

BMB ecológico con carga reciclada

Padilla Ramírez Amando José^{1*}, Alonso Blas Rodrigo², Meléndez Badillo Ángel Misael¹,
Panamá Armendáriz Mauricio Iván¹, Alonso Ojeda Saúl², Flores Bustamante Jesús Antonio¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Materiales, Área de Construcción, Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: ajpr@azc.uam.mx

Recibido:

27/febrero/2020

Aceptado:

29/octubre/2020

Palabras clave:

BMC,
reciclado,
resina

Keywords:

BMC, recycled,
resin

RESUMEN

Para reducir el impacto ambiental, se ha implementado el reciclaje de material de desecho para obtener nuevos productos. En este trabajo, se incorporaron residuos de BMC (bulk molding compound) como carga en materiales compuestos para la fabricación de aisladores eléctricos de media tensión con resina poliéster, carbonato de calcio, BMC reciclado, fibra de vidrio y aditivos. El BMC reciclado (molido a tamaño de 600 micras) se añade hasta un 50% de peso como sustituto del relleno tradicional de CaCO_3 . En el moldeo de piezas, se observa un llenado por completo, buen flujo del material y buena apariencia cosmética del producto. El producto obtenido con reciclado de BMC cumple con las propiedades mecánicas, esto es, una resistencia mecánica de 121 N-m y descarga eléctrica a 25 Kv y 0,8 amperios, por lo que es factible de elaborar BMC nuevo basado en BMC reciclado y reducir el costo de materiales en alrededor del 3%.

ABSTRACT

To reduce environmental impact, recycling of BMC waste material has been implemented. In this work, plastics industry waste was incorporated as a load of composite materials for the manufacture of insulators for medium voltage applications. Electric insulators were manufactured, with polyester resin, recycled BMC (bulk molding compound) load, fiberglass and additives. Recycling of BMC (milling to a size of about 600 microns) was added up to 50% weight as a substitute for CaCO_3 filler. After processing it was observed that the mold was completely filled, it had a good flow and cosmetic appearance of the final product. BMC obtained with BMC recycling meets mechanical properties, i.e. a mechanical resistance of 121 N-m, and passed the electric discharge (at 25 Kv and 0.8 amp). The results were positive so it is feasible to make BMC based on recycled BMC and reduce material cost by about 3% in the FRP products.

Introducción

En la UAM Azcapotzalco, se ha estado trabajando en el desarrollo de BMC, bulk molding compound por sus siglas en inglés, que es un material para moldeo en masa, particularmente para aplicaciones en la industria eléctrica, con buenos resultados (Padilla et al 2018). Sin embargo, en la fabricación de piezas, durante el proceso de termocompresión se genera un porcentaje de un 2 al 5% de desperdicio, proveniente de rebabas (flash), barrenado y piezas fuera de especificaciones principalmente. Esto llega a representar a lo largo del tiempo un volumen de desperdicio de materiales importante.

Por esta razón, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de estos desperdicios mediante su reutilización, esta investigación se orienta al desarrollo de formulaciones usando BMC reciclado y a su evaluación físico-mecánica para ser utilizado en la fabricación de piezas para la industria eléctrica.

Cabe recordar, que el BMC es un material compuesto formado por: resina, cargas minerales inertes, como es el carbonato de calcio, fibras cortas de vidrio como refuerzo y una serie de aditivos entre ellos: desmoldante interno, pigmento e iniciador tipo peróxido.

En este material, la resina funciona como la matriz del compuesto en la que se contienen las cargas o minerales inertes, las fibras de refuerzo y demás aditivos (Faruk 2014; Chapple 2010; Gujjala 2014). Para la fabricación del BMC en este trabajo, se emplean resinas termofijas tipo poliéster

El BMC ecológico desarrollado, nominación debida al uso de material de desecho, se basa en la sustitución de la carga mineral usual, es decir, carbonato de calcio o calcita, por BMC reciclado y molido, en diferentes proporciones, llegando hasta un 50% de sustitución.

El BMC reciclado tiene un color rojo, y es empleado como carga de bajo costo, la cual se estima no sea mayor sea la mitad del costo de la calcita. Al igual que la calcita, el BMC reciclado le confiere una mayor densidad al compuesto,

La sustitución de la calcita por BMC reciclado, tiene un efecto en la densidad del compuesto, ya que la densidad de este material reciclado es del orden de 1.98 g/cm³, mientras que el de la calcita es del orden de 2.6 g/cm³.

