

Physical, chemical and mechanical characterization of a prototype insulating material based on eucalyptus bark fiber

C. Rojas, M. Cea, F. Rosas-Díaz and J. P. Cárdenas-R.

Abstract — In recent years it has become evident that homes have low levels of thermal insulation, which in southern Chile, translates into excessive combustion of biomass by the residential sector to condition housing, generating high levels of air pollution which is harmful to society. It is for this reason that the development of sustainable materials, from natural and local raw material enhances its attractiveness. The present project evaluated the possibility of developing a material from natural fibers from forest waste, which can be found in abundance in the IX region of Araucanía. Several physical, chemical and mechanical characterization tests were applied, as well as an optimization model for the elaboration of optimal prototypes, where a decrease in the thermal conductivity of the material could be generated, which finally reached 0.040 (W/mK), which is comparable with the properties of an Expanded Polystyrene type IX. Finally, the optimal conditions for the processing of a prototype are identified, which was analyzed morphologically using scanning electron microscopy (SEM) and thermally, by thermogravimetric analysis (TGA).

Keywords – Energy Efficiency, Thermal Insulating Materials, Natural Fibers, Natural Insulation

I. INTRODUCCIÓN

EL consumo de energía del sector residencial ha aumentado notoriamente en los últimos años [1]. Se estima que los edificios consumen alrededor del 40% de la energía mundial [2], [3], [4], donde un tercio del consumo se destina a calefacción y refrigeración de los espacios [5], [6].

Es por esto que uno de los desafíos actuales en la construcción de edificios residenciales es minimizar el consumo de energía en operación [7], [2]. Una forma de lograrlo es mediante el uso de aislación térmica, ya que se reducen las pérdidas de calor, generando un ahorro importante de energía en calefacción y refrigeración. [5], [8].

Sin embargo, al analizar el mercado de materiales aislantes térmicos, se observa que está dominado por materiales sintéticos; lana mineral (52%) y plásticos (41%) [2], lo cual causa efectos nocivos sobre el medio ambiente, ya que ese tipo de material se elabora en base a materia prima no

renovable (proveniente de combustibles fósiles) y además presentan problemas de reciclaje. [2], [9]. En este contexto y debido a que los temas medioambientales están adquiriendo un creciente interés en todo el mundo [10], [11], los materiales aislantes basados en fibras naturales se convierten en una buena alternativa para la construcción de edificios sustentables [12], ya que no provocan efectos negativos en el medio ambiente [13], [14] y además muestran propiedades de aislamiento térmico comparables con materiales estándar del mercado, como el Poliestireno expandido [15], [16].

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un material aislante térmico en base a fibra de corteza de eucalipto obtenida en la comuna de Carahue, IX región de La Araucanía, Chile. Las propiedades del material fueron comparadas con las del Poliestireno expandido (EPS), el cual es el aislante térmico dominante del mercado chileno.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología y ensayos aplicados en este trabajo fueron basados en normas vigentes para materiales aislantes térmicos, con el fin de comparar las propiedades de un prototipo aislante con las del Poliestireno expandido.

Materia Prima

La cáscara de Eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) fue recolectada de forma manual en el sector de Hueñalihuén, localidad costera perteneciente a la comuna de Carahue, en la Región de la Araucanía, Chile. Las cáscaras fueron secadas en horno a una temperatura de 80°C durante 24 horas para su uso en los análisis presentados en este documento.

Caracterización Química

El análisis químico de la fibra se realizó de acuerdo a procedimientos TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2007) [17] y métodos experimentales descritos por Wise L.E y Rowell

Estabilidad Térmica

Para analizar la estabilidad térmica de las muestras se utilizó la técnica de termogravimetría (TGA). Las mediciones se llevaron a cabo en un TGA/DSC STA6000, Perkin Elmer, EEUU. El gas de purga y el gas carrier usado fue nitrógeno (N₂) a 40 mL/min [18].

Carlos Rojas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile
carlos.rojas.h@ufrontera.cl

Mara Cea, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile,
mara.cea@ufrontera.cl

Felipe Rosas-Díaz, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile,
felipe.rosas@ufrontera.cl

Juan Pablo Cárdenas-R, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile,
juanpablo.cardenas@ufrontera.cl

Corresponding autor: Carlos Rojas

Análisis de Espectroscopia Infrarroja

Se llevó a cabo un análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para cada muestra. Para este análisis las muestras se colocaron en el soporte de muestra de un espectrómetro FTIR Agilent Cary 630 con la interfaz de muestra Diamond ATR. La resolución del espectrofotómetro se fijó en 4 cm^{-1} , y se obtuvieron 140 escáneres en la región espectral de $4000 - 600\text{ cm}^{-1}$ [19].

