

## NANOCOMPOSITOS DE PP Y PET Y NANOTUBOS DE CARBONO MULTIPARED: PROPIEDADES MECANICAS

**M. Yazdani-Pedram<sup>(1)\*</sup>, J. Miranda<sup>(1)</sup>, P. Toro<sup>(2)</sup>,  
A. May-Pat<sup>(3)</sup>, F. Avilés<sup>(3)</sup> y J. V. Cauich-Rodríguez<sup>(3)</sup>**

(1) Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, (2) Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas,  
Universidad de Chile, Santiago, CHILE.

(3) Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Unidad de Materiales.  
Calle 43 # 103, Col. Chuburná de Hidalgo, 97200, Mérida, Yucatán, MÉXICO.

E-mail (autor de contacto): myazdani@ciq.uchile.cl

### RESUMEN

*En este trabajo se ha realizado la oxidación de nanotubos de carbono multipared (MWCNTs, Baytubes, Bayer A.G) para introducir grupos carboxilos e hidroxilos en su superficie y con el fin de disminuir su grado de aglomeración y mejorar su posterior dispersión en una matriz polimérica. La oxidación de los MWCNTs se realizó mediante una metodología eficaz que incorpora grupos ácidos en la superficie de los MWCNTs minimizando los daños de los nanotubos por tratamiento con ácido nítrico 3 M y agua oxigenada 30 %v/v. Después del tratamiento con ácido se efectuó la funcionalización de los MWCNTs con monometilitaconato (MMI) utilizando acetona como solvente. La oxidación y funcionalización de los MWCNTs fue confirmada por análisis de FTIR. Dado que el polietilentereftalato (PET) y el polipropileno (PP) son ambos polímeros termoplásticos comerciales y de emergentes aplicaciones en la actualidad, se obtuvieron materiales compuestos en base de 0.5 % en peso de MWCNTs de ambos polímeros mediante el proceso de mezclado en fundido y se determinaron sus propiedades mecánicas. Adicionalmente, se examinó la influencia de la oxidación y funcionalización de los MWCNTs en las propiedades mecánicas de los compositos PP/MWCNTs y PET/MWCNTs. Para ambas matrices poliméricas, la inclusión de los MWCNTs al polímero proporcionó mayor rigidez al composito, lo cual fue evidente en un aumento del módulo elástico del orden de 20-35 %. Para el caso del PP, este aumento en el módulo elástico ocurrió a expensas de una disminución en la alta capacidad de deformación del polímero. La microscopia electrónica de transmisión comprobó que la oxidación y funcionalización de los MWCNTs con MMI reducen significativamente la tendencia de los MWCNTs a aglomerarse.*

### Tópico 3: Materiales Poliméricos

**Palabras clave:** Nanocompositos poliméricos, Nanotubos de carbono, funcionalización, propiedades mecánicas.

### 1. INTRODUCCIÓN

Un material compuesto o composito apto para su uso en aplicaciones de ingeniería debe satisfacer las siguientes tres requisitos básicos: (i) constar de al menos dos materiales físicamente distintos y separables mecánicamente, los cuales, en función de sus propiedades y las cantidades utilizadas, se les llama matriz y material de refuerzo, (ii) su preparación debe ser posible mediante el mezclado de dichos componentes y que en algunos casos es precedido o acompañado por un tratamiento especial

a fin de lograr propiedades óptimas, y (iii) el composito elaborado debe poseer varias propiedades que deben ser superior a la de los componentes individuales, es decir, un cierto efecto sinérgico debería estar presente. La realización de este sinergismo requiere estrictamente de una distribución de tamaño definido y reproducible, una correcta dispersión del refuerzo dentro de la matriz polimérica, así como también una buena adherencia y compatibilidad de las distintas fases que forman el composito. Estas características dependen de la presencia de grupos funcionales y/o interacciones físicas en la interfase. En ausencia de interacciones entre el polímero y el material de refuerzo, la mezcla suele desembocar en sistemas con separación de fases que resulta en un material con propiedades mecánicas deficientes.