Esto permitiría tener un material menos denso y por otro lado, dado que el costo del BMC reciclado y molido es aproximadamente un 50% del costo de la calcita, se podría lograr un ahorro en el costo del BMC ecológico.

Metodología

Caracterización del BMC de desecho o reciclado

El BMC reciclado, proviene de la molienda de los desechos generados, por lo que se requiere de una previa caracterización y selección granulométrica de los desechos molidos, al igual que la determinación de su densidad.

Método para determinación granulometría del BMC molido

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado y se determina mediante el uso de análisis de tamices de acuerdo a la Norma ASTM C 136-05. El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. En este caso se emplean las mallas 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 325 correspondientes a tamaños de abertura de: 4.75, 2.36, 1.18, 0.60, 0.30, 0.15 y 0.045 mm respectivamente.

Módulo de finura

En el ensayo de granulometría, se determina además el llamado módulo de finura (MF), que se obtiene conforme a la norma ASTM C 125-07, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. Esto se representa en la ecuación [1]

$$MF = \frac{\sum \text{retenidos acumulados}}{100} \quad [1]$$

El módulo de finura se basa en los conceptos usados en ingeniería civil en la granulometría de arenas, con el fin de dar una idea del grosor o finura de las partículas del agregado, en este caso el BMC molido (García, 2009). Entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado

Método para determinación de densidad

La densidad de las cargas empleadas: calcita y BMC reciclado es determinada mediante picnometría de acuerdo a la Norma ASTM C127-04.

Diseño de formulaciones

En base a la experiencia se propone el uso solo de las fracciones de BMC molido que pasen la malla 30, es decir las partículas con tamaño medio de 0.60 mm.

Las formulaciones con BMC reciclado y molido, se realizan en base a la una formulación denominada M3, que cumple con los requisitos eléctricos. La concentración de fibra es del 11% en peso y en el caso

del BMC ecológico se emplea la fibra en longitudes de $\frac{1}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " y 1". La tabla 1 muestra las formulaciones elaborados y evaluadas. En este caso la Formulación A corresponde a formulación base y las Formulaciones B, C y D a las formulaciones con BMC reciclado.

Tabla 1. Composición de BMC testigo y ecológico .

Componentes	A	B	C	D
Resina	24%	24%	24%	24%
Carga	63%	32%	32%	32%
BMC reciclado	0%	32%	32%	32%
Fibra 1/4	0%	11%	0%	0%
Fibra 1/2	11%	0%	11%	0%
Fibra 1"	0%	0%	0%	11%
Desmoldante	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
Pigmento	1%	0.5%	0.5%	0.5%
Catalizador	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Dispersante	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%

Es importante señalar que el contenido de pigmento rojo se puede reducir a la mitad, ya que se genera un color muy intenso con el porcentaje usual. El acabado que se logra con la mitad de pigmento es sumamente atractivo. La fotografía de la figura 1 permite apreciar el acabado cosmético alcanzado.

Elaboración de muestras

Las muestras de las formulaciones propuestas y muestras usando BMC comercial se elaboraron por termocompresión, colocando inicialmente, la cantidad requerida para la pieza en el molde. En este caso se emplearon 80 gramos. Las temperaturas en el molde fueron de 130°C y 135°C para el molde inferior y superior respectivamente. El molde es cerrado para formar la pieza por termocompresión y finalmente la pieza se retira del molde mediante un sistema de eyectores. El tiempo de curado es de 190 segundos.

Evaluación de formulaciones

Estas formulaciones fueron evaluadas, tanto de vista de la factibilidad en el proceso de termocompresión, es decir, que no se requiriese condiciones especiales para el proceso, así como la evaluación desde el punto de vista de resistencia eléctrica y resistencia mecánica.

La prueba de resistencia eléctrica consiste en una descarga de 25,000 volts con una intensidad de corriente de 1 ampere durante un minuto. Estas pruebas se realizaron en un equipo de construcción propia colocando los electrodos: uno en la parte superior y el segundo en la parte inferior, basados en las normas ASTM D149-97a y ASTM D495-73.

La evaluación mecánica consiste en un ensayo de cantiléver en el que se determina la capacidad de carga del elemento ensayado. La prueba se realiza en un dispositivo especial diseñado por la Empresa ECore y de acuerdo con su norma interna.

