

**MECHANICAL CHARACTERIZATION OF EPOXY RESIN BASED
COMPOSITE, REINFORCED WITH BRICK WASTE MICROPARTICLES, TO
MANUFACTURE BICYCLE HANDLEBARS**

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIALES COMPUESTOS, A BASE
DE RESINA BIOEPOXI, REFORZADO CON MICROPARTÍCULAS DE
RESIDUOS DE LADRILLO, PARA FABRICAR MANUBRIOS DE BICICLETA**

**Ing. Jorge Antonio Velasco-Parra, PhD. Bladimir A. Ramón-Valencia,
MSc. William Javier Mora-Espinosa**

Universidad de Pamplona

Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de Investigación
en Ingeniería Mecánica (GIMUP)

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 144

E-mail: antonio.velasco@unipamplona.edu.co, hbladimir@unipamplona.edu.co,
william.mora2@unipamplona.edu.co

Abstract: The present research proposes the use of micrometric particles of sintered clay as reinforcement of composite materials with a renewable thermosetting polymeric matrix. For this purpose, the H10 brick fragments were collected in the municipality of Pamplona - Norte de Santander. Then, a reduction of the size of the residues was carried out, until obtaining the sintered clay microparticles and their distribution of grain sizes. The cast molding technique was used to manufacture the composite material. Samples of the composite material were obtained, using SUPER SAP CLR bioepoxy resin as matrix, and microparticles with a size less than 75 microns as reinforcement. Reinforcement percentages at 0 and 10%wt were used. For comparison purposes, the material was manufactured with a commercial resin matrix, designated P-2002. Subsequently, tensile and bending tests were carried out, under the conditions of ASTM D638 and ASTM D790, respectively. The destructive tests showed a linear-elastic behavior and a favorable influence by the sintered clay reinforcement on the mechanical properties of both materials. In conclusion, the reinforcement of sintered clay microparticles appears as a promising option to reinforce renewable or commercial thermoset matrices. Finally, the simulation by the finite element method of the motorcycle handlebar was carried out assigning the properties of the composite material of sintered clay reinforcement bioepoxy matrix. The results obtained are promising, the material-geometry relationship is still optimizable and experimental tests of the prototype must be carried out to validate the computational results obtained.

Keywords: Composite, bioepoxy, brick waste, sintered clay, cast molding.

Resumen: La presente investigación propone el uso de partículas micrométricas de arcilla sinterizada como refuerzo de materiales compuestos con matriz polimérica termoestable renovable. Para tal fin, se recolectaron los fragmentos de ladrillo H10 en el municipio de Pamplona – Norte de Santander. Luego, se ejecutó una reducción del tamaño de los residuos, hasta obtener las micropartículas de arcilla sinterizada y su distribución de tamaños de grano. Para la fabricación del material compuesto se utilizó la técnica de moldeado por colado. Se obtuvieron muestras del material compuesto, usando resina bioepoxi SUPER SAP CLR como matriz, y micropartículas con tamaño inferior a 75

micras como refuerzo. Se usaron porcentajes de refuerzo al 0 y 10% en peso. Con fines comparativos, se fabricó el material con una matriz de resina comercial, denominada P-2002. Posteriormente, se ejecutaron pruebas de tracción y flexión, bajo las condiciones de las normas ASTM D638 y ASTM D790, respectivamente. Los ensayos destructivos mostraron un comportamiento elástico-lineal y una influencia favorable por parte de refuerzo de arcilla sinterizada en las propiedades mecánicas de ambos materiales. En conclusión, el refuerzo de micropartículas de arcilla sinterizada, se presenta como una opción prometedora para reforzar matrices termoestables renovables o comerciales. Finalmente, se realizó la simulación por el método de elementos finitos del manubrio de motocicleta asignando las propiedades del material compuesto de matriz bioepoxi refuerzo de arcilla sinterizada. Los resultados obtenidos son prometedores, la relación material-geometría aún es optimizable y se deben realizar ensayos experimentales del prototipo para validar los resultados computacionales obtenidos.

Palabras clave: Composite, bioepoxi, residuos de ladrillo, arcilla sinterizada, moldeo por colado.

1. INTRODUCCION

El campo de aplicación de los materiales compuestos con matriz polimérica presenta un crecimiento exponencial junto con las expectativas exorbitantes de los clientes [1]. Esto se debe principalmente a sus propiedades mejoradas que le proporcionan un rendimiento superior en cuanto a resistencia específica, tenacidad, rigidez, resistencia a la corrosión, y resistencia a ataques químicos [2, 3]. Además, los métodos de fabricación de este tipo de material compuesto proporcionan líneas de producción con baja complejidad y mayor rentabilidad, en comparación con los procesos de manufactura de los materiales tradicionales [4].

Por un lado, las resinas termoestables son un componente muy importante en una extensa gama de aplicaciones en campos de fabricación, como: plastificantes, recubrimientos, adhesivos, electrónica, construcción de viviendas, y en matrices de materiales compuestos. Sin embargo, la mayoría de resinas utilizan el petróleo como materia prima, incluyendo a las epóxicas y los poliésteres insaturados [5, 6]. Por lo anterior, estas resinas no son biodegradables, tienen riesgo de ocasionar emisiones peligrosas, en 50-60 años ya no podrán ser sintetizadas debido a la escasez de petróleo, y sus productos derivados son muy difíciles de gestionar o reciclar, permaneciendo por décadas en vertederos [7, 8].

En consecuencia, las resinas termoestables alternativas y ecológicas, a partir de recursos renovables, han abarcado la atención de los investigadores y surgen como un sustituto viable para los polímeros a base de productos petroquímicos [7]. En el caso particular de esta investigación, una de las finalidades es comparar a dos resinas termoestables comerciales (una tradicional y otra biodegradable): la resina poliéster P-2002 de Industria de Resinas SAS, y

el sistema bioepoxi SUPER SAP® CLR de Entropy Resins.

Por otro lado, con la aceleración de la construcción urbana y la mejora de edificaciones, se han producido grandes cantidades de residuos de ladrillo de arcilla, el cual es considerado como el segundo material de construcción más utilizado después del concreto. Este producto se trata como desecho, desde las piezas que no cumplen con los estándares de calidad al final de la línea de producción, hasta los fragmentos recolectados en las actividades de construcción y demolición [9, 10]. Como resultado, se producen millones de toneladas de este residuo, que representan un grave problema ambiental debido a que su disposición se realiza en campos al aire libre, ocasionando contaminación por acumulación y problemas de dispersión de residuos particulados [11].

Por consiguiente, es de gran importancia explorar el potencial del reciclaje y reutilización de los desechos de ladrillos, no solo porque se considere una alternativa ecológica, sino porque ayuda a disminuir la dependencia de las materias primas naturales, los efectos perjudiciales para el medio ambiente y la alta cantidad de desechos. Asimismo, esto impulsa el desarrollo sostenible en la industria de la construcción de la región de Norte de Santander. Es por esto, que la presente investigación tiene como fin, proponer el uso de partículas micrométricas de arcilla sinterizada, obtenidas a partir de la recolección y procesamiento de los fragmentos de ladrillo H10 acumulados en los depósitos de materiales del municipio de Pamplona, como refuerzo de materiales compuestos de matriz polimérica termoestable.

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Se usó una resina poliéster comercial, para comparar el comportamiento del material propuesto. La matriz seleccionada fue una resina ortoftálica pre-acelerada comercializada con la referencia P-2002 por la empresa Industria de Resinas SAS. El fabricante recomienda el uso de MEK peróxido (methyl ethyl ketone), como catalizador.