Los compositos en base a polímeros se pueden dividir en tres grupos básicos con respecto al tamaño de los refuerzos: (i) macrocompositos, que incluye refuerzos con un tamaño mayor que 0.1 mm, como por ejemplo macrocompositos hecho de una poliolefina, poliamida o poliéster orientadas y que incorpora fibras de vidrio, carbono, kevlar, etc. [1,2], (ii) los microcompositos donde el tamaño de las partículas de refuerzos están en el rango micrométrico, como por ejemplo carbonato de calcio, talco, mica, entre otros [3-5] y (iii) nanocompositos donde el refuerzo podría ser material inorgánico, por ejemplo, óxidos metálicos o arcillas o material orgánico como nanotubos o fibras de carbono, con tamaños menor a 100 nanómetros al menos en una de sus dimensiones [6,7].

Un buen ejemplo de nanocompositos son sistemas de polímeros con los nanotubos de carbono (CNTs). Los CNTs son macromoléculas alotrópicas de carbono de forma cilíndrica y de radio entre 1 y 10 nanómetros que pueden poseer longitudes superiores a 1  $\mu\text{m}$  [8]. Están compuestas por una estructura hexagonal de átomos de carbono de manera análoga a los planos atómicos del grafito, los que se enrollan formando un cilindro. En sus extremos los nanotubos se pueden encontrar abiertos o cerrados con una base hexagonal, pentagonal o irregular [9]. Existen dos tipos de nanotubos de carbono: los nanotubos de pared simple (SWCNTs) y nanotubos multipared (MWCNTs). Las mediciones de módulo de Young demostraron que los MWCNTs son mecánicamente más fuertes que las fibras convencionales de carbono y son extraordinariamente flexibles cuando se someten a grandes esfuerzos [10].

Desde su descubrimiento por Iijima en 1991 [11] los CNTs han atraído mucha atención tanto en el campo académico como industrial. La incorporación de los CNTs en una matriz polimérica puede mejorar notablemente las propiedades mecánicas y conductividad eléctrica de la matriz polimérica original debido a su alta razón de aspecto y área superficial de contacto junto a su baja densidad [12]. Para lograr las aplicaciones potenciales de los CNTs, se han realizado estudios para obtener dispersiones homogéneas de CNTs en diferentes polímeros [12,13]. Debido al hecho de que los CNTs son inertes y químicamente resistentes, la modificación de los CNTs se basa en la modificación química como la oxidación con ácidos concentrados con el fin de introducir grupos funcionales carboxilos e hidroxilos en su superficie. El daño a la estructura molecular de CNTs es considerable e inevitable en estos procesos de funcionalización, como puede ser la apertura lateral, rompimiento de nanotubos y su conversión en carbono amorfo. Estos daños a la estructura de los CNTs, en especial la disminución de su longitud (disminución de la relación de aspecto) puede debilitar considerablemente el efecto de mejoramiento en las propiedades físicas y mecánicas de los nanocompositos poliméricos por presencia de los CNTs [14,15]. El desarrollo de un eficiente método de modificación sin o con poco daño a la estructura de los CNTs es muy importante para el desarrollo de nanocompositos poliméricos en base a MWCNTs. El uso de MWCNTs como refuerzo en matrices de polímeros, como el polipropileno (PP) y el polietilentereftalato (PET) debe mejorar notablemente sus propiedades mecánicas aunque puede modificar ligeramente la reología y condiciones de procesamiento de estos polímeros.

Como un medio para sobrepasar este efecto de daño a los CNTs por su modificación superficial y disminuir su tendencia a aglomerarse, en el presente trabajo se utiliza un procedimiento de oxidación de los nanotubos que minimiza el daño estructural y la formación de carbono amorfo para modificar covalentemente los CNTs mediante la funcionalización con un compuesto orgánico polar

como es el derivado del ácido itacónico, monometilitaconato (MMI). El efecto de dicha oxidación y/o funcionalización de los CNTs se ha determinado a través de las propiedades mecánicas de los nanocompositos a base PP y/o PET, preparados por mezclado en fundido. La funcionalización de los MWCNTs se confirmó por espectroscopia FTIR y microscopia electrónica de transmisión (TEM) y se determinaron las propiedades mecánicas a tensión uniaxial de los nanocompositos.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