Diseño experimental

El diseño experimental Taguchi fue seleccionado para investigar el efecto de diferentes parámetros en la media y la varianza de los resultados del proceso y obtener un proceso óptimo. Se trabajó con una matriz L9 la cual considera cuatro variables de entrada (tamaño de fibra, tiempo de cocción, concentración de NaOH y tiempo de licuado) y tres niveles, en donde las variables de respuestas fueron la densidad y conductividad térmica [20].

Conductividad Térmica y Densidad de Prototipos

Las mediciones de conductividades realizadas a los prototipos se determinaron usando el método de fuente de calor de línea transitoria “Transient Line Heat Source”, usando el equipo KD2 Pro de Decagon Devices. Este equipo mide en intervalos de 1 segundo durante un ciclo de calentamiento y enfriamiento de 90 segundos. KD2 Pro cumple las especificaciones del standard IEEE 442-1981 y del ASTM D5334- 08 [21]. La precisión de estas mediciones fue de $\pm 0.01\text{ W/(mK)}$. La densidad se determinó como el cociente entre la masa de las muestras y su volumen, en tanto el contenido de humedad se determinó usando la norma TAPPI T264 cm- 97.

Morfología

La visualización morfológica de las fibras y prototipos fue realizada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), con un microscopio VP-SEM SU 3500 Hitachi-Japón, bajo las siguientes condiciones; magnificación 40-100-200-500X (corte superficial) y 30-100-200-500X (corte transversal), detector BSE, 10KeV, WD-12 (mm), 30 (Pa) [22].

Propiedades Mecánicas

Para el desarrollo del ensayo de flexión, se utilizó la norma ASTM C203 – 05a (2012) “Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation” [23]. El ensayo de compresión para los prototipos se realiza de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C165 – 07 (2012) “Standard Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations” [24]. En ambos casos se utilizó un equipo universal de pruebas mecánicas, Instron modelo 3369, equipado con una celda de carga de 50 kN. Las condiciones estándar en la sala de pruebas fueron de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición Química

El análisis químico mostró que la fibra está constituida principalmente por α -celulosa cuyo valor promedio llega a $47.61 \pm 0.26\%$, hemicelulosa ($24.52 \pm 0.39\%$) y lignina ($17.41 \pm 1.72\%$). Por ende, la alta resistencia y rigidez de la fibra se puede asociar a la alta cantidad estos tres componentes. La Tabla I detalla el porcentaje de composición de todos los constituyentes de la fibra. Además, se puede observar que el contenido de lignina es menor que el encontrado para otras fibras naturales como Manicaria, Coir, Piassava y mayor que el arundo, yute, sisal, lino, cáñamo [25]. De esta forma, el material desarrollado debiese ser sometido a una caracterización para determinar el porcentaje exacto de lignina que queda y así poder atribuir a esta componente la rigidez que presenta el prototipo.

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA

Componente [%]	M1	M2	M3	Promedio
Humedad	3.06	3.3	3.35	3.23 ± 0.15
Cenizas	3.92	3.94	3.87	3.91 ± 0.04
Extraíbles	3.72	4.05	4.79	4.19 ± 0.55
Lignina	15.62	17.53	19.06	17.41 ± 1.72
Holocelulosa	72.7	71.78	71.9	72.13 ± 0.50
α - celulosa	47.77	47.3	47.74	47.61 ± 0.26
Hemicelulosa	24.93	24.47	24.16	24.52 ± 0.39

