

ISSN 2410-3950

Volumen 6, Número 18 — Enero — Marzo - 2019

Revista de Sistemas Experimentales



ECORFAN-Bolivia

Editor en Jefe

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Sistemas Experimentales, Volumen 6, Número 18, de Enero a Marzo -2019, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. Editor en Jefe: BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD ISSN-2410-3950. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 31 de Marzo del 2019.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional del Derecho de Autor

Revista de Sistemas Experimentales

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Biología y Química, en las Subdisciplinas de química analítica, química farmacéutica, química física, química inorgánica, química, macromolecular, química nuclear, física de fluidos, física, estadística, física molecular, física teórica.

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Sistemas Experimentales es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Bolivia, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de química analítica, química farmacéutica, química física, química inorgánica, química, macromolecular, química nuclear, física de fluidos, física, estadística, física molecular, física teórica con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Biología y Química. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

CARVAJAL - MILLAN, Elizabeth. PhD
École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

CÓRDOVA - GUERRERO, Iván. PhD
Universidad de la Laguna

ARMADO - MATUTE, Arnaldo José. PhD
Universidad de los Andes

RIVERA - BECERRIL, Facundo. PhD
Institut National de la Recherche Agronomique

CRUZ - REYES, Juan. PhD
Instituto de Catálisis y Petroleoquímica

LOPEZ - ZAMORA, Leticia. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

STILIANOVA - STOYTCHEVA, Margarita. PhD
Universidad de Tecnología Química y Metalurgia de Sofia

CORNEJO - BRAVO, José Manuel. PhD
University of California

SOTERO - SOLIS, