

Estudios de aislamiento térmico del cuero para confección: Importancia de la relación entre la estructura y las propiedades

Kaliappa Krishnaraj, Palanisamy Thanikaivelan, Perumal Singaraj SureshKumar, Ramasamyreddy Jagadeeswaran and Bangaru Chandrasekaran

Centre for Leather Apparel & Accessories Development, Central Leather Research Institute, (Council of Scientific and Industrial Research), Adyar, Chennai-600 020, INDIA, Phone: 91-44-24910953, Fax: 91-44-24911589, e-mail: cladclri@yahoo.com; bchandru@clri.res.in

Resumen

La comprensión del rendimiento de la piel en forma de producto final (prendas de vestir) ofrece valiosos aportes para el diseño y la fabricación de la confección. En primer lugar, la piel de confección se utiliza para la protección contra el frío. Sin embargo, la comodidad total de las prendas de vestir depende de muchos otros factores. En este trabajo, se ha estudiado uno de los principales parámetros de comodidad: el aislamiento térmico. Se ha realizado la medición de aislamiento térmico bajo condiciones simuladas en diferentes pieles para confección y también para diferentes diseños de la prenda. Para calcular los valores de aislamiento térmico se realizó un montaje experimental personalizado midiendo el suministro de calor después de llegar al equilibrio entre la temperatura ambiental (cámara fría) y la temperatura de la fuente de calor. Estos valores se calcularon para diferentes muestras a temperaturas ambiente diferentes. Es evidente a partir del estudio, que la fuente de calor necesaria para mantener la temperatura de la fuente a 34°C aumenta cuando la temperatura ambiente disminuye. Además, se observa que todas las muestras analizadas presentan valores de aislamiento térmico superiores al valor mínimo requerido en las normas internacionales para la protección contra el frío. Los valores de aislamiento para todas las muestras analizadas están en el rango de 0,402 a 0,692 m² ° C / W. También se ha demostrado que existe una relación importante entre la estructura del cuero y sus características cuando se observa bajo el microscopio. Los valores de aislamiento térmico cuantificados en este estudio se pueden utilizar para diseñar prendas de confección con un aislamiento térmico adecuado en función del lugar de utilización.

Introducción

Las pieles de confección son ampliamente utilizadas como ropa de protección contra el ambiente frío. El diseño de prendas de piel juega un papel importante en la prestación de comodidad y ergonomía para el usuario. La medición de la reacción de un material a las condiciones de uso proporciona información que puede utilizarse para predecir el rendimiento del producto. La relación entre la comodidad y los materiales utilizados para la confección se encuentra en la capacidad de un material para retener el calor ambiental o corporal, absorber o repeler la humedad y dar sensación próxima a la piel. La comodidad de la ropa tiene dos aspectos principales a saber: termofisiológicos y sensoriales que se combinan para crear una percepción subjetiva satisfactoria¹. El aislamiento térmico es el parámetro principal para proporcionar confort termofisiológico². El confort térmico óptimo en prendas de vestir se consigue equilibrando la velocidad de transferencia de calor por el cuerpo humano, el aislamiento térmico de la ropa y la temperatura del medio ambiente. La transferencia de calor se refiere a la determinación de la velocidad a la que se transfiere la energía en forma de calor en virtud de la diferencia de temperatura entre dos cuerpos³. La capacidad térmica de la ropa como capa protectora entre el cuerpo humano y el medio ambiente es muy compleja y depende en gran medida de factores humanos (actividad, factores individuales), ropa (material, forma) y de factores ambientales (temperatura, viento, radiación)⁴. Con el fin de mantener la confortabilidad, el cuerpo humano debe mantener una temperatura de la piel de 34°C y en equilibrio térmico con el ambiente⁵. El cuerpo humano genera calor, incluso cuando está sentado en reposo. De todo el calor total generado, una pequeña parte se

pierde por evaporación, transpiración insensible y la respiración. La mayor parte del calor generado se pierde a través de la radiación, por convección y a través de la ropa^{6,7}. Esto también es llamado como la pérdida de calor seco debido al gradiente de temperatura entre la piel y el medio ambiente. Muchos estudios se han llevado a cabo para cuantificar los valores de aislamiento térmico de los tejidos y otras prendas de vestir sintéticas^{4,8-10}. Sin embargo, no se encontraron estudios bibliográficos respecto al estudio de confort térmico en prendas de vestir de cuero. En este estudio, se hizo un intento para medir el aislamiento térmico de las prendas de vestir en diferentes condiciones simuladas. El aislamiento térmico de una ropa puede calcularse mediante la medición de la temperatura del cuerpo en el interior, la temperatura atmosférica y la cantidad de calor suministrado para mantener el interior de la temperatura corporal a 34 ° C. Se midió el aislamiento térmico y se analizaron prendas de vestir hechas de pieles diferentes y con diseños diferentes.