Para el material propuesto, se usó una resina bioepoxi, con referencia Super Sap® CLR y endurecedor Super Sap® CLF, comercializado por la empresa Entropy Resins. Esta resina es un sistema epóxico estabilizado con rayos ultravioleta, y tiene una viscosidad ideal para una amplia gama de aplicaciones.

Como refuerzo, se utilizaron micropartículas de arcilla sinterizada, en porcentajes del 0 y 10% en peso, para su mezcla con cada matriz termoestable. El tamaño de grano utilizado fue inferior a 75 micras (< tamiz 200). Para la obtención de estos residuos, se recolectaron fragmentos de ladrillo en el municipio de Pamplona – Norte de Santander. Se ejecutó una reducción mecánica del tamaño de grano bajo las condiciones de la norma ASTM C136/136M [12], a una muestra de 5.2737 kg. Para esto, se emplearon los tamices #40, #60, #80, #100, #140, #200, y el fondo.

2.2 Proceso de fabricación

Se realizaron muestras de los materiales compuestos, utilizando porcentajes de 0 y 10% en peso de refuerzo. En general, se fabricaron las siguientes configuraciones:

- RP-AS: 99/1 de resina P-2002/MEK peróxido con % en peso de arcilla sinterizada < 75 micras.
- RBE-AS: 100/33 de resina bioepoxi CLR/endurecedor CLF con % en peso de arcilla sinterizada < 75 micras.

La técnica de fabricación utilizada fue el moldeo por colado. El primer paso del proceso, fue el secado del polvo de arcilla sinterizada, a una temperatura de 100°C durante 24 horas. Luego, se colocó la resina en una plancha de calentamiento con agitación magnética, elevando la temperatura hasta llegar a los 50°C (ver Fig. 81a), con el propósito de disminuir la viscosidad. El siguiente paso fue adicionar el polvo de arcilla sinterizada, y mediante agitación mecánica, se distribuyó por completo hasta lograr una mezcla homogénea (ver Fig. 1b). La mezcla obtenida se dejó en agitación hasta que la temperatura se redujo a 30°C. En este punto, se adicionó el

agente de curado y se mezcló de manera uniforme durante 5 minutos. Por último, se realizó el colado del contenido, dentro de un molde de madera con una cavidad de 230x240x5 mm, y una base de vidrio (ver Fig. 1c). La reticulación completa de los materiales compuestos tardó 7 días, bajo condiciones de presión y temperatura ambiente.

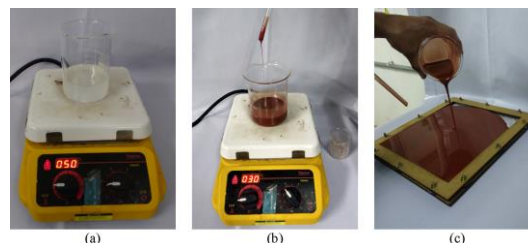


Fig. 1. Proceso de moldeo por colado: (a) Agitación y calentamiento de la resina. (b) Adición y mezcla del polvo de arcilla sinterizada. (c) Colado del material en el molde.

2.3 Ensayos destructivos

El ensayo de tracción fue realizado bajo la norma ASTM D638 [13]. Se usaron los valores predeterminados para las probetas Tipo I, con una longitud calibrada de 50 mm, ancho de sección de ensayo de 13 mm y espesor de 5 mm. La velocidad de aplicación de la carga fue de 5 mm/min.

El ensayo de flexión por tres puntos se llevó a cabo siguiendo las condiciones de la norma ASTM D790 [14]. Se usaron las dimensiones de una probeta plana de 150x13x5 mm (Largo x Ancho x Espesor), con una distancia entre soportes o longitud luz de 80 mm. Del mismo modo, la velocidad de aplicación de la carga se estableció en un valor 2.13 mm/min, a causa de la geometría de la pieza y del uso del procedimiento A de la respectiva norma. Ambos ensayos se ejecutaron con ayuda de la máquina universal de ensayos SHIMADZU UH-600KN.

