de calidad.

SAMPLE	W (g)	WL (g/m <sup>2</sup> )	TS- MD (N)	E-MD (%)	BT- MD (min)	EB-MD (J)	TS-CD (N)	E-CD (%)	BT-CD (min)	EB-CD (J)
1	4,9885	498,85	353,18	57,15	75	21065,7	339,69	58,67	75	19762,84
2	6,201	620,1	336	63,11	82	20937,5	379,57	64,36	82	23514,06
3	5,2168	521,68	285,16	61,46	81	16933,5	389,64	60,17	75	22002,4
4	5,4305	543,05	323,4	55,72	72	18960,4	438,64	47,42	58	20657,82
5	4,6263	462,63	381,49	60,36	76	22364,7	413,55	60,74	75	23819,76

Peso (W), peso superficial (WL), resistencia a la tracción/dirección de máquina (TS-MD), elongación/dirección de máquina (E-MD), tiempo de rotura/dirección de máquina (BT-MD) y energía a la rotura/dirección de máquina (EB-MD). Resistencia a la tracción/dirección contraria (TS-CD), elongación/dirección contraria (E-CD), tiempo de rotura/dirección contraria (BT-CD) y energía a la rotura/dirección contraria (EB-CD).

Con los resultados encontrados se realizó la tabulación, aplicando un diseño experimental que incluya todas las variables a investigar mediante el análisis estadístico de datos utilizando el software Past 4, donde se observa que la normalidad de los datos determina que tiene una confiabilidad del 95% y se encuentran dentro de lo normal ( $P > 0,05$ ).

