

Desarrollo y evaluación de BMC para aplicaciones eléctricas

Padilla Ramírez Amando José.¹, Alonso Blas Rodrigo², Panamá Armendáriz Mauricio Iván.¹,
Meléndez Badillo Ángel Misael¹, Alonso Ojeda Saúl², Hernández Pérez Isaias^{1*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180
Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200, México.

²EEcore Equipos Eléctricos Core S.A. Mirto 36, Lomas de San Miguel, Ciudad de México, C.P. 52928, México.

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

Recibido:
23/abril/2018

Aceptado:
24/septiembre/2018

Palabras clave:
BMC, compósito,
poliéster,
termo-formado,
resistencia mecánica

Keywords:
BMC, composite,
polyester,
thermo-formed,
mechanical strength

RESUMEN

En el presente estudio se obtuvo un material compuesto termofijo de matriz polimérica tipo poliéster, para su procesamiento mediante el método de moldeo en masa (BMC por sus siglas en inglés "Bulk Moulding Compound"). Se estudió la influencia de la composición sobre sus propiedades estructurales mediante estudios de espectrofotometría FTIR, los cuales muestran una gran similitud en la composición del material de referencia con los materiales aquí formulados. Se observó, que hay una relación directa entre la densidad y la resistencia mecánica, Adicionalmente, se encontró que un mayor contenido de resina mejora sus propiedades reológicas, incrementa la dispersión de la carga y el llenado del molde, la mayor resistencia a la compresión se obtuvo para un contenido de fibra del 10 al 12%, mientras que un incremento en la concentración de calcita (carga) va en detrimento de las propiedades mecánicas. Se encontró que, al disminuir el módulo elástico se incrementa la resistencia eléctrica. Finalmente, se observó que todas las formulaciones presentan propiedades dieléctricas apropiadas para su uso como aisladores de media tensión.

ABSTRACT

The purpose of the present study is to obtain a thermo-fixed polymer-polyester composite material for processing by the mass-molding method (BMC for its acronym in English "Bulk Moulded Composite"). The influence of the composition on its structural properties was studied by means of FTIR spectrophotometry studies, which show a great similarity in the composition of the reference material with the materials formulated here. It was observed that there is a direct relationship between density and mechanical strength. Additionally, it was found that higher resin content improves its rheological properties, increases the dispersion of the load and the filling of the mold. The greater resistance to compression was obtained for a fiber content of 10 to 12%, while an increase in the calcite concentration (load) is in detrimental to the mechanical properties. It was found that a diminution of elastic module, the electric resistance was increased. Finally, it was observed that all formulations have appropriated dielectric properties for middle tension applications.

Introducción

El llamado BMC (bulk molding compound) es un material compuesto que se emplea para la fabricación de diversos tipos de piezas mediante el proceso de termocompresión, es una mezcla de resina termofija con agregados inertes minerales, reforzada con fibra, estabilizadores, desmoldantes y pigmento, que forman una pasta viscosa, en donde 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 se emplean resinas termofijas tipo poliéster, las cuales se obtienen a partir de la reacción del ácido isoftálico con el anhídrido maléico y un glicol. El producto de esta reacción es disuelto en un monómero vinílico como lo es el estireno.

El BMC presenta un alto contenido de cargas minerales inertes (carbonato de calcio, sílica, Alúmina trihidratada o talco) en proporciones cercanas al 60% en peso (ver Tabla 1), así como diferentes aditivos como son los desmoldantes internos, pigmentos, modificadores de viscosidad, catalizadores y espesantes. El propósito de agregar este tipo de cargas y aditivos es reducir el costo, así como mejorar algunas propiedades fisicoquímicas como son: la resistencia al manchado, al fuego, incrementar las propiedades mecánicas o dieléctricas. En caso de que el producto final se encuentre expuesto a la intemperie (radiación solar, lluvia viento, etc.), se pueden agregar inhibidores de corrosión y absorbedores de radicales libres (luz UV y visible). Por otro lado, el BMC está reforzado por fibra de vidrio cortas entre 1/32" (0.8 mm) y 1/2" (13 mm), el contenido va del 10% al 30% (ver Tabla 1); la integración de estas fibras incrementa la resistencia al impacto y son las responsables de las propiedades mecánicas que mejoran la flexión y tensión del BMC (Munikenche 1999; Bogoeva-Gaceva 2007; Khan 2005; Mehta 2006).

