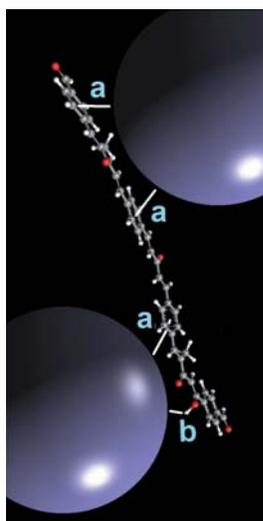


Síntesis y caracterización de nanocompuestos de óxido de hierro en un polímero semiconductor

Paola Gómez López, Virgilio González González,
Marco Garza Navarro, Reynaldo Esquivel González
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-UANL
Centro de Innovación, Investigación y Desarrollo y Tecnología
paolaggomez@gmail.com, virgilio.gonzalezgznz@uanl.edu.mx,
ingmarcogarza@gmail.com, reynaldoezz@gmail.com



RESUMEN

Se reporta la obtención de un material nanocompuesto bifuncional (magnético-luminiscente), por medio de una síntesis vía co-precipitación *in situ*. Las especies utilizadas son el polímero semiconductor de condensación aldólica poli-(4-metil-1-fenilpenta-1,4-dien-ona) y un óxido de hierro, en forma de nanopartículas, las cuales fungen como matriz y fase dispersa. La caracterización de este nanocompuesto se realizó por las técnicas de microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM), espectroscopía de ultravioleta visible (U.V.-Vis), fluorescencia, infrarrojo y magnetometría de muestra vibrante (SQUID-VSM). Los resultados muestran que las partículas sintetizadas presentan morfología cuasi-esférica con una distribución estrecha de aproximadamente 4.8 nm, presentando propiedades luminiscentes, optoelectrónicas que colocan como un semiconductor y características magnéticas de un material tipo ferromagnético.

PALABRAS CLAVE

Nanocompuestos, polímeros conjugados, co-precipitación, nanopartículas magnéticas.

ABSTRACT

We report the obtaining of a bifunctional nanocomposite material (magnetic-luminescent), by a synthesis via co-precipitation *in situ*. The species used in this synthesis are the semiconducting polymer by condensation aldolic poly-(4-methyl-1-phenylpenta-1,4-dien-one) and an oxide of iron in nanoparticle, which act as matrix and dispersed phase. The characterization for the study of this nanocomposite was performed by high resolution transmission electron microscopy (HRTEM), spectroscopy of ultraviolet visible (UV/Vis), spectroscopy of fluorescence and vibrant sample magnetometry (VSM). The results show that the synthesized particles have quasi-spherical morphology with a narrow distribution of aprox. 4.8 nm, showing luminescent properties, optoelectronics that put this material how a semiconductor and with magnetic characteristics typical of a ferromagnetic material.

KEYWORDS

Nanocomposites, conjugated polymer, co-precipitation, magnetic nanoparticles.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es cada vez mayor el interés por estudiar y desarrollar materiales nanoestructurados, aprovechando así sus propiedades únicas en nuevas y variadas aplicaciones. Las nanoestructuras tienen propiedades químicas, estructurales, y magnéticas únicas,¹⁻⁸ con aplicaciones potenciales que incluyen: almacenamiento de información,⁹ imágenes a color, bio-procesamiento, refrigeración magnética^{10,11} y ferrofluidos.¹²⁻¹⁵

Es importante señalar que las nanopartículas no son termodinámicamente estables, siendo necesario aislarlas con matrices orgánicas o inorgánicas, teniendo como resultado la obtención de nanocompuestos donde es posible aprovechar tanto las propiedades particulares de las nanopartículas como las de la matriz en la cual se encuentran dispersas. La síntesis de sistemas de nanopartículas magnéticas es actualmente una línea de investigación científica de gran relevancia, en virtud de sus potenciales aplicaciones.¹⁶⁻¹⁸ Una de las áreas de estudio más importantes es el desarrollo de materiales nanocompuestos magnéticos, debido a sus innumerables aplicaciones en la medicina y la electrónica. Reportes consultados muestran la posibilidad de utilizar núcleos de especies magnéticas recubiertos de polímero capaces de absorber moléculas de medicamento para utilizarse en sistemas de entrega localizada de medicamento.¹⁹⁻²²

En la literatura se han encontrado diversas rutas de síntesis para la estabilización y el control de la dispersión en el tamaño de partícula, en los que destacan los métodos de sol-gel, precipitación y co-precipitación, donde cada uno de ellos se caracteriza por utilizar surfactantes orgánicos/o matrices poliméricas, ya que además de delimitar su crecimiento, estas matrices localizan su nucleación durante la síntesis,²³ logrando el control de las dimensiones y morfología de las nanoestructuras resultantes. Específicamente, el desarrollo de materiales nanocompuestos utilizando como fase dispersa nanopartículas magnéticas, de diferentes fases de óxidos de hierro y matrices poliméricas, ha sido tema de numerosas publicaciones,²⁴⁻²⁸ debido a sus amplias aplicaciones en el área médica y electrónica.