2.4 Simulación del manubrio de la bicicleta

En la Fig. 2 se observa una bicicleta mediana. Se realizaron simulaciones del funcionamiento del manubrio de la bicicleta, con el fin de comprobar el alcance de las propiedades mecánicas del compuesto RBE-AS.



Fig. 2. Geometría de la bicicleta mediana.

En la Fig. 3 se muestran las dimensiones de la pieza virtual del manubrio. Para la simulación por el método de elementos finitos en ANSYS, se parametrizó el espesor de pared en la sección con diámetro variable y la sección en donde reposan las manos del usuario. La sección central se dejó maciza para dar mayor rigidez a la unión abrazadera-manubrio.

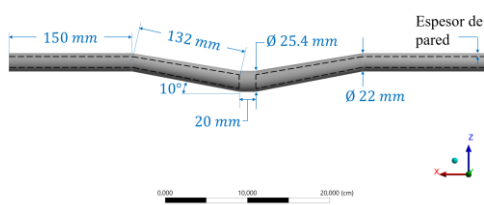


Fig. 3. Dimensiones del manubrio.

Con base en lo anterior, se realizó la discretización de la geometría del manubrio (Fig. 4.a), con elementos tetraédricos TET10 con tamaño promedio de 0.25 mm, y calidad de 0.83. Del mismo modo, se usaron las condiciones de funcionamiento que se observan en la Fig. 4.b. En donde se tuvo en cuenta la gravedad estándar de la tierra, una fuerza remota de 212.13 N a 45° con respecto a la horizontal (representa la carga provocada por el usuario), y un soporte fijo cilíndrico en la unión abrazadera-manubrio. El objetivo de la simulación era determinar la influencia del espesor de pared en la deformación total de la pieza, el esfuerzo equivalente máximo y el factor de seguridad mínimo.

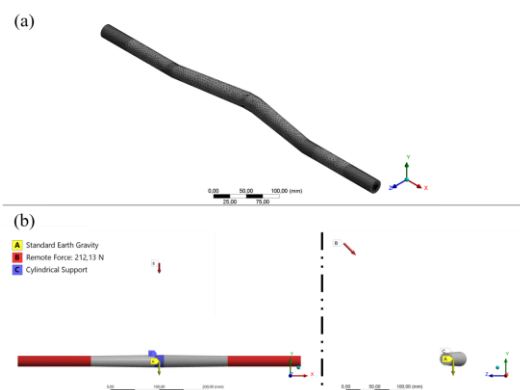


Fig. 4. Modelado del manubrio (a) Mallado de la pieza. (b) Condiciones de funcionamiento.

3. RESULTADOS

3.1 Distribución granulométrica de la arcilla sinterizada

En la Fig. 5 se muestra la distribución granulométrica de la arcilla sinterizada. Como se observa, hubo una mayor cantidad de partículas con tamaño superior a 425 micras (51.35%), pero con una alta presencia de impurezas. Inclusive, hasta los tamaños de partícula superiores a 180 micras, se detectaron cantidades significativas de las mismas. En consecuencia, casi un 53% de polvo de arcilla sinterizada no es apto para su uso como refuerzo, desde el punto de vista macro. Por otra parte, se obtuvieron 161.6 gramos del tamaño de partícula utilizado en esta investigación (menor a 75 micras) significando un 2.82% en peso del total de la muestra de 5.2737 kg. Debido a esto, el rango de partículas con un tamaño inferior a 75 micras, fue el tercero con mayor presencia, con respecto a los tamaños de grano inferiores a 180 micras que no presentaron impurezas aparentes.

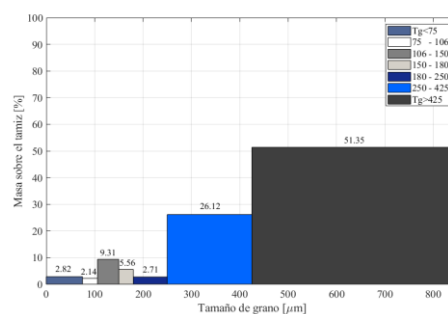


Fig. 5. Distribución granulométrica de la arcilla sinterizada.