Estabilidad Térmica

La Figura 1 detalla los resultados obtenidos en el ensayo, en donde el análisis para la fibra en estado natural, se puede observar que la muestra presenta una pérdida de masa entre los $36.41 - 112,07^\circ\text{C}$, correspondiente a un 6.71% lo que se asocia a la humedad, seguida de una pérdida significativa de masa que se produce entre los $142.08 - 937,08^\circ\text{C}$, que corresponde a un 77.97% asociado a compuestos volátiles. Una vez que se realiza el cambio de ambiente a oxígeno, se observan pérdidas de carbono fijo de un 12.38% y se encuentran entre los $479,39^\circ\text{C}$ y $604,67^\circ\text{C}$, finalmente el porcentaje de cenizas es de un 1.04% y se visualiza posterior a los 650°C . Para el análisis realizado a la fibra procesada, se observa que la muestra presenta una pérdida de masa entre $33.18 - 107,48^\circ\text{C}$, correspondiente a un 7.04% lo que se asocia a humedad, luego una pérdida mayor que va entre los $181.20 - 916,20^\circ\text{C}$, que corresponde a un 72.22% se asocia a compuestos volátiles. Una vez que se realiza el cambio de ambiente a oxígeno se observan pérdidas de carbono fijo que corresponden a un 13.36% y se encuentran entre los $510.68 - 633,96^\circ\text{C}$, finalmente el porcentaje de cenizas es de un 0.1% y se visualiza posterior a los 700°C . Es decir que la fibra es estable hasta aproximadamente 200°C ; por lo tanto, la

temperatura de procesamiento se debiese restringir a temperaturas por debajo de este valor para evitar la degradación térmica del material.

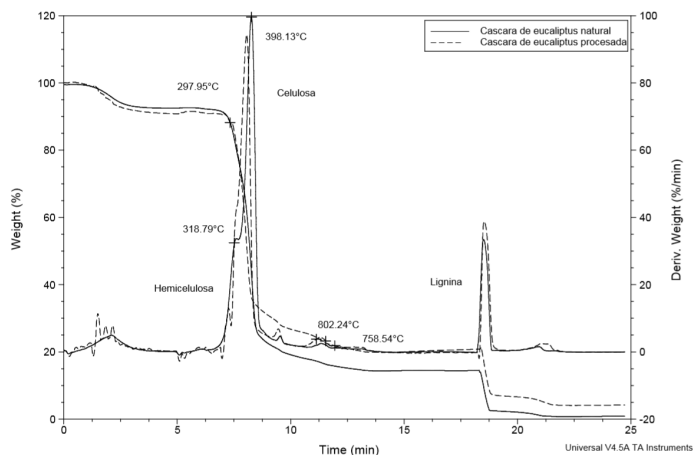


Figura 1. Estabilidad térmica de la fibra.

Análisis de Espectroscopia Infrarroja

Los principales componentes de la fibra, α -celulosa, hemicelulosa y lignina (determinada por el análisis químico) se identifican en los espectros y en las bandas definidas del grupo químico característico. La Figura 2 resume los resultados, en donde en ambas muestras (natural/procesada) se puede observar una banda de absorción alrededor de 3250 cm^{-1} corresponde al enlace O-H, que representa un estiramiento por vibraciones de celulosa y de enlaces de hidrógeno de los grupos hidroxilo. En el peak de 2850 cm^{-1} se aprecia una banda característica de alquilo C-H, en donde se tiene simétricas y asimétricas vibraciones de tensión de celulosa. Se observan cambios en los peaks un poco más consecutivo entre la banda 1200 cm^{-1} al 2200 cm^{-1} , en donde se asocia la banda 2200 cm^{-1} a estiramientos C=O de grupos carbonilo en hemicelulosa. Para las bandas y grupos detectados en 1800 cm^{-1} y 1250 cm^{-1} que se puede atribuir a C-C y C-H respectivamente, por las vibraciones derivadas de la lignina. Otros peaks definidos entre 1250 cm^{-1} , corresponden a C-O, por la vibración de estiramiento del grupo acetilo en la lignina y la hemicelulosa, en el prototipo procesado se ve una disminución de estos rangos, lo que se atribuye a la solubilización de NaOH. En la región de 1000 cm^{-1} , las absorciones pueden atribuirse principalmente a los hidratos de carbono C-O (celulosa y lignina).

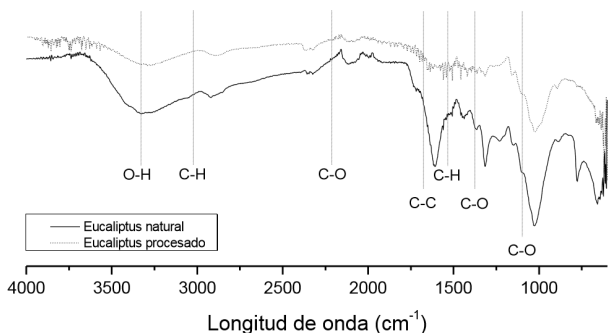


Figura 2. Análisis espectral de la fibra.