El polímero utilizado en esta síntesis se obtuvo de una condensación aldólica a partir de butanona

y tereftaldehído, este polímero destaca por ser fluorescente y sus propiedades optoelectrónicas lo colocan como un semiconductor, con conductividad del orden de 10^{-5} a 10^{-4} S/cm y anchos de banda prohibida de entre 2.21-2.39 eV.²⁹

En virtud de todas las aplicaciones y propiedades que se pueden obtener a partir de nanocompuestos de matrices poliméricas y nanopartículas magnéticas, se ha desarrollado el nanocompuesto entre un polímero semiconductor de condensación aldólica [poli-(4-metil-1-fenilpenta-1,4-dien-ona)] y magnetita, a través de una metodología de síntesis por co-precipitación *in situ*.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Todos los reactivos y disolventes utilizados se adquirieron con grado reactivo (Sigma-Aldrich). Se desarrollaron 4 composiciones variando el porcentaje de concentración de la magnetita y el polímero. La tabla I muestra la composición de matriz y fase dispersa de cada muestra, así como el nombre asignado a cada una de estas. La síntesis de los nanocompuestos Polímero/Fe₃O₄ fue llevada a cabo utilizando cantidades estequiométricas de sales de cloruro férrico (FeCl₃-6H₂O) y cloruro ferroso (FeCl₂-4H₂O).

Tabla I. Composiciones esperadas de los nanocompuestos.

Nombre del material híbrido	Contenido de Polímero (% w/w)	Contenido Fe ₃ O ₄ (% w/w)
75P-25Fe ₃ O ₄	0.75	0.25
85P-15Fe ₃ O ₄	0.85	0.15
90P-10Fe ₃ O ₄	0.90	0.10
95P-05Fe ₃ O ₄	0.95	0.05
100Fe ₃ O ₄	0	100
100P	100	0

Para la síntesis del nanocompuesto se disolvió en THF los precursores por separado, como sol.1 el polímero y como sol.2 las sales inorgánicas, en las proporciones necesarias para la obtención de nuevas disoluciones polímero/ Fe₃O₄ para la elaboración de cada una de las muestras de material que indica la tabla I. Una vez disueltas cada una de las soluciones se mezcló (sol. 1 y 2), obteniendo así una nueva solución polímero y sales de hierro en THF (sol. 3).

Las disoluciones resultantes se vertieron en cajas Petri a fin de evaporar el disolvente bajo condiciones de temperatura ambiente. Una vez evaporado el disolvente, la muestra resultante se trató con una disolución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH, variando su concentración en relación con el contenido en peso de magnetita), con la finalidad de precipitar las nanopartículas de magnetita dentro de la matriz polimérica. Luego de ser tratadas con NaOH, las muestras se lavaron con agua desionizada en repetidas ocasiones y finalmente fueron secadas bajo condiciones ambiente. Ya secas, las muestras se pulverizaron para su caracterización.

Las técnicas empleadas para la caracterización de las muestras fueron: IR, para esta caracterización las muestras se prepararon en comprimidos a partir de una mezcla de material a analizar y bromuro de potasio, se usó un espectrómetro Nicolet 6700 en la modalidad de transmitancia, realizando 32 barridos para cada espectro; para la caracterización por U.V.-Vis. se usó un equipo Perkin Elmer modelo Lambda 35 por reflectancia difusa, utilizando una esfera de integración, en un intervalo de longitud de onda de 900 a 250 nm; la caracterización por fluorescencia se realizó en un equipo Perkin Elmer modelo LS 55 en un intervalo de longitud de onda de 800 a 250 nm, para su caracterización cristalina y morfológica se realizó microscopía electrónica de alta resolución (HRTEM), lograda en un microscopio TITAN FEI. Solo a una de las muestras le fueron evaluadas sus propiedades magnéticas en un magnetómetro Quantum Design PPMS-VSM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra la apariencia de los materiales obtenidos por co-precipitación in situ, donde se puede observar que las muestras dejan ver una tonalidad poco brillante y oscura. Es importante mencionar que las muestras con mayor porcentaje de magnetita 75P-25 Fe₃O₄ y 85P-15 Fe₃O₄, mostraron propiedades magnéticas obvias, es decir, estas muestras son atraídas por un imán permanente.

