

RESERVA DE DERECHOS AL USO EXCLUSIVO DE TITULO No. 04-2018-070614032000-203

VIGENCIA 30/05/2018 a 30/05/2019

ACTUALIZACIÓN: 01/01/2019

ISSN 2594-1925

a cargo de ECITEC



# RECIT

REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS

VOLUMEN 1

CAPITULO 2

Ánodo de RE/TiO<sub>2</sub> nanoestructurado para celdas solares sensibilizadas (DSSC)

**Diseño de Control Óptimo para el Péndulo de Furuta**

Influencia del Grupo Alcoxi en la Síntesis de Óxido Cobaltosico para la Reducción de Óxidos de Nitrógeno

**Coefficiente de Arrastre de Modelos Circulares y Cuadrados Instalados en Túnel de Viento de ECITEC**

Micronúcleos en Reticulocitos de Ratones Balb/c Tratados de Forma Oral con Nanopartículas de Plata



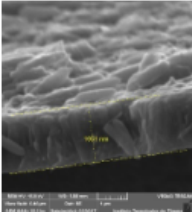
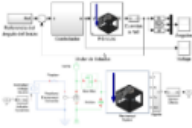
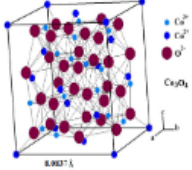

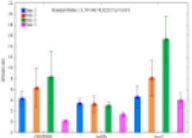
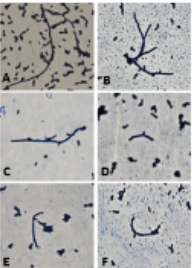
# 2018

Octubre - Diciembre

## VOL. 1, NÚM. 2 (2018)

### TABLA DE CONTENIDOS

#### ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

	<p>Ánodo de RE/TiO<sub>2</sub> nanoestructurado para celdas solares sensibilizadas (DSSC)                      Daniel Ramírez Rosillo, Balter Trujillo Navarrete, Victor Verjan González, Rosa María Félix Navarro, Edgar Alonso Reynoso Soto</p>	<p>PDF                      45-48</p>
	<p>Diseño de control óptimo para el péndulo de furuta                      Jován Oseas Mérida Rubio, Paul Alejandro Chávez Vázquez, Luis Nestor Coria de los Ríos, Carlos Alberto Chávez Guzmán</p>	<p>PDF                      49-53</p>
	<p>Influencia del grupo alcoxi en la síntesis de óxido cobaltosico para la reducción de óxidos de nitrógeno                      Juan Manuel Quintana Melgoza, Luis Antonio Flores Sánchez</p>	<p>PDF                      54-57</p>
	<p>Coefficiente de arrastre de modelos circulares y cuadrados instalados en túnel de viento de ECITEC                      Oscar Adrián Morales Contreras, Juan Antonio Paz González, Emilio Hernández Martínez, María Cortes Rodríguez, Glenn Luna Serrano</p>	<p>PDF                      58-64</p>
	<p>Micronúcleos en reticulocitos de ratones Balb/c tratados de forma oral con nanopartículas de plata                      Idalia Yazmin Castañeda-Yslas, Balam Ruiz-Ruiz, María Evarista Arellano-García, Karla Oyuki Juárez-Moreno, Olivia Torres-Bugarín, Nina Bogdanchikova, Alexey Pestryakov, Patricia Radilla-Chávez</p>	<p>PDF                      65-68</p>
	<p>Efecto sobre la actividad antimicrobiana de los agentes antimicóticos: tratamientos combinados con nanopartículas de plata                      Yaritza Pérez Arriola, Roberto Vázquez Muñoz, Nina Bogdanchikova, Alejandro Huerta Saquero</p>	<p>PDF                      69-71</p>



# Ánodo de RE/TiO<sub>2</sub> nanoestructurado para celdas solares sensibilizadas (DSSC)

## *RE/TiO<sub>2</sub> nanostructured cell anode sensitized solar (DSSC)*

Ramírez Rosillo Daniel, Trujillo Navarrete Balter , Verjan González Víctor,  
Félix Navarro Rosa María , Reynoso Soto Edgar Alonso 

Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Boulevard Alberto Limón Padilla y AV. ITR Tijuana s/n, Mesa de Otay, Tijuana, Baja California C.P. 22510, México.

**Autor de correspondencia:** Daniel Ramírez Rosillo, Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Boulevard Alberto Limón Padilla y AV. ITR Tijuana s/n, Mesa de Otay, Tijuana, Baja California C.P. 22510, México. E-mail: [danielramirezrosillo@gmail.com](mailto:danielramirezrosillo@gmail.com).

**Recibido:** 30 de Junio del 2017

**Aceptado:** 15 de Noviembre del 2018

**Publicado:** 01 de Enero del 2018

**Resumen.** - Actualmente resulta inherente la obtención de energía de fuentes alternas y renovables, dentro de estas, la energía solar se posiciona firmemente como una de las principales opciones para dar solución a esta problemática. La tercera generación de celdas solares, las sensibilizadas con colorante (DSSC), ofrece un amplio campo de oportunidad para la investigación. En este trabajo, se analiza el efecto, en el rendimiento de la celda, de la modificación estructural del semiconductor (TiO<sub>2</sub>) y el dopaje con Neodimio. En tanto al semiconductor se optó por llevar a cabo la síntesis del mismo sobre el vidrio conductor (FTO), que posteriormente conformaría el foto-ánodo, con una estructura unidimensional (nano-varillas cristalinas de dióxido de titanio en fase rutilo), recientes publicaciones han reportado las ventajas para transportar los electrones de las mismas. Se ha decidido dopar las varillas con un elemento del grupo de los lantánidos, el Neodimio, teniendo dos propósitos, por una parte, aumentar la inyección de electrones excitados, y de igual forma, disminuir la tasa de recombinación del par electrón hueco dentro de la celda.

**Palabras clave:** Energías Alternas; Celdas Solares; Nano-varillas; Neodimio; Dióxido de Titanio.

**Abstract.** - At present, it is inherent to obtain energy from alternative and renewable sources, within these, solar energy is firmly positioned as one of the main options to solve this problem. The third generation of solar cells, sensitized with dye (DSSC), offers a wide field of opportunity for research. In this work, the effect of the structural modification of the semiconductor (TiO<sub>2</sub>) and the doping with Neodymium in the cell performance is analyzed. In the semiconductor, it was chosen to carry out the synthesis of the same on the conducting glass (FTO), which would later conform the photo-anode, with a one-dimensional structure (nanocrystalline rods of titanium dioxide in rutile phase), recent publications have reported the advantages to transport electrons from them. It has been decided to dope the rods with one element of the lanthanide group, Neodymium, having two purposes, on the one hand, to increase the injection of excited electrons, and likewise, to decrease the recombination rate of the electron pair hollow within the cell.

**Keywords:** Renewable Energy; Solar Cells; Nano-rods; Neodymium; Titanium Dioxide.

## 1. Introducción

Las empresas La falta de energía es una de las problemáticas que definirán el destino de México y el mundo en el siglo que comienza. Lo que hagamos o dejemos de hacer a partir de ahora determinará nuestra capacidad para satisfacer los requerimientos energéticos del país en el futuro [1]. Se proyecta que las reservas de combustibles fósiles en todo el mundo sólo podrían durar 40

años para el petróleo, 60 años para el gas natural y 200 años para el carbón [2].

Atendiendo a esta problemática, una opción viable son las celdas solares (CS). Actualmente, se han desarrollado tres generaciones de CS. Donde sobresalen las celdas solares sensibilizadas por colorante (DSSC) de la última generación. Las cuales son un convertidor de energía solar a electricidad de bajo costo y



eficiencia alta [3]. La investigación ha avanzado a un ritmo rápido y se ha hecho una cantidad considerable de trabajo para mejorar la eficiencia del dispositivo que va desde 7.1% en 1991 a 13% en 2014 [2]. Las investigaciones iniciales se centraron en las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  0-D (materia puntual) y mostraron excelentes resultados en celdas solares debido a su gran área superficial y a una brecha de banda ampliada. Desventajas tales como recombinación rápida de electrones y agujeros, transferencia de portadores de carga lenta y alto coste de reciclaje [4]. Aunque actualmente se han llevado a cabo investigaciones con estructuras 1-D, la motivación detrás de la síntesis de este tipo de materiales viene del hecho de que su forma 1-D da lugar a la aparición de nuevas propiedades ópticas y eléctricas que los hacen aún más beneficiosos para el uso mencionado anteriormente [5]. En este trabajo, nanovarillas de  $\text{TiO}_2$  fase rutilo fueron sintetizadas por el método hidrotérmico. Los materiales sintetizados fueron caracterizados por espectroscopia Raman, microscopia electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia dispersiva de energía (EDS). Aunado, las curvas de corriente-voltaje permitieron conocer los parámetros característicos de la DSSC.

## 2. Metodología

### 2.1 Síntesis de nanovarillas de $\text{TiO}_2$

La síntesis de los materiales de  $\text{TiO}_2$  se llevó a cabo por el método hidrotérmico, mismo que consiste en elevar la temperatura de un sistema cerrado por encima del punto de ebullición del solvente (agua), elevando la presión y facilitando la interacción del solvente y el precursor. La proporción agua/ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ , 37%) fue 1:1 (v/v) para obtener condiciones súper ácidas. A la solución obtenida se agregó isopropóxido de titanio (IV) ( $\text{Ti} [\text{OCH} (\text{CH}_3)_2]_4$ , 99.9%) a temperatura ambiente con agitación magnética constante durante 10 minutos. La adición de los dopantes se realizó disolviendo el precursor de Nd ( $\text{Nd} (\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) manteniendo una agitación constante. La suspensión resultante se transfirió a un vial de teflón colocado dentro de una autoclave de acero inoxidable a una temperatura de 150 °C durante 2 horas. Previamente, se colocó un soporte de vidrio (1.25 x 2) recubierto con una película de conductor transparente de óxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ) dopado con flúor (FTO) fueron comprados a Solaronix®. Donde, el área de trabajo fue de 0.2  $\text{cm}^2$ . El resultado obtenido fue una película sobre FTO que se dejó enfriar a temperatura ambiente. En el proceso de síntesis la interfaz epitaxial del FTO puede favorecer la formación de las nanovarillas, donde se irán depositando cadenas de octaedros de  $\text{TiO}_6$ , siendo naturalmente favorecida la estructura rutilo. Para esta estructura la tasa de crecimiento es mayor en la dirección (001), favoreciendo la formación de cristales anisótropos sobre el eje c, exhibiendo facetas (110). La presencia del ion  $\text{Cl}^-$  en la solución restringe el crecimiento ecuatorial de las facetas (110) actuando como un inhibidor [5, 6].

### 2.2 Fabricación de la celda

Los FTO recubiertos se utilizaron como fotoánodos. Estos se sumergieron en el colorante di-tetrabutylammonio cis-bis (isotiocianato) bis (2,2'-bipiridil-4,4'-dicarboxilato) rutenio (II)

( $\text{C}_{58}\text{H}_{86}\text{N}_8\text{O}_8\text{RuS}_2$ , N719) durante 24 horas. La sensibilización es un paso importante del ensamble de la DSSC, ya que permite ampliar el espectro de absorción se luz por parte del semiconductor. Los fotocátodos se prepararon con una pasta comercial a base de platino de nombre comercial PLASTISOL®. A continuación, los fotoelectrodos se ensamblaron por medio de un arreglo tipo “sándwich”. El electrolito de yoduro/triyoduro (par redox,  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ) fue inyectado para posteriormente sellarlas.

### 2.3 Caracterización

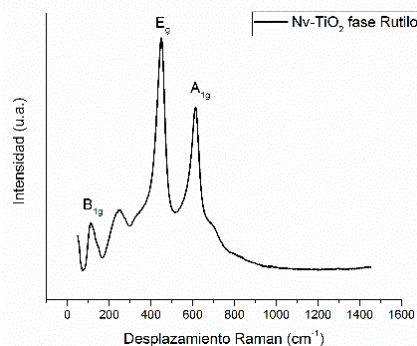
El análisis por medio de espectroscopia Raman se llevó a cabo directamente sobre la superficie del vidrio conductor donde se encontraba el material sintetizado. En un espectrómetro Thermo Scientific® DXR SmartRaman. Se utilizó un SEM marca Tescan® modelo Vega3, el cual permitió estudiar la morfología de las Nv- $\text{TiO}_2$ , dimensiones tales como espesor de la capa, diámetro y espacio entre varillas. Finalmente, se realizó un análisis elemental por EDS utilizando un detector de estado sólido marca Bruker®, el cual se encuentra acoplado al SEM.

### 2.4 Caracterización electroquímica

La evaluación de la DSSC, se realizó en un potenciostato/galvanostato (EC-Lab, VMP300). El cual fue acoplado a un simulador solar Solar (Oriol, LCS-100) con calibrador Newport bajo irradiación 100  $\text{mWcm}^2$  y un 1 sol de distancia. Los parámetros analizados fueron la densidad de corriente ( $J_{sc}$ ), potencial de circuito abierto ( $V_{oc}$ ), porcentaje de eficiencia ( $\eta$ ) y el factor de llenado (FF).

## 3. Resultados

En la Figura 1 se muestra el espectro Raman de los materiales sintetizados. Donde los picos más prominentes están asociados a tres de los cuatros modos activos en Raman para el  $\text{TiO}_2$  fase rutilo nanocrystalino: 113  $\text{cm}^{-1}$  ( $B_{1g}$ ), 449  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_g$ ) y 613  $\text{cm}^{-1}$  ( $A_{1g}$ ) (Típicamente 447  $\text{cm}^{-1}$  para  $E_g$  y 612  $\text{cm}^{-1}$  para  $A_{1g}$ ), expresados como  $B_{1g} + E_g + A_{1g}$  [7, 8]. Los desplazamientos en las bandas (con respecto a estudios similares) y el ensanchamiento de los picos puede asociarse con modificaciones en la morfología, tales como variaciones en el modo  $A_{1g}$  asociado al eje c y el modo  $B_{1g}$  asociado con variaciones sobre el eje a [9].

