**Resistencia a cargas del viento de tejas de fibrocemento y material compuesto a base de semilla de tucumá.**

**Resistance to wind loads of fiber cement tiles and composite material based on tucumá seed.**

Antonio Claudio Kieling1, Genilson Pereira Santana2, Roberto Andrés Estrada Cingualbres3 Pavel Michel Almaguer Zaldívar4.

1Departamento de Ingeniería Mecánica, UEA, Manaus, Brasil, antonio.kieling@yahoo.com

2Departamento Química, ICE, UFAM, Manaus, Brasil, gsantana2005@gmail.com

3Departamento de Ingeniería Mecánica, UEA, Manaus, Brasil; CE CAD/CAM, UHo, Holguín, Cuba, cingualbres2005@gmail.com

4CE CAD/CAM, UHo, Holguín, Cuba, pavel@uho.edu.cu

**RESUMEN**

Las cubiertas ligeras son elementos muy utilizados en los techos de viviendas, obras sociales e industriales, estas son construidas de diferentes materiales como el fibrocemento teniendo frecuentemente como uno de sus componentes el amianto (asbesto), material del cual se han realizado estudios donde se demuestra que es un material altamente tóxico y cancerígeno que no debería ser utilizado en la construcción. Para mitigar esta problemática se realizan estudios para la obtención de nuevos materiales mayormente compuestos que reúnan características resistivas similares o superiores a las del fibrocemento y que puedan ser utilizados en la fabricación de tejas para cubiertas de diferentes obras. El objetivo de esta investigación ha sido la caracterización de un nuevo material compuesto en base a una matriz polimérica reforzada con partículas de la corteza de la semilla del árbol del tucumá (Astrocaryum Aculeatum), y la comparación del comportamiento resistivo a través del Método de los Elementos Finitos de las cubiertas ligeras construidas con este material y las de fibrocemento (amianto-cemento) del tipo onduladas sometidas a la acción del viento.

Palabras clave:elementos finitos, cubiertas ligeras, vientos, fibrocemento, materiales compuestos.

**ABSTRACT**

The roofing tiles are very used elements in the roofs of houses, social and industrial works, these are constructed of different materials such as fiber cement having as one of its components asbestos (asbestos), material of which studies have been carried where it is demonstrated which is a highly toxic and carcinogenic material that should not be used in construction. To mitigate this problem, studies are being carried to obtain new, mostly composite materials that have similar or superior resistive characteristics to those of fiber cement and that can be used in the manufacture of roofing tiles for different works. The objective of this research has been the characterization of a new composite material based on a polymeric matrix reinforced with particles of the bark of the seed of the tucumá tree (Astrocaryum Aculeatum), and the comparison of the resistive behavior through the method of the Finite elements of the light covers constructed with this material and those of fiber cement (asbestos-cement) of the wavy type subjected to the action of the wind.

Keywords: finite elements, light covers, winds, asbestos cement, composite materials

1. **INTRODUCCION**

Los materiales fabricados a base de cemento son ampliamente utilizados en la construcción civil. El fibrocemento es un ejemplo de este tipo de material muy utilizado en la producción de tejas y tanques de agua. En su forma original, éste estaba compuesto por cemento, amianto y agua. En Brasil, el fibrocemento es considerado la mejor solución para las viviendas destinadas al segmento de la población con menor poder adquisitivo, en razón de su menor costo frente a otras soluciones constructivas convencionales para cubiertas [1].

Varios son los trabajos donde se estudian las propiedades tóxicas del asbesto cemento [2, 3 y 4], demostrándose la alta incidencia de enfermedades en la vías respiratorias incluido el cáncer debido a la exposición a esta sustancia, sobre todo cuando se producen fracturas de las tejas debido a una mala manipulación o a fenómenos naturales.

Desde el descubrimiento del asbesto cemento, se han realizado estudios para la mejora de sus componentes y propiedades, utilizándose fibras naturales de origen animal y vegetal, así en [5] se estudiaron las propiedades del concreto endurecido, utilizando fibra sintética y fibra natural de origen animal, realizándose un análisis comparativo entre la fibra sintética y la fibra natural de origen animal (plumas de aves), las cuales se estudiaron en ensayos normados por la ASTM y pruebas experimentales. Otros trabajos tratan sobre la adición de fibras vegetales como refuerzo, que proporciona a las matrices cementosas mayor resistencia al impacto, causado por una mayor absorción de energía y un aumento en la capacidad de aislamiento termo acústico [6 -10].

Dentro de los elementos constructivos de las edificaciones, las cubiertas ligeras constituyen el punto más vulnerable ante el efecto de los fuertes vientos y las intensas lluvias que traen consigo estos eventos naturales, (Ver figura 1).



Figura 1. Impacto de los huracanes sobre las cubiertas ligeras de fibrocemento en las provincias del oriente cubano [11].

Para disminuir el riesgo al que están sometidas las cubiertas ligeras es necesario realizar investigaciones encaminadas a estudiar los factores que inciden en la baja resistencia que tienen estos elementos ante sucesos de esta naturaleza, lo cual permitirá llegar a conocer las causas que originan los elevados índices de vulnerabilidad y proponer soluciones para mitigar el impacto sobre las mismas.