**2.1. Materiales:** Polipropileno heterofásico, Petroquim S. A., Chile. Polietilentereftalato (PET) Cleartuf 8006 de la compañía "M&G Group", con un punto de fusión de 250 °C. Nanotubos de carbono multipared, Baytubes® 150 CP, Bayer Alemania. Ácido nítrico concentrado al 58%, ácido sulfúrico concentrado al 98% y acetona técnica, Equilab, Chile. Agua destilada. Ácido itacónico Sigma, U.S.A. Monometilitaconato (MMI) preparado en el laboratorio [16]. Antioxidantes: mezcla (1/1) de Irganox 1010 [propionato de pentaeritritiltetrakis-3-(3,5-ditertbutil-hidroxifenilo)/Irgafos 168 [tris(2,4-terbutilfenil)fosfito], Akzo, U.S.A.

**2.2 Equipos:** Mezclador Brabender-Plasticorder modelo PLE 331. Prensa de laboratorio con placas calefaccionadas marca HP. Dinamómetro marca HP modelo D 500. Espectrofotómetro infrarrojo marca Brucker modelo Vector 22. Baño ultrasonido marca Elma modelo Transonic Digital. Microscopio electrónico de transmisión (TEM) Philips modelo Tecnai 12 Bio-Twin con un potencial máximo de aceleración de 120 KV y provisto de una cámara para registro de imágenes.

**2.3 Oxidación de los nanotubos de carbono multipared (MWCNTs-Ox):** La oxidación de los MWCNTs se realizó mediante el tratamiento con una solución 3M de ácido nítrico a 60 °C en un baño de ultrasonido (100W, 35kHz) durante 2 horas y posterior tratamiento de los nanotubos con una solución de agua oxigenada al 30 v/v con sonicación. Los nanotubos oxidados fueron lavados con agua destilada hasta pH neutro y secado en estufa al vacío por 48 h a 60 °C.

**2.4 Funcionalización de los MWCNTs-Ox con MMI (MWCNTs-MMI):** La modificación de los MWCNTs con MMI se realizó mediante un método basado en dos etapas, la primera, oxidación con ácido nítrico diluido (12% v/v) y ultrasonido por 2 h y una segunda etapa de oxidación con agua oxigenada (12% v/v) y ultrasonido 2 h y posterior lavado con agua destilada, filtrado y secado 150 °C 12 hr. Los MWCNTs-Ox funcionalizaron con MMI mediante un método húmedo que consistió en suspender los MWCNTs-Ox en una solución de MMI en acetona (0.5% p/v) y reflujo con agitación durante 2 hr, filtrado, lavado con agua destilada y secado a 60 °C al vacío por 24 h.

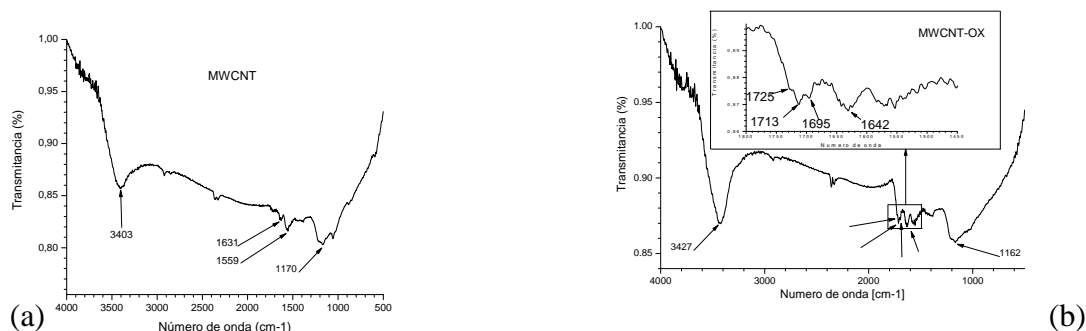
**2.5 Caracterización de los MWCNTs por microscopia electrónica de transmisión (TEM):** Los nanotubos fueron suspendidos en agua (0.01 % p/p) y se aplicó ultrasonido por 10 minutos. La suspensión resultante fue centrifugada a 4000 rpm y enseguida se extrajo una gota del sobrenadante cada muestra la que se depositó sobre una grilla de cobre de malla 300 recubierta con grafito. Luego, se dejó evaporar el solvente a temperatura ambiente sobre un papel filtro.