La figura 2, muestra los espectros FTIR obtenidos de las muestras b) 90P-10Fe₃O₄, c) 75P-25Fe₃O₄, incluyendo el espectro FTIR del polímero utilizado como matriz; como se puede apreciar en esta figura, hay dos regiones donde se observan corrimientos

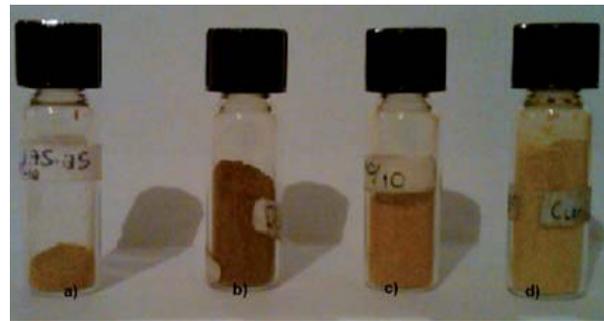


Fig. 1. Materiales nanocompuestos obtenidos por co-precipitación in situ: a) 75P-25 Fe₃O₄, b) 85P-15 Fe₃O₄, c) 90P-10 Fe₃O₄, d) 95P-05 Fe₃O₄.

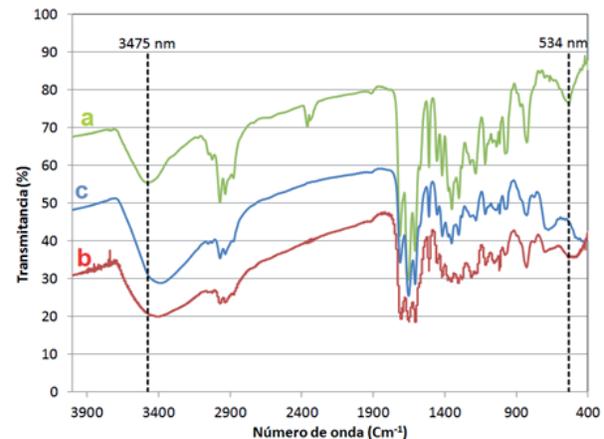


Fig. 2. Espectros FTIR de muestras obtenidas del a) polímero, b) 90P-10Fe₃O₄, c) 75P-25Fe₃O₄.

en los espectros del nanocompuesto con respecto al polímero puro, una región de los 3450 cm⁻¹ correspondiente a grupos hidróxilo, y otra región a números de onda entre 420 y 700 cm⁻¹.³⁰

La figura 3 muestra la asignación de bandas (tabla II) y comparación con el espectro FTIR de

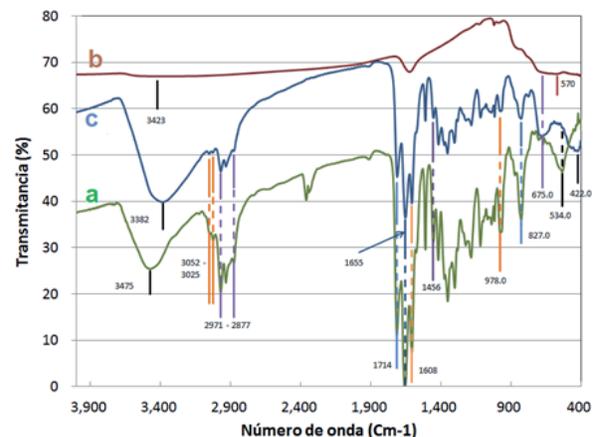


Fig. 3. Espectros de infrarrojo correspondientes a: a) Polímero, b) Magnetita, c) Compósito 75P-25Fe₃O₄.

Tabla II. Asignación de bandas de absorción del infrarrojo de los espectros del polímero, magnetita y el nanocompuesto 75P-25Fe₃O₄.³⁰