Varios son los trabajos donde se aplica el análisis por el Método de los Elementos Finitos (MEF) para el estudio del comportamiento resistivo de elementos estructurales. En Mitigación del colapso de las cubiertas ligeras de fibrocemento ante vientos huracanados, [11]. En [12, 14 y 13] se realiza el estudio numérico para determinar la vulnerabilidad de la estructura de una casa de cultivo utilizada en Cuba y en México cuando actúan vientos de un huracán de alta categoría.

El tucumá del Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) es una palmera generalmente solitaria y se distribuye en los estados brasileños del Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima, Pará y Mato Grosso, y también en las Guayas, Venezuela, Colombia, Perú y Bolivia. Su fruto contiene una pulpa anaranjada y rica en vitamina A y β-caroteno, siendo consumida en el cotidiano de la culinaria local del Amazonas en tapiocas, sándwiches, cremas y helados, y su semilla es descartada habitualmente en la basura.

El objetivo general de la presente investigación ha sido la caracterización de las propiedades mecánicas de un material compuesto por una matriz polimérica de polipropileno mezclado con partículas trituradas de la corteza de la semilla del fruto del tucumá y el estudio comparativo del comportamiento resistivo de tejas onduladas fabricadas de este material y de fibrocementos sometidas a cargas de viento moderados empleando para ello el análisis por elementos finitos.

1. **MATERIALES Y METODOS**

Las cubiertas ligeras que se utilizan en las construcciones civiles son disímiles en función de distintos factores que pueden ser, desde el desarrollo económico y social de cada lugar, hasta los materiales disponibles que se tengan en la localidad. Entre las cubiertas ligeras del tipo plancha más empleadas se destacan las de fibrocemento, las cuales adoptan distintas formas y dimensiones.

Se resaltan en [16, 17 y 18], un conjunto de variables muy importantes que caracterizan las cubiertas ligeras, entre las que se destacan: los materiales, formas y dimensiones, uniones, los elementos de fijación y su geometría, así como el proceso tecnológico de fabricación y colocación en la vivienda.

Los materiales constituyen un elemento fundamental de una cubierta, los cuales le ofrecen resistencia, durabilidad, confort, impermeabilidad, aislamiento térmico y peso reducido, entre otros aspectos.

**2.1. Caracterización de las propiedades mecánicas del material compuesto a base de matriz polimérica y semillas trituradas de tucumá.**

La semilla se rompió con la ayuda de un cilindro metálico y separada en pequeños pedazos manualmente, para posteriormente ser triturados en un molino de cuchillas Marconi con apertura de tamiz 30, obteniendo un polvo de madera de tucumá con granulometría 577 ± 134 μm. En la fabricación del compuesto se utilizó el proceso de inyección directamente, evitando la utilización del proceso intermedio de extrusión. Las materias primas (polvo de semilla de tucumá, pET y el Polipropileno – PP) se utilizaron de forma natural, sólo se produjo una trituración como se describió anteriormente. Las pruebas de inyección de la madera de plástico se realizaron utilizando PP y pET secos en un invernadero por seis horas. Los compuestos se obtuvieron en las siguientes proporciones: 100% de polipropileno (PP100); 90% de PP y 10% de pET (PP90); 80% de PP de 20% de pET (PP80); 70% de PP y 30% de pET (PP70); 60% de PP y 40% de pET (PP60); 50% de PP y 50% de pET (PP50) [19].

Las muestras de los compuestos fueron elaboradas según las normas ASTM D-638/14 (resistencia a la tracción, deformación en la tracción y módulo de elasticidad en la tracción), ASTM D-638-02 (resistencia a la compresión, módulo de elasticidad en la compresión) y ATM D790 -03 (resistencia a la flexión) para la determinación de sus propiedades mecánicas. La temperatura de referencia para las pruebas fue de 23 ± 2 ° C y la humedad relativa del aire de 50 ± 10%. Se utilizó una máquina de ensayo universal modelo Instron 5984, equipada con una célula de carga de 150 kN con una velocidad de desplazamiento en el orden de 10 mm/min (Ver Figura 2). Para esta prueba, se ensayaron cinco muestras para cada composición [19]. Los resultados están en la Tabla 1.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, la resistencia a la tracción de los compuestos de pET-PP se encuentra en el rango de 18,21-9,36 MPa, dependiendo de las formulaciones del compuesto, con las composiciones presentando valores inferiores al PP puro. Los datos muestran que la resistencia a la compresión se encuentra en el rango de 7,61-17,85 MPa dependiendo de la formulación del compuesto, con las composiciones presentando valores superiores al PP puro. La resistencia a la flexión se encuentra en el rango de 57,25-41,08 MPa dependiendo de la formulación del compuesto, con todas las composiciones presentando valores ligeramente inferiores al PP puro [19].