**2.6 Preparación de los nanocompositos de PP/MWCNTs y PET/MWCNTs:** La preparación de los compositos de PP/MWCNTs sin tratamiento, PP/MWCNTs-Ox y PP/MWCNTs-MMI se realizó en un mezclador Brabender-Plasticorder (modelo PLE 331), en atmósfera de nitrógeno, a 190° C, por un período de 30 minutos a 100 rpm. Se introdujo en el mezclador el PP, antioxidante Irganox 1010-Irgafos 168, luego de transcurridos tres minutos y cuando el PP se encontró perfectamente fundido, se adicionó la cantidad necesaria de MWCNTs sin modificar, MWCNTs oxidados o MWCNTs-oxidados-MMI. Luego de transcurrido el tiempo de mezclado, los nanocompositos fueron extraídos del mezclador, prensados, enfriados y cortados para su caracterización.

Los nanocompositos de PET/MWCNTs sin tratamiento, PET/MWCNTs-Ox y PET/ MWCNTs-MMI se prepararon como sigue: inicialmente el PET en forma de pellets fue molido en un molino Brabender utilizando una malla de 0.78 mm y secado a 120 °C durante 24 h en una estufa de convección. Para la obtención de los compositos se realizaron mezclas de PET con MWCNTs en una cámara de mezclado Plasticorder marca Brabender, utilizando 0.5 % p/p de los MWCNTs a 255° C. Posteriormente se utilizó moldeo a compresión para obtener las láminas del material compuesto en una prensa aplicando una presión de 3 toneladas a una temperatura de 270° C. De esta manera, se elaboraron nanocompositos de PET sin MWCNTs y con MWCNTs sin tratamiento (PET- MWCNTs), nanocompositos con MWCNTs oxidados (PET-Ox) y compositos con MWCNTs oxidados y funcionalizados con MMI (PET-MMI), para su caracterización mecánica.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**3.1 Caracterización de los MWCNTs:** La introducción de grupos polares en la superficie de los nanotubos de carbono se verificó mediante el análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR). El espectro FTIR de los nanotubos de carbono sin oxidar y oxidados se presentan en las Figuras 1 y 2 y sus bandas de absorción características en las Tablas 1 y 2, respectivamente.



**Figura 1.** Espectro infrarrojo (FTIR) de nanotubos de carbono multipared. a) sin tratamiento (MWCNTs) y b) oxidados (MWCNTs-Ox).

**Tabla 1.** Bandas de absorción en el espectro FTIR de los MWCNTs sin tratamiento.

| Grupo funcional | Banda de absorción (cm <sup>-1</sup> ) | Tipo de vibración |
|-----------------|----------------------------------------|-------------------|
| O-H             | 3403                                   | Estiramiento      |
| C=C             | 1631                                   | Estiramiento      |
| C=C             | 1559                                   | Estiramiento      |
| *CNTs-OH        | 1170                                   | Deformación       |

**Tabla 2.** Bandas de absorción en el espectro FTIR de los nanotubos de los MWCNTs-Ox.

| Grupo funcional                     | Banda de absorción (cm <sup>-1</sup> ) | Tipo de vibración                                    |
|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| O-H                                 | 3427                                   | Estiramiento                                         |
| COOH *                              | 1725                                   | Estiramiento (Puente de hidrógeno inter-carboxílico) |
| COOH                                | 1713                                   | Estiramiento (antisimétrico)                         |
| COOH                                | 1695                                   | Estiramiento                                         |
| **HO-C=C-C=O<br>(α-hidroxi-quinona) | 1642                                   | Estiramiento                                         |
| *CNTs-OH                            | 1162                                   | Deformación                                          |

\*L. Stobinski, B. Lesiak, L. Kover, J. Toth, S. Biniak, G. Trykowski, J. Judea, Journal of Alloys and Compounds 501 (2010) 77–84.