Finalmente, como parte de los componentes del BMC se incluye un iniciador o una mezcla de iniciadores tipo peróxidos que se disparan (se descomponen y forman radicales libres) a temperaturas del orden de 140 a 160°C. Los iniciadores provocan el proceso de entrecruzamiento de la resina poliéster insaturada con el monómero en el que están disueltas y de esta forma la resina pasa del estado líquido al estado sólido, es decir, se genera el curado de la resina.

Dependiendo de la aplicación final el BMC debe ser formulado ya sea para alcanzar el control dimensional, o resistencia a la flama, o aislamiento eléctrico, o resistencia al manchado y a la corrosión, o una alta resistencia mecánica, o un bajo encogimiento, o una

buena estabilidad del color, y/o excelentes características de flujo que faciliten su procesamiento (Chiu 1996). La Tabla 1 muestra algunas formulaciones típicas de BMC para diversas aplicaciones. Desde el punto de vista del procesamiento, una de las principales ventajas del empleo de fibras cortas, como es el caso del BMC y del SMC, es la facilidad de moldeo, lo que facilita la colocación del material dentro del molde y se pueden tener ciclos muy cortos de curado a presiones relativamente bajas (Rabinovich 2008; Le Corre 2002; Sanadi 1986).

Tabla 1. Formulaciones típicas de BMC (pph).

Componente	Uso general	Uso Eléctrico	Resistencia a la corrosión	Bajo encogimiento
Resina poliéster	28.4	25.00	30.0	24.0
Iniciador	0.2	0.2	0.2	0.2
Desmoldante	0.5	0.5	0.7	0.5
Carbonato de calcio	40-60	39-50	-	38-59
Sílica	-	0-4	15-30	-
Hidróxido de calcio	0.9	0.9	0.9	0.9
Alúmina Tri-Hidratada	-	4.4-9.4	20-26	-
Low profile	-	-	2.4	3.5
Fibra de vidrio	10-30	10-30	10-30	10-30

Las aplicaciones del BMC abarcan un amplio espectro en los mercados de transporte y automotriz, eléctrico y energético, construcción, industrial, servicios sanitario, doméstico y médico.

Una buena formulación permitirá múltiples ventajas durante el procesamiento y conformado; el moldeo por termocompresión del BMC termofijo difiere ligeramente del moldeo termoplástico. Son cinco las ventajas más importantes del moldeo por compresión: formas de alta complejidad, sustitución de partes metálicas, costillas de refuerzo con insertos, control y estabilidad dimensional, producción de altos volúmenes y bajos costos.

El propósito del presente estudio es obtener materiales compósitos con propiedades controladas iguales o superiores a los empleados en la industria eléctrica, para ello es necesario desarrollar una formulación específica para moldeo por compresión que permita mejorar la fluidez, reducir la flamabilidad, mejorar las propiedades dieléctricas y mecánicas, resistencia a la intemperie, así como reducir la cantidad de agua que pueda absorber el compósito y los costos de fabricación. Para lograr estos objetivos se llevó

a cabo una completa caracterización espectroscópica, mecánica, estructural y eléctrica.

Metodología

Para poder definir la mejor formulación, en una primera etapa, se evalúa el efecto de las tres principales variables o componentes que constituyen el BMC; resina, carga y fibra, empleando un diseño de experimentos mono factorial. En una segunda etapa se evalúa el efecto de un aditivo reductor de viscosidad. Esta evaluación se llevó a cabo inclusive a nivel planta piloto, es decir se elaboraron piezas por el proceso de termo compresión.

Materiales

En este proyecto se emplearon los siguientes componentes:

Resina poliéster insaturada base polipropileno maleato diseñada para proceso de molde cerrado, con una gran aceptación de carga. Presenta una viscosidad media de 2,200 cp a 25°C, una HDT a 264psi de 144°C, con resistencia a la tensión de 48 MPa y resistencia a la flexión de 82 MPa.

Carbonato de calcio, malla 325, natural, que se emplea para reducir el costo e incrementar la estabilidad dimensional del BMC, y fue ocupado en una proporción alrededor de 3:1 con respecto a la resina.

Sistema de catalización, formado por una mezcla de dos iniciadores tipo peróxido en relación 1:1. Trigonox 122 y Trigonox C.

Desmoldante interno, indispensable para evitar que la pieza quede pegada al molde. Se emplea un desmoldante líquido con una densidad media de 0.96 g/cm³, a base de grasas orgánicas del tipo ésteres y amino. Además, este desmoldante favorece la humectación de las fibras y cargas.