Grupo funcional	Vibración	Posición en Cm ⁻¹		
		Polímero	Fe ₃ O ₄	75P-25Fe ₃ O ₄
OH	Estiramiento O-H	3475	3423	3382
CH ₃	Estiramiento C-H	2971		2971
	Balanceo asimétrico C-H	2877 1456		2877 1456
Ar	Estiramiento Ar-H	3052 3025		3052 3025
	Balanceo Ar-H para sustituido	827		827
	Balanceo del anillo fuera del plano	534		422
C=C	Balanceo C-H sobre doble enlace cis	978		978
	Estiramiento C=C conjugado	1608		1608
C=O	Cetona	1714		1714
	Aldehído	1655		1655
Fe ₃ O ₄	Cristal		570	675

la magnetita, el polímero y el nanocompuesto; en los espectros se observa la presencia de grupos hidroxilo (banda ancha con pico entre 3382 y 3475 cm⁻¹), indicando que la reacción de deshidratación de las β-hidroxicetonas no fue completada, por lo que considerando la presencia de grupos carbonilo aldehídicos (1655 cm⁻¹) y cetónicos (1714 cm⁻¹), podemos suponer que tenemos un copolímero de unidades estructurales con grupos cetona y otras β-hidroxicetona (sin deshidratar) y con un buen número de grupo terminales aldehído.³⁰

El hecho de que no se haya completado la condensación aldólica, puede considerarse como bueno, ya que se puede apreciar que el estiramiento O-H, se mueve a mayores energías (menores números de onda) en el compuesto, ya sea en relación a los O-H del polímero ($\Delta = 93 \text{ cm}^{-1}$) o de la magnetita ($\Delta = 41 \text{ cm}^{-1}$), indicando que se formaron puentes de hidrógeno entre el polímero y la magnetita de mayor fuerza de atracción que los que se forman entre moléculas de polímero o entre moléculas de magnetita, resultando así una contribución al control y estabilización del tamaño de las partículas de magnetita.

La figura 4 muestra los espectros de U.V.-Vis. del polímero y los compósitos de composiciones 75P-25Fe₃O₄ y 90P-10Fe₃O₄; en esta figura se observa que las tres muestras denotan una banda cuyo máximo se encuentra aproximadamente a 394 nm, mientras que los dos compósitos presentan, además, un hombro con un máximo aproximadamente a 492 nm, sugiriendo la formación de un nuevo cromóforo o bien, nuevas transiciones electrónicas en el cromóforo correspondiente al polímero.

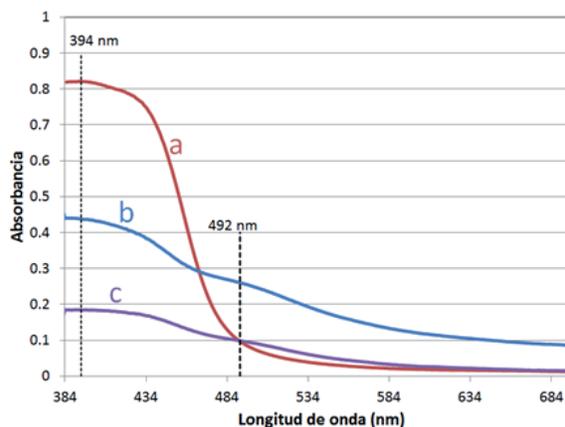


Fig. 4. Espectros de U.V.-vis. de las muestras: a) Polímero, b) 75P-25Fe₃O₄, c) 90P-10Fe₃O₄.

El cálculo del ancho de banda prohibida óptica (E_g), se realizó graficando el cuadrado de la absorbancia (que es proporcional al coeficiente de extinción) contra la longitud de onda expresada en unidades de energía. En la figura 5 se muestra un ejemplo de la gráfica y la extrapolación para el cálculo del ancho de banda prohibida.

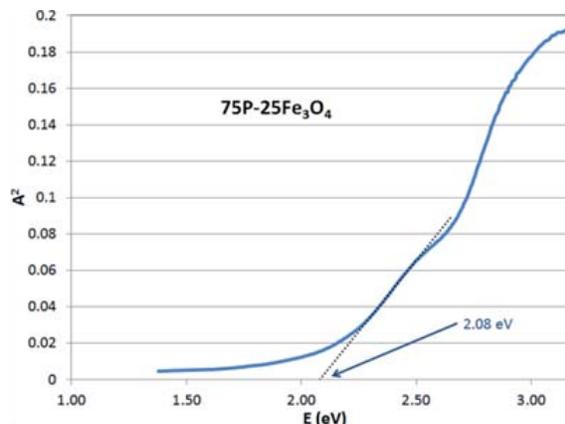


Fig. 5. Gráfica de la sección del espectro U.V.-vis. en forma de A² vs E(eV), utilizada para el cálculo del ancho de banda prohibida de la muestra 75P-Fe₃O₄.

La tabla III reporta las magnitudes E_g encontradas para las muestras analizadas.

Tabla III. Energías de banda prohibida (óptica), calculadas para el polímero y dos compositos.

