

Propiedades mecánicas de un compuesto polimérico hecho de polietileno de baja densidad reciclado y reforzado con fibras de madera natural

Mechanical properties of a polymer compound made of recycled ldpe and reinforced with natural wood fibers

Propriedades mecânicas do compósito polimérico feito de LDPE reciclado e reforçado com fibra de madeira natural.

Para citar este artículo / To reference this article /
Para citar este artigo: González Mancilla, Y. (2015).
Propiedades mecánicas de un compuesto polimérico
hecho de polietileno de baja densidad reciclado
y reforzado con fibras de madera natural. *Ingenio
Magno*, 6(2), 76-85.

Yenny González-Mancilla

División de Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería
Mecánica, Grupo GIDINT, Universidad Santo Tomás
yenny.gonzalez01@usantoto.edu.co

Fecha de recepción: 9 de Julio de 2015
Fecha de aprobación: 25 de Noviembre de 215

Resumen

Los polímeros termoplásticos producidos en un alto volumen en el ámbito mundial y su elevado impacto ambiental hoy no tienen el suficiente control. Esto ha generado la necesidad de aprovecharlos mediante procesos de reciclaje que permitan fabricar nuevos productos, con lo cual se evita que estos polímeros lleguen a depositarse en rellenos sanitarios. Recientemente, estos materiales se han utilizado como materias primas en la fabricación de compuestos de madera y plástico (WPC's, por sus siglas en inglés). Con el propósito de recuperar materiales de desecho, en este estudio se elaboró un material compuesto de madera y polímero, para evaluar sus propiedades mecánicas. Se utiliza polietileno de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés) como matriz, mezclado con fibras de madera natural, adicionadas como refuerzo. Este material compuesto se conformó en caliente mediante el proceso de extrusión, variando las proporciones de mezcla. Se evaluaron las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y resistencia a la flexión de los materiales obtenidos. De esta manera se obtuvo la máxima resistencia a la tracción del material en el compuesto que tenía 20% de fibras de madera; no obstante, por encima de ese porcentaje, la resistencia comienza a disminuir. Se observó que la resistencia del material compuesto de madera y polímero aumentó con respecto a la resistencia del polímero. Gracias a las propiedades obtenidas, este material podría utilizarse en la fabricación de elementos como estibas, plataformas para recubrimiento de jardines, alrededores de piscinas y vallas para jardín.

Palabras clave: material compuesto, polímero reforzado con fibras naturales, propiedades mecánicas de polímero-aserrín.

Abstract

The thermoplastic polymers generated worldwide and their great environmental impact, are increasing uncontrollably. This has made it necessary to take advantage of them using recycling processes, which allow the manufacture of new products, preventing these polymers from ending up in landfills. Recently the materials are being used as raw materials in the manufacture of wood and plastic compounds (WPCs). With the goal of recovering these waste materials (wood sawdust and polymer), in this study a material of combined wood and polymer was created, to evaluate its mechanical properties, using LDPE as a matrix, mixed with natural wood fibers, added as reinforcement. This compound material was formed under heat via the process of extrusion, varying the proportions of polymer mix: sawdust. For the obtained materials, the mechanical properties of traction resistance and bending resistance were measured, the maximum traction resistance was obtained by the compound which contained 20% wood fibers, but in excess of the indicated percentage the resistance began to decline. The morphology was analyzed via MEB, it is clear that despite the increase in resistance, the bond between matrix and reinforcement is not optimal. It was observed that the resistance of the wood and polymer compound material increased in relation to the resistance of the polymer. With the obtained properties this material could be used in the manufacture of components such as pallets, platforms for covering gardens, pool surroundings, garden fences.