Pigmento rojo, en forma de pasta base inorgánica, suministrado por la empresa Poliformas Plásticas.

Diseño de formulaciones

Se elaboraron inicialmente siete formulaciones en las que se varió el contenido de carga y fibra en relación a la resina. En todas las formulaciones se mantuvo constante el contenido de desmoldante interno, catalizadores y pigmento con relación a la resina. El contenido de carga se varió de 300 a 350 pph sobre la resina y el contenido de fibra de 50 a 90 pph sobre la resina.

Obtención del compuesto fresco

La integración de los componentes se realizó agregando primeramente los aditivos a la resina como son: desmoldante interno, catalizadores y pigmento.

Posteriormente se agrega la carga (carbonato de calcio) de manera gradual a fin de evitar la formación de grumos de partículas mediante un proceso controlado. Este proceso se realiza a alto esfuerzo de corte (velocidades entre 1,400 a 2000 rpm), hasta lograr una dispersión homogénea de todos los componentes. Finalmente se agrega de manera gradual la fibra de vidrio, mezclando a baja velocidad, en un mezclador de tipo Zigma o doble planetario, lo anterior es con el fin de reducir el daño mecánico a las fibras, así como una distribución unidireccional de las mismas.

Procesamiento y Caracterización

El material obtenido en cada formulación presenta una apariencia similar al de la plastilina, pero su consistencia y viscosidad depende de la relación carga/resina (C/R) y de la relación fibra/resina (F/R). Los materiales obtenidos fueron almacenados en un desecador hasta su caracterización o procesamiento, con el fin de evitar su endurecimiento.

Procesamiento

Una vez obtenida la "masa" polimérica que conforma el compuesto, se procede a su moldeo y conformación de las piezas, para lo cual se empleó un sistema como el mostrado de manera esquemática en la Figura 1, en donde se muestra la secuencia del proceso de termoformado por compresión de una pieza de BMC.



Figura 1. Esquema del proceso de termo compresión para fabricar piezas con BMC

Inicialmente, se pesa la cantidad requerida del material (dependiendo del tipo y tamaño de la pieza),

posteriormente se coloca en el molde; el cual se encuentra a una temperatura de 13 a 170 °C y una presión de entre 20-100 bar; luego el molde es cerrado para formar la pieza por termocompresión y finalmente la pieza se retira del molde mediante un sistema de eyectores. En caso de que el proceso sea por inyección, la temperatura del molde deberá estar entre 145 – 175 °C y presión entre 80 – 160 bar.

Densidad

La determinación de la densidad de todas las muestras se realizó mediante el empleo de un picnómetro de sifón con capacidad de 3.5 L siguiendo la norma NMX-C-164.

Espectrofotometría FTIR

Con el propósito de determinar los diferentes grupos funcionales presentes en las muestras tanto de referencia como las formuladas en este estudio se empleó un espectrofotómetro FTIR Perkin-Elmer en el modo de reflectancia totalmente atenuada.

Pruebas de resistencia mecánica

La determinación de las características de resistencia a la compresión y flexión se llevaron a cabo mediante los métodos M-MMP-2-02-004/2004 y ANSI/ASTM D 790-71 empleando MAQUINAS Elvec 120TN y Elvec 100 TN respectivamente; las mediciones se llevaron a cabo a 25 °C, utilizando probetas cúbicas de 5x5x5 cm.

Pruebas de resistencia eléctrica

Se llevaron a cabo dos tipos de pruebas de resistencia eléctrica, las primeras fueron no destructivas (600 y 2600 V durante un minuto) seguida por una prueba destructiva sin límite de tiempo (arco). El segundo arreglo fue: prueba no destructiva 10,000 V durante un minuto, seguida de una prueba destructiva sin límite de tiempo (perforación). 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 y ASTM D495.

Resultados y discusión

En todos los casos, el material obtenido para cada una de las formulaciones presenta una apariencia similar al de la plastilina, pero su consistencia y viscosidad depende de la relación carga/resina (C/R) y de la relación fibra/resina (F/R) (ver Fig1). Esto es a mayor relación C/R y F/R la apariencia de la “masa” es más viscosa y presenta mayor dureza; como se discutirá más adelante, esta propiedad

influirá de manera importante en el procesamiento por termocompresión del producto final (Chiu 1996; Rabinovich 2008; Le Corre 2002).