Muestra	ancho de banda prohibida	
	nm	eV
polímero	470	2.64
75P-25Fe ₃ O ₄	596	2.08
90P-10Fe ₃ O ₄	562	2.21

La figura 6 muestra los espectros de excitación y emisión del compuesto 75P-25Fe₃O₄. Se aislaron dos transiciones, la primera, a bajas longitudes de onda que presentan dos máximos, tanto en excitación como en emisión, mientras que la segunda transición a grandes longitudes de onda, sólo muestra un máximo. Tanto en la figura 6 como en la tabla IV se reportan los máximos.

La figura 7 muestra una imagen obtenida por HRTEM del compuesto con 25% de magnetita. En esta figura se aprecian nanopartículas cuasi-

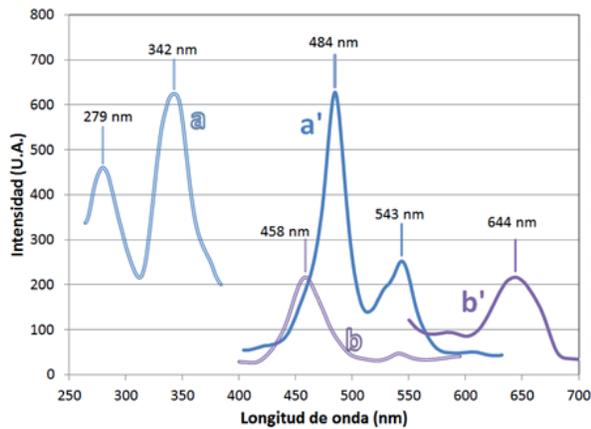


Fig. 6. Espectro de fluorescencia del nanocompuesto 75P-25Fe₃O₄. a, a') excitación y emisión respectivamente de transición 1 y (b, b') excitación y emisión respectivamente de transición 2.

Tabla IV. Máximos de los espectros de emisión de magnetita, polímero y el compuesto 75P-25Fe₃O₄.

Muestra	Excitación		Emisión	
	nm	eV	nm	eV
Magnetita	273	4.54	419	2.96
Polímero	465	2.66	513	2.41
75P-25Fe ₃ O ₄	T1	279-342	484-543	2.56-2.28
	T2	458	644	1.93

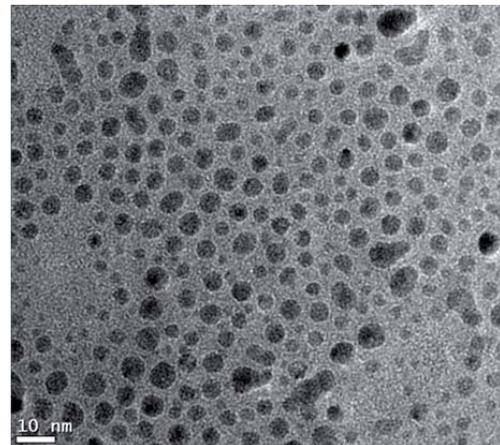


Fig. 7. Imagen de HRTEM de la muestra 75P-25Fe₃O₄ a 145 kX.

esféricas, y salvo algunas excepciones, la mayoría se encuentran dispersas en la matriz del polímero.³¹⁻³³

De esta misma figura se calcularon los diámetros promedio de 141 nanopartículas, y se puede decir que la muestra 75P-25Fe₃O₄ es un nanocompuesto formado por nanopartículas de diámetro promedio de 4.8 nm, y que las nanopartículas están en su mayoría, circundadas por la matriz, habiendo pocas partículas que coalescieron.

En la figura 8 se muestran imágenes a altas magnificaciones de nanopartículas seleccionadas

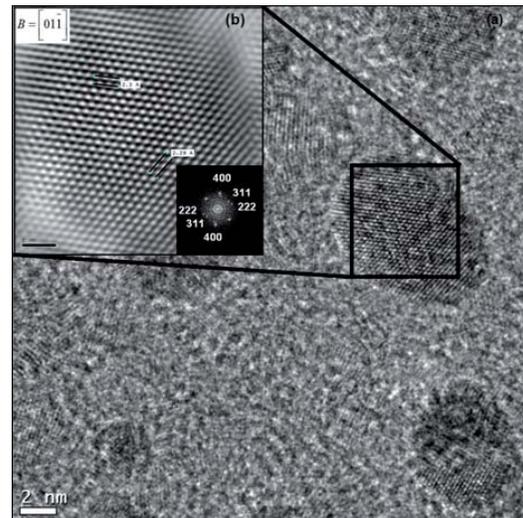


Fig. 8. Imagen de HRTEM obtenidas para las muestras 75P-25 Fe₃O₄, que muestran en (a) la presencia de un arreglo regular de átomos a 620 kX. En (b) se muestra la imagen filtrada utilizando transformación de Fourier. El inserto mostrado en la figura (b) corresponde a la imagen filtrada en el plano de Fourier. El vector B corresponde al eje de zona de la imagen.