Keywords: compound material, polymer reinforced with natural fibers, mechanical properties of polymer-sawdust

Resumo

Os polímeros termoplásticos produzidos em grande volume a nível global e seu elevado impacto ambiental, atualmente, não são devidamente controlados. Isto tem gerado a necessidade de explorar a fabricação de novos produtos, por meio de processos de reciclagem, fato que evitaria que ditos polímeros sejam depositados em aterros sanitários. Recentemente, estes materiais têm sido usados como matérias-primas na fabricação de compósitos de madeira e plástico (WPC's, pelas siglas em Inglês). Com o objetivo de recuperar materiais residuais, no estudo foi elaborado um material composto de madeira e polímero, para avaliar as propriedades mecânicas. Foi utilizado polietileno de baixa densidade (LDPE, pelas siglas em Inglês) como matriz, misturado com fibras de madeira natural, adicionadas como reforço. O compósito foi moldado a quente mediante o processo de extrusão, variando proporções da mistura. As propriedades mecânicas de resistência à tração, e resistência à flexão dos materiais obtidos foram avaliadas. Dessa maneira obteve-se a máxima resistência à tração no material, que tinha 20% de fibras de madeira; contudo, acima da porcentagem indicada, a resistência começa a diminuir. Observou-se que a resistência do compósito de madeira e polímero aumentou devido à resistência do polímero. Graças às propriedades obtidas, este material pode ser utilizado na fabricação de elementos tais como páletes, plataformas para jardins, piscinas de revestimento e cercas para jardim.

Palavras chave: material composto, polímero reforçado com fibras naturais, propriedades mecânicas de polímero-serragem.

1. Introducción

Durante las últimas décadas, tanto el gran aumento de la población mundial como la necesidad de la gente de adoptar mejores condiciones de vida han llevado a un aumento exagerado del consumo de polímeros (principalmente plásticos). Los materiales surgen entrelazados con nuestra sociedad de consumo: hoy es difícil imaginar una sociedad que no haga uso de los plásticos, los cuales se encuentran en una gran variedad de usos, en campos tan diversos como electrodomésticos, embalajes, construcción, medicina, electrónica y componentes de automoción y aeroespaciales.

El continuo incremento en el uso de plásticos ha llevado a un aumento en la cantidad de material que termina en los rellenos sanitarios municipales. Ello ha motivado el interés en el reciclaje y en la reutilización de plásticos. Los termoplásticos reciclados ocupan gran parte del

volumen en los sitios de disposición final de residuos, y en la actualidad se proyectan como materia prima para la fabricación de compuestos de madera y plástico (WPC), especialmente por el gran volumen y el bajo costo de estos materiales (Saeed, 2013). Además, al reciclar los materiales poliméricos, se reduce el impacto ambiental y el consumo de plásticos vírgenes.

En la fabricación de los WPC se utilizan polímeros termoplásticos vírgenes, como polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y poliestireno (PS), entre los más frecuentes. El uso de polímeros reciclados en la fabricación de WPC se ha dado desde la década de los noventa, y su uso ha aumentado significativamente en los últimos años.

Este artículo presenta un estudio de las propiedades mecânicas de un material compuesto de madera y plástico, fabricado a partir de polietileno de baja densidad

(en adelante, LDPE) reciclado, mezclado con fibras de madera natural.

Los estudios de WPC fabricados a partir de termoplásticos reciclados son limitados; la mayoría se centran en el uso de otro tipo de residuos sólidos o de una combinación de plástico virgen con plástico reciclado; otros más también han utilizado mezclas de plásticos reciclados.

Ashori y Nourbakhsh (2009) investigaron las propiedades de resistencia a la tensión y a la flexión de compuestos hechos de polímeros reciclados como polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP) y fibras de periódicos viejos. Los resultados indicaron que los compuestos con base en HDPE mostraron propiedades moderadamente superiores que las muestras con PP reciclado.

Jayaraman y Bhattacharya (2004) y Jayaraman y Halliwell (2009) produjeron muestras de compuesto a partir de fibras vegetales y plásticos residuales mezclados en una extrusora de tornillo, seguido por un moldeo por inyección. La proporción de cada uno de los plásticos reciclados (PP, HDPE, LDPE y PET) se estableció en proporción similar a la de los plásticos contenidos en el flujo de residuos domésticos en Nueva Zelanda, con el fin de producir una mezcla de los residuos plásticos. Las propiedades de tracción de los materiales compuestos mostraron valores más altos que los de la mezcla de residuos plásticos. De igual manera, los compuestos podían ser termoformados en formas complejas.

Adhikaty, Pang y Staiger (2008) han demostrado que las propiedades mecánicas (resistencia a la tensión y a la flexión) de los compuestos fabricados a partir de HDPE reciclado son similares; incluso en algunos casos son mejores que los compuestos hechos con HDPE virgen.