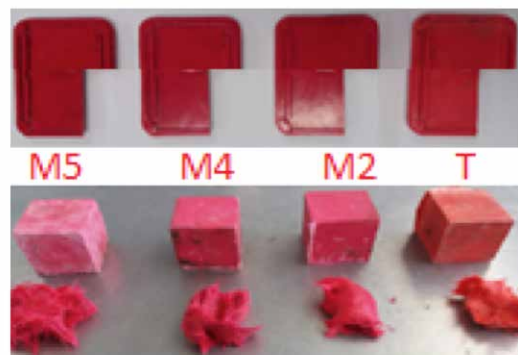


Figura 2. Apariencia, probetas para ensayos de compresión y pieza final de BMC comercial (T) y formuladas.

En todas las muestras aparecen en los espectros FTIR las mismas señales (ver Fig. 2), lo cual pone en evidencia, la existencia de grupos funcionales correspondientes a bandas intensas características de vibraciones

longitudinales de enlaces C-H (3082.0 a 2891.5 cm⁻¹). Adicionalmente, se observan una banda intensa y aguda en 1721.2 cm⁻¹ asociada al doble enlace carbono-oxígeno de ésteres. En el ácido isoftálico, la banda de carboxilo aparece en 1682.2 cm⁻¹, por lo que en este caso se trata de un poliéster probablemente derivado de un diácido aromático, ya que la banda de carbonilo mencionada arriba es muy parecida a la que aparece en 1713.2 cm⁻¹ para el polipropileno maleato (PPM). Las bandas anchas centradas en 1153 y 1289.2 cm⁻¹, son características del alcóxido o tabique de alcohol de los ésteres.

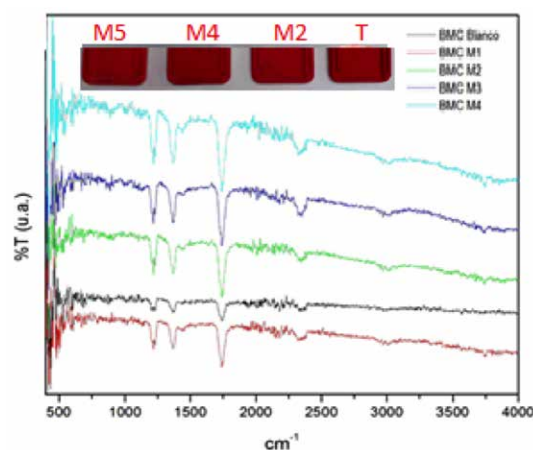


Figura 3. Espectros FTIR para las muestras de BMC comercial y formuladas.

Las bandas intensas y agudas en 697.7, 776.2 y 908.6 y 990.0 cm^{-1} , son características de vibraciones C-H del estireno (que se empleó como medio dispersante). La banda mediana y aguda en 730 cm^{-1} , podría ser la banda C-H de un anillo de aromático 1,3- o 1,4-sustituido (en el PPM la banda C-H aparece en 723.3 cm^{-1} mientras que en el ácido isoftálico aparece en 724.8 cm^{-1}).

En la Figura 4 se observa que en todas las muestras los espectros a bajas frecuencias, presentan vibraciones correspondientes a grupos de cadenas tipo siloxano (enlaces Si-O) y Ca-O, los cuales pueden ser asociados con la fibra de vidrio y calcita respectivamente, los cuales también son componentes importantes en la formulación del BMC. Las únicas diferencias encontradas en los espectros de las Figuras 3 y 4 son las intensidades, lo cual es un indicativo de los cambios de concentración de cada componente en el producto final.

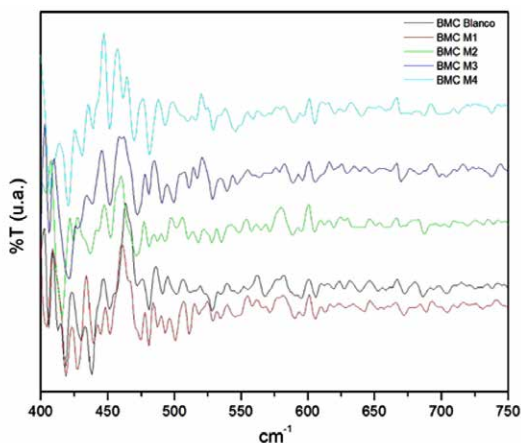


Figura 4. Analisis de FTIR para bajas frecuencias.