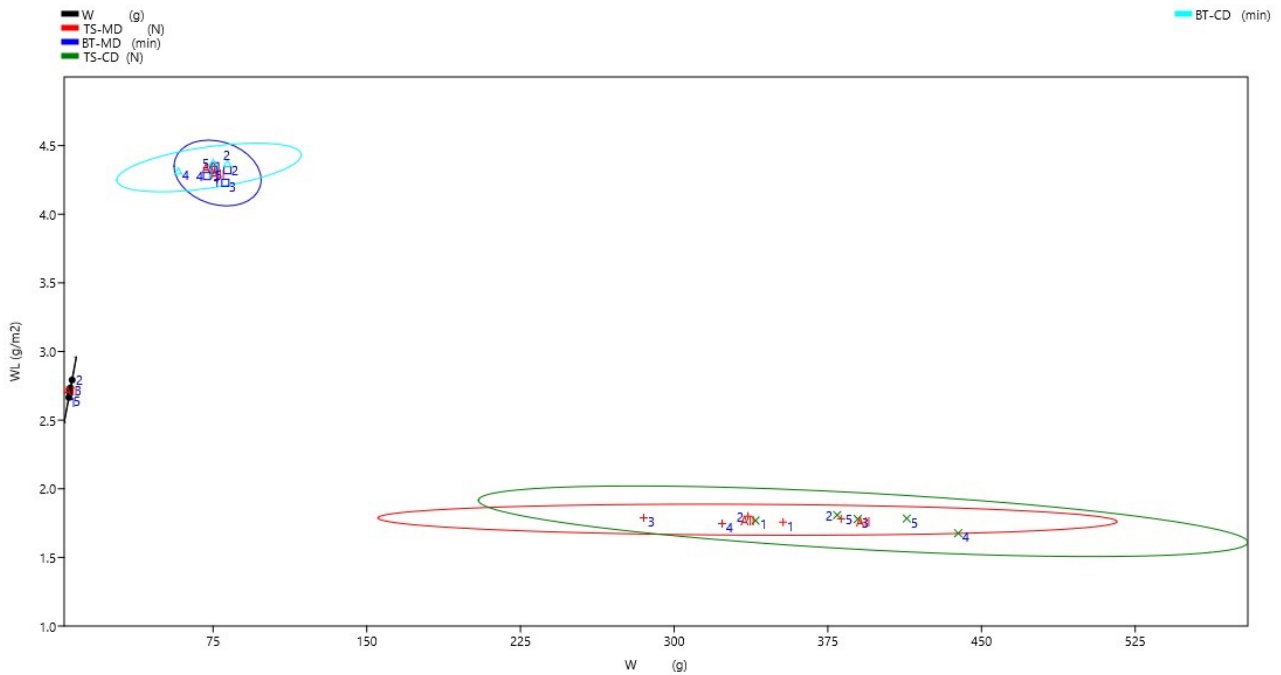
### Análisis de resultados

En el eje X,Y mediante anova, Kruscal Wallis se puede observar que existe una diferencia significativa entre las medianas de las muestras ( $P < 0,05$ ) y la relación que existe entre BT-MD Y BT-CD con ( $CV=5,449$  y  $CV=12,214$ ) respectivamente ( $P > 0,05$ ), con una ligera dispersión en BT-CD, esto seguramente se debe a que en el proceso de cardado se alimenta manualmente y no tiene un peso en g/m alimentado uniforme, lo que ocasiona que, en la salida de carda una diferencia en su peso por unidad de longitud, esto determina que el tiempo de rotura en dirección de máquina y dirección contraria no existe diferencias significativas muy grandes, siendo muy similares ( $P > 0,05$ ) a pesar que tiene una variación mínima en sus datos obtenidos.

Además en TS-MD y TS-CD con ( $CV=10,640$  y  $CV= 9,484$ ), respectivamente, no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), tienen una ligera estabilidad en sus muestras indicando que, a pesar de ser alimentación manual a la carda y el resto de procesos, mantiene una resistencia a la rotura uniforme tanto en dirección de máquina y dirección contraria MD y CD, además, la envoltura del velo para formar el colchón con la forma de cono es cruzada, lo que otorga uniformidad en el peso (W) y excelente resistencia en los dos sentidos de TS debido a que, según [25], entre la lana Australiana (SRS) y lana merino convencional (CM) no existe una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a la rotura.

Los W obtenidos del NWW tienen un promedio de 5,292 g y gramos por metros cuadrados WL 529,262 g/m<sup>2</sup>, siendo muy similar entre las muestras ( $CV=11,12$ ), no se han encontrado diferencias significativas, ( $P > 0,05$ ), por la mezcla de fibras uniforme, en la apertura y la carda se realizaron con diferentes fibras, donde, las escamas lisas y aplanadas de la fibra de lana [23] otorgan una acumulación de fibras por unidad de área, como se muestra en la figura 4.





*Fig. 4. Similitud entre peso (W), Resistencia a la tracción dirección de máquina (TS-MD), tiempo de rotura dirección de máquina (BT-MD) Resistencia a la tracción dirección contraria (TS-CD), tiempo de rotura dirección contraria (BT-CD).*

En el gráfico radar chart se analiza todas las variables W, WL, TS-MD, E-MD, BT-MD y EB-MD, TS-CD, E-CD, BT-CD y EB-CD, donde se observa simultáneamente las coordenadas con cada una de las variables utilizadas, reflejando la magnitud de sus relaciones y contraste en los datos multivariantes encontrados y describe la EB-MD y EB-CD (CV=10,601, CV=8,020) respectivamente, señala que no existe diferencias significativas ( $P>0,05$ ) con un mínimo aumento en EB-CD, la alta incidencia de EB en los dos sentidos se debe a la SW por su longitud de fibra 40mm en promedio, lo que otorga muy buena Resistencia a más de su característica principal que es su rizo lo que mejora su cohesión interfibra y por su entrecruzamiento de las fibras para formar el NWW como lo señalan los resultados, donde revelaron que la finura, los rizos y la fuerza de las razas de ovejas autóctonas son significativamente diferentes entre sí [22], como se observa en la figura 5.