Kazemi-Najafi *et al.* (2013) estudiaron la influencia del PP extruido sobre las propiedades mecánicas de los

compuestos de madera y PP. Los resultados mostraron que el módulo de flexión y la resistencia del P aumentaron significativamente por la extrusión y reextrusión del PP virgen. Los compuestos que contenían PP reciclado mostraron propiedades más altas de flexión y dureza que las que contenían PP virgen.

A su vez, el acoplante MAPP aumentó también las propiedades mecánicas de los compuestos hechos con PP virgen y reciclado. Ghahri *et al.* (2014) encontraron resultados similares.

2. Materiales y metodología

A. Materiales

El LDPE reciclado fue suministrado por Colorplastic, empresa que recolecta envases de bebidas, los clasifica, limpia y reduce de tamaño. Se utilizó una mezcla de fibras de maderas naturales usadas en Boyacá, tales como abarco, cedro y amarillo (Zárate y Gutiérrez, 2012). Estas maderas fueron obtenidas en forma de aserrín de un aserradero industrial, secadas durante 12 horas a 100 °C y clasificadas mediante la serie de tamices Tyler. Así, se obtuvo un aserrín de tamaño de 60 mallas.

El aserrín de madera fue adicionado en tres porcentajes diferentes: 10%, 20% y 30% en volumen para reforzar el LDPE (figura 1). En cada mezcla se utilizaron tamaños de partícula de 60 mallas (0,250 mm).

En la tabla 1 se presenta el diseño de las mezclas de LDPE reciclado que se dispuso como matriz, así como el aserrín de madera adicionado como refuerzo.

Las muestras se prepararon agregando el polímero LDPE al aserrín de madera y mezclando por 5 minutos hasta alcanzar la homogenización de la mezcla. Con esta homogenización se garantiza que las partículas de aserrín tengan una orientación aleatoria dentro de la mezcla. Además, cada mezcla fue cargada en la tolva de alimentación de una extrusora de polímeros; allí la

mezcla fue calentada gradualmente hasta alcanzar 110 °C a la salida de la extrusora.

Las mezclas extruidas fueron moldeadas e inmediatamente prensadas a 10 MPa de presión, para obtener las probetas para los ensayos de tracción y flexión (figuras 2a y 2b), así como para evaluar la morfología del material.

Tabla 1. Diseños de mezcla utilizadas para elaborar el material compuesto

Mezcla	Designación	% LD PE	% Aserrín de madera
1	Polímero	100	0
2	E9010	90	10
3	E8020	80	20
4	E7030	70	30

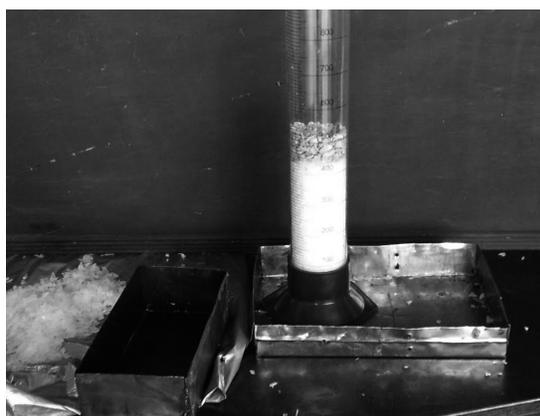


Figura 1. Mezclas de LDPE: aserrín en distintas proporciones

1) *Determinación de la resistencia a la tracción.* Se fabricaron probetas con cada una de las mezclas fabricadas, con porcentajes en volumen de 10%, 20% y 30%, según lo indicado por la norma ASTM D638-10 para esta clase de materiales (figura 2a). De acuerdo con la norma, las dimensiones de la probeta son esas: longitud total, 165 mm; longitud de la sección delgada, 57 mm; distancia entre mordazas, 115 mm; radio del filete, 76 mm; sección transversal de 19 mm de ancho y 7 mm de espesor.

Las pruebas se realizaron en una máquina universal de ensayos, las probetas se colocaron en las mordazas y los ensayos se realizaron con una velocidad constante de 5 mm/min. El ensayo se realizó hasta la falla del material de forma súbita. La figura 3 muestra la realización del ensayo de tracción.

