

TEJA TIPO SÁNDWICH DE CEMENTO BASADOS EN SUBPRODUCTOS INDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA COMODIDAD TÉRMICA

Leidy V. Monsalve^{1}, Isabel H. Bolaños¹, Paola F. Lopez¹, Edward F. Toro²*

1: Estudiante de Ingeniería de Materiales, Universidad de San Buenaventura. Cali, Colombia.

2: Docente, Doctor en Ingeniería de Materiales, Universidad de San Buenaventura. Cali, Colombia.

*Contacto: leidy_monsa@hotmail.com

RESUMEN

En la presente investigación se estudió el comportamiento mecánico y térmico de una teja tipo sándwich, formada por tres capas, las dos exteriores, con un composite laminar con matriz cementicia reforzada con fibra de fique (FF), desecho de pos cosecha y polvillo de óxido de aluminio (POA), subproducto del proceso de extracción de aluminio de la escoria de la industria metalúrgica y la del medio con pulpa de papel de periódico reciclado (celulosa). Se realizó una primera experimentación, basada en un diseño factorial 2x3 en la cual los factores fueron el porcentaje de POA (0%, 20 % y 30 %) y la adición de FF (Longitud: 2,5 cm, fracción volumétrica: 1,5 % y ordenamiento al azar) con tratamiento químico (Proceso de Delignificación); obteniendo la mezcla optima (Con fibra y al 20% POA), siguiendo con una segunda experimentación, basada en un diseño unifactorial, en la cual el factor fue el espesor de celulosa (3, 4 y 5 cm). La metodología de la mezcla de los materiales se realizó bajo la norma NTC 112. Después de conformar el compuesto laminar cementiceo se ensambló para armar el material tipo sándwich con los diferentes espesores de celulosa, esta previamente se desmenuzo e impermeabilizando con una solución de borato de sodio, generando propiedades anti fúngicas e insecticidas. Las variables respuestas para la teja compuesta tipo sándwich fueron propiedades físicas (densidad aparente y capacidad de absorción según NTC 221); propiedades mecánicas (flexión según NTC 120) y propiedades térmicas según UNE-EN 12667:2002.

Palabras Clave: *Fibra de Fique, Polvillo de Óxido de aluminio, Escoria de Aluminio, Tejas, Mortero Fibroreforzado, Aislamiento Térmico.*

ABSTRACT

In this research it was studied the mechanical and thermal behavior of a tile sandwich , consisting of three layers , the outer two with a laminar composite cement matrix reinforced with sisal fiber (FF), by-product of aluminum extraction metallurgy slag and the byproduct of recycled newspaper (cellulose) in the middle of the cement sheets. A 2x3 factorial experimental design was made first, factors were POA percentage (0 %, 20% and 30%) and addition of FF (length : 2.5 cm, volume fraction : 1, 5% random order) with treatment chemical (delignification process), obtaining the optimal mixture (with 20% fiber and POA) , followed by a second experimental design based on a single factor , in which the factor was the thickness cellulose (3, 4 and 5 cm). The methodology of mixture materials was performed under the NTC 112. After forming the composite laminate is joined to arm cementitious sandwich material with different thicknesses of cellulose, this previously crumbled and waterproofing with a sodium borate solution, generating

anti-fungal and insecticidal properties. The response variables for sandwich composite tile were physical properties (bulk density and absorption capacity as NTC 221) mechanical properties (bending as NTC 120) and thermal properties according to UNE -EN 12667:2002.

Keywords: *Sisal Fiber, Fallout Aluminum Oxide, Aluminum Slag, Texas, Fiber-Reinforced Mortar, Thermal Insulation.*

1 INTRODUCCIÓN

La presente pesquisa hace parte del proyecto “Desarrollo de una vivienda sostenible”, investigado por 3 grupos de investigación de la Universidad de San Buenaventura, Cali, en los años 2012 y 2013. Actualmente los materiales y productos de la construcción convencionales son de alto costo, burdos, pesados, fabricados con materias primas no renovables de negativo impacto ambiental (alta huella de carbono); generando sitios calurosos en el día y uso excesivo de energía en equipos para obtener un confort térmico en la noche. Actualmente no se observa innovación en el área de investigación de productos para la construcción de viviendas con recursos sostenibles y renovables, específicamente con la implementación de subproductos industriales y en especial en la aplicación de cubiertas y/o techos, por lo tanto se realizó esta investigación para solucionar la escasez de materiales manufacturados con subproductos y mejorar el bienestar térmico al reducir la temperatura de la vivienda.