Diseño experimental

Del análisis realizado se extrae que los rendimientos respecto a la masa de las fibras bordean el 50%, es decir, se pierde la mitad de la masa en todo el proceso de fabricación de prototipos. Esta pérdida de masa se atribuye al tratamiento con hidróxido de sodio en donde se hidroliza hemicelulosa y se solubiliza lignina [26]. Dentro de las variables evaluadas en software para alcanzar niveles óptimos (bajos) de conductividad y densidad, se obtuvo que, para la elaboración del prototipo final, con propiedades óptimas (conductividad y densidad menor), se debía utilizar fibra de longitud 2 cm, 60 minutos de cocción, 2% de concentración de aditivo y 10 segundos de licuado, con lo cual el valor de conductividad debería bordear los 0.047 (W/mK) . Estos resultados se resumen en la Tabla II.

TABLA II
FACTORES ÓPTIMOS PARA PROTOTIPO FINAL

Factor	Eucaliptus	Unidad
Tamaño de la fibra	2	cm
Tiempo de cocción	60	min
Concentración de aditivo	2	%
Tiempo de licuado	10	seg

En la Figura 3 se muestra el análisis de la influencia de las variables para la conductividad térmica, donde los porcentajes corresponden a la contribución de ésta, la cual está dominada por el tiempo de licuado, ya que influye en un 72.59%, seguido por la cantidad de aditivo incorporada a la mezcla en el proceso de fabricación con un 22.28%, por ende, se procede a realizar prototipos óptimos, enfatizando el proceso en estos factores.

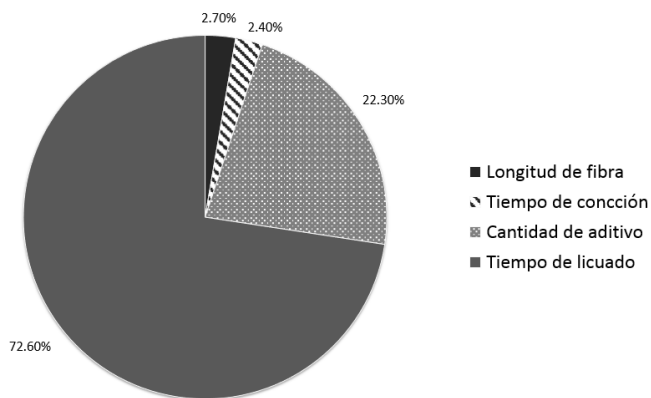


Figura 3. Gráfico influencia de factores.

Conductividad Térmica y Densidad de Prototipos

El promedio de conductividad para los prototipos finales fue de $0.040 \pm 0.001\text{ (W/mK)}$ medidos con un $7.9 \pm 0.07\%$ de humedad, lo cual demuestra que el aislante natural presenta una buena conductividad térmica, comparable con las propiedades térmicas de un Poliestireno expandido tipo IX que posee una conductividad de 0.034 (W/mK) . La Figura 4 muestra la medición de conductividad térmica para un

prototipo. En tanto, el promedio de las densidades de las muestras finales fue de $97.29 \pm 3.89 \text{ kg/m}^3$, lo cual supera ampliamente al EPS que tiene una densidad de 30 kg/m^3 , sin embargo, podría generar una ventaja por inercia térmica, almacenando y liberando energía periódicamente, aunque es un factor que requiere más estudio.



Figura 4. Medición de conductividad térmica a prototipo.

Los resultados se resumen en la Tabla III, en donde se compara con los valores del Poliestireno (EPS tipo IX). En relación a la humedad del material, se determinó que en promedio se trabajó con un material seco, cuyo valor promedio de humedad fue de un 7.9%, lo cual es importante para este tipo de materiales, ya que se evita la proliferación de microorganismos que lo afecten y disminuya o pierda sus propiedades de aislante térmico.

TABLA III
PROPIEDADES DEL PROTOTIPO VS POLIESTIRENO EXPANDIDO

Propiedad	Eucaliptus	Poliestireno expandido (EPS) Tipo IX
Conductividad térmica [W/mk]*	0.040 ± 0.00	0.034
Densidad [kg/m ³]	97.29 ± 3.89	29

*Medido a temperatura ambiente $21.80 \pm 1.12 \text{ }^\circ\text{C}$

Morfología

La microscopía de las fibras se llevó a cabo en dos etapas, la primera etapa fue un análisis para la fibra en estado natural y la segunda fue para el prototipo final. En la Figura 5 se puede apreciar que con los procesos incorporados se logró un desfibrado de la fibra del estado natural.