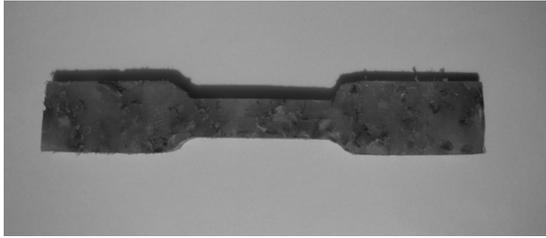


Figura 2a. Probeta de material compuesto para ensayo de tracción, según norma ASTM D638-10



Figura 2b. Probeta de material compuesto para ensayo de flexión, según norma ASTM D790-10



Figura 3. Ensayo de resistencia a la tracción

2) *Determinación de la resistencia a la flexión.* Para evaluar las propiedades de la resistencia a la flexión, se prepararon probetas del material desarrollado en las tres proporciones de mezcla y según lo indicado en la norma ASTM D790-10.

Este ensayo se realizó en una viga apoyada en dos soportes en cada uno de sus extremos; las dimensiones fueron de 350 mm de longitud, con una sección transversal de espesor y ancho iguales a 23 mm. La luz entre los apoyos fue de 300 mm, y la carga puntual fue aplicada en el centro de los apoyos, a una velocidad constante de 5 mm por minuto. El ensayo se efectuó hasta cuando se presentó la falla del material (figura 4).

3) *Análisis por MEB.* Se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca Zeiss, modelo EVO/MA10, con detector VPFE a 70 Pa. Se hizo una observación morfológica del compuesto, principalmente de la zona interfacial fibra-polímero. El estudio se realizó en una región transversal a la zona de fractura de las probetas que se sometieron al ensayo de tracción.

3. Resultados y discusión

El material compuesto de matriz polimérica que mostró mayor resistencia a la tracción fue la de proporción 80% polímero y 20% aserrín (figura 5). En consonancia con Zárate y Gutiérrez (2012), a comparar los resultados obtenidos con los valores de resistencia a la tracción en el sentido perpendicular al grano de la madera, se observó que el material compuesto mostró valores de

resistencia superiores a los de la madera natural (figura 6). Esto se atribuye a la presencia de las fibras y a su orientación aleatoria, pues confieren mayor rigidez a la matriz de polímero.

Los valores obtenidos con el ensayo de tracción (figura 7) muestran que la incorporación de una mezcla de madera natural en forma de aserrín incrementa la resistencia del polímero. La mezcla con la que se obtuvo una mayor resistencia a la tracción fue la E8020. Para el caso de la mezcla E7030, la resistencia disminuye, lo cual se atribuye a la disminución de la cantidad de matriz, lo cual influye en el aumento de la ductilidad del material. Por el contrario, la deformación en las mezclas presenta una disminución con el aumento del contenido de aserrín. Ello se observó en las tres mezclas ensayadas. El valor máximo de resistencia a la tracción se obtuvo con un contenido del 20% de aserrín, con lo cual se llega a un esfuerzo máximo de 8 MPa. Se atribuye este fenómeno a que los compuestos reforzados muestran una pérdida muy importante de su plasticidad al añadir las fibras de refuerzo, pues disminuye la cantidad de LDPE.

De igual manera, la rigidez del material compuesto aumenta con el incremento de la cantidad de fibras naturales adicionadas a la mezcla, como se muestra en la figura 7.

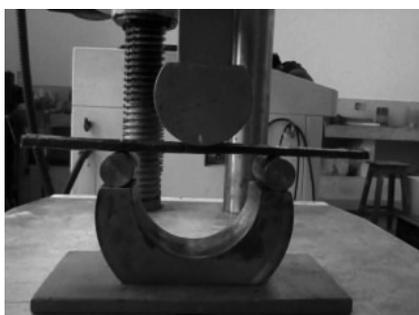


Figura 4. Ensayo de resistencia a la flexión

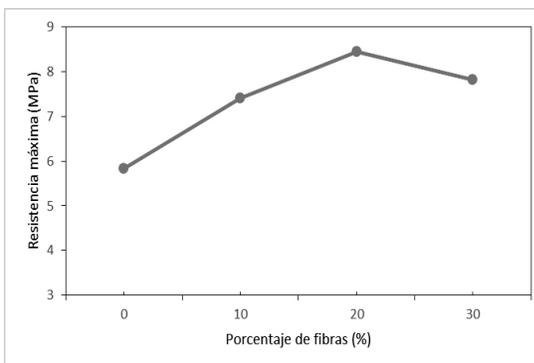


Figura 5. Comparación de los valores de resistencia del material de matriz polimérica, utilizando como refuerzo una mezcla de aserrín de las maderas más usadas en Boyacá