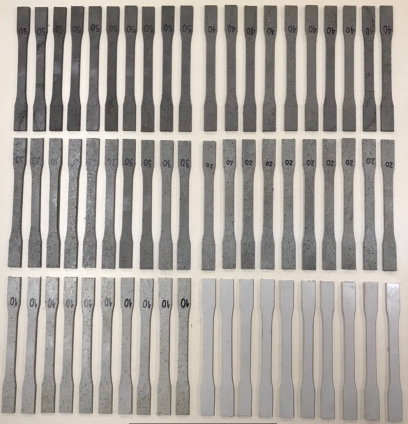




Figura 2. Probetas de material compuesto para los ensayos de tracción-compresión a la izquierda y ensayo del material compuesto a flexión a la derecha

Tabla 1- Resultados de los ensayos mecánicos de tracción, compresión y flexión en las muestras de PP y de los compuestos

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| MUESTRA | Resistencia Tracción (MPa) | | Módulo Elasticidad Tracción (GPa) | | Alargamiento Rotura (%) | | Resistencia Compressión (MPa) | | Módulo Elasticidad Compresión (GPa) | | Resistencia Flexión (MPa) | |
| Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE |
| PP100 | 23,06 | 0,56 | 0,73 | 0,02 | 11,75 | 1,17 | 7,61 | 0,43 | 0,58 | 0,04 | 57,25 | 3,01 |
| PP90 | 18,21 | 0,93 | 0,73 | 0,02 | 11,75 | 1,17 | 8,85 | 0,59 | 0,49 | 0,06 | 54,57 | 3,19 |
| PP80 | 17,84 | 1,2 | 0,73 | 0,04 | 11,89 | 3,02 | 12,28 | 3,36 | 0,5 | 0,12 | 56,39 | 4,06 |
| PP70 | 14,13 | 2,38 | 0,83 | 0,05 | 9,64 | 5,73 | 16,83 | 1,05 | 0,37 | 0,04 | 53,68 | 7,07 |
| PP60 | 10,09 | 2,72 | 0,94 | 0,07 | 5,49 | 0,77 | 17,85 | 1,61 | 0,43 | 0,05 | 48,68 | 6,56 |
| PP50 | 9,36 | 1,51 | 0,94 | 0,07 | 9,36 | 1,51 | 13,19 | 1,71 | 0,33 | 0,05 | 41,08 | 6,31 |

**2.2 Estudio de la resistencia de las tejas de fibrocemento y de material compuesto sometidas a la acción del viento**

El Método de los Elementos Finitos es ampliamente usado en la actualidad en diferentes aplicaciones del análisis estructural con el fin de determinar el estado tensional-deformacional de los elementos que conforman la misma sin importar su grado de complejidad y teniendo en cuenta inclusive, los concentradores de tensiones que puedan existir en esta [20, 21].

* + 1. **Confección de los modelos geométricos de las tejas onduladas.**

En [11] se realizó el estudio comparativo del comportamiento resistivo de tejas de asbesto cemento con diferentes formas de su sección transversal, en el mismo se concluye que las de tipo onduladas son las de mayor resistencia, escogiéndose por tanto esta forma para las tejas que serán estudiadas en esta investigación.

Para la confección del modelo geométrico de lateja objeto de estudio, se tuvieron en cuenta las formas y dimensiones generales de las mismas, según el trabajo de [11]. El modelo geométrico de la teja ondulada(Figura 3),se obtuvo a través de una operación de extrusión de la curva que define su sección transversal asignando un espesor a la teja de 6 mm, posteriormente a través de una operación de extruir corte se perforan los agujeros correspondientes a la sujeción de las tejas.