Parte experimental

Materiales: Las muestras de cuero para confección se prepararon utilizando diversos tipos de cuero con diferentes tipos de confección. Los cueros utilizados fueron napas de oveja (0,8 mm de espesor), napas de cabra (0,8 mm de espesor), napas vacunas (0,8 mm de espesor), ante de cabra (0,6 mm de espesor), y napalan de oveja (1,4 mm de espesor, excluyendo la lana). Se obtuvieron los mejores cueros disponibles en el mercado con un tamaño y espesor uniforme. Se escogieron dos tipos de confección: la de apertura frontal con botones, y la de apertura frontal con cremallera. Aparte de la piel, todos los accesorios utilizados fueron los mismos para todas las prendas: forro (poly saten), guata (60 GSM), hilo (no. 24), etc., excepto en las pieles de napalan donde no se utilizó ni forro ni guata. Se utilizó el modelo Pfaff 1245 de una sola aguja y la máquina de coser respunte Schmetz con la aguja modelo 134-35 de LR. La longitud de la puntada se mantuvo a 3 mm para la fabricación de las muestras de prendas

de vestir. Las muestras de prendas de vestir fabricadas para el experimento fueron de tamaño niños y la superficie media exterior de las prendas de vestir entre 0,23 a 0,26 m².

Métodos: Para probar el aislamiento térmico en la ropa funcional, se utilizó el maniquí térmico que se utiliza a menudo en los estudios de confortabilidad de prendas de vestir⁸. El maniquí térmico es un equipo muy sofisticado y costoso. De ahí que en este estudio, se diseñó y fabricó un montaje experimental personalizado. Para simular las condiciones térmicas, una bombilla de radiación infrarroja se utilizó como fuente de calor. Para simular la temperatura atmosférica se utilizó una cámara de frío, capaz de producir temperaturas de -30 a 20°C. La cámara de frío estaba equipada con un termopar para mantener cualquier temperatura deseada durante un periodo de tiempo. La configuración típica de ensayo para medir el suministro de calor se da en la fig. 1.

También se diseñó y fabricó el controlador de temperatura que comprende vatímetro digital, regulador de voltaje, termómetro digital y termopar. El regulador de voltaje controla el suministro de energía a la fuente de calor. La temperatura dentro de la muestra (temperatura corporal) se midió mediante un sensor de temperatura cerca de la fuente de calor. Utilizando el controlador de temperatura, la temperatura en el interior (simulando la temperatura corporal de 34°C) se puede mantener mediante el control del regulador de tensión de acuerdo con la realimentación desde el termómetro digital. Durante el experimento, la cámara fría se fija para una temperatura deseada simulando la temperatura atmosférica utilizando el controlador de temperatura previsto en la cámara fría. Para estar en equilibrio con la temperatura de la cámara, una fuente de alimentación constante es necesaria para mantener la temperatura interior de la muestra. La potencia suministrada a la fuente de calor para mantener la temperatura interior se mide y se utiliza para el cálculo.