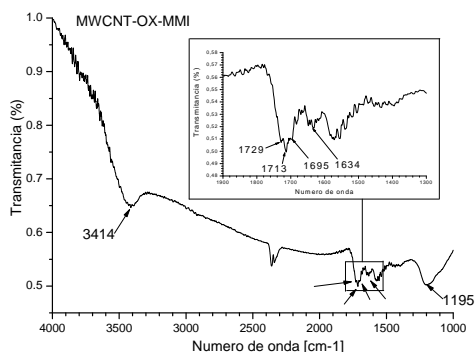
\*\*[http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct\\_frame\\_top.cgi](http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi): Spectral Data Base for Organic Compounds 7167 and 6138.

En la figura 1a se observan las vibraciones correspondientes al estiramiento del enlace C=C perteneciente a la estructura del nanotubos de carbono en 1631 y 1559  $\text{cm}^{-1}$ . Las bandas de absorción centradas en 3403 y 1170  $\text{cm}^{-1}$  corresponden a las vibraciones del grupo OH del agua absorbida por los nanotubos y absorción debido a vibraciones de deformación del esqueleto propio de los nanotubos de carbono (CNTs-OH), respectivamente.

En la Figura 1b se observa que la vibración correspondiente al estiramiento del enlace OH en 3427  $\text{cm}^{-1}$  aumenta en intensidad a raíz de la oxidación de los nanotubos de carbono multipared. Nuevas bandas de absorción pertenecientes al grupo carboxilo aparecen en 1725, 1713 y 1695  $\text{cm}^{-1}$ . Además, se observa una banda de absorción característica del grupo funcional  $\alpha$ -hidroxi-quinona en 1642  $\text{cm}^{-1}$ . Respecto a esta nueva banda de absorción se ha reportado que los compuestos de la familia 2,4-dihydroxy-benzofenona y 2,4-dihydroxy-acetophenona absorben en esta región (\*\*[http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct\\_frame\\_top.cgi](http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi): Spectral Data Base for Organic Compounds 7167 and 6138). La banda respectiva a la deformación del esqueleto de los nanotubos de carbono se encuentra en 1162  $\text{cm}^{-1}$ . Asimismo, los nanotubos funcionalizados con monometilitaconato (MMI) fueron caracterizados mediante espectroscopia infrarroja (FTIR) y los resultados son presentados en la Tabla 3 y Figura 2.

**Tabla 3.** Bandas de absorción en el espectro FTIR de los nanotubos oxidados y funcionalizados con monometilitaconato (MWCNTs-OX-MMI)

| Grupo funcional | Banda de absorción ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Tipo de vibración            |
|-----------------|-----------------------------------------|------------------------------|
| O-H             | 3414                                    | Estiramiento                 |
| COOH            | 1729                                    | Estiramiento                 |
| COOH            | 1713                                    | Estiramiento (antisimétrico) |
| COOH            | 1695                                    | Estiramiento                 |
| *CNTs-OH        | 1195                                    | Deformación                  |

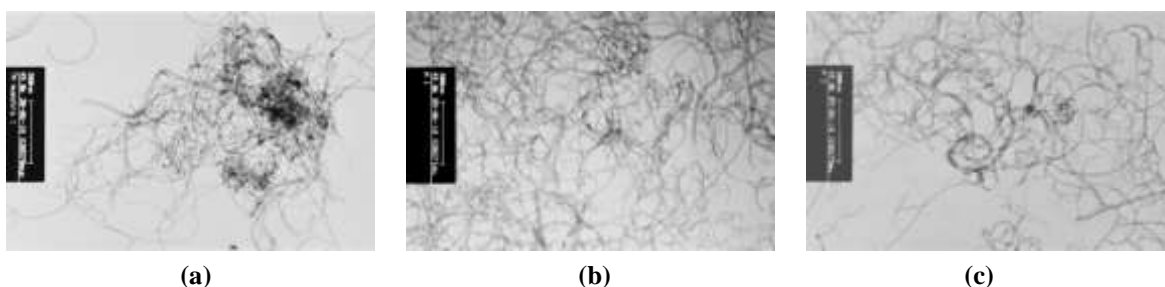


**Figura 2.** Espectro infrarrojo (FTIR) de nanotubos de carbono multipared oxidados y funcionalizado con monometilitaconato (MWCNTs-OX-MMI)