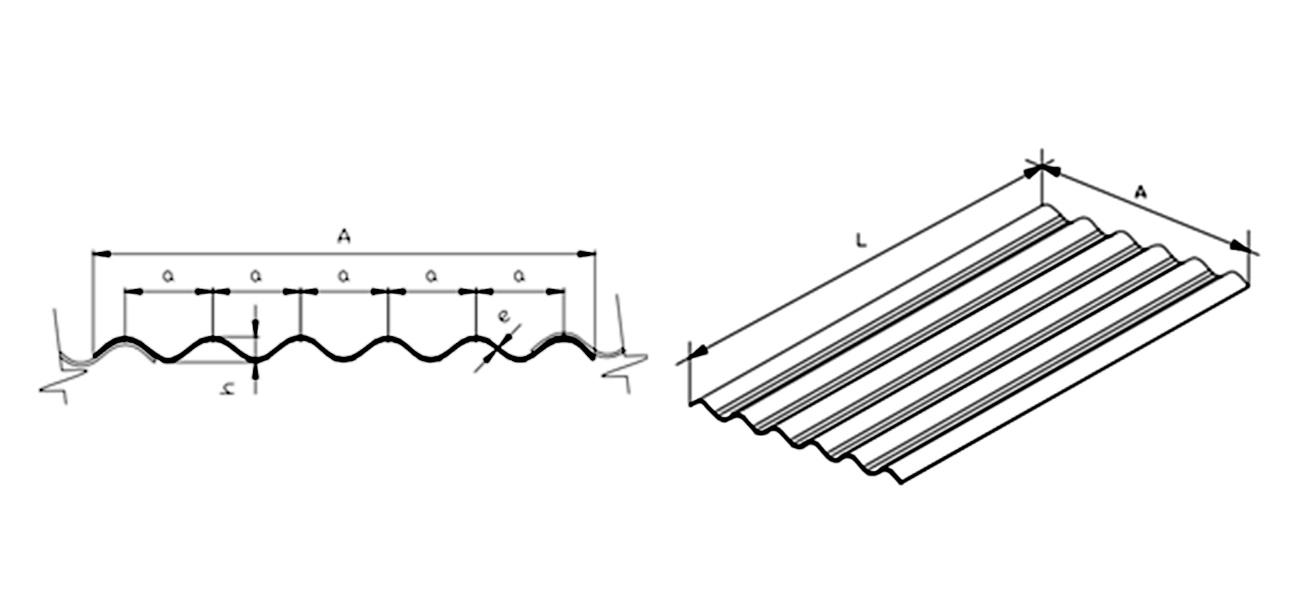


Fig. 3. Modelo geométrico de la plancha ondulada [16].

* + 1. **Selección del tipo de análisis.**

Cuando se aplican cargas a un sólido, este se deforma y el efecto de las cargas se transmite a través del mismo. Las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones para mantener el sólido en un estado de equilibrio. El análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de las cargas aplicadas.

En esta investigación se supone que los modelos tienen un comportamiento lineal. Todos los materiales del modelo cumplen con la Ley de Hooke, los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para ignorar el cambio en la rigidez causado por la carga. Las condiciones de contorno no varían durante la aplicación de las cargas. Las cargas aplicadas serán constantes en cuanto a magnitud, dirección y distribución, no deben cambiar mientras se deforma el modelo.

**2.2.3.- Asignación de las propiedades físico - mecánicas de las cubiertas.**

A partir de la revisión bibliográfica [22] se obtienen las propiedades mecánicas del fibrocemento, las que aparecen en la Tabla 2 conjuntamente con las del material compuesto a base de una matriz polimérica con refuerzo a partir de la semilla del tucumá. En ambos casos se asumió un modelo constitutivo isotrópico elástico lineal, característico de ambos materiales.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los materiales estudiados.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nomenclatura** | **Denominación** | **Valor** | |
| **Fibrocemento** | **Material compuesto** |
| E (GPa) | Módulo elástico | 26 | 0,5 |
| µ | Coeficiente de Poisson | 0,15 | 0,19 |
| σft (MPa) | Resistencia a la flexotracción. | 30,00 | 51,94 |

**2.2.4. Cálculo de la carga de viento extremo**

En diversos trabajos se considera al viento como magnitud variable en dos escalas, una macro, donde se analiza su comportamiento en minutos, horas días y otra micro para el análisis en pocos segundos [23].

En este trabajo se realizará un estudio con las cargas estáticas ponderadas por diferentes coeficientes que originan el valor máximo de la carga instantánea actuante a partir de la metodología empleada en [24], donde se tuvieron en cuenta diferentes factores que influyen sobre la carga del viento como son: la presión básica del viento, el coeficiente de recurrencia, el coeficiente de topografía o sitio, el coeficiente de altura, el coeficiente de ráfaga, el coeficiente de reducción por área expuesta y el coeficiente de forma.

Las cargas introducidas en esta investigación al modelo son las de viento de 100 km/h (27,77 m/s) para construcciones de 10 m de altitud.

En la investigación citada se obtuvo una carga del viento de

para una presión básica del viento(q10) igual a 3 kN/m2 producto a un viento de 69,44 m/s2

donde:

V10 -velocidad característica del viento para un período básico de recurrencia y a una altura de 10 m sobre el terreno, (m/s).

1,6 - factor empírico.

Por lo que puede calcularse sin ninguna dificultad que el produto de los diferentes coeficientes que aparecen em la ecuación de la carga del viento que llamaremos de Ctot es igual a 0,46

La presión básica del viento para uma velocidad de este de 100 km/h (27,77 m/s2) será de

Con lo que la carga del viento en el presente estudio será igual a

**2.2.5. Aplicación de las restricciones a los desplazamientos en los puntos de sujeción de las planchas.**

En ambos modelos las restricciones se colocaron en el lugar donde van ubicados los tornillos, seleccionándose la sujeción radial en el interior de los agujeros y en la ubicación de la arandela se limitan los desplazamientos en el eje vertical, simulando las sujeciones de la plancha cuando se encuentra sometida a succión (estado de carga más crítico).

**2.3. Mallado de las planchas.**

Se realizó un mallado general en las planchas utilizando elementos finitos tipo tetraédrico de alto orden con 10 nodos y 3 grados de libertad por nodo, con un tamaño de elementos inicial de 20 mm, luego 15 mm, hasta disminuir a 5,5 mm y 7 mm y una tolerancia de 0,3 mm para el mallado global, con un control en el mallado en los agujeros y en la superficie correspondiente al contacto con la arandela, lugar donde van ubicadas las sujeciones con un tamaño del elemento de 0,5 mm con un cociente de crecimiento de 1,1, alcanzándose una convergencia de 2,7 %, obteniéndose finalmente un mallado con 2.343.316 nodos y 1.163.115 elementos.