Resultados y discusión

Determinación de densidad de las cargas

La densidad media del BMC molido es de 1.98 g/cm³, valor inferior a la densidad de la calcita (2.6 g/cm³) en un 24% aproximadamente. Esto tiene un efecto interesante ya que reduce la densidad del compuesto y puede reducir también el costo.

En este caso, al usar una relación de 1:1 en peso de BMC reciclado y calcita, la densidad media del agregado inerte es de 2.248 g/cm³, lo que representa una disminución del 14% en la densidad con respecto a la densidad de una carga formada solo por calcita.

Granulometría de BMC reciclado

La figura 1 muestra esquemáticamente la distribución de partículas de BMC de desecho molido. Se puede calcular el módulo de finura en este caso el BMC molido del orden de 6.25 lo que indica un agregado muy grueso.

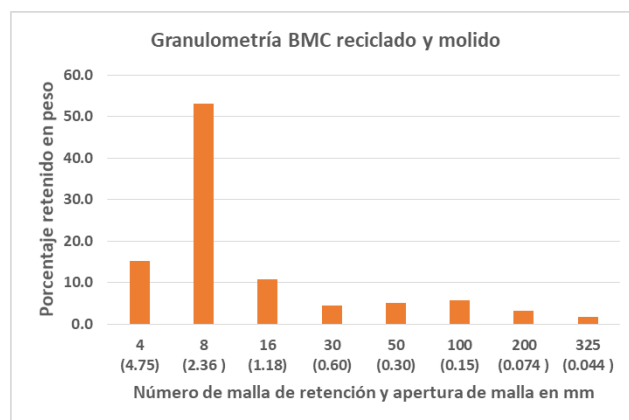


Figura 1. Representación esquemática de la distribución de partículas de BMC reciclado y molido, que abarcan desde partículas de diámetros de 4.74 mm hasta partículas de diámetros de 0.044 mm.

A partir de los resultados de la granulometría del BMC reciclado y molido, y de los requerimientos de acabado de las piezas de BMC por termocompresión, se selecciona el uso de las partículas de MC molido que pasan la malla 30, es decir las fracciones que se retienen en las mallas 50 en adelante. De esta forma es posible utilizar cerca de un 17% del BMC molido.

La granulometria de estas fracciones se presenta en la figura 2, observándose que solo el 15% de ellas están

dentro de la malla 325. De esta forma el modulo de finuar de las fracciones de BMC molido es de 2.76.

Por otro lado, en la grafica de la misma figura 2, se presenta la granulometría del BMC molido en base a los pesos retenidos y a los volumens retenidos. Esto último, como ya se ha mencionado debido a que este material tiene una densidad menor a la calcita, lo mas conveniente es realizar los análisis de mconsumos de materiales en términos de volumen.

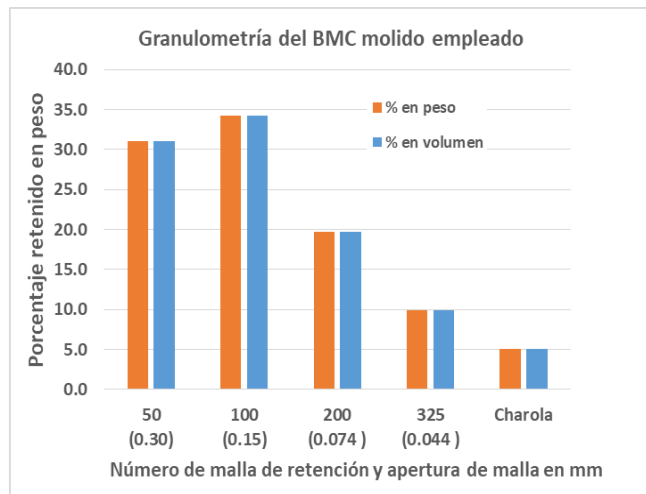


Figura 2. Representación esquemática de la distribución de partículas de BMC reciclado y molido seleccionado para usarse coo carga en la fabricación de BMC.

Granulometría de la mezcla de BMC molido y calcita

Al combinar el agregado de BMC reciclado con la calcita, se modifica no solo la densidad media del agregado total, sino también se modifica el tamaño medio del agregado lo que tiene implicaciones en el consumo de resina y en comportamiento reológico del compuesto durante su fabricación y procesamiento en la elaboración de piezas por termoformado.

Dado que ambos tipos de agregados inertes tienen diferente densidad, análisis granulométrico se realiza en base al volumen de material retenido en cada malla.