La teja ondulada de cemento es un producto fabricado a partir de cemento portland tipo 1, el cual posee las siguientes características: inalterable, aislante térmico, incombustible, impermeable, económico, resistente y liviana; la teja de cemento es un producto ampliamente utilizado, debido a que su materia prima es accesible en el mercado, el precio de una teja de cemento N° 2 en Colombia está alrededor de los \$8.000.

Teniendo en cuenta que el cemento es un material cerámico tradicional [2], que se caracteriza por ser aislante eléctrico y térmico, y desde el punto de vista mecánico, duro y muy frágil [3], es decir poco dúctil; se han desarrollado investigaciones alrededor del tema de cerámicos reforzados. Estos refuerzos se basan en la utilización de fibras tanto de origen natural como sintético, debido a que la interface fibra-matriz juega un papel importante en las propiedades mecánicas del composite, ya que permite la transferencia de carga, barrera de difusión y de relajación de la tensión residual, mejorando así su comportamiento mecánico [4]

El elemento principal del proyecto es el impacto ambiental del producto terminado, el cual no provocará daños severos al medio ambiente ni a la salud del ser humano, puesto que en el proceso de fabricación de las tejas de cemento fibroreforzado, se eliminara cualquier efecto nocivo para la salud, contrarrestando el uso de la fibra de asbesto, que a pesar de poseer unas buenas propiedades mecánicas es considerada cancerígena y por lo tanto deterioran la calidad de vida de las personas que están a su alrededor.

En la presente investigación se estudió el comportamiento a flexión y térmico de tejas termo con matriz cementicea reforzada con fibra corta de fique y polvillo de escoria de aluminio como agregado. La finalidad del proyecto es dar valor agregado a la utilización de residuos como la

fibra de fique el cual es un desecho de pos cosecha y el polvillo de escoria de aluminio generado en la molienda de escoria de aluminio de la industria metalúrgica.

2 MATERIALES Y METODOS

Los materiales empleados fueron: cemento portland tipo I, arena, bentonita sódica, FF corta tratada químicamente por medio de una Delignificación y POA. Posteriormente, la metodología se basó en una caracterización micro estructural de la FF sin y con tratamiento para observar el efecto del tratamiento químico por medio de SEM; análisis granulométrico de los agregados según norma NTC 77; caracterización de la pasta de cemento por medio del aparato Vicat según norma NTC 110 para determinar consistencia normal, y norma NTC 118 para determinar tiempo de fraguado; y un método de mezclado según norma NTC 112 con una relación a/c de 0,9 debido a la aplicación final. La metodología de investigación se basó en dos experimentación: la primera experimentación, fundamentada en un diseño factorial 2x3 en la cual los factores fueron el porcentaje de POA (0%, 20 % y 30 %) y la adición de FF (Longitud: 2,5 cm, fracción volumétrica: 1,5 % y ordenamiento al azar) con tratamiento químico (Proceso de Delignificación por medio de Bisulfito de Sodio e Hidróxido de Sodio); obteniendo la mezcla optima (Con fibra y al 20% POA); y la segunda experimentación, basada en un diseño unifactorial, en la cual el factor fue el espesor de celulosa (3, 4 y 5 cm). Finalmente se evaluaron propiedades físicas: densidad aparente y capacidad de absorción según norma NTC 221, propiedades mecánicas: flexión según norma NTC 120 y propiedades térmicas según norma UNE-EN 12667:2002.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterización de la materia prima

3.1.1 Fibra de fique

Se realizó un estudio de caracterización de la fibra de fique sin y con tratamiento químico (Delignificación); se midió las propiedades físicas de la fibra donde se determinó una densidad de $0,723 \text{ g/cm}^3$ y longitud promedio de 2,57 cm; posteriormente se determinó químicamente la composición de lignina y celulosa, 10 y 70%; respectivamente.. Luego se estudió la morfología de la fibra por medio de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) y Estereoscopia, donde se observó que en el caso de la fibra sin tratamiento un filamento de ordenamiento lineal y en la tratada químicamente el desacople de las fibrillas en los filamentos. En la misma prueba se realizó el EDS donde mostró una disminución en la concentración de carbono y oxígeno, principales elementos de la lignina y la celulosa, como se observa en la figura 1.