de la muestra 75P-25Fe₃O₄. En la figura 8 (a) se aprecia, un arreglo regular de pequeñas esferas cuyas posiciones pueden interpretarse como las posiciones que ocupan los átomos que componen la nanopartícula. La figura 8 (b) corresponde a la imagen filtrada, mediante transformación de Fourier, de la zona indicada de la figura 8 (a), las distancias medidas entre los planos del arreglo son de aproximadamente 2.29 Å y 2.3 Å iguales a las reportadas para las familias de planos {222}, de 2.42, y {220}, de 2.97 Å, de la magnetita, respectivamente [véase JCPDS 19-0629].

La figura 9 muestra el lazo de histéresis magnética, (campo magnético en Oe), obtenido de la muestra 75P-25 Fe₃O₄ a una temperatura de 1.9 K. Como se observa en la figura, la curva muestra un comportamiento tipo ferromagnético, con una coercitividad H_c = 360.19 Oe, una remanencia de M_R = 2.93 emu.

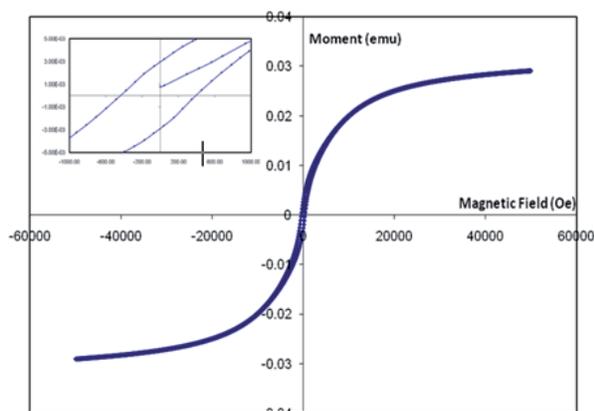


Fig. 9. Lazo de histéresis obtenido de la muestra 75P-25 Fe₃O₄ a una temperatura de 1.9 K, en presencia de un campo magnético de 5 T.

La razón de que la remanencia sea muy pequeña sugiere que la muestra exhibe importantes fenómenos de frustración magnética, que pudieran estar relacionados a la manera en que los espines se acoplan al interior de las nanopartículas, o inclusive a interacciones entre nanopartículas.

La figura 10 muestra las curvas ZFC y FC de la magnetización en función de la temperatura, a un campo magnético constante de 100 Oe. La curva ZFC muestra un incremento en la magnitud de la magnetización a medida que la temperatura aumenta hasta llegar a un máximo, luego comienza a decaer. A bajas temperaturas, los espines se encuentran

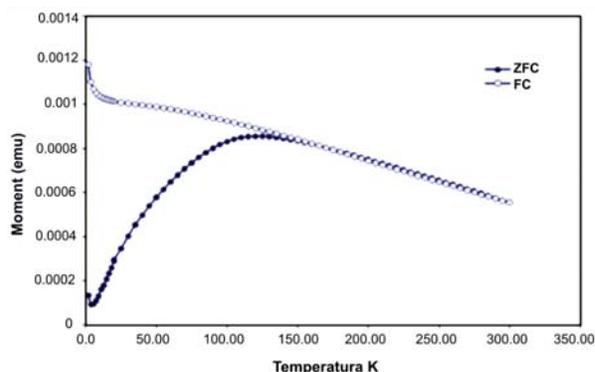


Fig. 10. Curvas ZFC (círculos sólidos) y FC (círculos huecos) de la magnetización en función a la temperatura, obtenida de la muestra 75P-25 Fe₃O₄, a un campo magnético constante de 100 Oe.

bloqueados en la dirección más energéticamente favorable, a medida que la temperatura aumenta, los espines comienzan a ser capaces de fluctuar lejos del eje preferencial de las nanopartículas, y de alinearse en el sentido del campo aplicado. Por lo tanto, el incremento progresivo de la magnetización en la curva ZFC corresponde a la relajación de los espines de las nanopartículas sobre su barrera energética, misma que, en promedio, es superada por todos los espines del sistema magnético a la temperatura en que la curva ZFC exhibe su máximo.