La figura 3, muestra esta nueva distribución de tamaños de partículas en función a los volúmenes retenidos encada malla.

De esta forma la distribución de las cargas resulta predominante en tamaño de partícula de 0.045 mm (malla 325), prácticamente el 50% del total de las partículas de carga. De esta forma el módulo de finura resultante es de 1.88.

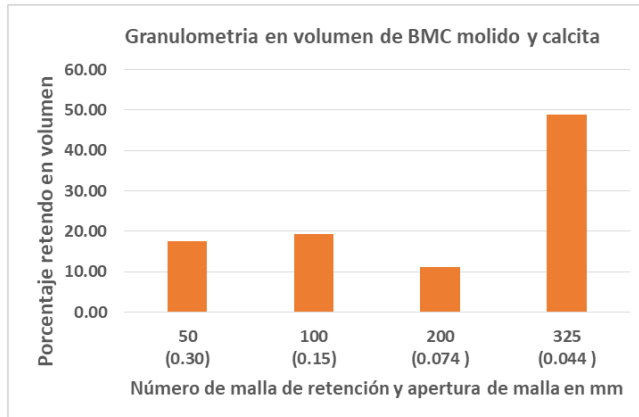


Figura 3. Representación esquemática de la distribución de partículas de BMC reciclado y calcita expresado en volumen retenido.

Ensayos de resistencia eléctrica

De los resultados de comportamiento eléctrico, se encontró, que todas las formulaciones cumplen con los requerimientos dieléctricos, esto es, presentan una alta resistencia a las fallas eléctricas. En la tabla 2, se muestran los valores de voltaje y amperaje alcanzados en cada una de las muestras ensayadas bajo condiciones de una humedad relativa del 53%. La muestra A corresponde al BMC base, las muestras B, C y D corresponden a muestras de BMC ecológico, es decir, con contenido de BMC reciclado y las muestras T corresponden a muestras testigo hechas con BMC comercial. Como se señaló anteriormente, todas las muestras cumplen con los requisitos eléctricos para la aplicación del material en piezas dieléctricas.

Tabla 2. Valores determinados en el ensayo de resistencia eléctrica.

Muestra	Voltaje Aplicado (kV)	Amparaje (amp)	Humedad (%)	Decisión
A1	25.7	0.7	53%	Aceptado
A2	25.6	0.7	53%	Aceptado
A3	25.4	0.7	53%	Aceptado
B1	25.7	0.8	53%	Aceptado
B2	25.5	0.7	53%	Aceptado
B3	25.3	0.7	53%	Aceptado
C1	25.8	0.8	53%	Aceptado
C2	25.2	0.7	53%	Aceptado
C3	25.2	0.7	53%	Aceptado
D1	25.8	0.7	53%	Aceptado
D2	25.2	0.7	53%	Aceptado
D3	25.1	0.7	53%	Aceptado
T1	25.8	0.8	53%	Aceptado
T2	25.4	0.7	53%	Aceptado
T3	25.4	0.7	53%	Aceptado

Ensayo mecánico (cantilever)

Durante el mezclado y el procesamiento las fibras no son orientadas unidireccionalmente, sin embargo, el empleo de fibras cortas mejora las propiedades mecánicas, dándoles un comportamiento ortotropico (Sreenivasan 2015; Yi X 2007). En este caso, las propiedades mecánicas promedio de las formulaciones de BMC ecológico (elaborado con BMC reciclado y molido) se reportan resistencias en un rango entre 4,300 a 4,600 Newtons en el ensayo de cantilever, tal y como lo muestra esquemáticamente el gráfico de barras de la figura 4. En este mismo gráfico se presentan los valores mínimos y máximos de ensayos realizados con piezas elaboradas empleando BMC comercial, observándose que la resistencia a cantilever del BMC ecológico, independientemente de la longitud de la fibra, esta dentro de del rango de valores del BMC comercial.