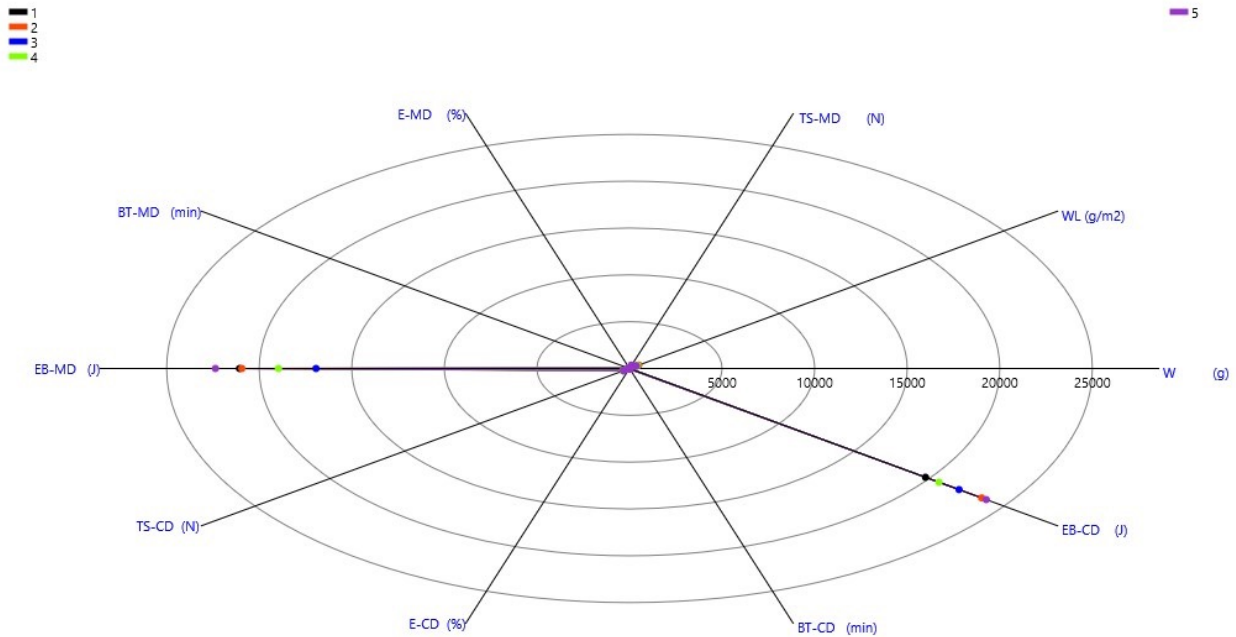


Fig. 5. Radar chart de las variables y sus magnitudes.

En el gráfico de barras se puede observar que en las muestras analizadas no existe diferencias significativas entre las medianas ( $P > 0,05$ ), con ( $CV = 5,134$ ) mínimo y ( $CV = 12,214$ ) máximo, resaltando los parámetros de EB, donde la energía a la rotura necesaria para levantar un objeto a la altura de un metro aplicado en el NWW tiene gran resistencia a la rotura TS-MD y TS-CD, esta resistencia es provocada por las escamas en forma de sierra que contiene por la característica innata de SW como lo dice [10], las escamas de la superficie de la lana influye en su proceso, en EB-MD y EB-CD con la propiedad de enfieltramiento, mientras que, en E-MD y E-CD tiene un porcentaje de elongación aceptable 59,56 y 58,27% respectivamente, [25] mientras que el alargamiento de rotura promedio es ligeramente mayor para lanas Australianas (37%) que lana merino convencional (34%), la longitud de la fibra probablemente sea responsable de la mayor elongación de rotura, esta diferencia en elongación se da por que las SW al enfieltrarse se encogen y su rizo se entrecruza unos con otros, produciendo el NWW que posteriormente pueden ser estirados en su máxima fuerza y regresar a su posición inicial, como se muestra en la figura 6.