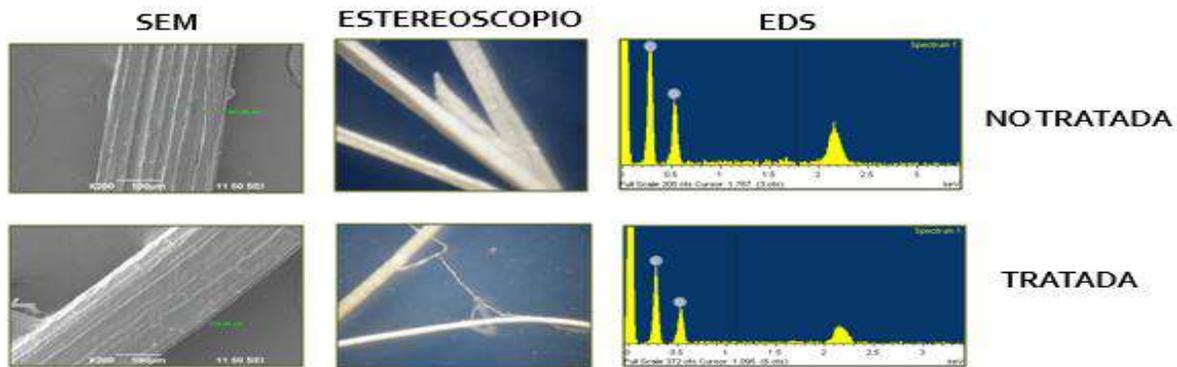


Figura 1. Caracterización de la fibra de fique sin y con tratamiento químico

3.1.2 Polvillo de óxido de aluminio

Se realizaron estudios de caracterización del polvillo de óxido de aluminio. Primero se realizó un análisis químico de Difracción de Rayos X (DRX) en el cual se observó que la fase predominante es Al_3O_2 (alúmina) en forma romboedral y se realizaron estudios de morfología por medio de SEM. Se determinó la densidad del POA, la cual fue de $0,754 \text{ g/cm}^3$. Posteriormente se realizó un análisis granulométrico de los agregados según norma NTC 77, observando que el módulo de finura del POA es de 3,72 y el módulo de finura de la arena es de 3,88 permitiendo la sustitución parcial en el material compuesto.

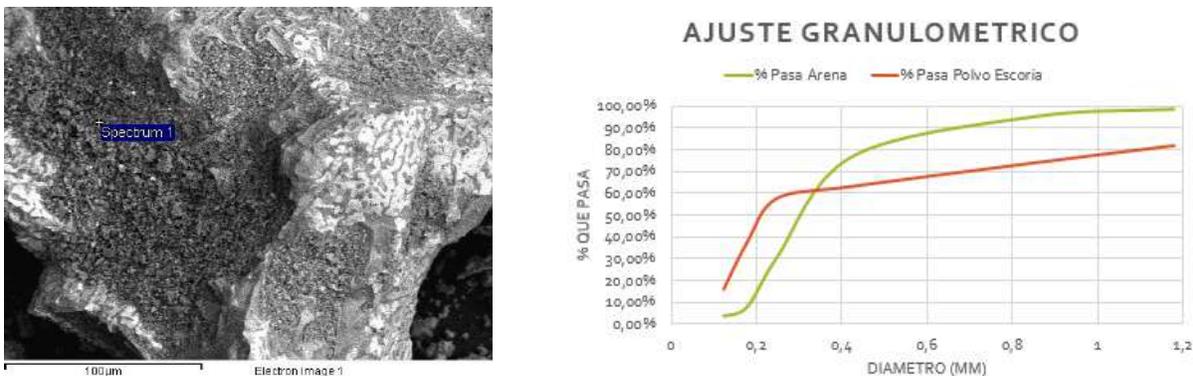


Figura 2 (a) SEM de Polvillo de óxido de aluminio (b) Distribución granulométrica POA

3.2 Caracterización de la pasta

Se realizaron estudios de caracterización de la pasta de cemento, para estudiar el efecto de la adición del POA a concentraciones del 0, 20 y 30 %.

3.2.1 Consistencia normal

Se realizó un ensayo de consistencia normal por medio de Aparato Vicat según norma NTC 110, en donde se observó que al aumentar la concentración de POA, incrementaba la relación a/c; es

decir, que la concentración de POA y la relación a/c tienen una relación directamente proporcional.