3.2 Caracterización mecánica a tracción

En la Tabla 1 se muestra la comparativa de los resultados obtenidos en el ensayo de tracción. La resina poliéster reforzada con arcilla sinterizada

obtuvo un módulo de Young de 0.36 ± 0.15 GPa, significando una disminución en esta propiedad, con respecto a la resina poliéster sin refuerzo. No obstante, la resistencia y la deformación a tracción, aumentó hasta 40.34 ± 5.64 MPa y 11.37 ± 1.60 %, respectivamente. Esto demuestra una mejora en las propiedades mecánicas de la resina poliéster al ser reforzada con la arcilla sinterizada, pero una disminución en la rigidez de la misma.

Por otro lado, la resina bioepoxi reforzada con arcilla sinterizada obtuvo un módulo de Young de 0.45 ± 0.26 GPa, cuyo valor es similar al de la resina bioepoxi sin reforzar. Asimismo, la resistencia y deformación a tracción de la resina bioepoxi reforzada fue superior a la resina sin refuerzo, con valores de 32.55 ± 4.95 MPa y 6.11 ± 2.22 %, respectivamente. Esto demuestra que el refuerzo de arcilla sinterizada, aportó de manera positiva al aumento de todas las propiedades mecánicas, para este caso particular.

Tabla 1: Comparativa de los resultados del ensayo de tracción

Material	Módulo de Young [GPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Deformación a tracción [%]
RP	0.53 ± 0.12	33.19 ± 3.97	7.68 ± 1.60
RP-AS	0.36 ± 0.15	40.34 ± 5.64	11.37 ± 1.53
RBE	0.45 ± 0.14	16.15 ± 2.72	3.15 ± 0.74
RBE-AS	0.45 ± 0.26	32.55 ± 4.95	6.11 ± 2.22

En la Fig. 6 se muestra la comparativa del comportamiento mecánico a tracción, descrito en la gráfica de esfuerzo deformación, obtenida de una muestra representativa de cada uno de los materiales ensayados. Para el caso de los materiales con resina bioepoxi, la pendiente de la recta es muy similar, comprobando los resultados cuantitativos de la rigidez. En el caso de los materiales con resina poliéster, es evidente el cambio en la pendiente entre la resina virgen y la reforzada, y por lo tanto el aumento en la rigidez de la misma al añadir el refuerzo particulado.

Es importante destacar, que el comportamiento de todos los materiales fue de tipo elástico lineal, con aumento en las propiedades mecánicas, debidas a la adición del 10% en peso de partículas micrométricas de arcilla sinterizada. Además, las mejores propiedades obtenidas a tracción, fueron las arrojadas por el material compuesto de resina poliéster reforzado con partículas micrométricas de arcilla sinterizada.

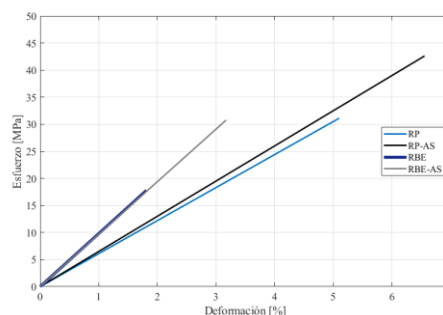


Fig. 6. Comparación del comportamiento mecánico a tracción.

3.3 Caracterización mecánica a flexión

En la Tabla 2 se muestra la comparativa de los resultados obtenidos en el ensayo de flexión. La resina poliéster reforzada con arcilla sinterizada obtuvo un módulo de flexión de 1.20 ± 0.56 GPa y una deformación de 5.49 ± 1.29 %, significando una disminución en estas dos propiedades, con respecto a la resina poliéster sin refuerzo. No obstante, la resistencia a flexión aumentó hasta 58.55 ± 37.41 MPa. En estas pruebas, se aprecia bastante dispersión de los resultados, demostrada por los valores exorbitantes de la desviación estándar, para cada una de las tres propiedades mecánicas a flexión obtenidas en los ensayos destructivos.