En la Figura 4 puede apreciarse el modelo numérico de la plancha ondulada con las cargas actuantes (en rojo), las sujeciones (en verde) y el mallado aplicado al modelo.

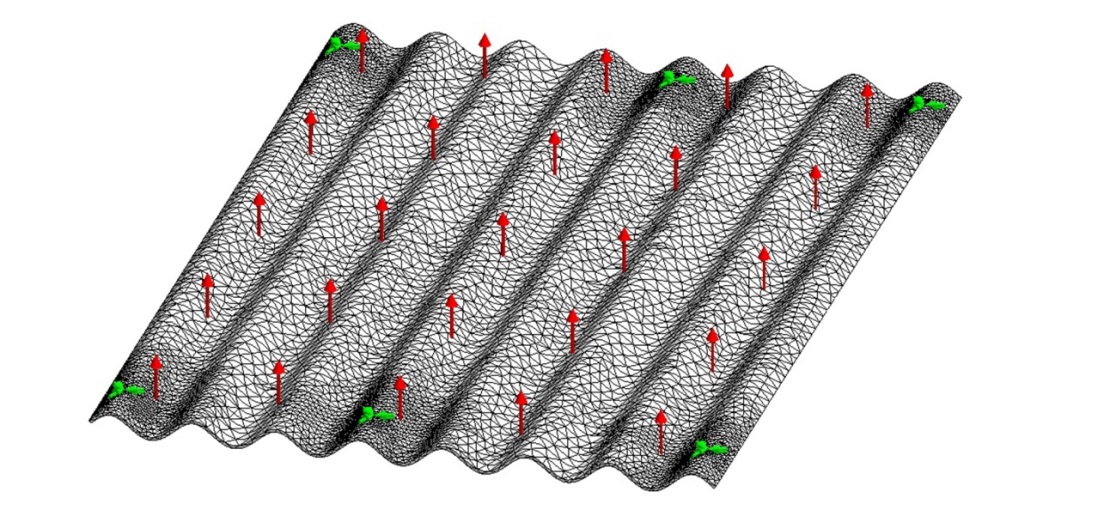


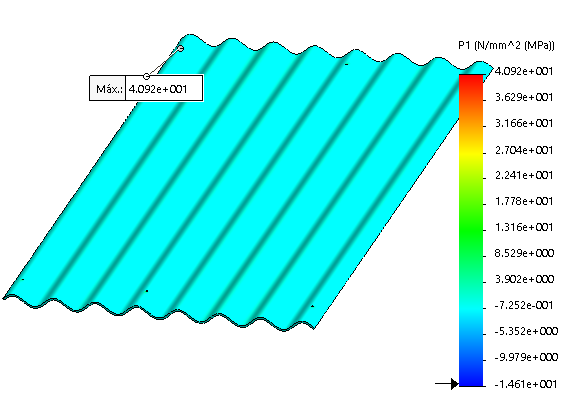
Figura 4. Modelo numérico de la plancha acanalada de fibrocemento y de material compuesto

**3. RESULTADOS.**

**3.1. Determinación de las tensiones y los desplazamientos producto a la carga equivalente máxima.**

La modelación de una cubierta completa requiere de altos recursos computacionales, por otra parte no existe un límite en cuanto a las dimensiones que pueda tener una obra industrial o social y de la cantidad de tejas o planchas que llevará la cubierta, surge por tanto la necesidad de comparar los resultados del estado tensional para varias tejas y en caso de obtenerse resultados similares, podrá trabajarse en lo adelante con una plancha con el ahorro computacional que esto representa. En [11] se hace un estudio sobre modelos con diferentes cantidades de tejas con ensamblajes de las mismas en sentido longitudinal y transversal apreciándose como los resultados de las tensiones principales para un número diferente de planchas con variadas disposiciones, muestra una tendencia lineal con cierto decrecimiento, lo que se justifica, ya que al realizar el montaje de las cubiertas con varias tejas, el área total expuesta de la cubierta disminuye con el ensamblaje, por lo que al actuar la misma presión la carga total actuante es un tanto menor. Concluyendo que se puede trabajar con una sola plancha como estado más crítico en el montaje de la cubierta ligera.