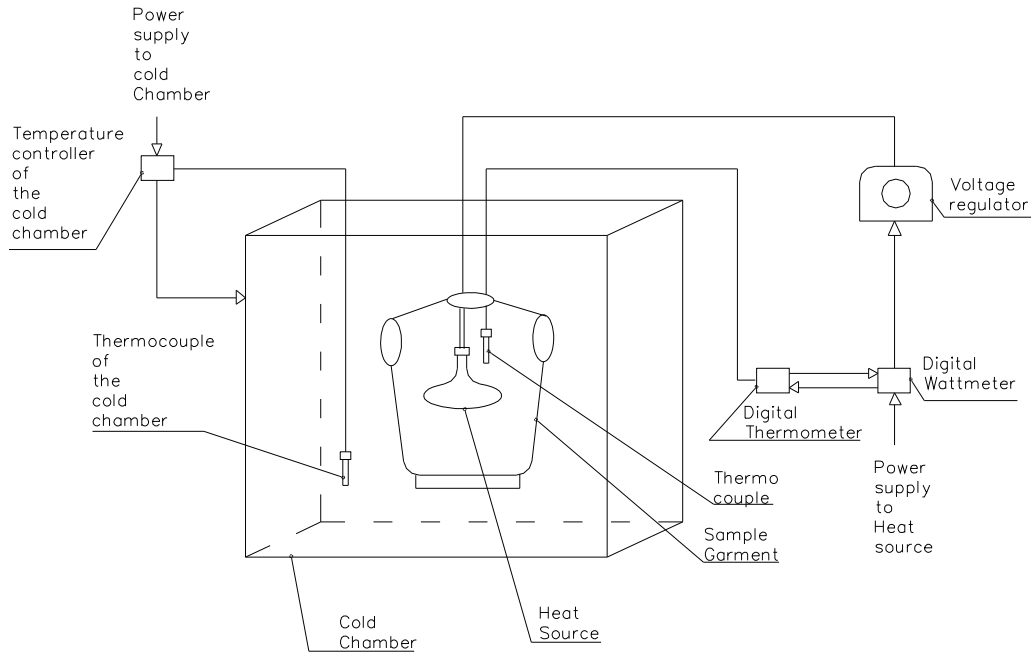


Fig. 1 Esquema de la configuración experimental personalizada con cámara de frío para medir el suministro de calor

Medidas y cálculos: Para determinar el aislamiento térmico se midió el suministro de calor por unidad de área requerida para mantener un equilibrio térmico entre la fuente de calor colocada dentro de la prenda y el ambiente externo. En dicha medida, también se debe calcular el área de la prenda a través del cual tiene lugar la transferencia de calor. El área de la prenda se calculó midiendo el área de los patrones individuales y es 0,26 m² para prendas de vestir con cremallera y 0,23 m² para la prenda abotonada. La apertura en el cuello, las sisas de las mangas y la parte

inferior fueron pegadas con cola térmica durante el experimento. La temperatura de la cámara de frío se mantuvo dentro del intervalo +10 a -10°C para prendas de ante y napa y entre +10 a -20°C para prendas de vestir de piel en pasos de 5°C. A una temperatura de cámara fría preestablecida, cada muestra de ensayo se midió por la potencia suministrada a la fuente de calor para mantener la temperatura interior a 34 ° C. La duración del ensayo fue de una hora y media después de haber alcanzado el equilibrio.

El aislamiento térmico se calculó usando la ecuación 1.

$$A_{\text{aislamiento térmico}}(TI) = \frac{t_s - t_a}{H} \quad (1)$$

Donde: Ts = temperatura en el interior (° C)

Ta = temperatura ambiente (° C)

H = calor de suministro por unidad de área (W/m²)

TI = Aislamiento térmico (m² ° C / W).

Microscopio electrónico de barrido (SEM):

Se espera que los valores de aislamiento térmico sean diferentes para diversos tipos de cuero. Esto puede ser debido a las variaciones en la compacidad de la estructura de la fibra, así como los patrones del poro. Por lo tanto, las muestras de cuero seleccionadas fueron analizadas mediante microscopía electrónica

de barrido, analizando la sección transversal así como la morfología de la superficie. En las muestras de las pieles napalana se eliminó la lana. Todas las muestras se revistieron con oro utilizando un revestidor por bombardeo iónico Polaron SC500. El SEM utilizado fue Leica Cambridge Stereoscan 440.

Resultados y discusión

La fuente de calor por unidad de superficie de las muestras de ensayo para diferentes temperaturas atmosféricas simuladas se observan en la Tabla 1. Los valores se han corregido sobre la base de la eficiencia de la fuente de calor (la fuente de calor infrarrojo utilizado en este estudio tenía 90% de eficacia). Es evidente que la energía (calor)

necesaria para mantener la temperatura de la fuente a +34°C aumenta cuando disminuye la temperatura ambiental. En general, las prendas de vestir con botones requieren menos energía en comparación con prendas con cremallera. Entre las diferentes prendas de napa, la napa vacuna requiere menos energía en comparación con la de cabra y la de oveja.