A partir de estos hechos se puede afirmar que tanto la formulación comercial como las de la presente investigación se encuentran en buena concordancia y todas tienen esencialmente la misma composición estireno, poliéster y glicol, CaCO_3 y fibra de vidrio. Vale mencionar que debido a la cantidad tan pequeña de aditivos empleados (catalizador, desmoldante y pigmento), sus bandas de vibración se encuentran sobre puestas con las de otros componentes o se encuentran dentro del ruido del instrumento. De acuerdo con lo anterior, se puede confirmar que para estos materiales termofijos, durante la termocompresión (moldeo) ocurre una reticulación química entre los diferentes componentes del material.

De los resultados de caracterización mecánica se puede apreciar una correlación lineal entre la resistencia a la compresión y la densidad, tanto para la muestra comercial como para nuestras formulaciones. En ambos

casos se puede observar que a medida que aumenta la densidad aumenta la resistencia a la compresión. Sin embargo, a pesar de que las muestras elaboradas en este estudio presentan una mayor resistencia a la compresión, hay una mayor dispersión de valores, como se muestra en la Figura 5. En el intervalo de las pruebas mecánicas realizadas, no se observó efecto de deformación plástica asociada con la rapidez de deformación.

Estas muestras, al tener formulaciones distintas en cuanto al contenido de fibra y contenido de carga, así como variaciones en las relaciones F/R y C/R hacen que el comportamiento sea más complejo y por lo tanto una mayor dispersión en la resistencia mecánica, dado que todas ellas contribuyen en menor o mayor grado a estas propiedades.

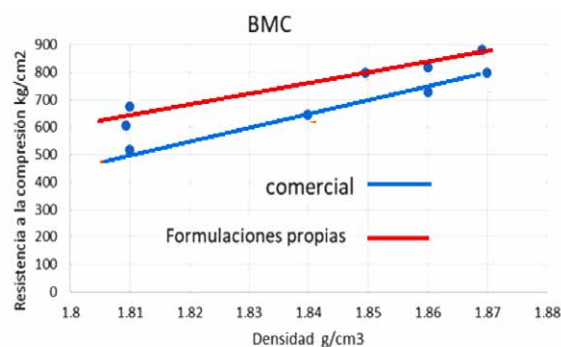


Figura 5. Correlación entre densidad y resistencia mecánica de BMC comerciales y formuladas.

Estudios adicionales permiten observar con mayor claridad el comportamiento mecánico de estos materiales en función del contenido de fibra, contenido de carga, relación F/C y contenido de resina, como se puede muestra en las Figuras 6 a 9.

De la figura 6 se observa, que un incremento mayor al 10 % de fibra de vidrio en la composición del BMC no presenta influencia alguna sobre las propiedades mecánicas del compuesto final.

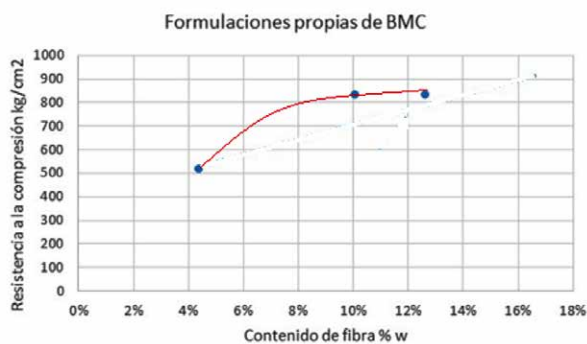


Figura 6. Influencia del contenido de fibra sobre resistencia mecánica de BMC formulado.

A pesar de que durante el mezclado y el procesamiento las fibras no son orientadas unidireccionalmente, se sabe que el empleo de fibras cortas mejora las propiedades mecánicas, dándoles un comportamiento ortotrópico (Sreenivasan 2015; Yi X 2007). Por otro lado es evidente, que un incremento en el contenido de carga reduce las propiedades mecánicas del BMC. Si bien el material es en apariencia más duro, éste se vuelve quebradizo y finalmente su resistencia a la compresión disminuye (ver Fig. 7).