En las Figuras 5 y 6 se muestra respectivamente la distribución de las tensiones principales en la plancha de fibrocemento y de material compuesto con fibras de tucumá y un acercamiento isocromático a la derecha de donde las tensiones superan el límite de resistencia en las mismas



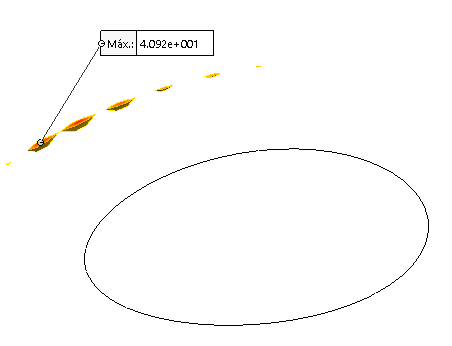
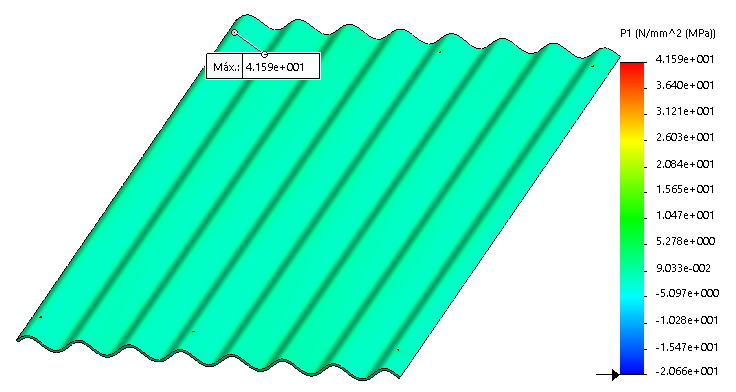


Figura 5. Distribución de tensiones principales en la plancha de fibrocemento



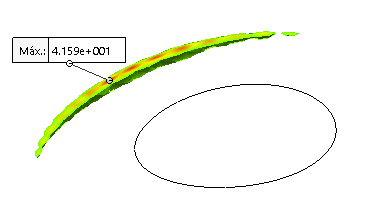


Figura 6. Distribución de tensiones principales en la plancha de composite.

La distribución de los desplazamientos verticales en ambas planchas puede apreciarse en las Figuras 7 y 8 respectivamente

En la Tabla 3 aparecen los resultados de las tensiones principales máximas, el coeficiente de seguridad y los desplazamientos verticales máximos para ambos modelos de tejas.

Tabla 3. Tensiones principales, coeficiente de seguridad y desplazamientos verticales máximos en las planchas para una velocidad del viento de 100 km/h.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo de plancha | espesor (mm) | largo (mm) | ancho (mm) | Tensión principal (MPa) | Factor de seguridad | Desplazamiento vertical (mm) |
| ondulada de fibrocemento | 7,0 | 1.750 | 1.130 | 40,92 | 0,73 | 0,38 |
| Ondulada de material compuesto | 7,0 | 1,750 | 1.130 | 41,59 | 0,44 | 14,88 |

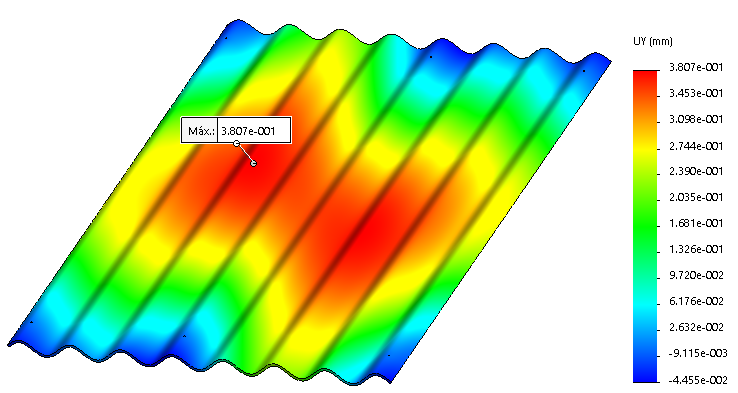


Figura 7.Distribución de los desplazamientos verticales en la plancha de fibrocemento.

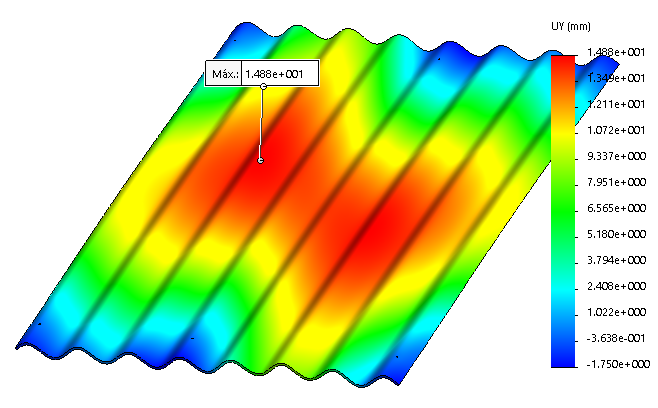


Figura 8.Distribución de los desplazamientos verticales en la plancha de material compuesto

**4. DISCUSION**

Según las Figuras 5 y 6 y la Tabla 3, se aprecia la distribución de las tensiones principales las cuales superan en ambos casos el límite de resistencia del material empleado para una presión equivalente generada por una velocidad del viento de 100 km/h. En los acercamientos realizados a la zona de las máximas tensiones para una representación ISO de las mismas por encima del límite de resistencia de cada material, puede apreciarse que las zonas donde ocurren los valores máximos de las tensiones que superan el Límite a flexo-tracción del fibrocemento y el material compuesto se hallan en una pequeña zona en la periferia de la sujeción de la arandela con el tornillo que fija la teja en su parte superior a las vigas o purling, en el resto de la teja las tensiones se encuentran por debajo del límite de resistencia.