Por otro lado, la resina bioepoxi reforzada con arcilla sinterizada obtuvo módulo de flexión de 5.46 ± 1.86 GPa, mostrando un aumento en esta propiedad, con respecto a la resina bioepoxi sin refuerzo. Por otro lado, la resistencia a la flexión y la deformación de compuesto de RBE-AS, disminuyó a 23.32 ± 4.63 MPa y 0.50 ± 0.04 %, respectivamente. Para este caso, el refuerzo particulado desmejoró el valor de las propiedades mecánicas a flexión, tomando como referencia los datos obtenidos por la resina bioepoxi sin refuerzo.

Tabla 2: Comparativa de los resultados del ensayo de flexión

Material	Módulo de flexión [GPa]	Resistencia a la flexión [MPa]	Deformación a flexión [%]
RP	1.61 ± 0.67	55.79 ± 18.90	6.23 ± 0.34
RP-AS	1.20 ± 0.56	58.55 ± 37.40	5.49 ± 1.29
RBE	4.68 ± 0.62	26.78 ± 5.51	0.67 ± 0.29
RBE-AS	5.46 ± 1.86	23.32 ± 4.63	0.50 ± 0.04

En la Fig. 7 se muestra la comparativa del comportamiento mecánico a flexión, descrito en la gráfica de esfuerzo deformación, obtenida de una muestra representativa de cada uno de los

materiales ensayados. Para ambos materiales compuestos (RP-AS y RBE-AS), hubo una clara disminución en el rendimiento a flexión, debido a la adición del refuerzo particulado. Es importante destacar que el comportamiento de todos los materiales fue del tipo elástico lineal, y que las mejores propiedades obtenidas a flexión, fueron las arrojadas por la resina poliéster sin refuerzo.

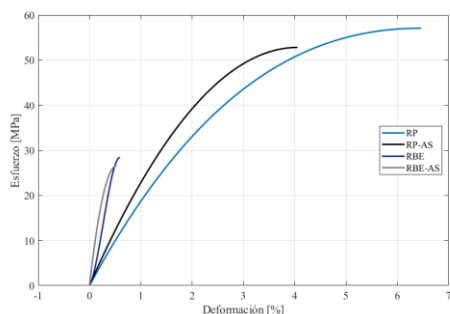


Fig. 7. Comparación del comportamiento mecánico a flexión.

3.4 Análisis por elementos finitos del manubrio de la bicicleta

En la Fig. 8 se muestra la influencia del espesor de pared en el máximo esfuerzo equivalente y la masa. Se aprecia que, al incrementar el espesor de pared los valores del esfuerzo equivalente disminuyen. Lo anterior debido a que, la adición de material vuelve más rígida la estructura y permite una mejor distribución de los esfuerzos a lo largo de la geometría. Por otra parte, la masa tiene un comportamiento creciente, a causa del incremento del volumen con respecto al espesor. También, se aprecia un punto de intersección entre el máximo esfuerzo equivalente y la masa, en el espesor de pared aproximado a 3.3 mm. Este límite predice que, cuando el espesor es menor a 3.3 mm la masa se optimiza, pero la pieza sufre un mayor esfuerzo. Mientras que, para espesores superiores a 3.3 mm la pieza sufre menos los efectos de la carga de trabajo, pero la masa no se ve favorecida.