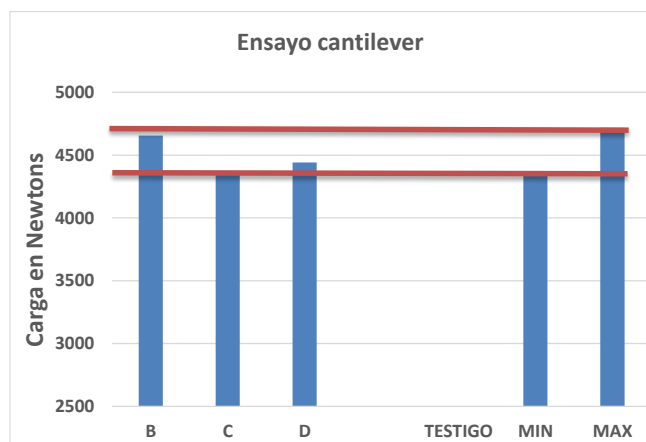


Figura 4. Representación de los valores de resistencia a cantilever de las muestras hechas con BMC ecológico (muestras B, C y D) y los valores extremos observados en muestras hechas con BMC comercial (testigo).

Como se señaló en el diseño de las formulaciones, la diferencia en las Formulaciones del BMC ecológico (B, C y D), es el tamaño de la fibra de vidrio empleada, la cual es de $\frac{1}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " y 1" para las formulaciones B, C y D respectivamente.

El tamaño de la fibra tiene efecto en el proceso de mezclado, observándose que la fibra de menor tamaño es más fácil de incorporar y humectar y de esta forma permite una mayor homogeneización de la mezcla.

Probablemente esto ocasione que las resistencias mecánicas de cantilever sean las mayores cuando se usa fibra de $\frac{1}{4}$ ".

Efecto en el costo del material

La tabla 3, muestra el costo por kilogramo de las formulaciones de BMC ecológico y de la formulación de BMC de referencia (Formulación A).

Los costos en esta tabla 3, están expresados en dolares y como puede observarse, prácticamente en todos los rubros los costos de los componentes entre ambas formulaciones son idénticos, a excepción del costo global de las cargas (calcita y BMC reciclado) y el costo del pigmento.

El uso de BMC reciclado en permite reducir por un lado el costo de la carga empleada en 0.013 U\$D/kg y por otro lado el consumo de pigmento en 0.015 U\$D/kg, lo que al final representa un ahorro de prácticamente 3% en el costo de materiales.

Tabla 3. Costo por kilogramo en U\$D de las formulaciones de BMC ecológico y del BMC de referencia (Formulación A).

Componentes	BMC ecológico	A
Resina	0.630	0.628
Carga (CaCo3)	0.027	0.054
BMC reciclado	0.014	0.000
Fibra	0.149	0.149
Desmoldante Interno	0.020	0.020
Pigmento	0.035	0.050
Catalizador	0.090	0.092
Dispersante	0.011	0.011
Total	0.976	1.005

Cabe señalar que la resina es el componente de mayor costo unitario y llega a representar el 63% del costo total de la formulación del BMC.

Efecto del tamaño de la partícula y densidad del BMC reciclado

Haciendo un análisis del área superficial, considerando que las partículas son esféricas de 100 μ m de diámetro, se deduce que, usando exclusivamente calcita, el área total superficial es de 13,600 cm^2 contra 9,300 cm^2 correspondientes a la suma de las áreas de las fracciones de la mezcla calcita BMC molido. Esto representa una reducción del área del 30%. El gráfico de barras de la figura 5, muestra la estimación de las áreas de las diferentes fracciones de la mezcla de calcita y BMC molido.

Por otro lado, haciendo un análisis, del volumen de las formulaciones del BMC ecológico y del BMC de referencia (formulación A), se observa que el volumen generado por 100 gramos de formulación es de: 54.59cm^3 para la formulación del BMC ecológico y de 50.17cm^3 para el BMC de referencia, por lo tanto, existe un 4.4cm^3 de volumen excedente en el BMC ecológico. Si se diseña en base a volumen, este excedente del BMC ecológico puede reducirse, en este caso mediante el retiro de resina.

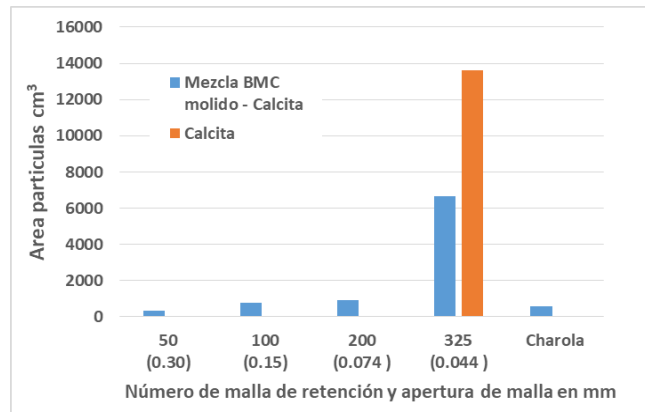


Figura 5. Estimación de las áreas de las partículas de la mezcla de calcita-BMC molido y de la carga de solo calcita. La estimación se realiza considerando un volumen de 100cm^3 de la carga de solo calcita y de la carga en base a la mezcla calcita-BMC molido.