Tabla 1
Calor suministrado valores de aislamiento térmico de las prendas de cuero para diferentes temperaturas atmosféricas simuladas

Tipo de piel	Temperatura de la cámara de frío	Prenda con cremallera		Prenda abotonada	
		Suministro de calor* (W / m ²)	Aislamiento térmico [#] (m ² °C/W)	Suministro de calor* (W/ m ²)	Aislamiento térmico [#] (m ² °C/W)
Napa ovina	-10	94.74 ± 3.26	0.464	93.83 ± 3.22	0.469
	-5	85.96 ± 5.25	0.454	82.10 ± 4.43	0.475
	0	66.67 ± 5.02	0.510	70.37 ± 6.24	0.483
	5	59.65 ± 2.45	0.486	60.60 ± 4.38	0.479
	10	52.63 ± 7.10	0.456	54.74 ± 5.70	0.438
Napa caprina	-10	87.72 ± 4.77	0.502	87.97 ± 2.83	0.500
	-5	73.68 ± 6.70	0.529	78.19 ± 4.23	0.499
	0	64.91 ± 3.34	0.524	66.46 ± 3.01	0.512
	5	59.65 ± 1.68	0.486	58.65 ± 3.22	0.495
	10	56.14 ± 7.25	0.428	54.74 ± 5.89	0.438
Napa vacuna	-10	77.19 ± 5.08	0.570	78.19 ± 5.44	0.563
	-5	66.67 ± 4.42	0.585	70.37 ± 7.91	0.554
	0	59.65 ± 5.55	0.570	62.55 ± 6.66	0.544
	5	52.63 ± 5.98	0.551	54.74 ± 4.43	0.530
	10	42.11 ± 4.23	0.570	44.96 ± 2.39	0.534
Ante de cabra	-10	108.77 ± 6.24	0.405	97.74 ± 8.26	0.450
	-5	94.74 ± 10.11	0.412	82.10 ± 7.61	0.475
	0	77.19 ± 7.35	0.441	70.37 ± 6.25	0.483
	5	66.67 ± 6.73	0.435	62.55 ± 2.98	0.464
	10	59.65 ± 5.92	0.402	56.69 ± 5.57	0.423
Napalan	-20	87.72 ± 6.26	0.616	97.74 ± 7.21	0.553
	-15	77.19 ± 4.59	0.635	86.01 ± 5.54	0.570
	-10	70.18 ± 6.43	0.627	74.28 ± 4.57	0.592
	-5	63.16 ± 2.32	0.618	66.46 ± 2.91	0.587
	0	49.12 ± 4.44	0.692	54.74 ± 5.88	0.621
	5	42.11 ± 5.56	0.689	46.92 ± 7.63	0.618
	10	35.09 ± 2.87	0.684	35.19 ± 4.81	0.682

* Los valores son la media de cuatro mediciones junto con la desviación estándar

[#] Los valores de aislamiento térmico se calculan a partir de los valores promedio de suministro de calor

El calor suministrado por unidad de área para diversas muestras se representó frente a la temperatura atmosférica simulada como se indica en la fig. 2(a – e). Los gráficos muestran un ajuste lineal para todas las muestras. La ecuación de la línea y coeficiente de correlación se observan en la Tabla 2. Los valores de suministro de calor se analizan en todo el rango de temperaturas simuladas y se encuentra que para la napa de cabra y la napa

de vaca, la variación en el suministro de calor es baja. Para el napalan y la napa ovina la variación en el suministro de calor es moderado, mientras que para el ante de cabra es muy alta. Las prendas de ante requieren más aporte de calor en comparación con las napa y prendas de napalan. El napalan requiere menor aporte de calor en comparación con todos los otros tipos de piel.

Tabla 2
Ecuación lineal y coeficiente de correlación (R) de la gráfica entre el suministro de calor por unidad de área y la temperatura atmosférica simulada

	Prenda con cremallera	Prenda abotonada
Napa ovina	$y = -2.2x + 71.9$ R = -0.98	$y = -1.99x + 72.3$ R = -0.99
Napa caprina	$y = -1.54x + 68.4$ R = -0.96	$y = -1.7x + 69.2$ R = -0.99
Napa vacuna	$y = -1.68x + 59.7$ R = -0.99	$Y = -1.64x + 62.2$ R = -0.99
Ante de cabra	$y = -2.5x + 81.4$ R = -0.99	$Y = -2x + 73.9$ R = -0.98
Napalan	$y = -1.78x + 51.8$ R = -0.99	$Y = -2x + 55.7$ R = -0.99

Fig. 2 Calor suministrado por unidad de area versus las temperaturas atmosféricas simuladas para (a) napa ovina (b) napa caprina(c) napa vacuna (d) ante de cabra y (e) napalan.