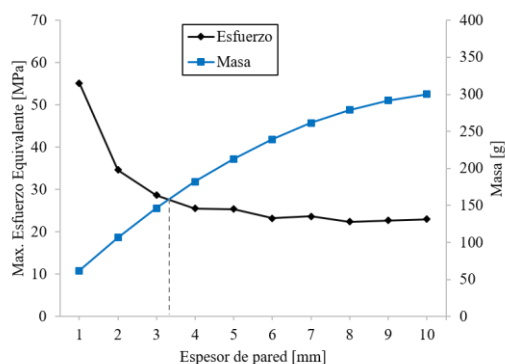


Fig. 8. Influencia del espesor de pared en el máximo esfuerzo equivalente y la masa.

No obstante, el parámetro de diseño más relevante para la aplicación, fue el factor de seguridad. En la Fig. 9 se observa la variación del factor de seguridad con respecto al espesor de pared del manubrio. Los valores son inestables y no se presenta un crecimiento constante. Sin embargo, el valor que demuestra el mejor rendimiento es el espesor de 8 mm. Para este espesor, el factor de seguridad fue de 1.46, el máximo esfuerzo equivalente de 22.37 MPa, y la masa del manubrio de 278 g.

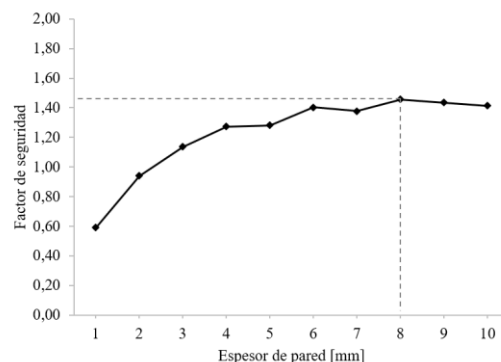


Fig. 9. Influencia del espesor de pared en el factor de seguridad.

Finalmente, se muestra la distribución de esfuerzos en el manubrio con un espesor de 8 mm (Fig. 10). Se puede identificar el punto crítico de esfuerzo, ubicado cerca de la unión abrazadera-manubrio. Es importante tener en cuenta esta zona, pues en ella se presenta el valor mínimo del factor de seguridad, y será la zona de falla de la aplicación, una vez que se excedan las condiciones de funcionamiento. En general, el compuesto con matriz bioepoxi y refuerzo de arcilla sinterizada, es un material con gran potencial para este tipo de pieza. Es importante destacar que, la relación material-geometría aún es optimizable y que para validar por completo el composite propuesto se debe fabricar un prototipo y someterlo a pruebas experimentales.

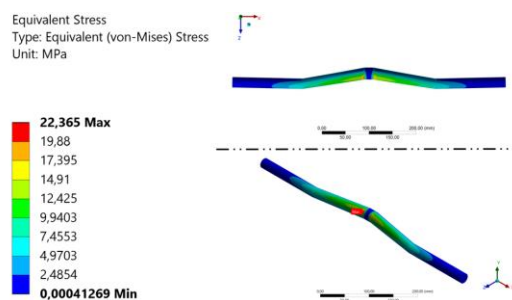


Fig. 10. Distribución de esfuerzos equivalentes en el manubrio con espesor de 8 mm.

4. CONCLUSIONES

Se obtuvieron las partículas micrométricas de arcilla sinterizada, mediante un proceso de reducción de los fragmentos de ladrillo. De este proceso, se obtuvo una distribución granulométrica, de la cual, el 51.35% de la muestra tamizada mostró impurezas a nivel macro, que descartaron de inmediato el uso de partículas con un tamaño superior a 425 micras. El tamaño de grano utilizado como refuerzo de las matrices termoestables (< 75 micras) es el tercero con mayor presencia, con un 2.82%.

Los resultados de los ensayos de tracción, mostraron una baja dispersión de los resultados. Del mismo modo, la adición del refuerzo de arcilla sinterizada, aumentó las propiedades mecánicas de las resinas termoestables en estudio. Además, el comportamiento mecánico del material compuesto se mantuvo en elástico lineal, por lo que este está influenciado directamente por las matrices termoestables. Por último, el material que obtuvo las mejores propiedades mecánicas a tracción, fue la resina poliéster reforzada con partículas micrométricas de arcilla sinterizada.