En las vistas para la superficie interior y exterior de las muestras, se puede observar que el material procesado en su estructura interna posee fibras de diversos tamaños, por lo cual el prototipo no posee una estructura muy homogénea. El tamaño medio de la estructura porosa es alrededor de $100 \mu\text{m}$.

Luego del proceso de pulpeo, esta estructura se mantiene, en donde se puede observar fibras largas (con una gran

relación largo-diámetro), lo que es muy interesante desde el punto de vista del desarrollo de materiales aislantes, ya que mejora la propiedad de conductividad.

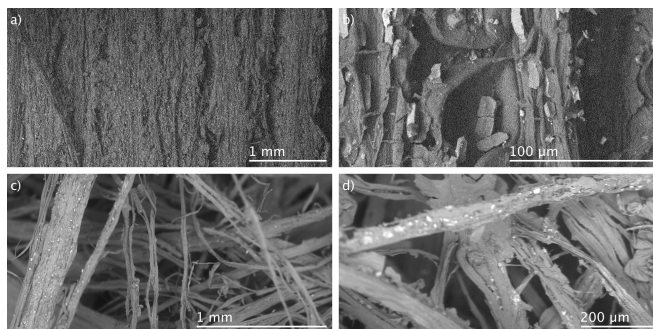


Figura 5. Microscopía de la fibra (a y b) y prototipo (c y d).

Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los prototipos óptimos fueron comparadas con las del Poliestireno expandido (EPS) de densidad 25 Kg/m^3 , cuyas propiedades son señaladas en la norma ASTM 578 “Standar Specification for Rigid, Cellular Polystynere Thermal Insulation” [27]. La Tabla IV posee el resumen de las propiedades.

TABLA IV
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

Propiedad	EPS
Densidad [kg/m ³]	24.64 ± 0.26
Máximo esfuerzo de flexión [Mpa]	0.20 ± 0.01
Módulo de flexión [Mpa]	0.28 ± 3.45
Máximo esfuerzo en compresión [Mpa]	0.14 ± 0.01
Módulo de compresión [Mpa]	2.55 ± 0.62

Para la medición de flexión se analizaron 5 muestras, con el fin de caracterizar el comportamiento completo a lo largo del material y asegurar su homogeneidad. Al analizar los máximos esfuerzos de flexión al 5% de deformación, se puede apreciar que las muestras de eucaliptus alcanzan valores entre 0.042 y 0.058 MPa con una media de $0.052 \pm 0.007 \text{ MPa}$ y un módulo de elasticidad o módulo de Young de $685.47 \pm 228.41 \text{ MPa}$. La Figura 6 presenta el resumen de los resultados de la fibra respecto al EPS.

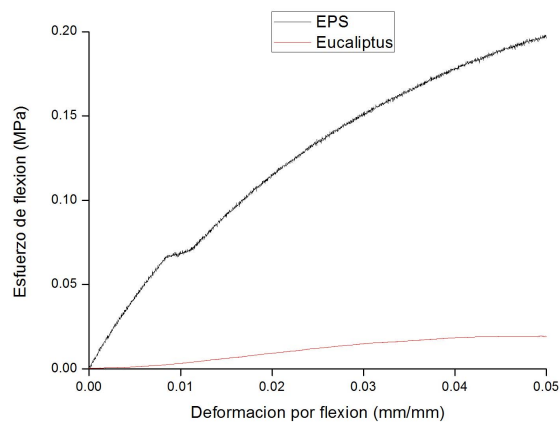


Figura 6. Curva de flexión del prototipo vs poliestireno expandido.

Las mediciones a compresión se tomaron de cada uno de los tres prototipos, con el fin de obtener un resultado confiable y así asegurar la homogeneidad del material. Al evaluar los máximos esfuerzos de compresión al 10% de deformación, se observa que las probetas de eucaliptus alcanzan valores entre 0.006 y 0.007 MPa con una media de $0,007 \pm 0,000$ MPa y un módulo de compresión de un 0.098 ± 0.014 MPa. La Figura 7 presenta el resumen de los resultados de la fibra respecto al EPS. Comparando los resultados con los datos del material de aislamiento comercial (EPS), la muestra de eucaliptus presenta resistencias de deformación en flexión y compresión muy bajas, sin embargo, se requiere de un mayor estudio para poder evaluar su comportamiento real en un muro.