En la Figura 2 se observan los resultados de la espectroscopia infrarroja donde la vibración correspondiente al estiramiento del hidroxilo (OH) aparece en 3414  $\text{cm}^{-1}$  y además se puede observar su notable disminución en intensidad. La banda respectiva de los nanotubos de carbono CNTs-OH se centra en 1195  $\text{cm}^{-1}$ . En 1729, 1713 y 1695  $\text{cm}^{-1}$  se encuentran las bandas de absorción correspondientes a los grupos carboxilos debido a la reacción de funcionalización de los nanotubos oxidados con monometilitaconato.

Adicionalmente, el grado de agregación de los nanotubos de carbono así como su morfología fue observado en un microscopio electrónico de transmisión (TEM). Las imágenes TEM de los

MWCNTs sin oxidar como los MWCNTs oxidados y funcionalizados con MMI se presentan en la Figura 3.



**Figura 3.** Imágenes TEM de: a) MWCNTs; b) MWCNTs-oxidado; c) MWCNTs funcionalizado con MMI.

El grado de agregación de los nanotubos disminuye después de su oxidación y posterior funcionalización con MMI, como se aprecia de la Figura 3. Esto muestra que tanto la oxidación como la funcionalización de los MWCNTs con MMI facilitan su mejor dispersión en la matriz polimérica, lo cual debe repercutir en las propiedades mecánicas de los nanocompositos.

### 3.2 Propiedades mecánicas de los nanocompositos de PP y PET con MWCNTs:

Las propiedades mecánicas a tensión de los nanocompositos de PP y nanotubos de carbono se presentan en la Tabla 4. Como se puede apreciar de esta tabla, al incluir los MWCNTs al PP los nanocompósitos se vuelven más frágiles y su rigidez aumenta, lo cual se ve reflejado en una disminución de la elongación máxima y un aumento del módulo elástico, respecto al PP solo. Para el caso del PP, la sola oxidación del nanotubo no produjo aumentos importantes en las propiedades mecánicas del composito. Sin embargo, la funcionalización de los MWCNTs con MMI ocasionó un incremento en el módulo elástico del nanocomposito del orden del 34 % respecto al PP. Esto comprueba que en el caso del PP la funcionalización de los nanotubos con el MMI promueven una mejor dispersión y adherencia de los nanotubos a la matriz, aunque solo oxidación por medio ácidos puede no ser suficiente. Por otra parte, se observó una disminución importante de la elongación máxima cuando se utilizó nanotubos de carbono sin modificar y solamente oxidados. La elongación máxima de nanocomposito preparados con nanotubos funcionalizados con MMI mostró valor de elongación máxima superior al encontrado para el nanocomposito preparado con nanotubos sin modificar, pero aún muy por de bajo del valor para el PP solo. Este cambio en el comportamiento de dúctil a frágil es una consecuencia natural de la inclusión de refuerzos altamente rígidos y frágiles como los MWCNTs a un polímero tenaz.

**Tabla 4.** Propiedades mecánicas de nanocompositos de PP y MWCNTs, PP-MWCNTs-Ox y PP-MWCNTs-MMI.

| Material      | Tensión Max. (Mpa) | Elongación Max. (%) | E (GPa)     |
|---------------|--------------------|---------------------|-------------|
| PP            | 20.6 ± 0.55        | 684 ± 67            | 0.82 ± 0.01 |
| MWCNTs-PP     | 21.8 ± 0.54        | 30 ± 6.5            | 0.98 ± 0.02 |
| PP-MWCNTs-Ox  | 21.2 ± 0.44        | 18 ± 2.0            | 0.89 ± 0.02 |
| PP-MWCNTs-MMI | 22.7 ± 0.50        | 99 ± 41             | 1.10 ± 0.03 |