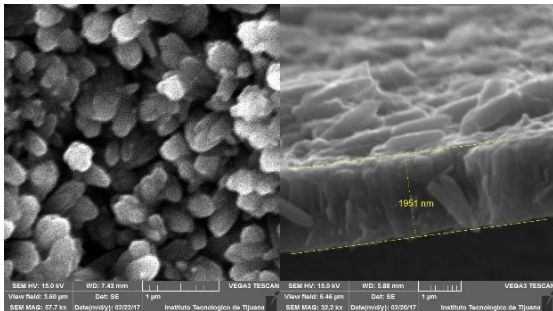


**Figura 1.** Espectro Raman de las Nanovarillas de  $\text{TiO}_2$  sobre el FTO mostrado los picos característicos de la fase rutilo de la Titania.

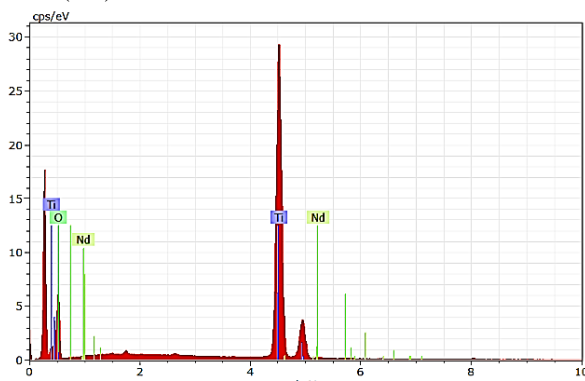




La Figura 2 muestra las micrografías de SEM. Se puede observar nanovarillas de TiO<sub>2</sub> que se han formado con orientación perpendicular a la superficie. Esto verifica el crecimiento unidimensional del material sobre el sustrato. Cabe mencionar que se observa un crecimiento mínimo de nano flores.



**Figura 2.** Arreglo de nanovarillas de TiO<sub>2</sub> vista superior (izq), longitud de una nanovarilla aislada (der).



**Figura 3.** Espectro de EDS de las nanovarillas.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las mediciones obtenidas del equipo de simulación solar: densidad de corriente ( $J_{sc}$ ), potencial de circuito abierto ( $V_{oc}$ ), porcentaje de eficiencia ( $\eta$ ) y el factor de llenado ( $FF$ ), donde  $\eta$  es uno de los parámetros más importantes, ya que es la eficiencia de conversión fotoeléctrica de la DSSC. Todas las mediciones se han realizado considerando como estándar la energía solar superficial de 1000.0 W/m<sup>2</sup>, un área superficial de 0.20 cm<sup>2</sup> y un tiempo de 10 minutos.

**Tabla 1.** Medición de las DSSC.

Muestra	$J_{sc}$ (mA)	$V_{oc}$ (V)	FF (%)	Eficiencia (%)
Nv-TiO <sub>2</sub>	0.154	0.655	---	0.222
Nv-TiO <sub>2</sub> (0.25% Nd)	0.139	0.673	---	0.187
Nv-TiO <sub>2</sub> (0.50% Nd)	0.115	0.657	81.4	0.306
Nv-TiO <sub>2</sub> (0.75% Nd)	0.189	0.664	41.8	0.263
Nv-TiO <sub>2</sub> (1.00% Nd)	0.027	0.643	51.4	0.046

El efecto del dopaje con Nd<sup>3+</sup> sobre el mismo y conservando la morfología deseada del material, obteniendo como resultado la mayor eficiencia en la muestra con un dopaje del 0.5 %. Uno de los inconvenientes que ha presentado el material es la pobre adsorción de colorante, atribuyendo a esto, una de las causas del rendimiento pobre que ha presentado.

#### 4. Conclusiones

Se sintetizó exitosamente un arreglo ordenado de nanovarillas de TiO<sub>2</sub> fase rutilo en un área delimitada sobre un vidrio FTO, para el ensamble de una DSSC. Existe un efecto significativo del dopaje con Nd<sup>3+</sup> en el desempeño de la DSSC. Los hallazgos de este estudio permitirán continuar con trabajos futuros que involucren el uso de nanovarillas y material mesoporoso de TiO<sub>2</sub>.

#### Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Instituto Tecnológico de Tijuana por la investigación. La cual fue apoyada por el Departamento de Educación Pública de México (SEP) a través del Programa de Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) (No. ITTIJ-PTC-009).

#### Referencias

[1] E. J. G. Albarracín and D. G. P. de Lema, "Impact of innovation on the performance of msms: An empirical study conducted in Colombia," *Estud. Gerenciales*, vol. 28, no. 122, pp. 11–27, 2012. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(12\)70191-2](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(12)70191-2).

[2] E. Arellano. "Revisión Bibliométrica sobre Administración Estratégica y Estrategia en base de datos Scopus Bibliometrics on strategic management and strategy in Scopus database", 2015. [10.13140/RG.2.1.2367.7200](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2367.7200). 2015.

[3] D. J. Teece, "Dynamic capabilities: a guide for managers," *Ivey Bus. J.*, vol. 75, no. 2, pp. 29–33, 2011. <https://notts.rl.talis.com/items/DE49C8C1-9E2B-9FE3-3D11-CA77094F47B5.html>.

[4] M. de L. Álvarez Medina, "Competencias centrales y ventaja competitiva: el concepto, su evolución y su aplicabilidad," *Contaduría y Adm.*, vol. 1, no. 209, pp. 5–22, 2003. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39520902>.

[5] H. Chesbrough, "Business Model Innovation: Opportunities and Barriers," *Long Range Plann.*, vol. 43, no. 2, pp. 354–363, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.010>.

[6] D. J. Teece, "Business Models, Business Strategy and Innovation," *Long Range Plann.*, vol. 43, no. 2, pp. 172–194, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003>.

[7] M. Delgado Fernández and F. Castro Díaz Balart, "Innovación tecnológica, estrategia corporativa y competitividad en la industria cubana," *Dir. y Organ. Rev. Dir. Organ. y Adm. Empres.*, vol. 0, no. 22, pp. 14–27, 1999. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=169902>.

[8] M. A. Morales-González and J. L. Pech-Vázquez, "Competitividad y estrategia: el enfoque de las competencias



esenciales y el enfoque basado en los recursos,” *Rev. Contaduría y Adm.*, no. 197, pp. 47–63, 2000. <https://www.biblioteca.org.ar/libros/91537.pdf>.

[9] R. Casadesus-Masanell and F. Zhu, “Strategies to Fight Ad-Sponsored Rivals,” *Manage. Sci.*, vol. 56, no. 9, pp. 1484–1499, Jul. 2010. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1100.1199>.

[10] M. Ferreira, F. Serra, A. Torres, and M. Torres, *Administração Estratégica*. Elsevier Brasil, 2014. [http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/proeja/administracao\\_estrat.pdf](http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/proeja/administracao_estrat.pdf)

[11] M. P. Nunes and F. K. Steinbruch, “Internationalization and the need of business model innovation – A theoretical approach,” *Brazilian Bus. Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 207–221, 2019. <https://doi.org/10.15728/bbr.2019.16.3.1>

[12] M. Díaz Pérez, Y. de Liz Contreras, and S. Rivero Amador, “El factor humano como elemento dinamizador del proceso empresarial en la gestión de la información y conocimiento,” *Acimed*, vol. 20, no. 5, pp. 42–55, 2009. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352009001100004&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001100004&lng=es&tlng=es).

[13] S. Iammarino, M. Piva, M. Vivarelli, and N. Von Tunzelmann, “Technological Capabilities and Patterns of Innovative Cooperation of Firms in the UK Regions,” *Reg. Stud.*, vol. 46, no. 10, pp. 1283–1301, Nov. 2012. <https://doi.org/10.1080/00343404.2012.679259>

[14] M. G. Zoia, L. Barbieri, F. Cortelezzi, and G. Marseguerra, “The determinants of Italian firms’ technological competencies and capabilities,” *Eurasian Bus. Rev.*, vol. 8, no. 4, pp. 453–476, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40821-018-0103-2>.

[15] A. Pourhasan Harandi. “The effect of Information technology systems on productivity in Electronic Company of Sistan and Baluchestan Province, Iran”, (unpublished Dissertation of M.A. of Management, Economics Collage), University of Sistan and Baluchestan, Iran. 2012. <https://www.ijmae.com/index.php?mod=journalman&act=18&pid=448>

[16] F. Mousavifard, M. Kazemi, and A. Ayoubi, “Employees’ Productivity and Automated Information System in

Telecommunication Organization in Iran,” *Int. J. Manag. Account. Econ.*, vol. 3, no. 3, 2016. [https://www.civilica.com/Paper-JR\\_IJMAE-JR\\_IJMAE-3-3\\_003.html](https://www.civilica.com/Paper-JR_IJMAE-JR_IJMAE-3-3_003.html)

[17] H. Zhou, R. Dekker, and A. Kleinknecht, “Flexible labor and innovation performance: evidence from longitudinal firm-level data,” *Ind. Corp. Chang.*, vol. 20, no. 3, pp. 941–968, Apr. 2011. <https://doi.org/10.1093/icc/dtr013>

[18] T. Wang and C. D. Zatzick, “Human Capital Acquisition and Organizational Innovation: A Temporal Perspective,” *Acad. Manag. J.*, vol. 62, no. 1, pp. 99–116, Mar. 2018. <https://doi.org/10.5465/amj.2017.0114>

[19] K. Lee and J. Yoo, “How does open innovation lead competitive advantage? A dynamic capability view perspective,” *PLoS One*, vol. 14, no. 11, p. e0223405, Nov. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223405>

[20] C. Caldwell and V. Anderson, *Competitive Advantage: Strategies, Management and Performance*, 1st ed. Nova Science Publishers, Incorporated, 2017. <https://novapublishers.com/shop/competitive-advantage-strategies-management-and-performance/>

[21] B. Escrig-Tena, J. C. Bou-Llusar, V. Roca-Puig, and L. Beltrán-Martín, “Does quality management drive labour flexibility?,” *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, vol. 23, no. 2, pp. 159–176, 2012. <https://doi.org/10.1080/14783363.2012.647845>

[22] P. T. Preenen, R. Vergeer, K. Kraan, y S. Dhondt, “Labour productivity and innovation performance: The importance of internal labour flexibility practices,” *Econ. Ind. Democr.*, p. 0143831X15572836-, 2015. <https://doi.org/10.1177/0143831X15572836>.

[23] T. Melton, “The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 83, no. 6, pp. 662–673, 2005. <https://doi.org/10.1205/cherd.04351>

[24] G. Thomas and M. Thomas, “Lean Thinking,” *Construction Partnering & Integrated Teamworking*. pp. 159–163, 01-Aug-2005. <https://doi.org/10.1002/9780470759660>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de*

*Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por uso que hace de la obra.*

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)



# Diseño de control óptimo para el péndulo de furuta

## *Optimal control design for furuta's pendulum*

Mérida Rubio Jován Oseas<sup>1</sup>, Chávez Vázquez Paul Alejandro<sup>1</sup>, Coria de los Ríos Luis Nestor<sup>2</sup>  
Chávez Guzmán Carlos Alberto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd Universitario 1000, Unidad Valle de las Palmas, 22260 Tijuana, Baja California, México

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Tijuana, Tecnológico Nacional de México. Calzada del Tecnológico S/N, Tomas Aquino, 22414 Tijuana, Baja California, México

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería y Negocios Tecate, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Universidad, La Viñita, 21460 Tecate, Baja California, México

**Autor de correspondencia:** Jován Oseas Mérida Rubio, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd Universitario 1000, Unidad Valle de las Palmas, 22260 Tijuana, Baja California, México. E-mail: [jovan.merida@uabc.edu.mx](mailto:jovan.merida@uabc.edu.mx). ORCID: 0000-0002-9355-4787.

**Recibido:** 01 de Julio del 2017

**Aceptado:** 03 de Noviembre del 2018

**Publicado:** 01 de Enero del 2018

**Resumen.** - *En este artículo se aborda el diseño de un controlador para el péndulo de Furuta, que es un sistema subactuado, no lineal y altamente inestable, lo cual lo hace un reto tanto científico, como tecnológico. Este sistema es a menudo utilizado en el dominio de la teoría de control ya que ayuda entender conceptos de control de mecanismos. Las dinámicas que presenta el péndulo de Furuta pueden ser encontradas en diversos sistemas físicos de alta relevancia, tales como: robots de dos llantas, transportadores personales Segway, propulsores de cohetes, controles de vuelo, etc. El objetivo es resolver el problema de estabilización en la posición invertida inestable del péndulo mediante un controlador óptimo, haciendo uso del modelo dinámico del péndulo fabricado por Quanser®. Un regulador óptimo cuadrático fue diseñado, tal que, el sistema no perturbado es estable alrededor de la posición invertida inestable, mientras que la energía de la señal de entrada es apropiada. La existencia de las soluciones propias de la ecuación algebraica de Riccati aseguran estabilizabilidad y detectabilidad del sistema y éstas implican que el sistema en lazo cerrado es estable. Los resultados muestran que el controlador cumple satisfactoriamente los requerimientos de diseño del sistema.*

**Palabras clave:** Control Óptimo; Péndulo de Furuta; Sistema Subactuado; Electrónica e Instrumentación.

**Abstract.** - *In this article, we discuss the design of a controller for the Furuta pendulum, which is a subactuated, nonlinear and highly unstable system, which makes it a scientific and technological challenge. This system is often used in the domain of control theory as it helps to understand concepts of control mechanisms. The dynamics of the Furuta pendulum can be found in several high-profile physical systems, such as: two-wheel robots, Segway, personal transporters, rocket propellers, flight controls, etc. The objective is to solve the stabilization problem in the unstable inverted position of the pendulum using an optimal controller, making use of the dynamic model of a pendulum manufactured by Quanser®. A linear quadratic regulator was designed, such that the undisturbed system is stable around the unstable inverted position, while the input signal energy is appropriate. The existence of the solutions of Riccati's algebraic equation assures stabilization and detectability of the system and implies that the closed-loop system is stable. The results show that the controller satisfies the design requirements of the system.*

**Keywords:** Optimal Control; Furuta Pendulum; Subactuated Systems; Electronic and Instrumentation.



## 1. Introducción

La mayoría de los sistemas físicos existentes son no lineales, por lo cual el diseño de controladores avanzados es importante para su aplicación en el mundo real. Dentro de los sistemas no lineales, existen los sistemas subactuados cuyo número de entradas de control es menor a los grados de libertad del sistema.