Fuente: Elaboración propia a partir de Zárate y Gutiérrez (2012).

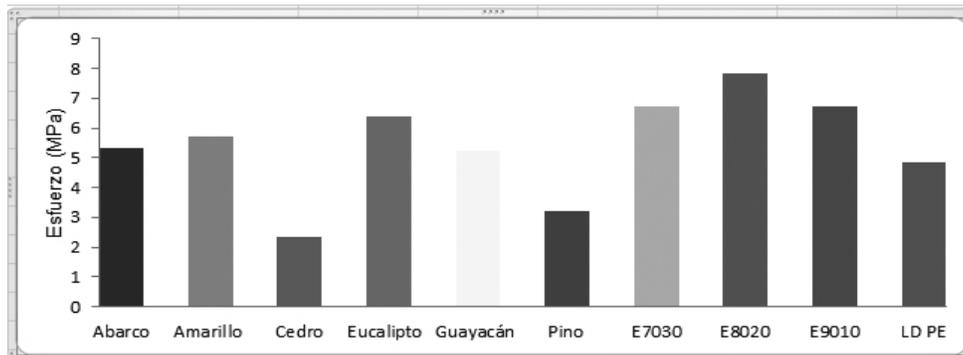


Figura 6. Comparación de los valores de esfuerzo de las maderas más usadas en Boyacá, medidos en la dirección perpendicular al grano con respecto a los valores obtenidos para las mezclas de compuesto de madera y plástico

Fuente: Elaboración propia a partir de Zárate y Gutiérrez (2012).

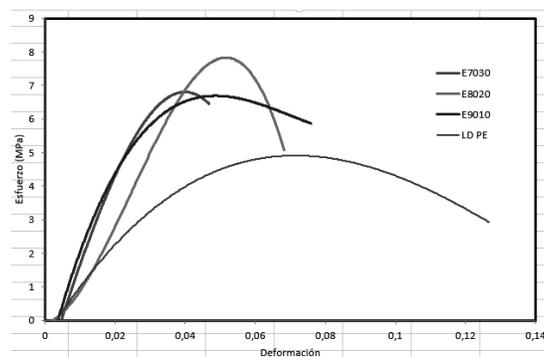


Figura 7. Comparación de la resistencia a la tracción de las mezclas ensayadas

En las figuras 8, 9 y 10 se muestran las micrografías de MEB para el polímero LDPE, con y sin fibras de madera.



Figura 8. Muestra de polímero LDPE sin adición de refuerzo

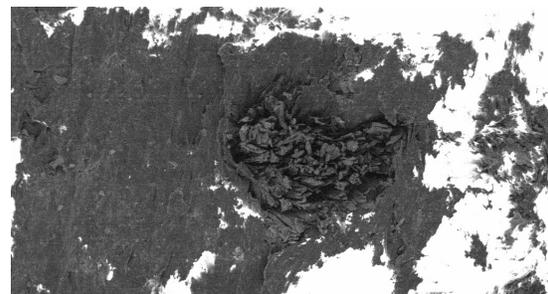


Figura 9. Morfología de las fibras de madera dentro de la matriz, 250 X

En la figura 9 se aprecia una de las fibras de refuerzo dentro de la matriz a 250 X. Al observar la zona de la interfase LDPE, fibras a 600 X, se nota que la unión entre las fibras de madera y la matriz de LDPE no es completa, ya que las flechas en la figura 10 indican que se presentan espacios vacíos en la zona de la interfase. Esto nos indica que a pesar de que el refuerzo genera un aumento en la resistencia a la tracción y a la flexión, comparado con el LDPE puro, este incremento podría favorecerse con la adición de un agente que mejore la interacción entre las fibras y la matriz, lo que permitiría un mejor desempeño del material frente a esfuerzos de tracción y de flexión.