Las propiedades mecánicas de los nanocompositos a base de PET y MWCNTs se resumen en la Tabla 5. En el caso del PET, el procesamiento del polímero sin enfriamiento repentino origina materiales semi-cristalinos y de naturaleza frágil. Por ello, la elongación máxima del PET solo (Tabla 5) es muy limitada respecto a la del PP solo (Tabla 4), el cual es más amorfo. Como se puede apreciar de la Tabla 5, los compositos a base de PET-MWCNTs presentan una tendencia a incrementar su resistencia a la tensión, elongación máxima y módulo, respecto al PET solo. Sin embargo, estos incrementos son limitados, debido a la carencia de funcionalización de los MWCNTs. Incrementos mucho mayores en la resistencia, módulo y elongación máxima son obtenidos cuando los MWCNTs son oxidados por el tratamiento ácido lo cual se hace evidente de los valores presentadas en la Tabla 5. Esto es posible debido a la generación de grupos funcionales OH y COOH en la superficie del MWCNTs oxidado, y posiblemente a la mejor dispersión que esto conlleva. Estos grupos tienen una alta afinidad con los grupos polares del PET, por lo que la formación de puentes de hidrógeno entre el MWCNTs oxidado y el PET es altamente probable. La formación de enlaces covalentes entre el MWCNTs oxidado y el PET es posible solo si el PET se hidroliza (para producir grupos OH y COOH) o bien se rompieran sus cadenas durante el proceso de mezclado. Por otro lado, los compositos que contienen MWCNTs oxidados y luego funcionalizados con MMI presentaron propiedades mecánicas mejoradas respecto al PET, pero dichas propiedades fueron similares a las de los compositos conteniendo MWCNTs sin tratamiento, es decir, por debajo de los compositos con MWCNTs oxidados. Esto sugiere que en el caso del PET, los grupos funcionales generados por el tratamiento de los MWCNTs con MMI no promueven mejoras adicionales en la afinidad entre el PET y los MWCNTs.

**Tabla 5.** Propiedades mecánicas de tensión de los nanocompositos de PET y MWCNTs, PET-MWCNTs-Ox y PET-MWCNTs-MMI.

| Material        | Tensión Max. (MPa) | Elongación Max. (%) | E (GPa)     |
|-----------------|--------------------|---------------------|-------------|
| PET             | 26.6 ± 3.44        | 2.05 ± 0.36         | 1.29 ± 0.06 |
| PET-MWCNTs      | 36.6 ± 3.94        | 2.43 ± 0.37         | 1.50 ± 0.17 |
| PET-MWCNTs-Ox   | 51.0 ± 6.61        | 3.67 ± 0.71         | 1.59 ± 0.24 |
| PET- MWCNTs-MMI | 30.6 ± 3.12        | 2.06 ± 0.26         | 1.41 ± 0.04 |

#### 4. CONCLUSIONES

Se logró oxidar la superficie de los MWCNTs mediante un nuevo método ácido que minimiza el daño a la estructura de los nanotubos. Se llevó a cabo la funcionalización de los nanotubos de carbono oxidados con un nuevo compuesto orgánico polar (monometilitaconato). Estas modificaciones de los nanotubos se comprobaron mediante el análisis de espectroscopia FTIR. Análisis TEM comprobó que tanto la oxidación como la funcionalización con MMI mejoran la dispersión de los nanotubos, reduciendo su tendencia a aglomerarse. Las propiedades mecánicas a tensión de los nanocompositos preparados a partir de PP y PET y los nanotubos oxidados y funcionalizados mostraron una mejora en el módulo elástico, y en el caso del PET, un incremento en la tensión máxima. Las mejoras en las propiedades mecánicas son atribuidas a una mejor interacción y adherencia de los MWCNTs con la matriz polimérica y a un mejor grado de dispersión de los nanotubos en la matriz.

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores agradecen el financiamiento de este trabajo a Conicyt (Chile) y CONACYT (México, Proyecto No. 105567) en el marco del proyecto de Colaboración Interamericana en Ciencia de los Materiales, RED CIAM, para Proyecto de Movilidad CONICYT/CIAM.