El diseño de control de los sistemas subactuados [1–2] es de gran interés y se vuelve más popular, debido a que la utilización de un menor número de actuadores es un importante reto tanto científico como tecnológico. En este artículo se trabajará con el péndulo de Furuta que es la representación más típica para los sistemas subactuados. Este es uno de los péndulos con dos grados de libertad más complejo y difícil de controlar. El péndulo de Furuta consiste en un mecanismo de dos enlaces, uno de los cuales (llamado brazo) cuenta con un motor, el cual le permite girar en un plano horizontal, este a su vez es utilizado para controlar el movimiento libre del segundo enlace (péndulo), el cual se encuentra colocado en un extremo del brazo y su eje de giro es colineal al eje axial del brazo, realizando un giro en un plano perpendicular al movimiento del brazo. Diversas aplicaciones presentan dinámicas similares, tales como: control de aeronaves, vehículos bajo el agua, propulsores de cohete y robots de dos llantas [3].

*El objetivo de este artículo es resolver el problema de estabilización en la posición invertida inestable del péndulo mediante un controlador óptimo haciendo uso del modelo físico CAD/Diseño asistido por computadora del péndulo fabricado por Quanser© desarrollado con el toolbox Simscape™ en MATLAB. Simscape provee un ambiente de simulación multicuerpo para sistemas mecánicos en 3D, de tal manera que el usuario puede tener una representación simulación tridimensional del sistema que le permita ver el comportamiento esperado en una plataforma real. Se puede modelar sistemas utilizando bloques que representan cuerpos, uniones, delimitaciones, elementos de fuerza y sensores. Además, permite formular y resolver las ecuaciones de movimiento para un sistema mecánico completo, permitiendo todo esto tener un modelo que se aproxime de una mejor manera a un sistema real [4].*

### 1. Modelo dinámico y definición del problema

#### 1.1 Modelo Dinámico

La planta bajo estudio es un sistema que consiste de un péndulo invertido conectado a un brazo horizontal rotacional (ver fig. 1). El modelo no-lineal de la parte mecánica es obtenido a través de las ecuaciones de Euler-Lagrange como sigue [4]:

$$\left( m_p L_r^2 + \frac{1}{4} m_p L_p^2 - \frac{1}{4} m_p L_p^2 \cos^2(\alpha) + J_r \right) \ddot{\theta} - \frac{1}{2} m_p L_p L_r \cos(\alpha) \ddot{\alpha} + \frac{1}{2} m_p L_p^2 \sin(\alpha) \cos(\alpha) \dot{\theta} \dot{\alpha} + \frac{1}{2} m_p L_p L_r \sin(\alpha) \dot{\alpha}^2 = \tau - B_r \dot{\theta}, \quad (1)$$

$$-\frac{1}{2} m_p L_p L_r \cos(\alpha) \ddot{\theta} + \left( \frac{1}{4} m_p L_p^2 + J_p \right) \ddot{\alpha} - \frac{1}{4} m_p L_p^2 \sin(\alpha) \cos(\alpha) \dot{\theta}^2 - \frac{1}{2} m_p L_p g \sin(\alpha) = -B_p \dot{\alpha} \quad (2)$$

donde el brazo tiene una longitud  $L_r$ , un momento de inercia  $J_r$ , un ángulo  $\theta$ , una fricción viscosa  $B_r$ ,  $u$  es el voltaje aplicado al servomotor, el péndulo tiene una longitud  $L_p$ , un momento de inercia  $J_p$ , una masa  $m_p$ , un coeficiente de amortiguamiento  $B_p$  y un ángulo del péndulo invertido  $\alpha$ .  $g$  es la constante de gravedad,  $\dot{\theta}$  y  $\ddot{\theta}$  representan la primera y segunda derivada temporal. El torque generado por el motor  $\tau$  es aplicado en la base del brazo rotacional y es descrito por:

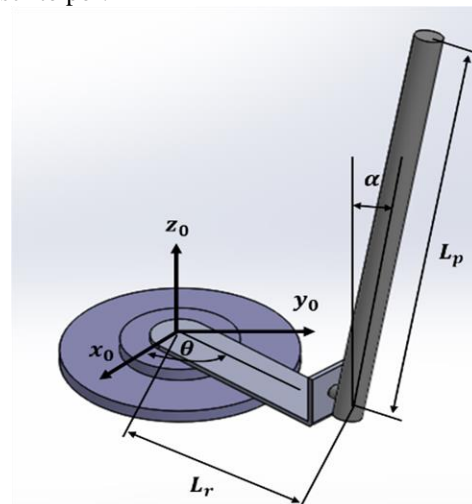
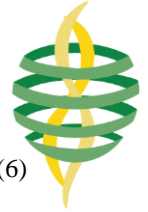


Figura 1. Convenciones para el péndulo rotacional invertido





$$\tau = \frac{K_g k_t (u - K_g k_m \dot{\theta})}{R_m} \quad (3)$$

donde  $K_g$  es la relación de engranaje,  $k_t$  la constante de corriente torque del motor,  $k_m$  es la constante del motor y  $R_m$  es la resistencia del motor.

### 1.2 Definición del problema

El problema de control de balanceo del péndulo rotacional invertido consiste en diseñar una ley de control, tal que cumpla con los siguientes requerimientos:

La deflexión del ángulo del péndulo cumpla con  $|\alpha| < 10$  grados y el valor máximo del voltaje cumpla con  $|u| < 10$  V. Las especificaciones anteriores deberán ser satisfechas cuando el brazo rotacional está siguiendo una señal de referencia cuadrada con un ángulo  $\theta$  de  $\pm 20$  grados.

## 2. Diseño del controlador

### 2.1 Modelo lineal del péndulo de Furuta

Con el fin de diseñar el controlador óptimo, obtendremos un modelo lineal del péndulo invertido rotacional. Utilizando el truncamiento de las series de Taylor [5] alrededor del origen para el sistema expresado por ecuaciones (1) -(2) con condiciones iniciales igual a cero y resolviendo para los términos de aceleración, obtenemos:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{J_T} \left( - \left( J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \right) B_r \dot{\theta} - \frac{1}{2} m_p L_p L_r B_p \dot{\alpha} \right) + \frac{1}{J_T} \left( \frac{1}{4} m_p^2 L_p^2 L_r g \alpha + \left( J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \right) \tau \right) \quad (4)$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{1}{J_T} \left( \frac{1}{2} m_p L_p L_r B_r \dot{\theta} - (J_r + m_p L_r^2) B_p \dot{\alpha} \right) + \frac{1}{J_T} \left( \frac{1}{2} m_p L_p g (J_r + m_p L_r^2) \alpha + \frac{1}{2} m_p L_p L_r \tau \right) \quad (5)$$

donde  $J_T = J_p m_p L_r^2 + J_r J_p + \frac{1}{4} J_r m_p L_p^2$ .

Expresando las ecuaciones (4) y (5) en la forma de espacio des estados tenemos:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (6)$$

donde  $x^T = [\theta \ \alpha \ \dot{\theta} \ \dot{\alpha}]$  es el vector de estados,  $u$  es la entrada de control,  $A, B, C$  y  $D$  son las matrices del espacio de estados dadas en ecuación (7).

$$A = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} 0 & 0 & J_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_r \\ 0 & \frac{1}{4} m_p^2 L_p^2 L_r g & \left( -B_r - \frac{K_g^2 k_t k_m}{R_m} \right) \left( J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \right) & -\frac{1}{2} m_p L_p L_r B_p \\ 0 & \frac{1}{2} m_p L_p g (J_r + m_p L_r^2) & \left( B_r - \frac{K_g^2 k_t k_m}{R_m} \right) \left( \frac{1}{2} m_p L_p L_r \right) & -(J_r + m_p L_r^2) B_p \end{bmatrix}$$

$$B = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_g k_t}{R_m} \left( J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \right) \\ \frac{K_g k_t}{2R_m} m_p L_p L_r \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

### 2.2 Control lineal óptimo

El controlador está definido como

$$u = -Kx. \quad (8)$$

La ecuación de lazo cerrado del sistema es:

$$\dot{x} = (A - BK)x. \quad (9)$$

Entonces el problema es diseñar el vector de ganancias  $K$  tal que  $A < BK$  para que el sistema sea estable y que la solución tienda de manera asintótica a la referencia propuesta. El vector  $K$  es calculado minimizando la siguiente función de costo:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (10)$$

donde  $Q$  y  $R$  son matrices para penalizar a las variables de estado y a las acciones de control. Seleccionando  $Q$  y  $R$  como:

$$Q = \begin{bmatrix} 5.3859 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 86.1741 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad R = 0.0460 \quad (11)$$

por lo tanto, el vector de ganancias  $K$  es:

$$K = [-10.8206 \quad 67.2905 \quad -6.1728 \quad 7.1159]. \quad (12)$$



### 3. Resultados

En esta sección se demostrará a través de simulaciones numéricas la efectividad del control diseñado utilizando el modelo matemático desarrollado con el toolbox de Simscape™, en Simulink™-Matlab® (ver fig. 2).

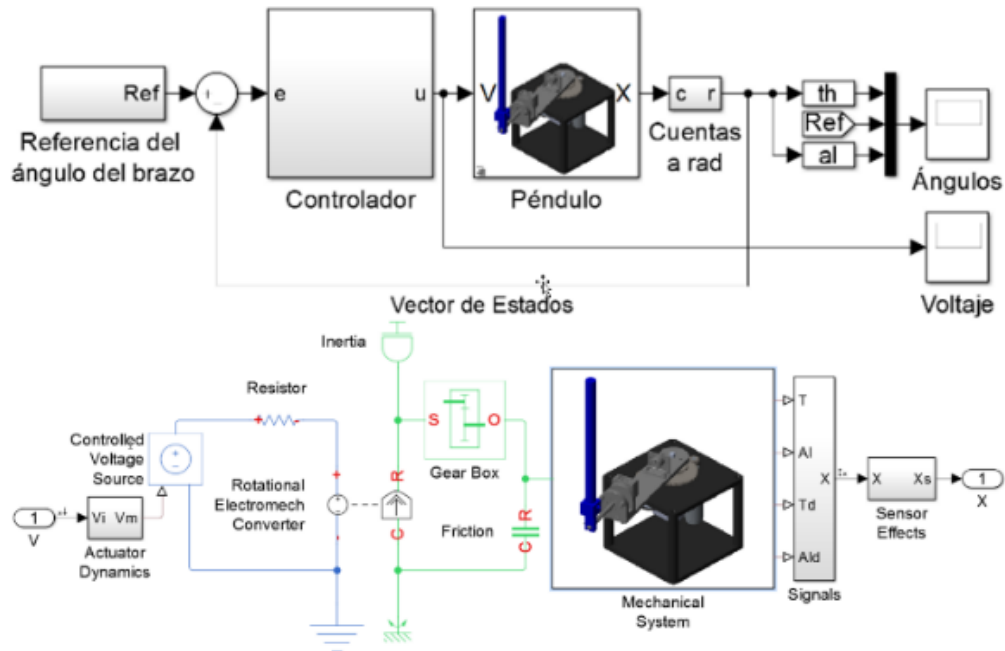


Figura 2. Modelo Matemático con de Simscape

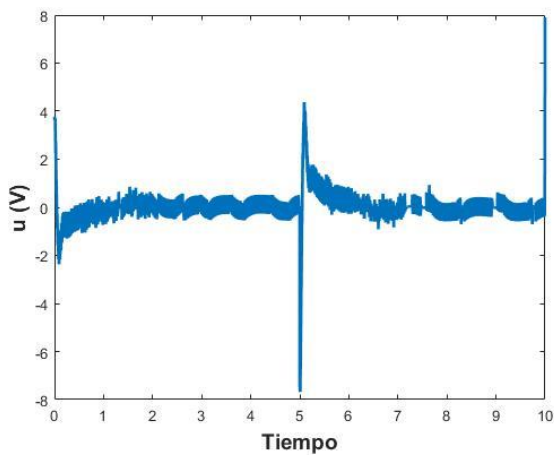


Figura 3. Entrada de control

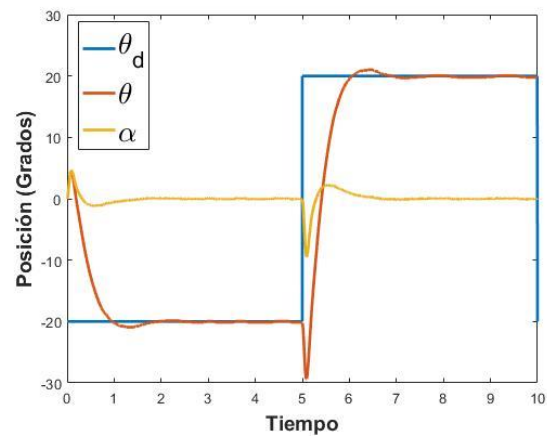


Figura 4. Posición del brazo deseada ( $\theta_d$ ), posición del brazo real ( $\theta$ ) y posición del péndulo ( $\alpha$ ).



Las velocidades de los ángulos del servo y el péndulo son calculadas tomando la derivada y filtrando el resultado a través de un filtro pasa-altas. La señal de referencia  $\theta_d$  es una onda cuadrada de 0.1 Hz. El brazo del péndulo debe mantenerse en la posición vertical mientras se sigue  $\theta_d$ . La posición inicial del péndulo es la posición vertical invertida.