La temperatura a la que ocurre el máximo de la curva ZFC puede atribuirse a la temperatura de bloqueo T_B; para esta muestra T_B = 124 K., a medida que la temperatura aumenta por encima de T_B, la energía térmica agregada al sistema magnético supera el trabajo magnético realizado por el campo aplicado sobre los espines, y en consecuencia su orientación fluctuará lejos de la orientación impuesta por el campo. La magnetización entonces comenzará a decaer, en virtud de que la orientación de los espines no es dirigida por el campo aplicado, sino por las fluctuaciones térmicas asociadas a la energía térmica.³⁴

Como se observa en la figura 10, existe una irreversibilidad entre las curvas ZFC y FC, en donde se observa un incremento de la magnetización de la curva FC hacia valores por encima del máximo de la curva ZFC; la irreversibilidad comienza a partir de aproximadamente 155 K. Esta irreversibilidad puede ser explicada como una respuesta conjunta de los espines de las nanopartículas de la magnetita, que se encuentran bloqueados en el sentido del

campo aplicado, y la respuesta de los espines de una fase magnética desordenada, cuya orientación se encuentra congelada a temperaturas por debajo a la que ocurre la irreversibilidad, T_F .³⁵

Lo anterior permite concluir que se logró la obtención del nanocompuesto de magnetita con matriz polimérica, a través de co-precipitación in situ; obteniendo así materiales bifuncionales (magnéticos-luminiscentes) para posibles aplicaciones potenciales en el área médica y electrónica.

CONCLUSIONES

Se obtuvo mediante condensación aldólica de tereftaldehído y co-precipitación in situ, un nanocompuesto de óxido de hierro, muy probablemente magnetita, en matriz de un polímero u oligomero semiconductor, con propiedades fluorescentes y magnéticas. Los materiales obtenidos mostraron anchos de banda prohibida o band gap óptico que los colocan como materiales semiconductores.

La estabilización de las nanopartículas se da principalmente por interacciones puente hidrógeno entre la superficie de la magnetita y los hidróxilos residuales en el polímero producto de que la reacción de deshidratación no fue completa.

Morfológicamente, el nanocompuesto que contiene 25% en peso de óxido de hierro muestra nanopartículas cuasi-esféricas bien dispersas en el polímero (diámetro medio: 4.8 nm), siendo éste un material cristalino semejante a la magnetita; este mismo nanocompuesto tiene un comportamiento ferromagnético con una temperatura de bloqueo de 124 K.

REFERENCIAS

1. J. Eastman, J. Siegel, Richard W., Nanophase synthesis assemblies materials from atomic clusters. *Res. Dev.* (1989), 31, 56.
2. R. W. Siegel, Characterization of Nanoparticles and Nanophase Materials, Proceedings European Science Foundation Explorative Workshop, Duisburg, Germany, (1993).
3. H. Gleiter, Nanocrystalline materials, *Prog. Mater. Sci.*, (1989), 33, p 223.
4. V. G. Gryaznov, L. I. Trusov, Size effects in micromechanics of nanocrystals, *Prog. Mater. Sci.*, (1993), 37, p 289.
5. J. Dormann, D. Fiorani, Magnetic Properties of Fine Particles; North-Holland: Amsterdam, (1992), Proceedings of the International Workshop on Studies of Magnetic Properties of Fine Particles and their Relevance to Materials Science. Rome, Italy, (1991).
6. B.H. Kear, L. E. Cross, J. E. Keem, R. W. Siegeld, F. Spaepen, K. C. Taylor, E. L. Thomas, Ru, K.-N., Research Opportunities for Materials with Ultrafine Microstructures. National Research Council, Washington DC, USA, (1989).
7. C. Suryanarayana, Nanocrystalline Materials, *Int. Mater. Rev.* (1995), 40, p 41
8. H. Gleiter, Materials with ultrafine microstructures: Retrospectives and perspectives, *Nanostruct. Mater.* (1992), 1, p 1.
9. L. Gunther, Quantum tunneling of magnetization, *Phys. World*, (1990), 2, 28.
10. R. D. Shull, Magnetocaloric effect of ferromagnetic particles, *IEE Trans. Magn.*, (1993), 29, p 2614.
11. R. D. Shull, R. D. McMichael, L. J. Schwartendruber, L. H. Bennett, Magnetocaloric effect of ferromagnetic particles, Proceedings of the 7th International Cryocoolers Conf. (Nov 1992), Ludwigsen, J., Stoyanoff, M., Eds.
12. R. F. Ziolo, E.P. Giannelis, B. Weinstein, M. P. O'Horo, B. N. Ganguly, V. Mehrotra, M. W. Russell, D. R. Huffman, Matrix-Mediated Synthesis of Nanocrystalline-Fe₂O₃: A New Optically Transparent Magnetic Materials, *Science* (1992), 257, p 219.
13. I. Anton, De Sabata, L. Yékás, Application oriented researches on magnetic fluids, *J. Magn. Magn. Mater.* (1990), 85, p 219.
14. K. Raj, B. Moskowitz, R. J. Casciari, Advances in Ferrofluid Technology, *Magn. Magn. Mater.* (1995), 149, p 174.
15. S. Odenbach, Magnetic Fluids, *Adv. Colloid Interface Sci.* (1993), 46, p 263
16. S. D. Bunge, T. T. Boyle, Synthesis metal nanoparticle, United States Patent 6926675, Albuquerque, NM, US, (2005).
17. M. Jay, R. J. Mumper, Microemulsions as precursors to solid nanoparticles, U.S. Patent 7153525, (2007).