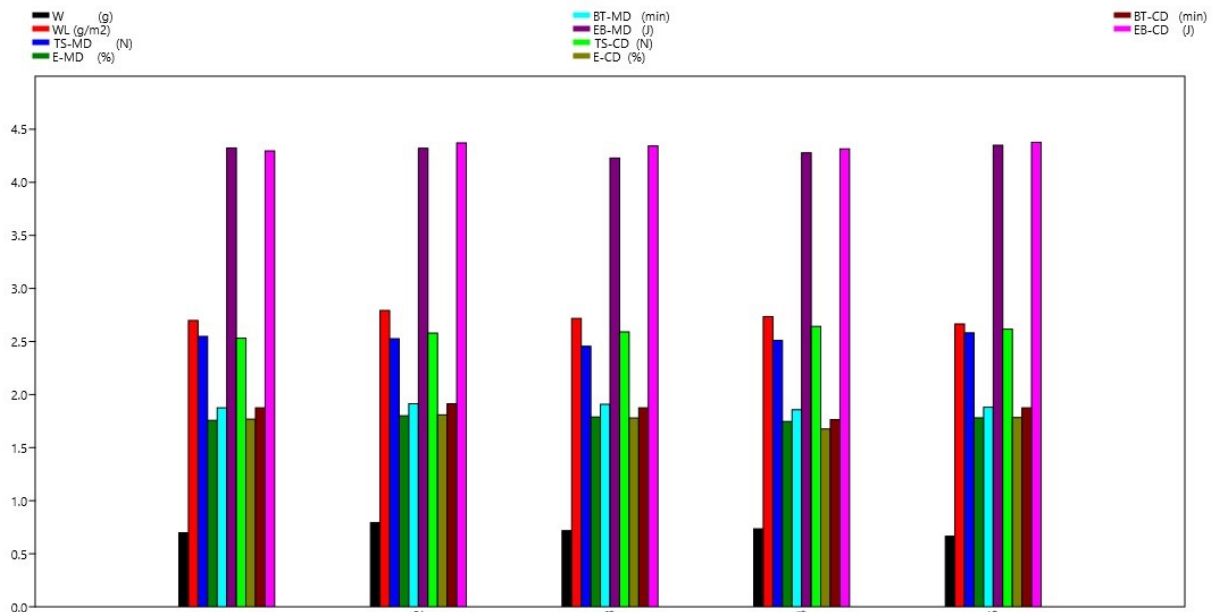


Fig. 6. Gráfico de barras de similitudes y tendencias.

## Conclusiones

Para elaborar no tejido de lana (NWW) con el propósito de utilizar en la fabricación de sombreros, se utilizó fibra de lana (SW) con longitud promedio de 40mm, los resultados indican que las características obtenidas de elongación (E) en sentido dirección de máquina (MD) y dirección contraria (CD) tienen promedios de 59,56 % y 58,27 % respectivamente, en resistencia a la tracción dirección de máquina (TS-MD) 335,846 Newton y resistencia a la tracción dirección contraria (TS-CD) 392,218 Newton, resaltando mucho más al aplicarse una fuerza la energía a la rotura (EB) que obtuvo 20052,36 Joules en dirección de máquina (MD) y 21951,38 Joules en dirección contraria (CD).

Se llega a la conclusión de que, el no tejido de lana (NWW) si es factible para la aplicación en sombreros de fieltro por su excelente resistencia a la tracción (TS), Elongación (E) y Energía a la rotura (EB), por su facilidad para transformarse, otorgar formas y tamaños al no tejido de lana (NWW).

## Referencias

1. Akioka, S. et al.: Selective recovery of palladium by wool resin and woven wool fabric resinbents. *HYDROMETALLURGY*. 203, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105629>.
2. Alyousef, R.: Enhanced acoustic properties of concrete composites comprising modified waste sheep wool fibers. *J. Build. Eng.* 56, 104815 (2022). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104815>.
3. Atbir, A. et al.: Improvement of thermomechanical properties of porous plaster reinforced with a network of Morocco sheep wool skeletons for Energy efficiency. *Build. Environ.* 234, 110171 (2023). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110171>.