Fig. 2a

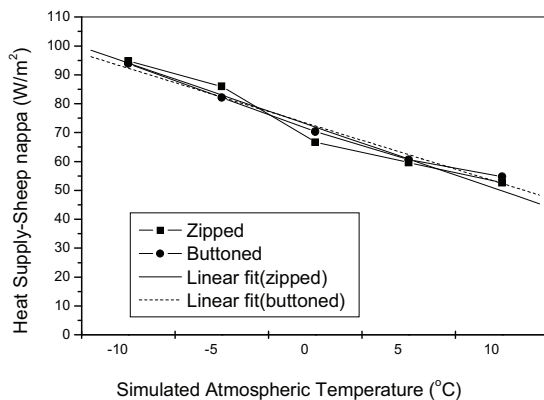


Fig. 2c

Fig. 2b

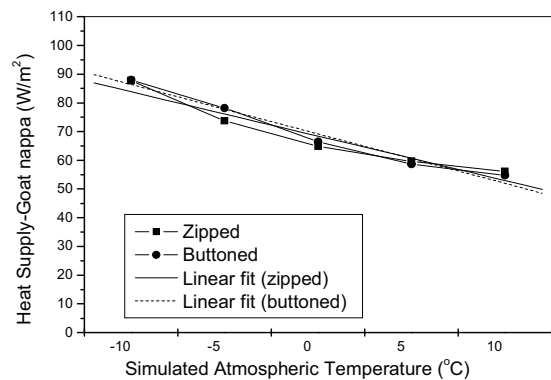


Fig. 2d

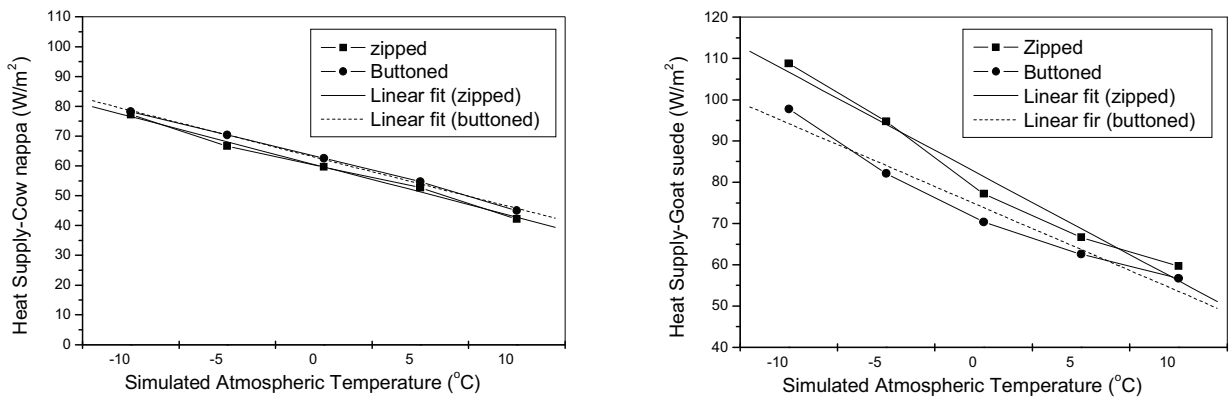
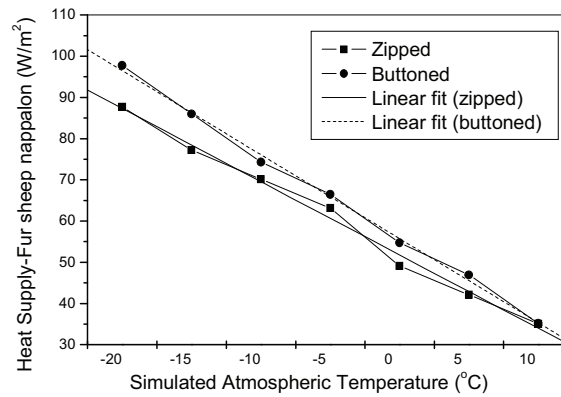


Fig. 2e



Los valores de aislamiento térmico de las muestras ensayadas para diferentes temperaturas atmosféricas simuladas se observan en la Tabla 1. Teniendo en cuenta todas las muestras analizadas, la prenda de ante de cabra con cremallera muestra un aislamiento térmico mínimo, $0,402 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$ a $10 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la prenda de piel napalan muestra el máximo aislamiento térmico, $0,692 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$ a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. A temperaturas muy bajas ($-20 \text{ }^\circ\text{C}$), el napalan presenta un aislamiento térmico en el rango de $0,55$ a $0,62 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$, pero a alta temperatura ($10 \text{ }^\circ\text{C}$), ambos sistemas de prendas de vestir (abotonadas o con cremallera) tienen un valor de aislamiento térmico casi similar de $0,68 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$. Entre las prendas de napa, la napa vacuna presenta un mejor aislamiento térmico en comparación con pieles de napa ovina y caprina en la mayoría de los casos. Si ordenamos las distintas pieles de napa analizadas de forma creciente respecto a su aislamiento térmico, tenemos: napa ovina < napa caprina < napa vacuna. Los valores de aislamiento térmico se representaron frente a las temperaturas atmosféricas simuladas y se muestran en la fig. 3 (a – e). Para las napas