En las Figuras 7 y 8 y la Tabla 3, se aprecia la distribución de los desplazamientos verticales en ambas tejas, siendo muy superior el desplazamiento vertical en una franja central que se extiende hasta los bordes intermedios en la teja de material compuesto.

Con el objetivo de disminuir el valor de las tensiones y los desplazamientos verticales en el caso del material compuesto utilizado se realizan dos variantes de modificación al sistema de sujeción de la plancha, siendo estos:

a) Colocación simétrica de las sujeciones intermedias de las tejas al techo. Las tensiones principales disminuyen ligeramente a 40,19 MPa. Los desplazamientos verticales en este caso disminuyen ligeramente a 14,17 mm como puede apreciarse en la Figura 9.

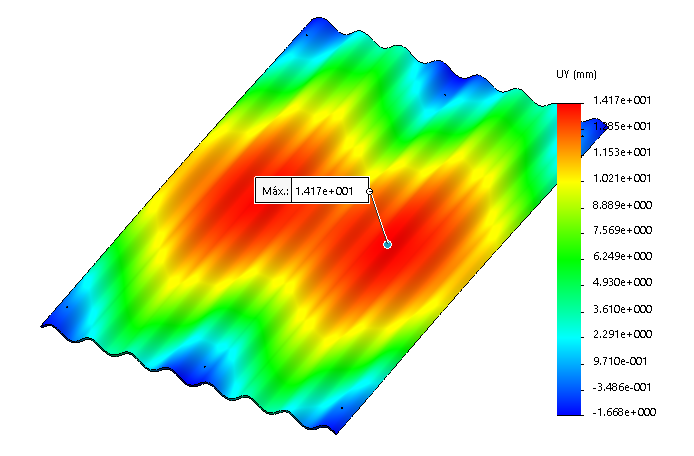


Figura 9.Desplazamientos en y en la plancha de material compuesto con sujeciones simétricas

b) Colocación de dos sujeciones adicionales asimétricas en los puntos intermedios entre las sujeciones habituales. Las tensiones principales disminuyen a 27,78 MPa, mientras que los desplazamientos verticales en este caso disminuyen a 10,40 mm, como puede apreciarse en la Figura 10.

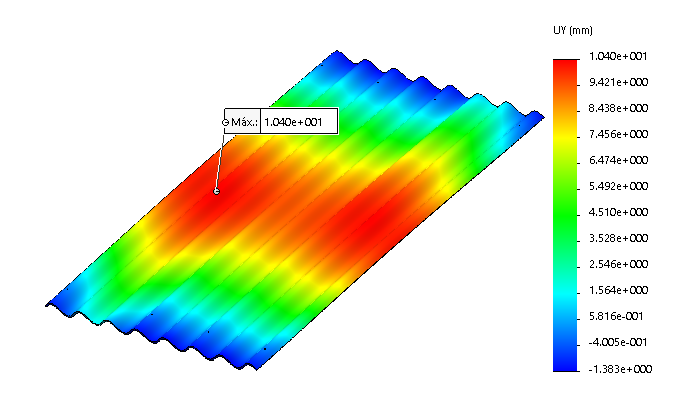


Figura 10. Desplazamientos en y en la plancha de material compuesto con dos sujeciones más.

**5. CONCLUSIONES**

1. El análisis numérico ejecutado evidenció que las planchas de material compuesto con fibras de tucumá presentan un comportamiento adecuado desde el punto de vista estructural para ser utilizado en la fabricación de las tejas.

2. Las tensiones máximas en todos los casos ocurren en una pequeña zona alrededor de las arandelas de sujeción, lo cual no pone en peligro de colapso la estructura ante la acción de un viento de 100 km/h.

3. Las tensiones y los desplazamientos verticales en las tejas de material compuesto son superiores a las de las tejas de asbesto cemento, por lo que se recomienda realizar nuevos estudios con mezclas de fibras naturales y el material polimérico donde se obtengan propiedades mecánicas superiores.

4. La colocación de una sujeción simétrica en el centro de la teja no mejora el estado tensional - deformacional de la teja bajo la acción del viento.