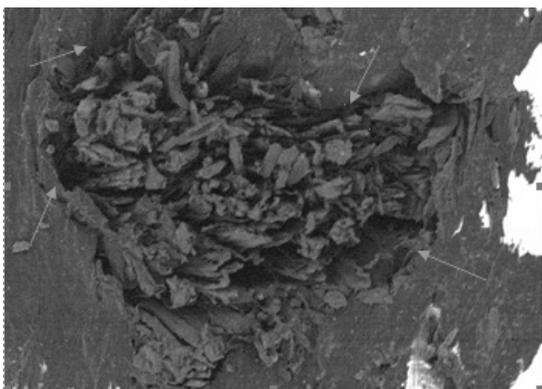


Figura 10. Morfología de las fibras de madera dentro de la matriz, 600 X

4. Conclusiones

Al comparar los resultados del compuesto de madera y polímero con las propiedades de la madera natural, se encontró que la resistencia a la tracción en el material compuesto fue mayor a la resistencia de la madera natural medida en dirección perpendicular al grano.

El aprovechamiento tanto del LDPE como de las fibras de madera de desecho para elaborar un material compuesto es perfectamente viable.

La incorporación de fibras aumenta ligeramente las propiedades de resistencia del polímero base (en este

caso, LDPE reciclado), pero disminuye sus propiedades de plasticidad. Con las propiedades obtenidas este material podría utilizarse en la fabricación de elementos como estibas, plataformas para recubrimiento de jardines, alrededores de piscinas, vallas para jardín.

La rigidez del material compuesto de madera y polímero aumenta con la adición de porcentajes de hasta 20% de fibras de madera. Por encima de este porcentaje la resistencia y la rigidez comienzan a disminuir. Esta situación se puede corregir al adicionar un agente acoplante que favorezca la interacción de las fibras y la matriz.

La madera utilizada para la fabricación de la madera tecnológica es subproducto de las aserradoras; por lo tanto, no se talan árboles para su producción. Así, al utilizar WPC de forma activa se contribuye con la protección del medio natural. Al darle un uso a esta clase de polímero y reciclarlo, se contribuye a corto y largo plazo a disminuir el volumen que estos residuos ocupan en los rellenos sanitarios.

Finalmente, el proceso de extrusión garantiza las condiciones de presión y temperatura necesarias para producir el material; por ello, este proceso de conformado contribuye al aumento en la resistencia del compuesto de madera y polímero.

Referencias

- Adhikary, K. B, Pang, S. y Staiger, M. P. (2008). Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin highdensity polyethylene (HDPE). *Composites*, 39(part B), 807-815.
- Ashori, A. y Nourbakhsh, A. (2009). Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials. *Waste Management*, 29, 1291-1295.

ASTM International (2010). *ASTM D790-10: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. Recuperado de <http://wenku.baidu.com/view/97d9964de518964bcf847c39.html>

Ghahri S. (2014) Influence of Impact Modifier And Coupling Agent On Impact Strength Of Wood Flour / Recycled Plastic Composites. *Proligno* Vol. 10 No. 1, 3-9.

Jayaraman, K. y Bhattacharya, D. (2004). Mechanical performance of wood fibre–waste plastic composite materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 41, 307-319.

Jayaraman, K., Halliwell, R. (2009). Harakeke (phormium tenax) fibre–waste plastics blend composites processed by screwless extrusion. *Composites*, 40(part B), 645-649.

Kazemi Najafi Saeed (2013). Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review. *Waste Management* 33, 1898-1905.

Kotiba, H., Kaseem, M. y Deri, F. (2013). Review article: recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polymer Degradation and Stability*, 98, 2801-2812.

Saeed, K. (2013). Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review. *Waste Management*, 33, 1898-1905.

Zárate Ramírez, J. y Gutiérrez Junco, O. (2012). Caracterización de maderas usadas en Boyacá de acuerdo con el Reglamento Construcción Sismo Resistente. *Revista Facultad de Ingeniería UPTC*, 21(32), 73-91.