ovinas, los valores de aislamiento térmico de la prenda abotonada son mayores a baja temperatura ($-10, -5 \text{ }^\circ\text{C}$) en comparación con prendas con cremallera. Sin embargo, cuando se aumenta la temperatura ($5, 10 \text{ }^\circ\text{C}$) la prenda con cremallera muestra un mejor aislamiento térmico frente a la prenda abotonada. Para napas caprinas, se observa la tendencia opuesta. La napa vacuna y el napalan con el sistema de cremallera presentan un mejor aislamiento térmico en comparación con el sistema abotonado en todo el rango de temperatura. Por otro lado, la prenda de ante de cabra abotonada muestra mejor aislamiento térmico en comparación con la del sistema de cremallera. Es importante mencionar que todas las muestras de prendas de vestir presentan un aislamiento térmico más alto que la especificación mínima requerida según la norma internacional. El aislamiento térmico mínimo para la ropa de protección contra el frío basado en la norma EN es de $0,15 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$ 11, 12. Al comparar los valores de aislamiento térmico de todos los tipos de piel encima de la temperatura atmosférica simulada para las prendas de vestir con el sistema de cremallera y el sistema de botones de la tabla 1 y fig. 4, es posible ordenar los distintos tipos

de piel en orden creciente de aislamiento térmico de la siguiente manera: ante de cabra < napa ovina < napa caprina < napa vacuna < napalan. Es interesante notar que los valores de aislamiento térmico son bastante mayores cuando se miden alrededor de 0 ° C. Los

cambios en la densidad del aire y el contenido de humedad cerca 0 ° C se espera que desempeñen un papel más importante en los valores de aislamiento térmico de todos los tipos de piel.

Análisis SEM: Las variaciones en el aislamiento térmico de las prendas se pueden atribuir a la orientación, así como a la compacidad de la estructura de la fibra. En la figura 4 (a – e) se observan las micrografías electrónicas de barrido de las muestras de cuero elegidos en este estudio que muestran la sección transversal con un aumento de x1000. La napa ovina muestra una estructura de fibra fina con disposición libre como lo demuestra la gran cantidad de micro poros presentes. La napa caprina exhibe una estructura compacta de fibra tejida con fibras gruesas y haces de fibras (Fig. 4b). La napa vacuna posee fibras finas que forman gruesos haces de fibras que se tejen de manera compacta (Fig. 4C) en comparación con las pieles de napa de cabra y oveja. Esto proporciona gran número de macro, así como microporos en la matriz. Esto, en principio, debe proporcionar más espacio de aire y por lo tanto más aislamiento térmico en las napa vacunas en comparación con las demás napa. Es importante mencionar que la superficie total de la piel por gramo es muy alto 13 y es comparable con la mayoría de los aislantes comerciales. El aire presente dentro de esta red fibrosa actúa como un muy buen

aislante 14, 15. Se han realizado estudios para encontrar los valores del coeficiente de conductividad térmica de los distintos tipos de cueros para comparar con varios aislantes comerciales y de zapatos de diferentes materiales 14, 16, 17. Estos estudios muestran que el cuero tiene un mejor aislamiento térmico que la de los aislantes comerciales. Por lo tanto, es evidente que el cuero, en general, posee buenas características de aislamiento térmico debido a la forma espacial (3D) características de las fibras de colágeno, que posee grandes cantidades de aire dentro de la red de fibra. Comparando los valores de aislamiento térmico de todas las prendas de napa y su estructura microscópica, es evidente que la fibra más organizada y densa de la napa vacuna proporciona un mejor aislamiento térmico. Como la napa de cabra tiene una compacidad comparable a la de la napa vacuna, la napa caprina tiene un mejor valor de aislamiento térmico que las napa ovinas. Entre todas las pieles de napa, la napa ovina tiene una estructura de fibra más suelta y dispersa, lo que conduce a una menor aislación térmica.