5. La colocación de dos sujeciones adicionales de forma simétrica en la teja de material compuesto, mejora ostensiblemente el estado tensional-deformacional de la misma.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. AGOPYAN, V.; SAVASTANO JR., H.; JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. (2005). Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. *Cement and Concrete Composites***.** 27 (2005), 527-536.
2. Mejía M. M., Rendón I. (2016). Prevalencia de patologías relacionadas con el asbesto crisotilo en trabajadores de una empresa de productos de crisotilo-cemento. *Revista Colombiana de Neumología*, 28 (002): 62-71.
3. Fortes M. R. (2006). Asbesto un peligro latente para la salud. *Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle,* 7 (025): 91-108.
4. Accinelli, R. A., López L. M. (2016). Asbesto: la epidemia silenciosa. *Acta Médica Peruana,* 33(2):138-141.
5. Díaz C. P. (2016). Concreto reforzado con fibra natural de origen animal. *Revista Científica Ingeniería, Ciencia, Tecnología e Innovación.* 3 (002): *92-95.*
6. Savastano, J. H., Pimentel, L.L., (2000). Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 4, (001): 103-110.
7. Cuéllar, A., Muñoz, I. (2010). Fibra de guadua como refuerzo de matrices poliméricas. *DYNA.* 77 (162): 137-142.
8. Conceição, M. N; Alves, S. P.; Telatin Jr., A.; Silva, I. J. O.; Piedade, S. M. S.; Savastano Jr., H.; Tonoli, G., (2008). Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* 12 (005), 536–539.
9. [Paricaguán](https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=3319385), B. M.,  [Albano](https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=3319387), C. L., [Torres](https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=3319389), R. V., [Camacho](https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=3319422) N., [Infante](https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=3319423) J.,  [Muñoz](https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=3319425) J. L., (2013). Efecto de las fibras de coco sobre la resistencia a la flexión de mezclas de hormigón. [*Revista DYNA*](https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=437). 88 (004),  424-432.
10. Kannojiya R., Kumar G., Ravi R., Tiyer N.K. and Pandey K.M., (2013). Extraction of pineapple fibres for making commercial products. *Journal of Environmental Research And Development*. 7 (004), 1385-1390.
11. Estrada C. R., J. C. Rodríguez P.J., Y. Lengarán A. Y., S. Campos M. S., (2017). Mitigación del colapso de las cubiertas ligeras de fibrocemento ante vientos huracanados. *Informes de la Construcción.* 69 (547), e214.
12. Calzadilla D. H., Pérez P. R., Estrada C. R.A., Gómez G. E. (2007). Análisis numérico de la estructura metálica del modelo de casa de cultivo EMBA-MSC, (Parte I, análisis resistivo de la estructura). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias,*16(003): 53-57.
13. Calzadilla D. H., Pérez P. R., Estrada C. R.A., Gómez G. E. (2007). Análisis numérico de la estructura metálica del modelo de casa de cultivo EMBA-MSC” (Parte II: análisis dinámico de la estructura)". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*,16(4): 1-5.
14. Ocampo R. A., Hernández G. L., Fernández V. D., Cervantes B. R. (2014). Análisis estático de los esfuerzos y deformaciones de la estructura de un Invernadero tipo Ventila Cenital ubicado en Veracruz. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(04): 10-16.
15. Fabré S. C., Sánchez N. M., González F. V., García D. Ma. E., Wellesley B. F. J. (2006). Fundamento estadístico del efecto aleatorio del viento para el cálculo de estructuras delgadas. *Ingeniería Mecánica*, 9 (002), Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/153>.
16. Normalización, O. N. d. (2002). NC-206-2002. Norma Cubana. Láminas acanaladas de fibrocemento y sus piezas accesorias. Especificaciones y métodos de ensayo.
17. Normalización, O. N. d. (2006). NC-431-2006. Norma Cubana. Código de buenas prácticas para la ejecución de cubiertas con canalón de fibrocemento y sus piezas accesorias.
18. Normalización, O. N. d. (2006). NC-432-2006. Norma cubana. Código de buenas prácticas para la ejecución de cubiertas con láminas acanaladas y piezas accesorias de fibrocemento.
19. Kieling, A.C. Viabilidade Técnica e Econômica da Madeira Plástica (Wood Plastic) Produzida Com Plástico Reciclável e Endocarpo de Tucumã (Astrocaryum sp.). Tese de Doutorado em Biotecnologia. Programa Multi-Institucional de Pós-graduação em Biotecnologia - PPGBIOTEC da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 2018.

20. Ferrer G. C., Ferrán G. J. J.,Torregrosa S. J., Sánchez R. F., Redón S. M., Pérez S. M., (2016). Contribución al estudio de espesores de soleras de hormigón para cargas de estanterías mediante elementos finitos*. Informes de la Construcción*, 68(543):doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.093>

21. Estrada C. R. A., Ricardo A. C., Pérez P. R., (2013). Análisis dinámico del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana CCA-5000. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(001), 05-11.

22. Guardia P. Y., Rodríguez P. S., Pacheco G. R., Ramos B. Y., Palma R. L. (2015). Análisis estructural de un bioreactor anaerobio de fibrocemento por el método de los elementos finitos. *Ingeniería Mecánica*, 18(3): 21-28.

23. Francisco G.L., Amaya O., Cooz M., Duran L., Peraza C., Arteaga F., Villanueva C., (2007). Modelación y simulación de la velocidad de viento por medio de una formulación estocástica. Revista Ingeniería UC, 14(3): 7-15.

24. Normalización, O. N. d. (2013). Norma Cubana. Cálculo de las cargas del viento. NC 285-2013.