Los resultados de los ensayos de flexión, mostraron una alta dispersión de los resultados, particularmente en los materiales a base de resina poliéster. Por otra parte, la adición del refuerzo conllevó a una disminución en las propiedades mecánicas de las resinas termoestables sin reforzar. Por lo anterior, el material con las mejores propiedades a flexión fue la resina poliéster sin refuerzo. Además, nuevamente el comportamiento elástico lineal se mantuvo, independientemente del refuerzo particulado.

Las simulaciones arrojaron resultados prometedores para espesor de pared de 8 mm, al asignar las propiedades mecánicas del compuesto de matriz bioepoxi con refuerzo de arcilla sinterizada. La relación material- geometría es optimizable y antes de validar mecánicamente el desarrollo, es necesario realizar la fabricación de prototipos para someterlo a ensayos experimentales.

REFERENCIAS

[1] Kurtyka, P. y Rylko, N. Quantitative analysis of the particles distributions in reinforced composites. *Composite Structures*, 182, pp. 412-419, 2017. DOI: 10.1016/j.compstruct.2017.09.048.

[2] Kavadi, B.V., Pandey, A.B., Tadavi, M.V. y Jakharia, H.C. A Review paper on effects of

drilling on glass fiber reinforced plastic. *Procedia Technology*, 14, pp. 457-464, 2014. DOI: 10.1016/j.protcy.2014.08.058.

[3] Wang, H.W., Zhou, H.W., Gui, L.L., Ji, H.W. y Zhang, X.C. Analysis of effect of fiber orientation on Young's modulus for unidirectional fiber reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 56, pp. 733-739, 2014. DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.09.020.

[4] Rafiee, R. On the mechanical performance of glass-fibre-reinforced thermosetting-resin pipes: A review. *Composite Structures*, 143, pp. 151-164, 2016. DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.02.037.

[5] Jansson, J., Gustafsson, T., Salomonsson, K., Olofsson, J., Johansson, J., Appelsved, P. y Palm, M. An anisotropic non-linear material model for glass fibre reinforced plastics. *Composite Structures*, 195, PP. 93-98, 2018. DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.04.044.

[6] Kim, J.R. y Netravali, A.N. Self-healing starch-based 'green' thermoset resin. *Polymer*, 117, pp. 150-159, 2017. DOI: 10.1016/j.polymer.2017.04.026.

[7] Jiang, H., Sun, L., Zhang, Y., Liu, Q., Ru, C., Zhang, W. y Zhao, C. Novel biobased epoxy resin thermosets derived from eugenol and vanillin. *Polymer Degradation and Stability*, 160, pp. 45-52, 2019. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2018.12.007

[8] Kim, J.R. y Netravali, A.N. Self-healing green composites based on soy protein and microfibrillated cellulose. *Composites Science and Technology*, 143, pp. 22-30, 2017. DOI: 10.1016/j.compscitech.2017.02.030

[9] Cheng, H. Reuse research progress on waste clay brick. *Procedia Environmental Sciences*, 31, pp. 218-226, 2016. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.02.029

[10] Wong, C.L., Mo, K.H., Yap, S.P., Alengaram, U.J. y Ling, T.-C. Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review. *Journal of Cleaner Production*, 195, pp. 226-239, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.193.

[11] Aliabdo, A.A., Abd-Elmoaty, M. y Hassan, H.H. Utilization of crushed clay brick in concrete industry. *Alexandria Engineering Journal*, 53 (1), pp. 151-168, 2014. DOI: 10.1016/j.aej.2013.12.003.

[12] ASTM C136/C136M. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org. DOI: 10.1520/C0136_C0136M-14.

[13] ASTM D638. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org. DOI: 10.1520/D0638-14.

[14] ASTM D790. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org. DOI: 10.1520/D0790-17.