4. Berzi, L. et al.: Sustainable Revamping of Wool Carbonization Systems. In: 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). pp. 1–6 (2021). <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584659>.
5. Boostani, B. et al.: Using an eco-friendly deep eutectic solvent for waterless anti-felting of wool fibers. *J. Clean. Prod.* 386, 135732 (2023). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135732>.
6. Boria, S. et al.: Potential of wool felts in combination with glass fibres: Mechanical and low velocity impact assessment. *Compos. PART B-ENGINEERING*. 118, 158–168 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.088>.
7. Cai, J. et al.: Developing ‘Eco-wool’ Compliant Supply Chains for Australian Wool. In: PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL WOOL RESEARCH CONFERENCE, VOLS I AND II. pp. 10–13 (2010).
8. Erkmen, J., Sari, M.: Hydrophobic thermal insulation material designed from hazelnut shells, pinecone, paper and sheep wool. *Constr. Build. Mater.* 365, 130131 (2023). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130131>.
9. Hatcher, S. et al.: Wool buyers do not adversely discount fine wool grown in ‘non-traditional’ environments. *WOOL Technol. SHEEP Breed.* 51, 2, 163–175 (2003).
10. Kantouch, A. et al.: Improvement of the felting and shrinking resistance of wool using environmentally acceptable treatments. *J. Text. Inst.* 98, 1, 65–71 (2007). <https://doi.org/10.1533/joti.2005.0249>.
11. Kishor Sharma, Y. et al.: Experimental investigation on mechanical and thermal characteristics of waste sheep wool fiber-filled epoxy composites. *Mater. Today Proc.* (2023). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.157>.
12. Liu, Y. et al.: Research on the edge detection of the cashmere and wool fibre images. In: 2009 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. pp. 4–428 (2009). <https://doi.org/10.1109/ICEMI.2009.5274040>.
13. Miao, M.: 12 - High-performance wool blends. In: Johnson, N.A.G. and Russell, I.M. (eds.) *Advances in Wool Technology*. pp. 284–307 Woodhead Publishing (2009). <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845695460.2.284>.
14. Monreal-Perez, P. et al.: Full-scale dynamometer tests of composite railway brake shoes including latxa sheep wool fibers. *J. Clean. Prod.* 379, 134533 (2022). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134533>.
15. Moosanezhad Khabisi, M. et al.: Genome-wide DNA arrays profiling unravels the genetic structure of Iranian sheep and pattern of admixture with worldwide coarse-wool sheep breeds. *Genomics*. 113, 6, 3501–3511 (2021). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2021.07.019>.
16. Nogueira, C.D.C. et al.: Boosting second-generation ethanol titers from green coconut fiber by using high-concentration polyethylene glycol. *Ind. Crops Prod.* 166, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113494>.

17. Parlato, M.C.M. et al.: Assessment of sheep wool waste as new resource for green building elements. *Build. Environ.* 225, 109596 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109596>.
18. Pina, A.C. et al.: CO<sub>2</sub> capture and biomethane obtention using activated carbon filter of animal origin. *MRS Adv.* 3, 61, 3589–3600 (2018). <https://doi.org/10.1557/adv.2018.588>.
19. Raja, A.S.M. et al.: Feltability of coarse wool and its application as technical felt. *INDIAN J. FIBRE & Text. Res.* 38, 4, 395–399 (2013).
20. dos Santos, H.N. et al.: Wool felt: Characterization, comparison with other materials, and investigation of its use in hospital accessories. *Text. Res. J.* 92, 21–22, 3940–3955 (2022). <https://doi.org/10.1177/0040517520915836>.
21. Sawyer, G. et al.: Pre- and post-partum variation in wool cortisol and wool micron in Australian Merino ewe sheep (*Ovis aries*). *PeerJ.* 9, (2021). <https://doi.org/10.7717/peerj.11288>.
22. Sitotaw, D.B. et al.: Characterization of the wool fiber physical properties of Ethiopian indigenous sheep breeds. *J. Text. Inst.* 111, 8, 1198–1205 (2020). <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1689774>.
23. Soun, B. et al.: Effect of Transglutaminase Enzyme on Physico-mechanical Properties of Rambouillet Wool Fiber. *J. Nat. Fibers.* 17, 6, 793–801 (2020). <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1534187>.
24. Vujasinovic, E., Andrassy, M.: The investigation of coarse wool felting property. *TEKSTIL.* 52, 6, 268–277 (2003).
25. Yu, H. et al.: Tensile Properties of Australian Soft Rolling Skin Wool and Conventional Merino Wool. *J. Nat. FIBERS.* 19, 16, 14620–14633 (2022). <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2068173>.
26. Yu, H. et al.: Understanding the difference in softness of Australian Soft Rolling Skin wool and conventional Merino wool. *Text. Res. J.* 92, 17–18, 3130–3141 (2022). <https://doi.org/10.1177/00405175211050524>.
27. Zenda, M. et al.: An analysis of the contribution of wool characteristics on price determination of Merino Wool and White Wool all combined in South Africa. *SMALL Rumin. Res.* 219, (2023). <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106890>.