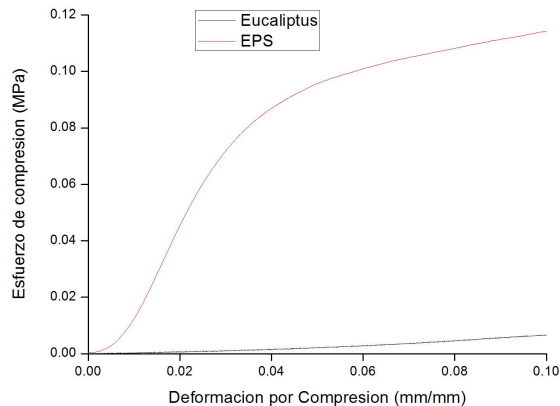


Figura 7. Curva de compresión del prototipo vs poliestireno expandido.

IV. CONCLUSIÓN

El prototipo final de cáscara de eucaliptus presenta una porosidad cerrada, cuyo valor de conductividad térmica es de 0.040 (W/mK), valor que se ubica en el promedio del Poliestireno expandido, el cual oscila entre 0.036 – 0.043 (W/mK), en tanto su densidad es bastante mayor que el EPS. El material presenta buenas condiciones de estabilidad térmica, lo cual entrega una buena aptitud para su uso en construcción. Además, su homogeneidad hace que sea de fácil manipulación y aplicable en viviendas. Finalmente, si se analiza la alta disponibilidad de fibras naturales y su baja conductividad térmica, es posible considerar este tipo de productos como una alternativa para el desarrollo de aislantes

para viviendas, aportando al confort, evitando el uso de materiales sintéticos y promoviendo la sustentabilidad en el sur de Chile.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores desean agradecer el apoyo al proyecto “Desarrollo de técnicas de construcción basadas en materiales locales para potenciar un turismo sustentable en la comuna de Carahue”, perteneciente al Fondo de Investigación UNETE, de la Universidad de La Frontera.

Este trabajo obtuvo el primer lugar en la segunda versión del concurso de Innovación en Eficiencia Energética de ABB en Chile el año 2017, cuya presentación fue realizada por el autor Carlos Rojas.

El trabajo también se presentó en el congreso de la IEEE denominado CHILECON 2017 durante el mes de octubre, ciudad de Pucón, Chile.

REFERENCIAS

- [1] L. Amel, Z. Abdellatif, Q. Daniel, S. Hebert, and C. Abdelkrim, “Experimental thermal characterization of bio-based materials (Aleppo Pine wood, cork and their composites) for building insulation,” *Energy Build.*, vol. 116, pp. 89–95, 2016. □
- [2] F. Asdrubali, F. D. Alessandro, and S. Schiavoni, “Sustainable Materials and Technologies A review of unconventional sustainable building insulation materials,” *SUSMAT*, vol. 4, pp. 1–17, 2015. □
- [3] Martínez, J., Ireta, F., Hernández, M. A., Lozano, J. M., Gutiérrez, H. (2017). A modified analysis of electrical energy consumption in University buildings. *IEEE Latin America Transactions*, 15(3), 408–414. <http://doi.org/10.1109/TLA.2017.7867169> □
- [4] Uribe, G. J. G., Guevara, D. E. R., Gallego, P. A. R. (2018). Estimation of Residential Natural Gas Consumption in Medellín-Antioquia. *IEEE Latin America Transactions*, 16(3), 819–822. □
- [5] F. Ardente, M. Beccali, M. Cellura, and M. Mistretta, “Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 1, pp. 1–10, Jan. 2008. □
- [6] H.W. Linand T.Hong, “On variation of space heating energy use in office buildings,” *Appl. Energy*, vol. 111, pp. 515–528, 2013. □
- [7] J. Oyarzo and B. Peuportier, “Life cycle assessment model applied to housing in Chile,” *J. Clean. Prod.*, vol. 69, no. March 2012, pp. 109–116, 2014. □
- [8] H. Binici, M. Eken, M. Dolaz, O. Aksogan, and M. Kara, “An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 51, pp. 24–33, 2014. □
- [9] R. Galvin, “Thermal upgrades of existing homes in Germany: The building code, subsidies, and economic efficiency,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 6, pp. 834–844, 2010. □
- [10] J. Pinto, A. Paiva, H. Varum, A. Costa, D. Cruz, S. Pereira, L. Fernandes, P. Tavares, and J. Agarwal, “Corn’s cob as a potential ecological thermal insulation material,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 8, pp. 1985–1990, Aug. 2011.
- [11] Salazar, G., Carrión, D. (2015). Characterization and Modeling of the Efficiency of Photovoltaic Systems, 13(8), 2580–2586. *IEEE Latin America Transactions*. <http://doi.org/10.1109/TLA.2015.7332135>
- [12] J.C.Damfeu, P.Meukam, and Y. Jannot, “Modeling and measuring of the thermal properties of insulating vegetable fibers by the asymmetrical hot plate method and the radial flux method: Kapok, coconut, groundnut shell fiber and rattan,” *Thermochim. Acta*, vol. 630, pp. 64–77, 2016.
- [13] J. Zach, J. Hroudová, J. Broz’ovsky, Z. Krejza, and A. Gailius, “Development of thermal insulating materials on natural base for thermal insulation systems,” *Procedia Eng.*, vol. 57, pp. 1288–1294, 2013.
- [14] A. Korjenic, J. Zach, and J. Hroudová, “The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions,” *Energy Build.*, vol. 116, pp. 45–58, Mar. 2016.
- [15] M.Volf, J.Divis, and F.Havlik, “Thermal, moisture and biological behaviour of natural insulating materials,” *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1599–1604, 2015.