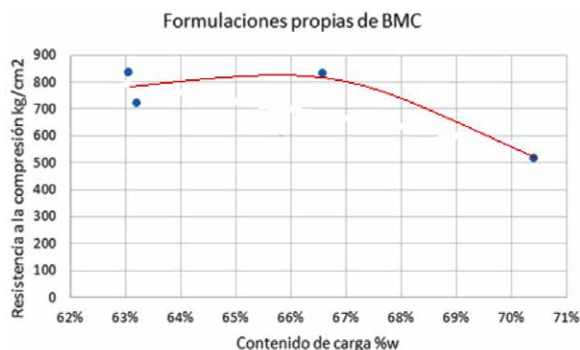


Figura 7. Efecto de la carga sobre resistencia mecánica de BMC formulado.

A pesar de que el material empleado como carga no es costoso, y le confiere una mayor densidad al compuesto, es importante mantener una concentración por debajo del 65 %, ya que cuando se sobrepasa esta composición, va en detrimento de su resistencia a la compresión. De igual forma, de la Figura 8 es evidente que si el contenido de resina deberá encontrarse en un intervalo de 22.5 a 23 %, un incremento en su composición disminuye la resistencia a la compresión, además de elevar el costo de producción. Otro de los factores importantes desde el punto de vista práctico como económico es la cantidad de resina empleada en la formulación; como se puede apreciar en la Fig.8, la mayor resistencia a la compresión se alcanza con una proporción de resina de 22.5 a 23 %, ya que una mayor cantidad reduce la resistencia a la compresión.

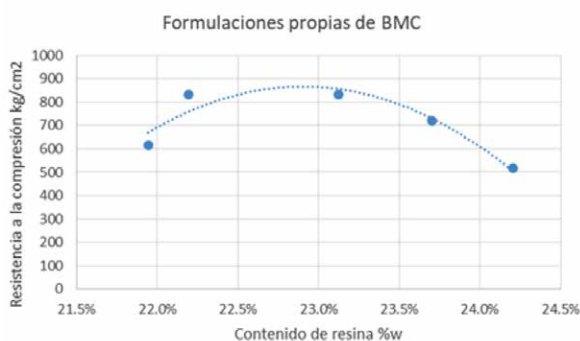


Figura 8. Influencia del contenido de resina la resistencia mecánica de BMC formulado.

Como se mencionó anteriormente, con el propósito de obtener las mejores propiedades mecánicas del BMC deberá existir un balance en su composición.

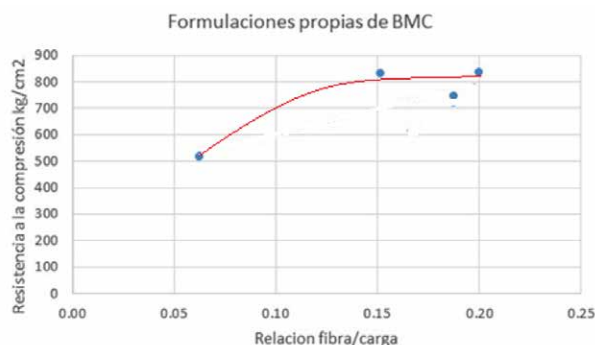


Figura 9. Correlación entre resistencia mecánica y relación F/C para las muestras de BMC formuladas.

En la Figura 9 se observa que desde el punto de vista práctico y económico una relación Fibra/Carga de 0.15 es suficiente para optimizar las propiedades mecánicas del material.

De los resultados de comportamiento eléctrico, se encontró, que todas las formulaciones cumplen con los requerimientos dieléctrico, esto es, presentan una alta resistencia a las fallas eléctricas. En la Tabla 2 se muestran en forma comparativa las principales características mecánicas y eléctricas de todos los materiales compósitos.

Tabla 2. Principales características de BMC comercial y formulaciones.

Compósito	D (g/cm ³)	ME (MPa)	RF (MPa)	RC (Kg/cm ²)	RE (V) destructiva
BMC-Comercial	2.03	5510	129.6	532	37800
BMC-M1	1.81	5274	143.8	533	36100
BMC-2	1.81	5086	120.4	-	35200
BMC-3	1.88	6700	110	721	32700
BMC-4	1.86	4398	78.7	616	30100

D= densidad; ME=módulo elástico; RF= resistencia a la flexión; RC= resistencia a la compresión; RE= resistencia eléctrica

Desde el punto de vista estructural (termo-mecánico), los materiales obtenidos presentan un comportamiento bimodal constituido por una red compleja, tanto química, como física. La primera está formada por cadenas entrecruzadas poliéster-estireno, las que recubren el entramado de la red física formada por la carga-fibra, que van desde la superficie modificada hasta el llenado de todos los espacios disponibles; dicho entramado físico, proporciona estabilidad a la primera, con lo cual

se mejorar las propiedades mecánicas del compuesto. Este comportamiento se ve claramente reflejado durante el procesamiento, ya que una menor viscosidad del compuesto fresco, el material presenta mayor fluidez cubriendo completamente el molde durante la termocompresión; en cambio las masas o plastilinas más viscosas presentan defectos durante el moldeo, como son llenado incompleto del molde, piezas porosas y heterogeneidad en la distribución de la fibra.