En la fig. 3 se presenta la entrada de voltaje aplicada. Se observa que la entrada cumple con  $|u| < 10$  V. En la fig. 4 se presentan la referencia del brazo  $\theta_d$ , el valor real del mismo  $\theta$  y la posición del péndulo  $\alpha$ . Se puede observar que mientras se sigue la referencia de  $\pm 20$  grados, el brazo del péndulo se mantiene en su posición vertical cumpliendo con  $|\alpha| < 10$  grados.

#### 4. Conclusiones

El problema de diseño de un controlador de balanceo para el péndulo invertido rotacional se abordó en este artículo. Se resolvió el problema de estabilización en la posición invertida inestable del péndulo mientras se sigue la señal de referencia de entrada, mediante el diseño de un controlador lineal cuadrático óptimo. El regulador óptimo cuadrático fue diseñado, tal que, el sistema no perturbado es estable alrededor de la posición invertida inestable, mientras que la energía de la señal de entrada es apropiada. Los resultados fueron obtenidos utilizando un modelo del péndulo rotacional invertido desarrollado con el toolbox Simscape™, el cual provee un ambiente de simulación multicuerpo para sistemas mecánicos. El uso del toolbox de Simscape™ en conjunto con Simulink™ nos permitió tener una simulación en 3D

del sistema real. Se cumplieron con las especificaciones de diseño de manera satisfactoria.

#### Referencias

- [1] Yan Q., "Output Tracking of Underactuated Rotary Inverted Pendulum by Nonlinear Controller", *Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control*, Vol. 3, pp. 2395–2400, 2003. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.451.4866&rep=rep1&type=pdf>
- [2] Reyhanoglu M., Mcclamroch y Kolmanovsky I., "Dynamics and Control of a Class of Underactuated Mechanical Systems", *IEEE Trans. on A. C.*, Vol. 44, pp. 1663–1671, 1999. <https://doi.org/10.1109/9.788533>
- [3] Boubaker O., "The Inverted Pendulum: A Fundamental Benchmark in Control Theory and Robotics", *IEEE International Conference on Education and e-Learning Innovations*, pp. 1–6, 2012. <https://doi.org/10.1109/ICEELI.2012.6360606>
- [4] Tejado I. and Torres D., "Physical Modeling Based Simulators to Support Teaching in Automatic Control: the Rotatory Pendulum", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49(6), pp.75–80, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.156>
- [5] Pierre, R., "Control Engineering a Modern Approach", Sanders College Publishing, 1995. <http://downloads.hindawi.com/journals/specialissues/508/979.pdf>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:*

*Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.*

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)



# Influencia del grupo alcoxi en la síntesis de óxido cobaltosico para la reducción de óxidos de nitrógeno

## *Influence of the alkoxy group on the synthesis of cobaltosic oxide for the reduction of nitrogen oxides*

Quintana Melgoza Juan Manuel , Flores Sánchez Luis Antonio 

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, C.P. 22390. Tijuana, Baja California, México

**Autor de correspondencia:** Juan Manuel Quintana Melgoza, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional C.P. 22390. Tijuana, Baja California, México. E-mail: [quintana@uabc.edu.mx](mailto:quintana@uabc.edu.mx). ORCID: 0000-0002-3738-0612

**Recibido:** 20 de Septiembre del 2017 **Aceptado:** 23 Noviembre del 2017 **Publicado:** 01 de Enero del 2018

**Resumen.** - Presentamos una nueva metodología para la síntesis de óxido cobaltosico ( $Co_3O_4$ ). Los materiales se prepararon haciendo reaccionar alcoholes de un carbono ( $C_1$ ) a cuatro carbonos ( $C_4$ ) de cadena lateral con sodio metálico y nitrato de cobalto hexahidrato, respectivamente a  $600\text{ }^\circ\text{C}$  con flujo de helio. Como efecto de los hidrocarburos de cadena larga,  $C_4$  es el mejor precursor de  $Co_3O_4$ , debido a su área superficial más alta que la obtenida por precursores  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ . Y todos los catalizadores alcanzaron la conversión de  $NO$  a  $400\text{ }^\circ\text{C}$  en el intervalo de  $69.9\%$  a  $97.5\%$ . Los materiales se caracterizaron por difracción de rayos X (XRD), tamaño promedio de los cristales, área superficial, espectroscopia de dispersión de energía (EDS) y microscopía electrónica de barrido (SEM).

**Palabras clave:** Óxido Cobaltosico; Alcoholes; Área Superficial; Reducción de Óxido Nítrico.

**Abstract.** - We present a new methodology for cobaltosic oxide ( $Co_3O_4$ ) synthesis. The materials were prepared by reacting alcohols of one-carbon ( $C_1$ ) to four-carbons ( $C_4$ ) of lateral chain with metallic sodium and cobalt nitrate hexahydrate, respectively at  $600\text{ }^\circ\text{C}$  under helium stream. As effect of long chain hydrocarbons,  $C_4$  is the best precursor of  $Co_3O_4$ , because of its higher surface area than the obtained by  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  precursors. And all the catalysts achieved  $NO$  conversion at  $400\text{ }^\circ\text{C}$  in the range of  $69.9\%$  to  $97.5\%$ . The materials were characterized by X-ray diffraction (XRD), average crystal size, surface area, energy dispersive spectroscopy (EDS), and scanning electron microscopy (SEM).

**Keywords:** Cobaltosic Oxide;  $C_1$ - $C_4$  Alcohols; Surface Area; Nitric Oxide Reduction.





## 1. Introducción

La estructura tipo espinela de  $\text{Co}_3\text{O}_4$  se ha estudiado en sus posibles aplicaciones como depósito sobre películas semiconductoras y ferromagnéticas [1], soporte en la mezcla  $\text{CuO}/\text{Co}_3\text{O}_4$  para la producción de hidrógeno [2], como soporte en el sistema  $\text{TiO}_2/\text{Co}_3\text{O}_4$  para la degradación compuestos orgánicos tóxicos presentes en agua [3], como soporte catalítico de óxido de cerio  $\text{CeO}_2/\text{Co}_3\text{O}_4$  para la oxidación de CO [4]. Además, se han reportado algunos métodos para la síntesis de  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , por ejemplo: descomposición térmica del hidrato de cobalto [1, 3], co-precipitación [2], impregnación húmeda incipiente de  $\text{Co}_3\text{O}_4$  en un soporte catalítico [5], precipitación [6], sol-gel [3] e hidrotérmico [7]. Como podemos ver en este trabajo, la síntesis de óxidos de cobalto por reacción de desplazamiento de Na por Co, seguido de tratamiento térmico se puede obtener  $\text{Co}_3\text{O}_4$  por un método fácil, barato y con posible actividad en la reducción de óxido nítrico NO con monóxido de carbono CO, los contaminantes mayoritarios del aire (72 %) [8].

El objetivo de este trabajo es sintetizar  $\text{Co}_3\text{O}_4$  por reacción de desplazamiento de Na por Co en metóxido de Na, etóxido de Na, propóxido de Na y butóxido de Na, seguido de tratamiento térmico para obtener 4 materiales con actividad variable en la reducción de NO con CO a  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2$ .

## 2. Metodología

### 2.1. Síntesis de óxidos de cobalto

Los óxidos de cobalto se sintetizan a partir de 3.0 g de los compuestos: metóxido, etóxido, propóxido y butóxido de cobalto a  $600\text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente, durante 1 h en flujo de helio a  $20\text{ mL}/\text{min}$ . Los materiales obtenidos se etiquetan como catalizadores:  $\text{Co}_1$ ,  $\text{Co}_2$ ,  $\text{Co}_3$  y  $\text{Co}_4$ .

### 2.2. Caracterización del material

La composición elemental y estructura morfológica de las partículas sintetizadas se analizan por EDS y SEM en un JEOL 5300. Las muestras se recubren con oro para evitar los efectos de acumulación de carga sobre la superficie. XRD se utiliza para identificar las fases cristalinas y para medir sus tamaños de cristal, para

ello, se emplea un difractor Philips con radiación  $\text{Cu}_{K\alpha}$  ( $40\text{ kV}$ ,  $30\text{ mA}$ ), con una longitud de onda de  $0.154\text{ nm}$ . Las fases cristalinas se corroboran en la base de datos cristalográficos JCPDS-ICDD de difracción de polvo [9]. El tamaño promedio cristalino de los catalizadores  $\text{Co}_1$ ,  $\text{Co}_2$ ,  $\text{Co}_3$  y  $\text{Co}_4$  se estima a partir del ancho medio de pico (311), respectivamente, utilizando un análisis estándar de Scherrer [10]. La superficie se mide con un equipo Gemini 2360 de Micromeritics por adsorción de  $\text{N}_2$  a  $-196\text{ }^\circ\text{C}$  utilizando la isoterma BET [11].

## 3. Resultados

### 3.1. Difracción por rayos-X

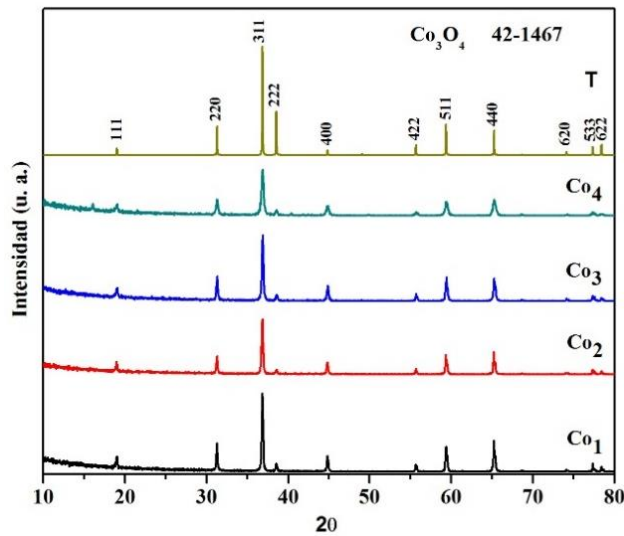
En la Figura 1 se presenta los patrones por XRD del material  $\text{Co}_1$ ,  $\text{Co}_2$ ,  $\text{Co}_3$  y  $\text{Co}_4$  y el patrón por XRD de  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (T) de referencia cristalográfica en la base de datos JCPDS-ICDD 42-1467 [9]. Como se puede ver, la concordancia de señales entre los espectros de síntesis  $\text{Co}_1 - \text{Co}_4$  y reportado T es excelente y conduce a la confirmación de la fase cristalina de  $\text{Co}_3\text{O}_4$  sintetizado. En la Figura 2 se muestra la celda unitaria cúbica centrada de cara del  $\text{Co}_3\text{O}_4$  tipo espinela normal, simulada en el programa PCW versión 2.4 [12].

### 3.1. Características de los cristales $\text{Co}_3\text{O}_4$

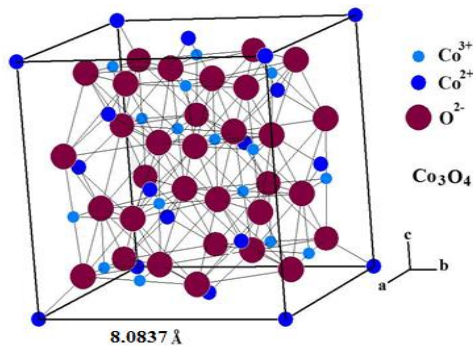
El tamaño cristalino, el área superficial, el tamaño de partícula y la actividad catalítica en la reducción de NO con CO en relación  $\text{NO}/\text{CO} = 1/5$  a  $400\text{ }^\circ\text{C}$  correspondiente a los materiales sintetizados se muestran en Tabla 1. Los resultados de área superficial, tamaño de cristal y actividad catalítica son consistentes con la longitud de la cadena del grupo alquilo de 1 carbono a 4 carbonos usando metanol, etanol, propanol, butanol como intermediarios de cadena lateral para la síntesis de  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . Porque al aumentar el número de carbonos en el precursor de  $\text{Co}_3\text{O}_4$  se obtiene catalizadores más activos, con mayor área y con menor tamaño cristalino en el siguiente orden:  $\text{Co}_1 < \text{Co}_2 < \text{Co}_3 < \text{Co}_4$ , tal como se indica en la Tabla 1. Las etapas del mecanismo para la reducción catalítica de NO con



CO a CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> sobre la superficie de Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (ads) se propone en el esquema 1 de reacciones parciales.



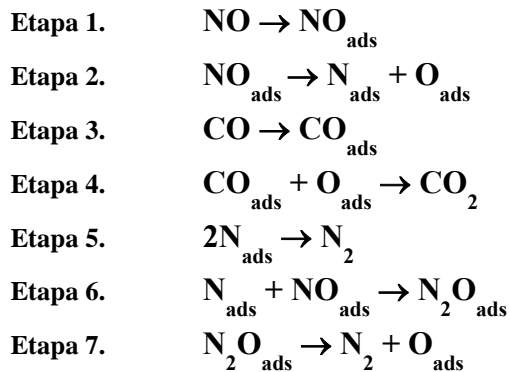
**Figura 1.** Patrones por XRD indexados de los materiales Co<sub>1</sub>, Co<sub>2</sub>, Co<sub>3</sub>, Co<sub>4</sub> sintetizados en este trabajo y Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> reportado (T) en JCPDS-ICDD 42-1467 [9].



**Figura 2.** Celda unitaria cubica centrada de cara del Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tipo espinela normal.

**Tabla 1** Tamaño de cristal (C<sub>XRD</sub>), área superficial (S<sub>BET</sub>), tamaño de partícula (P<sub>SEM</sub>) y grado de conversión de NO (%) determinado en los materiales sintetizados (M).

M	C <sub>XRD</sub> Å	S <sub>BET</sub> m <sup>2</sup> /g	P <sub>SEM</sub> µm	Conversión NO 400 °C (%)
Co <sub>1</sub>	1580	2.2	2.35x1.58	69.9
Co <sub>2</sub>	1250	3.9	4.90x3.94	74.5
Co <sub>3</sub>	947	8.6	0.44x0.33	78.5
Co <sub>4</sub>	429	17.1	3.22x2.47	97.5



**Esquema 1.** Reacciones parciales de la reducción catalítica de NO con CO a los productos CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>.

#### 4. Conclusiones

Se confirmó la síntesis de Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> por variación de la cadena lateral desde 1 carbono a 4 carbonos, obteniéndose materiales a base cobalto Co<sub>1</sub>, Co<sub>2</sub>, Co<sub>3</sub> y Co<sub>4</sub> con diferencias físicas significativas en área superficial (2.2 – 17.1) m<sup>2</sup>/g, tamaño de cristal (1580 – 429) Å y actividad (69.9 – 97.5) %, en ese orden. Por lo anterior, se recomienda el método de 4 carbonos para sintetizar Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con mejor actividad en la reducción de NO con CO a N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> con potencial aplicación para control de NO<sub>x</sub> industrial.

#### 5. Agradecimientos



Los autores agradecen la financiación de esta investigación con los proyectos 300/1377, 300/1474 y 300/6/N/84/19 de las convocatorias internas UABC. Además, se agradece a UABC y CNYN por proporcionar soporte de laboratorio en síntesis y caracterización de los materiales. Estamos muy agradecidos con M. en C. Martha Eloísa Aparicio Ceja, M. en C. Israel Gradilla Martínez, Antonio Gómez y Gabriela Díaz por sus contribuciones a este trabajo de investigación.

## Referencias

- [1] Shuxiang M., Zhanpeng W., Yue W., Shengli Q., Xiaoping Y., Dezhen W. "Formation and characterization of cobalt oxide layers on polyimide films via surface modification and ion-exchange technique," *Thin Solid Films* vol. 518, pp. 4175-4182, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2009.12.004>
- [2] Yusuke Y., Kentaro Y., Qiang X. and Shunichi F. "Cu/Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles as Catalysts for Hydrogen Evolution from Ammonia Borane by Hydrolysis," *J. Phys. Chem. C* vol. 114, pp.16456-16462, 2010. <https://doi.org/10.1021/jp104291s>
- [3] Alanís R. and Jiménez J. "Titanium Oxide Modification With Oxides of Mixed Cobalt Valence for Photocatalysis," *J. Mex. Chem. Soc.* Vol. 54(3), pp. 164-168, 2010. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-249X2010000300007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2010000300007&lng=en&nrm=iso)
- [4] Chih T., Ming K., Chin L., Chen W., Shu C. "Evaluation of carbon monoxide oxidation over CeO<sub>2</sub>/Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> catalysts: Effect of ceria loading," *Catalysis Today*. Vol. 131, pp. 520-525 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2007.10.026>
- [5] Rausch K., Steen., V., Roessner F. "New aspects for heterogeneous cobalt-catalyzed hydroamination of ethanol," *Journal of Catalysis*. Vol. 253, pp. 111-118, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2007.10.013>
- [6] Wu H., Pantaleo G., Di Carlo G., Guo S., Marci G., Concepción P., Venezia. M. and Liotta F. "Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> particles grown over nanocrystalline CeO<sub>2</sub>: influence of precipitation agents and calcination temperature on the catalytic activity for methane oxidation". *Catal. Sci. Technol.* Vol. 5, pp. 1888-1901, 2015. <https://doi.org/10.1039/C4CY01158A>
- [7] Sun S., Zhao X., Yang M., Ma L. and Shen X. "Facile and Eco-Friendly Synthesis of Finger-Like Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanorods for Electrochemical Energy Storage," *Nanomaterials* vo. 5, pp. 2335-2347, 2015. <https://doi.org/10.3390/nano5042335>
- [8] National Emissions Inventory (2008) version 2 U.S. Environmental Protection Agency 2012, North Carolina. <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2008-national-emissions-inventory-nei-data>
- [9] Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS)-International Centre for Diffraction Data. (ICDD). 15-0755, 44-1159, 43-1035, 1996. <https://www.icdd.com/>
- [10] Cullity D. Elements of X-ray Diffraction, second edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Notre Dame, Indiana, U.S.A. 1978. <https://www.pearson.com/us/higher-education/product/Cullity-Elements-of-X-Ray-Diffraction-2nd-Edition/9780201011746.html>
- [11] Brunauer S., Emmett P. H. and Teller E. "Adsorption of Gases in Multimolecular Layers," *J. Amer. Chem. Soc.*, vol. 60, pp. 309-319, 1938. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>
- [12] W. Kraus and G. Nolse. Federal Institute for Materials Research and Testing Rudower Chausse 5, 12489 Berlin, Germany. Powder Cell for Windows version 2.4. 2000. [http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/powdcell/a\\_v/v\\_1/powder/e\\_cell.html](http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/powdcell/a_v/v_1/powder/e_cell.html)



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento—remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)



# Coeficiente de arrastre de modelos circulares y cuadrados instalados en túnel de viento de ECITEC

## *Drag coefficient of circular models and squares installed in ECITEC wind tunnel*

Morales Contreras Oscar Adrián , Paz González Juan Antonio ,  
Hernández Martínez Emilio , Cortes Rodríguez María, Luna Serrano Gleen

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y la Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California. Boulevard universitario #1000, Unidad Valle de las Palmas, C.P.21500, Tijuana, Baja California, México.

**Autor de correspondencia:** Oscar Adrián Morales Contreras, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y la Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California. Boulevard universitario #1000, Unidad Valle de las Palmas, C.P.21500, Tijuana, Baja California, México. E-mail: [moraleso97@uabc.edu.mx](mailto:moraleso97@uabc.edu.mx). ORCID: 0000-0003-0118-8132

**Recibido:** 05 de Junio del 2017      **Aceptado:** 15 de Diciembre del 2017      **Publicado:** 01 de Enero del 2018

**Resumen.** - *Se determinó el coeficiente de arrastre con el prototipo construido en el laboratorio de fluidos de ECITEC, el cual está constituido por una báscula y un soporte de acero al que se fijan los modelos cuadrados y circulares que se instalan en el túnel de viento subsónico de ECITEC. Con los datos obtenidos se obtuvieron valores para el coeficiente de arrastre de entre 1.3 a 1.6 para los modelos analizados con un Reynolds con rango de 106367 a 221954.*

**Palabras clave:** Túnel de Viento; Coeficiente de Arrastre; Flujo Turbulento; Perfil de Velocidad; Tubo Pitot.

**Abstract.** - *The coefficient of drag was determined with the prototype built in the ECITEC fluid laboratory, which consists of a scale and a steel support to which are fixed the square and circular models that are installed in the subsonic wind tunnel of ECITEC. With the data obtained, values for the drag coefficient of 1.3 to 1.6 were obtained for the models analyzed with a Reynolds with a range of 106367 to 221954.*

**Keywords:** Wind Tunnel; Drag Coefficient; Turbulent Flow; Speed Profile, Pitot Probe.





## 1. Introducción

El arrastre es la fuerza sobre un cuerpo ocasionada por el impacto de un fluido en movimiento. Las aplicaciones más familiares que requieren el estudio del arrastre se dan en el campo del transporte. La resistencia al viento es el término que se emplea con frecuencia para describir los efectos del arrastre sobre las aeronaves, automóviles, camiones y trenes [1]. La fuerza de arrastre se expresa como:

$$F_D = C_D A \left( \frac{\rho u^2}{2} \right) \quad (1)$$

Dónde:  $F_D$  es la fuerza de arrastre,  $C_D$  es el coeficiente adimensional de arrastre,  $\rho$  es la densidad del fluido,  $A$  es el área del objeto que choca contra el fluido y finalmente  $u$  es la velocidad promedio [1]. El estudio clásico de coeficiente de arrastre se realiza en objetos de formas sencillas y regulares tales como placas, esferas, prismas y cilindros. En la figura 1 se muestran los resultados obtenidos por Anderson [2], donde se observa el comportamiento del coeficiente en esferas y cilindros a medida que fluye aire alrededor de los mismos, y puede apreciarse que el valor del coeficiente disminuye si el número de Reynolds aumenta.

Para determinar el coeficiente de arrastre debe medirse la fuerza de arrastre, para esto se utiliza el instrumento conocido como dinamómetro; sin embargo, la aplicación de modelos comerciales en estudios experimentales es complicada debido a las especiales consideraciones a tomar para su instalación en una zona de pruebas, es por esto que los investigadores se dan a la tarea de construir prototipos para medir la fuerza de arrastre en modelos instalados en túneles de viento. Un estudio reciente que trata esta problemática es el realizado por Ortega [3], quien construyó un sistema de medición de fuerza de arrastre mediante el uso de un sensor analógico, y analizó el flujo de aire sobre prismas rectangulares, los modelos tienen diferentes relaciones de aspecto  $D/L = 0.6, 0.8$  y  $1$ , como se muestra en la figura 2 para Reynolds = 30000. Los resultados para el coeficiente de arrastre

encontrado fueron  $C_D = 2.92, 2.55$  y  $2.22$  respectivamente.

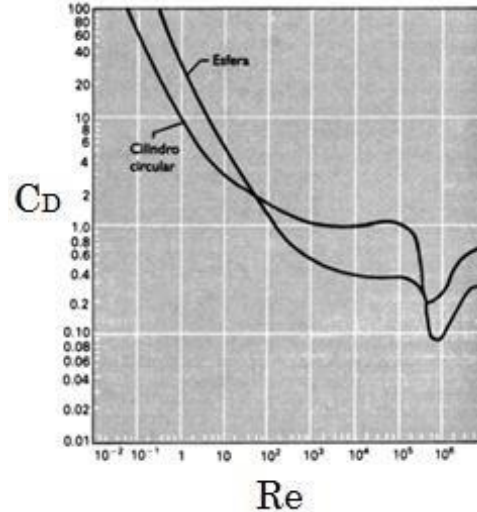


Figura 1. Coeficiente de arrastre [2].

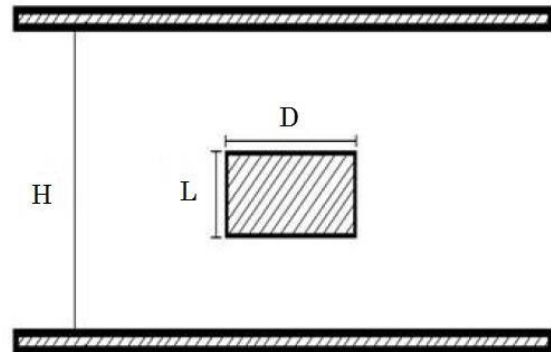


Figura 2. Nomenclatura de experimento [3].

Otro trabajo de investigación que atendió este tópico es el realizado por Rojas [4], quien determinó experimentalmente el coeficiente de arrastre sobre un modelo de un autobús que se construyó a escala de  $1/16$  y se probó en un túnel de viento bajo un régimen de flujo de  $170000 < Re < 340000$ . Para determinar la fuerza de arrastre Rojas construyó un dispositivo de hilo metálico de  $0.1$  mm de diámetro del cual se sujetó el modelo a escala, el hilo transmitió la fuerza hacia una palanca ubicada sobre el suelo por medio de una polea, la palanca transmitía la presión a la balanza electrónica a lo que equivalía la fuerza con la que el fluido arrastra al vehículo a escala, tal como se observa en la figura 3. Rojas indica que



al incrementar el Reynolds se incrementa

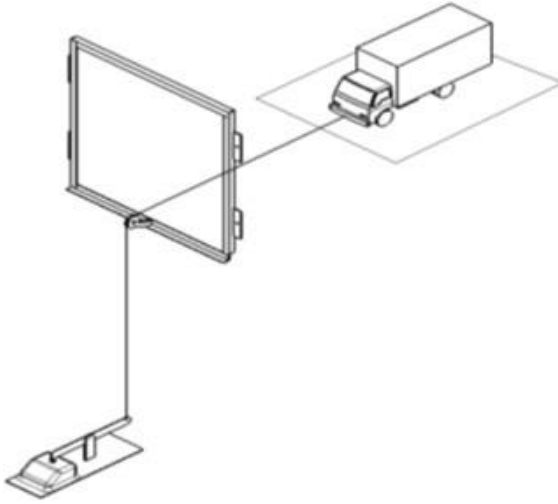


Figura 3. Modelo experimental [4].

Un trabajo más que analiza el coeficiente de arrastre es el realizado por Moreno [5] quien utilizó una báscula unida a un par de brazos de acero soportados sobre cuchillas en ejes perpendiculares y paralelos al eje central del túnel de viento. Los brazos de la balanza cuentan con una graduación que muestra las mediciones de la fuerza que se ejercen sobre cada uno de los modelos instalados en el instrumento. De sus resultados Moreno concluye que un modelo en forma circular tiene un coeficiente de arrastre igual a 1.8 para un flujo turbulento con  $Re = 13500$  mientras que una esfera tendrá un coeficiente 9 veces menor para un  $Re > 50000$ . Por otro lado, existen compañías que desarrollan prototipos didácticos para determinar el coeficiente de arrastre como Armfield [6], Didactic [7] y Tecquipment [8], sin embargo, no presentan especificaciones técnicas de los modelos, solo se explica el funcionamiento general de los equipos y sus costos.

## 1. Metodología

En esta investigación se determinó el coeficiente de arrastre para modelos con forma circular y cuadrada, cuyas dimensiones se indican en la tabla 1. Los modelos utilizados se muestran en la figura 4 y se construyeron en la máquina de impresión 3D instalada en el laboratorio de metrología de ECITEC, las especificaciones

geométricas de los modelos se generan con el software SolidWorks versión 2016.

Tabla 1. Matriz experimental.