Fig. 3 Aislamiento térmico a diferentes temperaturas ambiente simuladas para (a) napa ovina (b) napa caprina (c) napa vacuna (d) ante de cabra y (e) napalan.

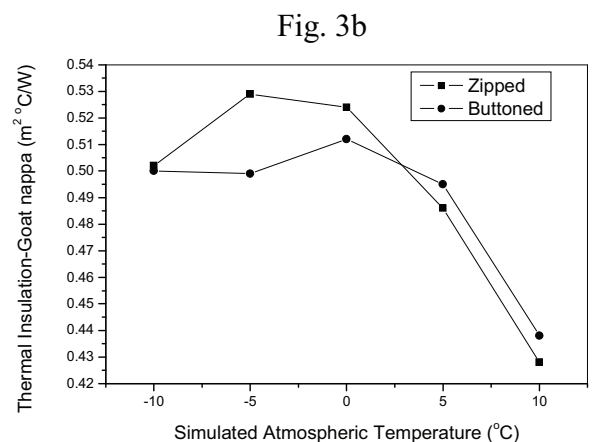
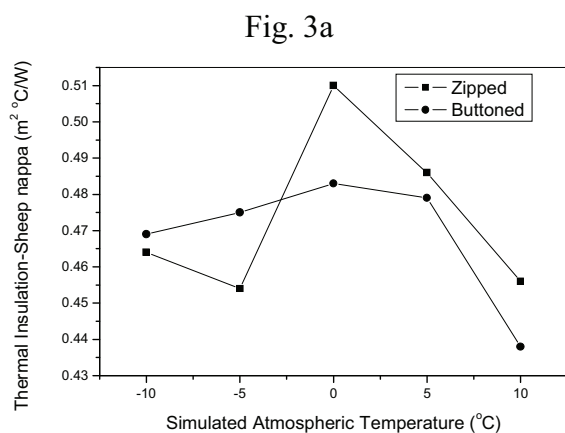


Fig. 3c

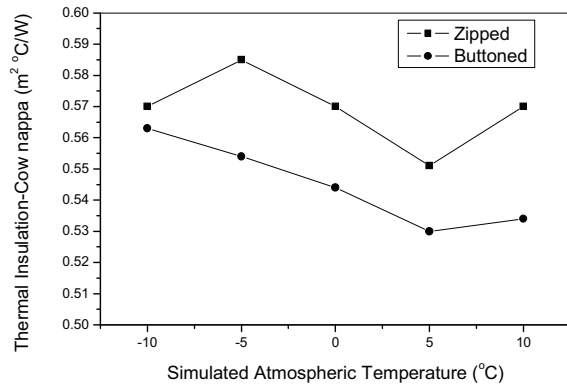


Fig. 3d

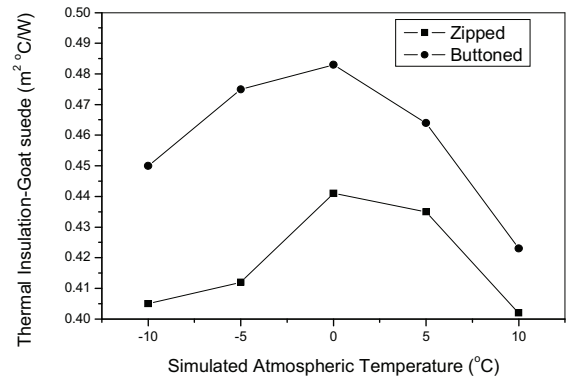
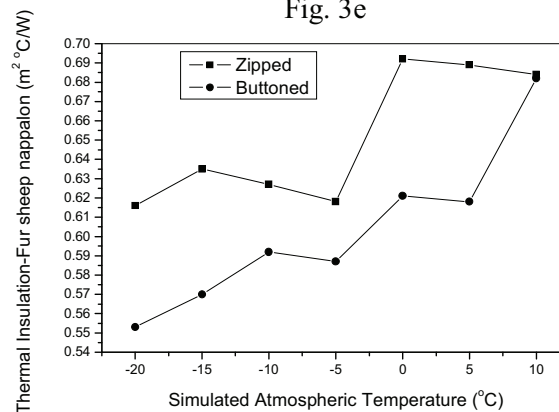


Fig. 3e



A pesar que el ante de cabra (Fig. 4d) muestra un patrón muy similar de haces de fibras a la de la napa caprina, la trama de los haces de fibras no es compacta. Esto conduce a tener macro poros en vez de micro poros. Por lo tanto, el número total de poros disponibles por unidad de superficie es menor en comparación con todas las muestras de cuero, y por lo tanto se obtendrá un menor aislamiento térmico. La sección transversal del napalan muestra haces de fibras ligeramente más gruesas que la napa de oveja (Fig. 4e). Aunque esto proporciona un