La interpretación eléctrica de los resultados de la Tabla 2 está determinada por el grado de dispersión de los componentes en el BMC. Es bien sabido que, la disminución de la resistencia mecánica está directamente relacionada con la disminución de la densidad de enlaces entrecruzados en el compuesto, lo cual produce una menor estabilidad electromecánica (Yi 2007). Por el contrario, una disminución en el entrecruzamiento químico de los enlaces en la matriz incrementa las interacciones físicas, y la posible presencia de macro-islas de relleno, así como una mejora de la integridad electromecánica de dichos materiales.

Conclusiones

Los resultados muestran que, el comportamiento electromecánico de los materiales obtenidos son el resultado de la competencia que existe entre la inhibición parcial de los entrecruzamientos poliéster-estireno y un ligero aumento de la reticulación física carga-fibra, así como la rigidez impartida directamente por la carga y las diferencias en la composición del BMC (relaciones F/C, C/R y F/R), provocan una disminución de la resistencia a la compresión, sin afectar de manera importante la estabilidad termo-mecánica. Por el contrario una red bimodal formada por cadenas largas de grupos siloxano disminuye la viscoelasticidad de los materiales. A pesar de no haber alcanzado la actividad dieléctrica del BMC de referencia, se observa que todas las formulaciones mantienen una alta resistencia a la ruptura eléctrica. Adicionalmente, se encontró que existe un efecto sinérgico al aumentar la resistencia dieléctrica, reducir el módulo elástico y las fuerzas de ruptura eléctrica, dando como resultado una alta estabilidad termo-mecánica-eléctrica

Agradecimientos

Los autores agradecen a las empresas EECORE, Comercializadora Moreli, AOC, IMATE, KCHEM, OMYA 3M y a la DCBI- Azcapotzalco por

las facilidades y suministros, apoyo técnico y económico brindado durante el desarrollo de la presente investigación.

Referencias

- Bogoeva-Gaceva G, Avella M, Malinconico M, Buzarovska A, Grozdanov A, Gentile G. (2007). Natural fiber eco-composites. *Polym Compos*, 28 (1), 98–107.
- 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.
- Chiu Y-Y, Saito R, Lee L. J. (1996). Modification of unsaturated polyester resins for viscosity control. *Polymer*, 37 (11), 2179–90.
- Faruk O, Bledzki AK, Fink H-P, Sain M. (2014). Progress report on natural fiber reinforced composites. *Macromol Mater Eng*. 299 (1), 9–26.
- 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.
- Khan MA, Masudul Hassan M, Drzal LT. (2005). Effect of 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) on the mechanical and thermal properties of jute-polycarbonate composite. *Compos A Appl Sci Manuf*, 36 (1), 71–81.
- Le Corre S, Orégas L, Favier D, Tourabi A, Maazouz A, Venet C. (2010). Shear and compression behaviour of sheet moulding compounds. *Compos Sci Technol*, 62, 571–7.
- Mehta G, Drzal LT, Mohanty AK, Misra M. (2006). Effect of fiber surface treatment on the properties of biocomposites from nonwoven industrial hemp fiber mats and unsaturated polyester resin. *J. Appl Polym Sci*, 99, 1055–68.
- Munikenche Gowda T, Naidu ACB, Chhaya R. (1999). Some mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites. *Compos A*, 30, 277–84.
- Rabinovich M, Olsavsky KL, Leach B, Cabrera-Ríos M, Castro J. M. (2008). Sheet molding compound characterization using spiral flow. *J. Appl Polym Sci*. 109 (4), 2465–71.
- Sanadi AR, Prasad SV, Rohtagi P. K. (1986). Sunhemp fibre-reinforced polyester. *J. Mater Sci*. 21, 4299–304.

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. [13] Yi X, Duan HL, Chen Y, Wang J. Prediction of complex dielectric constants of polymer-clay nanocomposites. *Phys Lett A* 2007;372:68-71.