Modelo/Resultado	Fuerza de arrastre	Perfiles de velocidad
<b>Circular</b> $\text{Ø}1 = 0.1\text{m}$ $\text{Ø}2 = 0.15\text{m}$	Prototipo	Tubo pitot
<b>Cuadrado</b> $l1 = 0.09\text{m}$ $l2 = 0.13\text{m}$	Prototipo	Tubo pitot

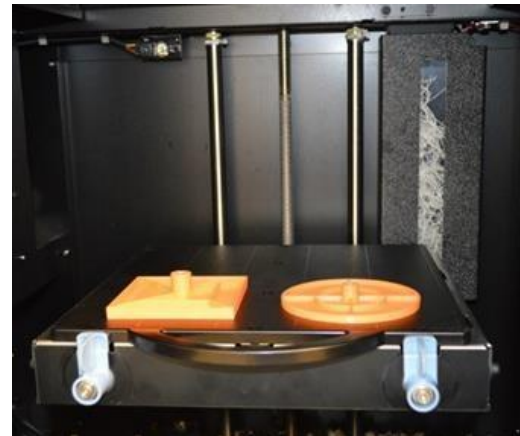


Figura 4. Modelos impresos en máquina 3D

El prototipo se instaló en la zona de pruebas del túnel de viento de ECITEC mostrada en la figura 5, la cual tiene 1m de longitud y una sección transversal de 0.3 m por lado, está construida de acrílico de 0.009 m de espesor. Los modelos se instalan en dos posiciones diferentes en el interior de la zona pruebas, el primer caso al 50 % de la distancia del ancho de la zona de pruebas ( $w/2$ ) y el segundo al 25% ( $w/4$ ).

El medidor de fuerza construido se muestra en la figura 6, y está constituido por: a) una báscula digital de 0.15 x 0.10 x 0.03m, que tiene una capacidad máxima de 150kg, una graduación de 0.05 kg y una exactitud en la medición de +/- 0.15% de su capacidad total, b) disco de



policarbonato de 0.135 m de diámetro, que permite fijar el sistema a la zona de pruebas y c) varilla roscada de acero de 0.0047 m de diámetro que se utiliza para soportar los modelos con una longitud de 0.3 m.

El disco fue maquinado en el taller de ECITEC, como se muestra en la figura 7.

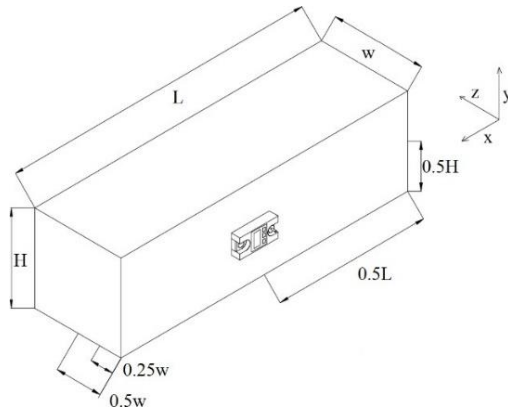


Figura 5. Zona de pruebas para experimento.

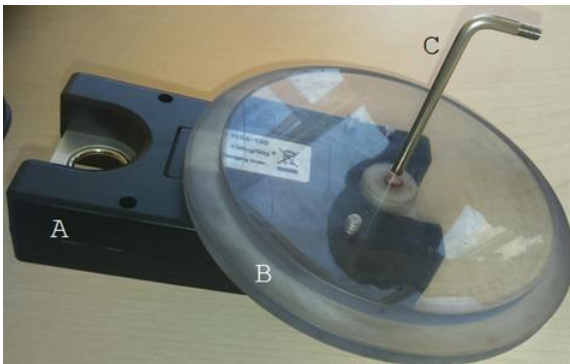


Figura 6. Medidor de fuerza.



Figura 7. Maquinado de disco soporte.

Para medir la velocidad ( $u_x$ ) en el interior del túnel de viento se utiliza un tubo pitot y un anemómetro digital de la marca Extech con una resolución de 1 Pa, y una precisión de  $\pm 0.3\%$  de la escala total. Los valores de presión dinámica ( $\Delta P$ ) obtenidos se sustituyen en la ecuación de Bernoulli aplicada a dos puntos en el interior del túnel de viento, que al combinarla con la ecuación de continuidad se tiene:

$$u_x = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (4)$$

Para obtener la velocidad promedio en el interior del túnel se determina la velocidad en 25 tomas diferentes las cuales se distribuyen a lo largo de la sección transversal basados en lo indicado por Shan [7].

Los diferentes valores de velocidad obtenidos se promedian utilizando la ecuación recomendada por Figliola [8]:

$$u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (5)$$

Este valor a su vez se usa para calcular la desviación estándar de la muestra:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (u_i - u)^2} \quad (6)$$

Dónde:  $u_i$  son las mediciones individuales,  $N$  es el número de mediciones individuales (muestra), y  $u$  es el valor promedio.

El valor verdadero  $u'$  representa el valor más probable de la velocidad y se expresa como:

$$u' = u \pm t_v S_x \quad (P\%) \quad (7)$$

Dónde:  $t_v S_x$  representa un intervalo de precisión y  $P\%$  es la probabilidad asignada, es decir, la probabilidad dentro de la cual se esperaría que cualquier valor sea medido, para este trabajo  $P = 95.45\%$ . La variable  $t_v S_x$  se llama estimador, y



tiene un valor de 2.01, tomado de la distribución T de Student [8].

Para determinar la densidad del aire ( $\rho$ ) en el interior del túnel de viento se utiliza la ecuación de gas ideal como lo indican Becerra y Guardado [9], y se indica a continuación:

$$\rho = \frac{P Ma}{ZRT} \left[ 1 - X_v \left( 1 - \frac{Mv}{Ma} \right) \right] \quad (8)$$

Dónde  $\rho$  es la densidad del aire, P es la presión absoluta, Ma es la masa molar de aire húmedo, Mv es la masa molar de agua, Z es el factor de compresibilidad, R es la constante universal de gas ideal, T es la temperatura absoluta y  $X_v$  es la fracción molar de vapor de agua.

El régimen de flujo se determina utilizando la ecuación de Reynolds [1], la cual es:

$$Re = \frac{\rho \phi u}{\mu} \quad (9)$$

Dónde:  $\rho$  es la densidad del aire,  $\phi$  es el diámetro o ancho del modelo dependiendo si es círculo o cuadrado, u es la velocidad promedio del fluido y  $\mu$  es la viscosidad dinámica del aire.

Las condiciones atmosféricas son medidas con la estación meteorológica Vantage pro2 instalada en ECITEC, para la presión atmosférica se tiene una resolución de 0.1 mb y precisión nominal de 1 mb, para la temperatura se tiene una resolución de 0.1°C y precisión nominal de 0.5 °C, y para la humedad se tiene una resolución de 1 % y precisión nominal de 5 %.

Finalmente se determina el perfil de velocidad en la parte posterior de los modelos para analizar la influencia de los mismos en el comportamiento del flujo. El perfil de velocidades se establece a una distancia de 0.55 L en la zona de pruebas.

## 2. Resultados

En la figura 8 se muestra el prototipo de medición de fuerza instalado en la zona de pruebas con un

modelo cuadrado colocado a una distancia de  $w/4$ .

Las investigaciones realizadas se llevaron a cabo para dos valores de velocidad, los cuales fueron obtenidos en base a la metodología mencionada anteriormente y son:  $u' = 19 \text{ m/s} \pm 1.14 \text{ m/s}$  y  $u' = 23 \text{ m/s} \pm 1.3 \text{ m/s}$ . Con estos valores de velocidad el régimen de flujo es turbulento ( $106367 < Re < 221954$ ), calculado según la ecuación 9.



Figura 8. Prototipo con modelo cuadrado de  $l=0.09\text{m}$

El valor de la fuerza de arrastre se determina utilizando la relación:

$$F_D = \frac{M * g * Bp_1}{Bp_2} \quad (10)$$

Donde las constantes  $Bp_1$  y  $Bp_2$  representan las distancias de la varilla de soporte fuera de la zona de pruebas y dentro de la misma, respectivamente, y M son los kilogramos-fuerza registrados en la báscula. Para obtener un valor de la fuerza en el sistema internacional se utiliza el factor de conversión g. El valor de la fuerza obtenido se sustituye en la ecuación 1 y despejando se obtiene el coeficiente de arrastre, cuyos resultados se muestran en la tabla 2, que se obtuvieron con los modelos colocados al centro de la zona de pruebas del túnel de viento a una distancia  $w/2$ .

Tabla 2. Resultado para modelo colocado en  $w/4$ .



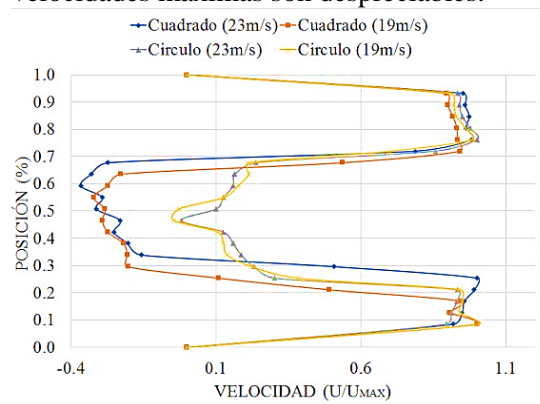


Modelo	Coeficiente de arrastre	
<b>Circular e)</b> $\varnothing_1 = 0.1 \text{ m}$	$u = 19 \text{ m/s}$ $C_D = 1.6$	$u = 23 \text{ m/s}$ $C_D = 1.7$
<b>Cuadrado f)</b> $\varnothing_2 = 0.09 \text{ m}$	$u = 19 \text{ m/s}$ $C_D = 1.6$	$u = 23 \text{ m/s}$ $C_D = 1.7$

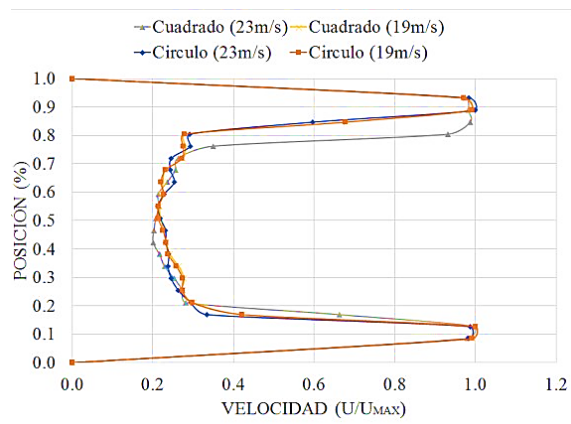
De la tabla 2 se establece que para modelos de menores dimensiones (resultados **a** y **c**) la velocidad influye en el comportamiento del coeficiente de arrastre, ya que al aumentar la velocidad de 19 m/s a 23 m/s, el valor del coeficiente se eleva en un 19 %; mientras que en los modelos de mayor tamaño (resultados **b** y **d**) el valor del coeficiente de arrastre no cambia, con el incremento de la velocidad. Esto se debe a la conservación de momento y a la relación entre el modelo y el ancho de la zona de pruebas ( $w$ ), conocida como relación de aspecto (RA). Por otro lado, la influencia de la posición del modelo al interior de la zona de pruebas se presenta en los resultados **a** y **b** de la tabla 2, junto con los incisos **e** y **f** de la tabla 3. Cuando se tiene un modelo colocado en el centro de la zona de pruebas ( $w/2$ ) el coeficiente de arrastre tiene un valor promedio menor en 12 % del valor del coeficiente de arrastre promedio cuando se coloca el modelo cerca de la pared ( $w/4$ ). Esto se debe a la influencia de la capa límite cerca de la pared, lo que produce zonas de recirculación de mayor intensidad cerca de las paredes y posteriores al modelo.

Los resultados de la tabla 2 indican que el cambio de forma en el modelo (circular a cuadrada), pero con la misma sección transversal en ambas figuras ( $0.008\text{m}^2$ ), ocasiona un cambio en el valor del coeficiente de arrastre menor al 7%; sin embargo, cuando se tienen modelos con una sección transversal de  $0.017\text{m}^2$ , el coeficiente de arrastre tanto para la figura circular como la cuadrada es el mismo. Este comportamiento se aprecia también en las figuras 9 y 10, donde se muestran los perfiles de velocidad posteriores a los modelos, para figuras de menor dimensión

(figura 9) los perfiles tienen diferente forma según es el modelo, y la velocidad máxima es diferente, sin embargo, para los modelos de mayor dimensión (figura 10) los perfiles de velocidad no cambian y las variaciones en las velocidades máximas son despreciables.



**Figura 9.** Perfil de velocidad posterior a modelos de menor dimensión.



**Figura 10.** Perfil de velocidad posterior a modelos de mayor dimensión.

Finalmente, el resultado reportado por White [1], para el coeficiente de un modelo circular tiene un valor de 1.17, mientras que para una sección cuadrada es igual a 1.2, para  $Re > 1000$ , por otro lado, Moreno [5] obtuvo un valor de  $C_D = 1.8$ , para un modelo circular, lo que representa una diferencia del 19% con respecto al valor promedio obtenido en esta investigación, sin embargo, no se tienen las mismas



## Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT). Volumen 1 (2): 58-64.

condiciones de flujo (Reynolds) y geométricas en la zona de pruebas (RA).

### 3. Conclusiones

El  $C_D$  incrementa en un 19% si la velocidad se incrementa para modelos con área igual a  $0.008\text{m}^2$ , mientras que para modelos con sección de  $0.017\text{m}^2$  no existe cambio. El valor del  $C_D$  se incrementa en un 12% si el modelo se coloca cerca de la pared en lugar del centro de la zona de pruebas. Existe una diferencia de 19% entre los resultados obtenidos y los reportados por otros investigadores.