## REFERENCIAS

1. A. Hassan, R. Yahaya, A. H. Yahaya, A. R.M. Tahir and P. R. Hornsby, "Tensile, Impact and Fiber Length Properties of Injection-Molded Short and Long Glass Fiber-Reinforced Polyamide 6,6 Composites"; *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 23 (2004), p. 969-986.
2. T. K. Lin, S. J. Wu, J. G. Lai and S. S. Shyu, "The Effect of chemical treatment on reinforcement/matrix interaction in Kevlar-fiber/bismaleimide composites"; *Composites Science and Technology*, Vol. 60 (2000), p. 1873-1878.
3. P. Toro, R. Quijada, R. Peralta and M. Yazdani-Pedram, "Influence of Grafted Polypropylene on the Mechanical Properties of Mineral-Filled Polypropylene Composites"; *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 103 (2007), p. 2343-2350.
4. P. Toro, R. Quijada, M. Yazdani-Pedram, J. L. Arias, "Eggshell, a new Bio-Filler for Polypropylene Composites"; *Materials Letters*, Vol. 61 (2007), p. 4347-4350.
5. P. Toro, R. Quijada, J. L. Arias, M. Yazdani-Pedram, "Mechanical and Morphological studies of Poly(propylene)-filled Eggshell Composites"; *Macromolecular Materials and Engineering*, Vol. 292 (2007), p. 1027-1034.
6. E. Moncada, R. Quijada, I. Lieberwirth and M. Yazdani-Pedram, "Use of PP Grafted with Itaconic Acid as a new Compatibilizer for PP/Clay Nanocomposites"; *Macromolecular Chemistry and Physics*, Vol. 207 (2006), p. 1376-1386.
7. D. W. Schaefer, and R. S. Justice, "How Nano Are Nanocomposites"; *Macromolecules*, Vol. 40 (2007), p. 8501-8517.
8. H. W. Zhu, C. L. Xu, D. H. Wu, B. Q. Wei, R. Vajtai and P. M. Ajayan, "Direct Synthesis of Long Single-Walled Carbon Nanotube Strands"; *Science*, Vol. 296 (2002), p. 884 – 886.
9. Y. Zhang, Y. Qin, X. Sun, J. Zhang and C. Ping, "Synthesis of carbon nanotube using cesium carbonate catalyst by chemical vapor deposition", *Materials Letters*, Vol. 62 (2008), p. 3776-3778.
10. J. P. Salvetat, G. A. D. Briggs, J. M. Bonard, R. R. Bacsa, A. J. Kulik, T. Stöckli, N. A. Burnham and László Forró, "Elastic and Shear Moduli of Single-Walled Carbon Nanotube Ropes"; *Physical Review Letters*, Vol. 82 (1999), p. 944–947.
11. S. Iijima, "Helical microtubules of graphitic carbon"; *Nature*, Vol. 354 (1991), p. 56 – 58.
12. F. Ciardelli, S. Coiai, E. Passaglia, A. Pucci and G. Ruggeri, "Nanocomposites based on polyolefins and functional thermoplastic materials"; *Polymer Internacional*, Vol. 57 (2008), 805-836.
13. R. A. Kalgaonkar and J. P. Jog, "Copolyester nanocomposites based on carbon nanotubes: reinforcement effect of carbon nanotubes on viscoelastic and dielectric properties of nanocomposites", *Polymer Internacional*, Vol. 57 (2008), p. 114-123.
14. F. Avilés, J. V. Cauich-Rodríguez, L. Moo-Tah, A. May-Pat and R. Vargas-Coronado, "Evaluation of mild acid oxidation treatments for MWCNTS functionalization", *Carbon*, Vol. 47 (2009), p. 2970-2975.
15. C. E. Hong, J. H. Lee, P. Kalappa y S. G. Advani, "Effects of oxidative conditions on properties of multi-walled carbon nanotubes in polymer nanocomposites"; *Composites Science and Technology*, Vol. 67 (2007), 1027–1034.
16. M. Yazdani-Pedram, R. Quijada and M. A. López-Machado, "Use of Monomethyl Itaconate Grafted Poly(propylene) (PP) and Ethylene Propylene Rubber (EPR) as Compatibilizers for PP/EPR Blends", *Macromolecular Materials and Engineering*, Vol. 288 (2003), p. 875-885.