Conclusion

En este estudio, los valores de aislamiento térmico fueron cuantificados para todos los tipos de piel con dos sistemas diferentes de prendas de vestir (con cremallera y abotonadas) y han demostrado que los cueros seleccionados y sistemas de prendas de vestir alcanza el valor mínimo de aislamiento térmico necesario para la protección contra el frío como prescriben las normas internacionales. También se concluye que no hay un cambio significativo en los valores de aislamiento térmico cuando las condiciones de temperatura de uso se cambian. El tipo de sistema de la prenda (abotonada o con

menor número de macro poros, la lana en la parte superior de la piel proporciona una cantidad adicional de red porosa, que es la responsable del aislamiento térmico más elevado en comparación con los otros tipos de cueros. Las microfografías electrónicas de barrido a un menor aumento (x300, las cifras no se muestran) es compatible con las observaciones anteriores. Estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos para el suministro de calor y los estudios de aislamiento térmico.

cremallera) tiene también una influencia sobre los valores de aislamiento térmico. Entre todos los tipos de cuero (excepto el ante), la prenda con cremallera cuenta con más aislamiento térmico que el tipo de botones. El ante de cabra tiene un menor valor de aislamiento térmico comparativamente, y el napalan tiene un mejor valor de aislamiento térmico en comparación con todos los cueros seleccionados. El análisis microscópico de la sección transversal de los cueros revela que existe una correlación significativa entre la estructura de la fibra y los valores de aislamiento térmico.

Referencias

1. Barker R L, From fabric hand to thermal comfort: the evolving role of objective measurements in explaining human comfort response to textiles, *Int J Clothing Sci Tech*, 14 (2002) 181-200.
2. Diebschlag W and Klocker W, A comparative analysis of the comfort of leather and substitute materials especially for footwear, *J Amer Leather Chem Ass*, 73 (1978) 307-332.
3. Nag P K, *Engineering Thermodynamics*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, 1989.
4. Harriet M, Thermal properties of clothing systems studied with a sweating thermal manikin, 3rd International Symposium on Clothing Comfort Studies, Japanese Research Association of Textile End Uses, 1994, 51-70.
5. Wilson T E, Cui J, and Crandall C G, Effect of whole-body and local heating on cutaneous vasoconstrictor responses in humans, *Auton Neurosci-Basic*, 97 (2002) 122-128.
6. Cooling of the human body, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/coobod.html#c1> (accessed on February 2010).
7. Ishigaki H, Horikoshi T, Uematsu T, Sahashi M, Tsuchikawa T, Mochida T, Hieda T, Isoda N. and Kubo H, Experimental study on convective heat transfer coefficient of the human body, *J Therm Biol*, 18 (1993) 455-458.
8. Qian X, and Fan J, Prediction of Clothing Thermal Insulation and Moisture Vapour Resistance of the Clothed Body Walking in Wind, *Ann Occup Hyg*, 50 (2006) 833-842.
9. Nadzeikienė J, Milašius R, Deikus J, Eičinas J, and Kerpauskas P, Evaluating Thermal Insulation Properties of Garment Packet Air Interlayer, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 14 (2006) 52-55.
10. Bo-an Y, Yi-Lin K, Yi L, Chap-Yung Y and Qing-wen S, Thermal regulating functional performance of PCM garments, *Int J Clothing Sc. Tech*, 16 (2004) 84-96.
11. EN 342: Protective clothing against cold, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.
12. EN 343: Protective clothing: protection against rain, European Committee for Standardization, Brussels, 2003
13. Tschipper E, Physical and aesthetic merits of leather, *Leather Manuf*, 103 (1985) 27.
14. Philips H, The properties of leather of importance to the tanner, the shoe manufacturer and the wearer, *J Amer Leather Chem Ass*, 49 (1954) 574.
15. Raabe E, Über die Zusammenhänge zwischen einigen physikalischen Eigenschaften des leders, *Das Leder*, 12 (1961) 111-115.
16. Amitava Sen, Leather as a heat insulating material, *J Indian Leather Technol. Ass*, 8 (1960) 289-302.
17. Edwards R S and Browne G, The thermal conductivity of boot and shoe material, *J Soc Leather Trades' Chem*, 17 (1933) 402-422.