- [16] J.Zach, A.Korjenic, V.Petránek, J.Hroudová, and T.Bednar, "Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool," *Energy Build.*, vol. 49, pp. 246–253, Jun. 2012.
- [17] TAPPI Standard, "Caracterización Química de los Residuos Agroindustriales." 2007.
- [18] M. V. K. Ko'k, M. A. Varfolomeev, and D. K. Nurgaliev, "Crude oil characterization using TGA-DTA, TGA-FTIR and TGA-MS techniques," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 154, no. July 2016, pp. 537–542, 2017.
- [19] R. Rios-Reina, R. M. Callejón, C. Oliver-Pozo, J. M. Amigo, and D. L. García-Gonzalez, "ATR-FTIR as a potential tool for controlling high quality vinegar categories," *Food Control*, vol. 78, pp. 230–237, 2017.
- [20] G. Taguchi, "The 'Methods' of a Quality Master: Lance Ealey Interviews Genichi Taguchi , Father of Quality Engineering," *Assem. Autom.*, vol. 13, no. 2, pp. 14–18, 1993.
- [21] I. Decagon Devices, "KD2 Pro Compliance to ASTM and IEEE Standards," 2014.
- [22] M. de Assumpção Pereira-da-Silva and F. A. Ferri, "1 – Scanning Electron Microscopy," *Nanocharacterization Tech.*, pp. 1–35, 2017.
- [23] M. J. D. and P. S. Parveen Kumar, Diane M. Barrett, "Norma ASTM C203 – 05a Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation." 2009.
- [24] "Norma ASTM C165 - 07 Standard Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations." 2012.
- [25] A. Porras, A. Maranon, and I. A. Ashcroft, "Characterization of a novel natural cellulose fabric from *Manicaria saccifera* palm as possible reinforcement of composite materials," *Compos. Part B Eng.*, vol. 74, pp. 66–73, 2015.
- [26] M. J. D. and P. S. Parveen Kumar, Diane M. Barrett, "Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 48, no. 8, pp. 3713–3729, 2009.
- [27] Norma ASTM C578 – 17., "Standard Specification for Rigid , Cellular Polystyrene Thermal Insulation." pp. 1–6, 2004.



Carlos Rojas Herrera Ingeniero constructor de la Universidad de la Frontera, Diplomado en Acondicionamiento Energético Térmico en Edificación Nueva y Existente.



Mara Cea Lemus Ingeniera en Alimentos de la Universidad de La Frontera. Doctora en Ciencias de Recursos Naturales de la Universidad de La Frontera. Profesor asistente del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de La Frontera.



Felipe Esteban Rosas Díaz Ingeniero constructor de la Universidad de la Frontera, Diplomado en Acondicionamiento Energético Térmico en edificación nueva y existente.



Juan Pablo Cárdenas Ramírez Ingeniero Constructor. Universidad de la Frontera (2005) Ingeniero Civil. Doctor en Ciencias de La Ingeniería. Universidad de La Frontera.