Los datos de consumo volumétrico de cada componente para las dos formulaciones analizadas, se muestran en la tabla 4.

En principio, al retirar tan solo una cuarta parte del volumen excedente, es decir, 1.1cm^3 de resina, esto implica bajar el consumo de resina y por lo tanto el costo de la formulación en un 6.9%. Ahora si se logra reducir la mitad del excedente, se podría lograr una reducción del costo de la formulación del 10%.

Tabla 4. Composición en volumen de formulaciones de BMC ecológico y BMC de referencia (Formulación A).

Componentes	BMC ecológico	A
Resina	19.801	19.750
Carga (CaCo3)	12.186	24.308
BMC reciclado	16.675	0.000
Fibra	4.242	4.250
Desmoldante Interno	0.638	0.636
Pigmento	0.376	0.542
Catalizador	0.410	0.418
Dispersante	0.270	0.271
Total	54.598	50.175

Finalmente, la figura 6 muestra el tipo de piezas por termocompresión para ensayos eléctrico y mecánicos, que se obtuvieron en este estudio.



Figura 6. Piezas obtenidas por termocompresión para ensayos eléctrico y mecánicos.

Conclusiones

Si bien el uso de BMC reciclado y molido en la elaboración de BMC para artículos dieléctricos, permite cumplir con los requisitos mecánicos y eléctricos, también se logra una mínima reducción del costo de la formulación del BMC de un 3% y además de que se encuentra una forma de reducir técnica y económicamente los desperdicios industriales de BMC.

Este ahorro es realmente pequeño, pero creemos que la inclusión de la carga de BMC molido, que presenta una menor densidad, y una distribución de tamaños de partículas entre las mallas 30 y 425, podría permitir la reducción de resina en la formulación y por lo tanto el costo de la formulación.

El uso de partículas de mayor tamaño, en principio reduce el consumo del aglomerante, en este caso, la resina, debido a que se reduce el área superficial de la carga y por ende se requiere de menos resina.

La verificación de los ahorros estimados por la modificación de la formulación del BMC ecológico será el siguiente punto de esta investigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las empresas EECORE, Comercializadora Moreli, AOC, IMATE, KCHEM, OMYA y a la DCBI- Azcapotzalco por las facilidades y suministros, apoyo técnico y económico brindado durante el desarrollo de la presente investigación.

Referencias

- Chapple S, Anandjiwala R. (2010). Flammability of natural fiber-reinforced composites and strategies for fire retardancy: a review. *J. Thermoplast Compos Mater*, 23 (6), 871-93.
- Faruk O, Bledzki AK, Fink H-P, Sain M. (2014). Progress report on natural fiber reinforced composites. *Macromol Mater Eng*. 299 (1), 9-26.
- García Andreu (2009). Prácticas de Materiales de Construcción – I.T. Obras Públicas, Universidad de Alicante, España. de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/5/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%205%20_Granulometria%20III.pdf
- Gujjala R, Ojha S, Acharya S, Pal S. (2014). Mechanical properties of woven jute-glass hybrid-reinforced epoxy composite. *J. Compos. Mater*, 48 (28), 3445-55.
- Padilla Ramírez Amando José, Alonso Blas Rodrigo, Panamá Armendáriz Mauricio Iván, Meléndez Badillo Ángel Misael, Alonso Ojeda Saúl, Hernández Pérez Isaías (2018). Desarrollo y evaluación de BMC para Aplicaciones eléctricas *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 4, (4), 553-559.
- Sreenivasan S, Sulaiman S, Baharudin BTHT, Ariffin MKA, Abdan K. (2015). Mechanical properties of novel kenaf short fiber reinforced bulk molding compounds (BMC). *Adv. Mater. Proc. Technol.* 1(1-2), 49-55.
- Yi X., Duan HL., Chen Y., Wang J. (2007). Prediction of complex dielectric constants of polymer-clay nanocomposites. *Phys. Lett. A*. 372:68-71.