3.2.2 Tiempo de fraguado

Se realizó un ensayo de tiempo de fraguado por medio de Aparato Vicat según norma NTC 118, en donde se observó que al aumentar la concentración de POA, disminuía el tiempo de fraguado; es decir, que la concentración de POA y el tiempo de fraguado tienen una relación indirectamente proporcional.

3.3 Evaluación de propiedades

3.3.1 Propiedades físicas

Se determinaron propiedades físicas del material compuesto laminar, según norma NTC 221. La densidad aparente disminuyó conforme incrementaba la adición de POA. Luego la capacidad de absorción aumentó conforme incrementaba la adición de POA. Lo anterior se debe a que el POA es un material poroso, tal como se observó en su caracterización, donde su densidad y absorción es 0,754 g/cm³ y 12%, lo cual confiere ligereza al material debido a que los poros aumentan.

3.3.2 Propiedades mecánicas

Se realizaron ensayos a flexión del material compuesto, según norma NTC 120. El aumento en la concentración de POA, mejoró la resistencia a flexión del material compuesto fibroreforzado. El ensayo a la flexión del compuesto laminar con matriz cementicia reforzada con FF tratada al 20% de POA y la teja compuesta tipo sándwich proporcionaron una resistencia de 2,69 MPa y 5,44 MPa, respectivamente.

Tabla 1 Propiedades mecánicas del compuesto laminar

Factores		Variables respuesta
FF tratada	%POA	Resistencia a la flexión (MPa)
Sin fibra	0,00	2,41
	20,00	2,69
	30,00	0,51
Con fibra	0,00	2,18
	20,00	2,00
	30,00	1,56

3.3.3 Propiedades térmicas

Se determinó la conductividad térmica del material compuesto, según norma UNE-EN 12667:2002. A medida aumentaba el espesor, disminuía la conductividad térmica, por lo cual el espesor óptimo fue el de 5cm. La conductividad térmica de la lámina de pulpa, compuesto laminar con matriz cementicia reforzada y del sándwich dieron 0,041 W/(m·K), 0,79 W/(m·K) y 0,19 W/(m·K).

4 CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio realizado, se puede concluir que la utilización de subproductos industriales como lo son la fibra de fique y el polvillo de óxido de aluminio, contribuye a las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de las tejas; y que su investigación permite innovar en la implementación de materiales compuestos tipo sándwich para la aplicación en tejados. Finalmente la teja tipo sándwich de matriz fibroreforzada con 20% POA otorgo las mejores propiedades físicas y mecánicas, con una densidad de 1,55g/cm³, una capacidad de absorción del 7,98%, y una resistencia a la flexión de 2,69MPa. Con respecto a las propiedades térmicas, utilizando un espesor de 5cm se obtuvo el mejor resultado con una conductividad de 0,19 W/(m·K).

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. M. P. Groover, “Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas”, Pearson Educación, 1997.
2. W. D. Callister, “Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales”, Editorial Reverté, 2007.
3. R. R. Naslain, “The design of the fibre-matrix interfacial zone in ceramic matrix composite”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol.29, No.9–10, 1145–1155, 1998.
4. Roma Jr, L.C., Martello, L.S., Savastano Jr, H. “Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers”, Construction and Building Materials, Vol.22, No.4, 668-674, Abril 2008.
5. Tolêdo, R.D., Ghavami, K., England, G.L., Scrivener, K., “Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability”, Cement and Concrete Composites, Vol.25, No.2, 185–196, Febrero 2003.
6. Jarabo, R., Montea, M.C., Fuente, E., Santos, S.F., Negro, C., “Corn stalk from agricultural residue used as reinforcement fiber in fiber-cement production”, Industrial Crops and Products, Vol.43, No.1, 832–839, Mayo 2013.
7. Delvasto, S., Mejia, R., Ferrer, C., Carcel, A., “The Microstructure Of The Interfacial Zone Between A Portland Cement Matrix And Fique Reinforcing Fiber”, Proceedings Ferrocement, Vol.6, 431 – 431, Junio 1998.
8. López, A., Pérez, C., Tayibi, H., Carmona, N., Garcia, M., Villegas, M.A., López, F.A., Alguacil, F.J., “Valorization of a hazardous waste from secondary aluminium metallurgy as calcium aluminate glasses”, Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology, Vol. A, 854-864, Septiembre 2007