18. Y. Li, Silver oleylamine nanoparticle, Patent 7737497, (2010).
19. R. Asmatulu, M. A. Zalich, R. O. Claus y J. S. Riffle, Synthesis, Characterization and Targeting of Biodegradable Magnetic Nanocomposite Particles by External Magnetic Fields, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, (2005), 292, p 108.
20. T. Neuberger, B. Schöpf, H. Hofmann, M. Hofmann y B. von Rechenberg, Superparamagnetic Nanoparticles for Biomedical Applications: Possibilities and Limitations of a New Drug Delivery System, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, (2005), 293, p 483.
21. S. Sershen y J. West, Implantable, Polymeric System for Modulated Drug Delivery, *Adv. Drug Delivery Rev.*, (2002), 54, p 1225.
22. Q. A. Pankhurst, J. Connolly, S. K. Jones y J. Dobson, Applications of Magnetic Nanoparticles in Biomedicine, *Journal of Physics D: Applied Physics*, (2003), 36, p 167.
23. M. Garza, Desarrollo de Nanocompuestos Superparamagnéticos de Matriz Biopolimérica; M.C. Tesis, FIME-UANL, (2006), Universidad Autónoma de Nuevo León.
24. M. Garza, V. González, M. Hinojosa, E. Reyes, A. Torres, Desarrollo de nanopartículas magnéticas en templates biopoliméricos, *Ingenierías*, 8, (2010), p 23
25. D. Makovek, S. Campelj, M. Bele, U. Maver, M. Zorko, M. Drofenik, J. Jamnik, M. Gaberscek, Nanocomposites containing embedded superparamagnetic iron oxide nanoparticles and rhodamine. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, (2009), 334, p 74.
26. S. Koytepe, T. Seckin, Molecular Design of Fe₃O₄-Containing Polyimide as a Route to Nanomagnetic Materials, *Ind. Eng. Chem. Res.* (2008), 47, p 4123.
27. J. Gao, W. Zhang, P. Huang, B. Zhang, X. Zhang, B. Xu, Intracellular Spatial Control of Fluorescent Magnetic Nanoparticles, *J. Am. Chem. Soc.* (2008), 130, p 3710.
28. K. van Berkel, A. Piekarski, P. Kierstead, D. Pressly, C. Ray, J. Hawker, A Simple Route to Multimodal Composite Nanoparticles, *Macromolecules*, (2009), 42 (5), p 1425.
29. Esquivel Gonzalez R., Síntesis de dos Polímeros Luminescentes y su Aplicación en la Construcción de OLED'S, M.C. Tesis, FIME-UANL, (2009).
30. R. M. Silverstein, Webster F. X., *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, Ed. John Wiley and Sons Inc. 6a Ed., New York (1997).
31. S. Gustafsson, A. Fornara, K. Petterson, C. Johansson, M. Muhammed, E. Olsson, Evolution of Structural and Magnetic Properties of Magnetite Nanoparticles for Biomedical Applications, *Crystal Growth & Desig.* (2010), p 2278-2284.
32. I. Y. Goon, L. M. H. Lai, M. Lim, P. Munroe, J. J. Gooding, R. Amal, Fabrication and Dispersion of Gold-Shell Protected Magnetite Nanoparticles: Systematic Control Using Polyethyleneimine, *Chem. Mater.* (2009), p 673-681.
33. X. Sun, C. Zheng, F. Zhang, L. Li, Y. Yang, G. Wu, N. Guan, β -Cyclodextrin-Assisted Synthesis of Superparamagnetic Magnetite Nanoparticles from a Single Fe (III) Precursor, *J. Phys. Chem. C.*, (2008), p 17148-17155.
34. J. Larionova, *Inorg. Chim. Acta* 361, 3988 (2008).
35. B. Martínez, X. Obradors, L.I. Balcells, A. Rouanet, C. Monty, *Phys. Rev. Lett.* 80, 181 (1998).