### Referencias

- [1] Y. A. Cengel, "Mecánica de fluidos: Fundamentos y Aplicaciones", Ed. McGraw- Hill, México, 4ª edición, pp. 476-479, 2008. <https://www.mheducation.com.mx/vs-mecanica-de-fluidos-fundamentos-y-aplicaciones-9781456261665-latam>
- [2] J. Anderson, "Fundamentals of aerodynamics", Ed. McGraw-Hill, Nueva York, 6ª edición, pp. 151, 2017. <https://www.mheducation.com/highered/product/fundamentals-aerodynamics-anderson/M9781259129919.html>
- [3] R. Ortega, "Estudio experimental del coeficiente de arrastre en prismas rectangulares en un flujo confinado", Tesis de Maestría de la UNAM, México, 2016. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/11217>
- [4] G. Rojas, "Estudio de la reducción del consumo de combustible de vehículo terrestre de 5,5 toneladas mediante el uso de cobertores aerodinámicos", Tesis de licenciatura de la Universidad de Ingeniería de Lima, Perú, 2008. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7803/Tesis.pdf?sequence=1>
- [5] U. Moreno, "Rehabilitación del túnel de viento subsónico C2-00", Tesis de licenciatura de la ESIME-Azcapotzalco del IPN, México, 2008. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2018>
- [6] [www.discoverarmfield.com](http://www.discoverarmfield.com)
- [7] [www.ld-didactic.de/en/catalogues/physics.com](http://www.ld-didactic.de/en/catalogues/physics.com)
- [8] [www.tecquipment.com](http://www.tecquipment.com)
- [9] K. Shan "Handbook of air conditioning and refrigeration", Ed. McGraw-Hill, Nueva York, 2ª edición, pp. 836, 2001. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070681675>
- [10] S. Figliola, y D. Beasley, "Mediciones mecánicas teoría y diseño", Ed. Alfaomega, México, 3ª Edición, pp. 131-146, 2003. <https://www.alfaomega.com.mx/default/mediciones-mecanicas-teoria-y-diseno-4-ed.html>
- [11] S. Becerra, y G. Guardado, "Estimación de la incertidumbre en la determinación de la densidad del aire". Centro Nacional de Metrología, Querétaro, pp. 1-23, 2003. <http://www.cenam.mx/myd/DENSIDAD%20DEL%20AIRE%20abril-20031.pdf>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:*

*Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.*

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)



# Micronúcleos en reticulocitos de ratones Balb/c tratados de forma oral con nanopartículas de plata

## *Micronuclei in reticulocytes of Balb / c mice orally treated with silver nanoparticles*

Castañeda-Yslas Idalia Yazmin <sup>1</sup>, Ruiz-Ruiz Balam <sup>1</sup>, Arellano-García María Evarista <sup>1</sup>, Juárez-Moreno Karla Oyuki <sup>2</sup>, Torres-Bugarín Olivia <sup>3</sup>, Bogdanchikova Nina <sup>2</sup>, Pestryakov Alexey <sup>4</sup>, Radilla-Chávez Patricia <sup>5</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, KM. 106 Carr. Tijuana-Ensenada, 22800, Ensenada, Baja California, México

<sup>2</sup>Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, Baja California, México

<sup>3</sup>Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México

<sup>4</sup>Universidad Politécnica de Tomsk, 634050, Tomsk, Rusia

<sup>5</sup>Escuela de Medicina Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

**Autor de correspondencia:** Idalia Yazmin Castañeda Yslas, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, KM. 106 Carr. Tij-Ens, 22800. Ensenada, Baja California, México. E-mail: [idalia.castaneda@uabc.edu.mx](mailto:idalia.castaneda@uabc.edu.mx). ORCID: 0000-0002-6754-0736.

**Recibido:** 01 de Julio del 2017

**Aceptado:** 12 de diciembre del 2017

**Publicado:** 01 de Enero del 2018

**Resumen.** - El estudio de la genotoxicidad en modelos murinos es útil para responder las dudas relacionadas con la seguridad por el uso de nanomateriales, sobre todo cuando se pretende el desarrollo de nuevas opciones terapéuticas. El propósito de este trabajo fue evaluar la capacidad genotóxica de AgNPs Argovit™ a partir de la técnica de micronúcleos en reticulocitos de sangre periférica de ratones, prueba ampliamente utilizada para conocer el potencial genotóxico de diferentes agentes. Las nanopartículas de plata se suministraron en dosis terapéuticas por vía oral (indicadas para perros como tratamiento para el moquillo) durante tres días a un grupo conformado por siete ratones y a otros dos grupos con igual número de ratones se administró respectivamente agua inyectable y arabinosa C. Los especímenes fueron medidos, pesados antes y después del experimento. También se tomaron diariamente muestras de sangre periférica mediante un corte en la punta de la cola para posteriormente realizar extendidos sobre portaobjetos para la prueba de micronúcleos en reticulocitos. Los frotis se fijaron en etanol al 80 % y se tiñeron con anaranjado de acridina para posteriormente leer en 1000 reticulocitos la presencia de micronúcleos con microscopio de fluorescencia. Los resultados preliminares muestran diferencias significativas en el número de micronúcleos en reticulocitos entre los tres grupos, por lo que se requiere comprobar este resultado con otro tipo de modelos *in vitro*.

**Palabras clave:** Nanopartículas de Plata; Micronúcleos; Reticulocitos; Genotoxicidad.

**Abstract.** - The purpose of this work was to evaluate the genotoxic capacity of AgNPs Argovit™ with the micronucleus technique in mouse peripheral blood reticulocytes. Argovit™ is administered orally in therapeutic doses (indicated for dogs as treatment for distemper) for three days to an experimental group with seven mice. Another two groups with an equal number of mice were administered with injectable water and arabinose C, respectively. The specimens were measured and weighed before and after the experiment. Peripheral blood samples were also taken daily by a cut at the tip of the tail and then extended on slides for micronucleus test in reticulocytes. The smears were fixed in ethanol at 80 % and stained with acridine orange, after that, the presence of micronuclei was identified in 1000 reticulocytes counted by fluorescence microscopy. Preliminary results show significant differences in the number of micronuclei in reticulocytes between the three groups, so it's necessary to compare this result with another type of *in vitro* models.

**Keywords:** Silver Nanoparticles; Micronuclei; Reticulocytes; Genotoxicity.



## 1. Introducción

Las nanopartículas de plata (Ag-NPs) son muy utilizadas en aplicaciones biomédicas. El número de investigaciones sobre la toxicidad de las Ag-NPs va en aumento y poco se ha concluido sobre los factores que inciden en su toxicidad a nivel celular [1, 2], pero sigue persistiendo controversias respecto al entendimiento de las vías del daño en líneas celulares, en lo referente a las pruebas experimentales y el tamaño de las nanopartículas [3]. Desde 2004, las nanopartículas de plata Argovit™ se estudian por su actividad antiviral en contra de rinotraqueítis infecciosa y diarrea viral bovina [4]. Argovit™ usada para el tratamiento de otitis humana mostró remisión de los síntomas y reepitelización de los tejidos [5]. La administración oral en perros de Argovit™ registró una muy alta tasa de recuperación para tratar el moquillo [6]. En pruebas *in vivo* con modelos murinos se probó la eficacia de Argovit™ contra el virus de la fiebre del Rift [7] y en cuanto a su efecto inmunológico, se reveló que no hay efecto tóxico en las células inmunes y los órganos de ratones [8]. Se ha mostrado que las nanopartículas de plata Argovit™, presenta efectos citotóxicos en ocho líneas de células de cáncer e induce la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) [9].

El presente trabajo explora la genotoxicidad de nanopartículas de plata Argovit™, y el antineoplásico arabinosa C. (Ara-C) el cual evita la reparación del ADN y causa citotoxicidad, en contraste con un control de agua. Aquí se presentan los resultados preliminares de estos experimentos que muestran en general una menor genotoxicidad de las AgNPs en comparación con Ara-C.

## 2. Metodología

Tres grupos de ratones balb/c se usaron para probar el efecto genotóxico mediante la prueba de micronúcleos en reticulocitos de sangre periférica de ratón posterior a la administración de AgNPs de la marca Argovit™ y el fármaco antineoplásico arabinosa-C.

### 2.1. Diseño experimental

21 ratones balb/c de 5-6 semanas de edad, con peso de  $\bar{X}$  = 19.94 gramos, formaron aleatoriamente 3 grupos de 7 ratones cada uno. Al primer grupo se le administró solamente agua inyectable intraperitonealmente, el segundo se trató con 6mg/kg de Arabinosa-C intraperitoneal y al tercero Argovit™ 6 mg/kg con cánula de alimentación vía oral, estos tratamientos se repitieron por tres días consecutivos. Se prepararon frotis de sangre caudal por duplicado cada día después del segundo día posterior a la aplicación, y se practicó eutanasia al séptimo día [10].

### 2.2. La prueba de micronúcleos

A cada uno de los organismos de cada grupo se les tomó una muestra de sangre diariamente mediante el corte de la punta de la cola a partir de las 48 horas de iniciados los experimentos. Se realizaron dos frotis con la sangre de cada animal y se analizaron para determinar el daño acumulado con el número de reticulocitos con micronúcleo (EPCMN) en 1000 eritrocitos policromáticos (EPC). Para observar el efecto del tratamiento después de 24 a 48 horas post-tratamiento, se toma en cuenta que la presencia de EPCMN demostrarían que existe genotoxicidad reciente (en las últimas 24 horas). Los conteos de diferentes tratamientos se codificaron y se analizaron estadísticamente mediante la prueba H de Kruskal-Wallis.

## 3. Resultados

Las AgNPs Argovit™ produjeron menos genotoxicidad que el aneoplásico Ara-C ya que indujeron menos EPCMN. En los primeros tres días después de tratar a los ratones con AgNPs, se produjo menos daño incluso que el grupo control al que solo se le administró agua ( $p < 0.05$ ), aunque se advierte un ligero aumento en el día 5 (Fig 1)



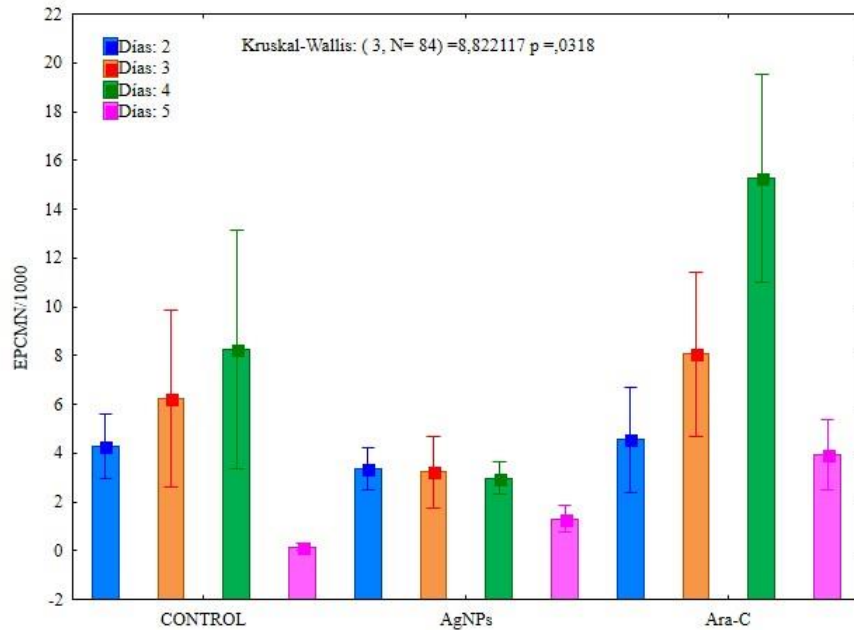


Figura 1. Eritrocitos policromaticos micronucleados en 1000 eritrocitos policromaticos.

El efecto de la genotoxicidad acumulada se muestra en la figura 2 y conforme a la prueba H de Karuskal-Wallis, las AgNPs Argovit™ no incrementaron significativamente el número de micronúcleos en

10000 eritrocitos, en comparación con el grupo control. En cambio, el antineopásico Ara-C, si muestra efectos genotóxicos acumulativos al sexto día de aplicación ( $p < 0.05$ ).

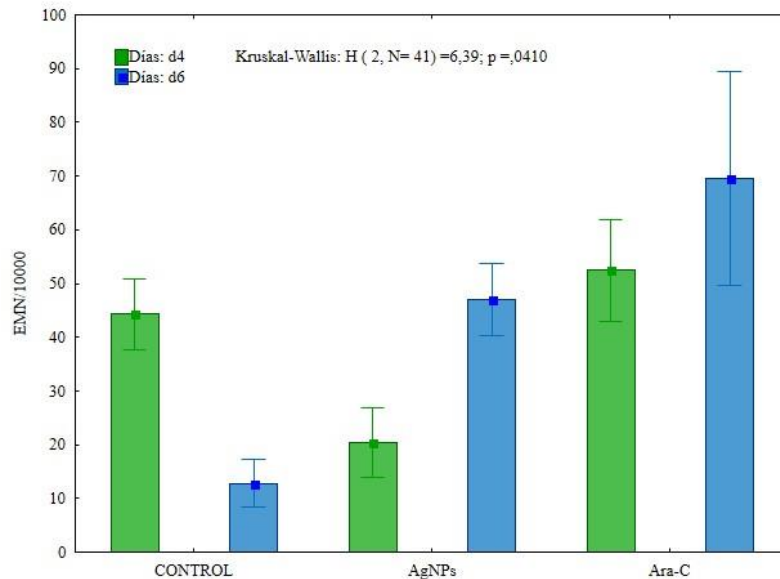


Figura 2. Eritrocitos micronucleados en 10 000 eritrocitos totales.

#### 4. Conclusiones

La administración de Arabinosa-C produce mayor genotoxicidad, ya que causa daños morfológicos en el

núcleo y fragmentación en el ADN, que pueden atribuirse a la formación de especies reactivas de oxígeno. De acuerdo con la prueba de Kruskal Wallis los resultados indican que el fármaco Ara-C induce



mayor genotoxicidad que las AgNPs después de 24 horas de administrarlas, al igual que el efecto acumulativo después de 5 días de aplicación. Aunque estos resultados son preliminares se advierte, como se esperaba, que las AgNPs Argovit™ en las concentraciones probadas son potencialmente no genotóxicas para este modelo de ratón. Lo que ofrece las primeras evidencias de la seguridad toxicológica de las AgNPs Argovit™.

**Agradecimientos:** a todas las instituciones involucradas, así como a los proyectos PAPIIT-UNAM IT200114, Proyecto CONACYT 270242, Proyecto del CONACYT de Redes No. 293417. En especial Vector-Vita Ltd., por proporcionar las nanopartículas de plata.

### Referencias

[1] B. Nowack, H. F. Krug, y M. Height, "120 years of nanosilver history: Implications for policy makers", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 45, núm. 4, pp. 1177-1183, 2011. <https://doi.org/10.1021/es103316q>

[2] L. Ge, Q. Li, M. Wang, J. Ouyang, X. Li, y M. M. Q. Xing, "Nanosilver particles in medical applications: Synthesis, performance, and toxicity", *International Journal of Nanomedicine*, vol. 9, núm. 1, pp. 2399-2407, 2014. <https://doi.org/10.2147/IJN.S55015>

[3] Y. Li et al., "Genotoxicity of silver nanoparticles evaluated using the Ames test and in vitro micronucleus assay", *Mutat. Res. - Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.*, vol. 745, núm. 1-2, pp. 4-10, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2011.11.010>

[4] A. G. Glotov, T. I. Glotova, A. A. Sergeev, T. V. Belkina, y A. N. Sergeev, "[Antiviral activity of different drugs in vitro against viruses of bovine infectious

rhinotracheitis and bovine diarrhea]", *Vopr Virusol.*, vol. 49, núm. 5, pp. 43-46, 2004. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15529864/>

[5] F. V. Semenov y K. M. Fidarova, "[The treatment of the patients presenting with chronic inflammation of the trepanation cavity with a preparation containing silver nanoparticles following sanitation surgery of the open type]", *Vestn. Otorinolaringol.*, núm. 6, pp. 117-119, 2012. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23268263/>

[6] N. Bogdanchikova et al., "Silver nanoparticles composition for treatment of distemper in dogs", *Int. J. Nanotechnol.*, vol. 13, núm. 1/2/3, p. 227, 2016. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2016.074536>

[7] B. Borrego et al., "Potential application of silver nanoparticles to control the infectivity of Rift Valley fever virus in vitro and in vivo", *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 12, núm. 5, pp. 1185-1192, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2016.01.021>

[8] O. V. Kalmantaeva et al., "Silver-nanoparticle exposure on immune system of mice depending on the route of administration", *Nanotechnologies Russ.*, vol. 9, núm. 9-10, pp. 571-576, 2014. <https://doi.org/10.1134/S1995078014050061>

[9] K. Juarez-Moreno et al., "Comparison of cytotoxicity and genotoxicity effects of silver nanoparticles on human cervix and breast cancer cell lines.", *Hum. Exp. Toxicol.*, p. 960327116675206, 2016. <https://doi.org/10.1177/0960327116675206>

[10] Committee, Guide for the Care and Use of Laboratory Animals: Eighth Edition. 2011. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050/>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:*

*Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.*

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)



# Effect on antimicrobial activity of antifungal agents-silver nanoparticles combined treatments

## *Efecto sobre la actividad antimicrobiana de los agentes antimicóticos: tratamientos combinados con nanopartículas de plata*

Pérez Arriola Yarithza<sup>1</sup>, Vázquez Muñoz Roberto <sup>2,3</sup>, Bogdanchikova Nina <sup>2</sup>, Huerta Saquero Alejandro <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Baja California (UABC); Carretera Tijuana-Ensenada 3917, Playitas, 22860. Ensenada, Baja California, México

<sup>2</sup>Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN); Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 14, CP 22800; Ensenada, Baja California, México

<sup>3</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Tijuana-Ensenada 3918; CP 22860, Ensenada, Baja California, México

**Autor de correspondencia:** Alejandro Huerta Saquero, Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN); Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 14, CP 22800; Ensenada, Baja California, México. E-mail: [saquero@cnyn.unam.mx](mailto:saquero@cnyn.unam.mx). ORCID: 0000-0002-0156-6773

**Recibido:** 30 de Junio del 2017

**Aceptado:** 12 de Diciembre del 2017

**Publicado:** 01 de Enero del 2018

**Abstract.** - *Infectious diseases are a global public health problem; they are among the leading causes of death worldwide and consume a significant amount of resources. Fungi are the most common pathogens in humans and animals. Fungal infections incidence has increased more than 200%. Currently, antifungal agents are used for combating fungal infections, but there are many problems associated with their use, such as the emergence of resistant organisms, as well as the complexity related to the development of new antibiotics. In that sense, silver nanoparticles have proven to be an alternative solution to fight fungal infections due their capacity to inhibit fungal growth. In this work, we studied the antimicrobial activity of silver nanoparticles (AgNPs), antifungal agents (Amphotericin B and Fluconazole) and combinations of both, AgNPs-antifungals over the pathogenic dimorphic yeast *Candida albicans*. The antimicrobial tests were performed according to the CLSI's M27-A3 protocols. Combined AgNPs-antifungal treatments showed a different effect on antimicrobial activity. We found a synergistic effect of specific combined treatment, whereas antagonistic effect was observed with other combination.*

**Keywords:** Nanoantibiotics; Silver Nanoparticles; Infectious Diseases; Synergy; *Candida albicans*.

**Resumen.** - *En este trabajo se plantea la importancia de la estrategia en la organización como factor detonante para los procesos de innovación y competitividad empresarial. ¿Cuáles son las estrategias de las empresas para lograr innovación organizacional? “La pregunta fundamental en el campo de la dirección estratégica es cómo las firmas consiguen y sostienen la ventaja competitiva”. La investigación se orienta hacia factores de innovación organización como son la productividad y la flexibilidad laboral, explorando en las organizaciones la relación entre la capacidad tecnológica y los sistemas de información como variables de la productividad. Así mismo se propone un modelo matemático para estimar la productividad en base a las variables de capacidad tecnológica y los sistemas de información.*

**Palabras clave:** Nanoantibióticos; Nanopartículas de plata; Enfermedades infecciosas; Sinergia; *Candida albicans*.



## 1. Introducción

Infectious diseases (ID) –one of the global first causes of death– are among the most relevant health problems worldwide, leading to social and economic issues. Also, incidence and number of ID increase every year [1]. Recently, fungal infections have increased their morbidity and mortality in immunocompromised patients, requiring intensive treatment and broad spectrum antibiotics.

*Candida* sp., is the most common opportunistic pathogenic fungi in humans, causing a mortality rate of up to 40 %. Currently, infection treatments are based on polyenes (i.e. amphotericin B), triazoles (i.e. fluconazole) and echinocandins (i.e. caspofungin). Nevertheless, antibiotics face several problems, such as the evolution of resistant organisms and the difficulty regarding the development of new antimicrobials. Silver nanoparticles (AgNPs) exhibit antifungal properties against both mycelial fungi and yeasts [2]. In that sense, combined AgNPs-antibiotic treatments could be useful to eliminate multiresistant microbes.

Understanding the mechanisms of AgNPs antifungal properties and synergy with antibiotics may lead to improving current treatments. In this work, we studied the effect on the antimicrobial activity of AgNPs –when combined with antifungal agents–, against *Candida albicans*.

## 2. Methodology

### 2.1. Silver nanoparticles (AgNPs)

Argovit AgNPs, functionalized with polyvinylpyrrolidone, were supplied by Investigation and Production Center Vector-Vita, Novosibirsk, Russia. Silver nitrate (Sigma-Aldrich®), was used as a reference solution. Treatments were diluted in culture medium, on a concentration range of 0.01-1  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ .

### 2.2. Antifungal agents

Commercial antifungal agents were used: Amphotericin B (ApB) and Fluconazole (Flu), from Sigma-Aldrich®. For antimicrobial tests, antifungals were diluted in sterile culture medium, in a concentration range of 0.1-20  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . Antifungals were selected according their mode of action.

### 2.3. Fungal strains and culture conditions

The pathogenic, dimorphic yeast *Candida albicans* strain (ATCC SC5614) was obtained from the Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). *Candida* was cultured in RPMI 1640 media for 48 h at 37 °C, at 180 rpm (standard conditions).

### 2.4. Determination of Inhibitory Concentrations of AgNPs and antimicrobials in *C. albicans*

The antimicrobial activity of all treatments –AgNPs, AgNO<sub>3</sub>, and antifungals– was performed according to the Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) M27-A03 protocol, with some modifications [3]. UV-Vis spectrophotometry was used to determine partial inhibitory concentrations.

### 2.5. Effect of AgNPs-antifungal combined treatments on *Candida*'s growth

Antimicrobial activity of AgNPs-Antifungal agents combined treatments was evaluated. *C. albicans* was exposed to sub-lethal concentrations of AgNPs, antifungal agents, and the combination of these. Then, cultures were incubated into multiwell plates at standard conditions. Microbial growth was evaluated by UV-Vis spectrophotometry at  $\lambda=530$  nm, in a Multiskan Go (Thermo Scientific®) spectrophotometer.

### 2.6. Effect of combined AgNPs-antifungal treatments on the dimorphic transition of *C. albicans*

*C. albicans* was exposed to sub-lethal concentrations of AgNPs, antifungals, and the combination of these. After cultures incubation under standard conditions, the effects on dimorphic transition was evaluated by bright-field optical microscopy.

## 3. Results and Discussion

The minimal inhibitory concentration (MIC) values, calculated for  $\mu\text{g}$  of metallic silver (active component), are shown in Table 1. We found that AgNPs MIC is like those of ionic silver and ten times lower than antifungal tested. The AgNPs MIC values reported for *C. albicans* –at similar culture conditions–, range from 10<sup>-1</sup>-10<sup>0</sup>  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  [4][5].

**Table 1.** Minimal Inhibitory Concentrations

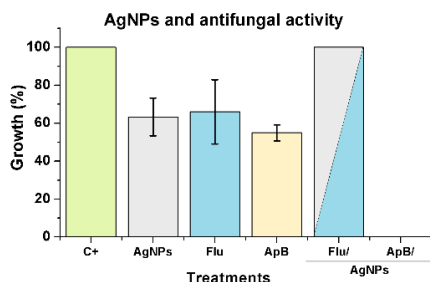
Treatments	MIC ( $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ )
AgNPs	1
AgNO <sub>3</sub>	0.5
Flu	10
ApB	10

Some reports have suggested that AgNPs improve the antifungal activity of antibiotics, but no reliable evidence has been provided. We found that AgNPs-antibiotics combined treatments activity was different for each antibiotic. For AgNPs/Flu, we observed an antagonistic effect, while for AgNPs/ApB, the effect was synergistic (figure 1). It is important to note that mechanisms of action of these antifungals are different; while Fluconazole's target is



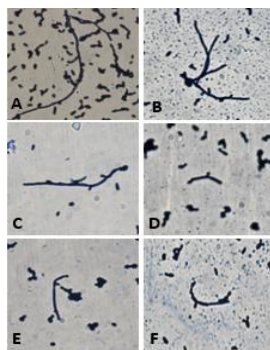


intracellular, Amphotericin B's target is extracellular. We assume that changes in antimicrobial potency –in combined treatments- are due to the mechanism of action of the antifungal agents influenced by a chemical interaction between them and AgNPs. Research in this field is being performed by our group.



**Figure 1.** Antimicrobial activity of combined treatments. A synergistic effect in the AgNPs+ApB combined treatment was found, meanwhile AgNPs+Flu combined treatment showed an antagonistic effect.

We observed that none treatment influenced the dimorphic capacity of *C. albicans*. The cells treated with both AgNPs and antifungals –combined and not-combined- kept their ability to shift into hyphae or pseudohyphae (figure 2). Although it was reported that AgNPs prevent the dimorphic transition [5]. Our findings show that *C. albicans* keeps its ability to change its form, even in the presence of AgNPs. This is important to evaluate, because the hyphal phase is its pathogenic stage.



**Figure 2.** The effect on the dimorphic capacity of *C. albicans*, treated with sub-lethal concentration of the antimicrobial agents. A) Control; B) Cells with AgNPs; C) Cells with ApB; D) Cells with ApB-AgNPs; E) Cells with Flu; and F) Cells with Flu-AgNPs

## 4. Conclusions

AgNPs alter the antimicrobial capacity of antifungals. Synergistic effect was found in the combined treatment of AgNPs and Amphotericin B, while it was antagonist in AgNPs-Fluconazole. On the other hand, AgNPs, antifungals, neither their combination alter the dimorphic capacity of *C. albicans* under standard culture conditions.

## Acknowledgments

The authors thank Dr. Katrin Quester for her technical assistance. We also thank PAPIIT project IN204815, CONACYT project N279889 and to the Red Internacional de Bionanotecnología for financial.

## Referencias

- [1] R. Vazquez-Muñoz and A. Huerta-Saquero, "Nanomateriales con actividad microbiciada: una alternativa al uso de antibióticos," *Mundo Nano. Rev. ...*, vol. 7, no. 13, pp. 37-47, 2014. <https://doi.org/10.22201/ceiach.24485691e.2014.13.48707>
- [2] O. Brandt, M. Mildner, A. E. Egger, M. Groessl, U. Rix, M. Posch, B. K. Keppler, C. Strupp, B. Mueller, and G. Stingl, "Nanoscale silver possesses broad-spectrum antimicrobial activities and exhibits fewer toxicological side effects than silver sulfadiazine," *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 8, no. 4, pp. 478-488, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2011.07.005>
- [3] R. John H. and G. Mahmoud A., M27-A3: Reference Method for Broth Dilution AST of Yeasts, 3rd ed. AstraZeneca; Case Western Reserve University, 2008. <https://www.medicine.wisc.edu/sites/default/files/MIC.pdf>
- [4] C. Longhi, J. P. Santos, A. T. Morey, P. D. Marcato, N. Duran, P. Pinge-Filho, G. Nakazato, S. F. Yamada-Ogatta, and L. M. Yamauchi, "Combination of fluconazole with silver nanoparticles produced by *Fusarium oxysporum* improves antifungal effect against planktonic cells and biofilm of drug-resistant *Candida albicans*," *Med. Mycol.*, vol. 54, no. 4, pp. 428-432, 2016. <https://doi.org/10.1093/mmy/myv036>
- [5] K. Keuk-Jun, S. Sung, S. Moon, J. Choi, J. G. Kim, and D. G. Lee, "Antifungal Effect of Silver Nanoparticles on Dermatophytes," vol. 18, pp. 1482-1484, 2008. <https://europepmc.org/article/med/18756112>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:*

*Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.*

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)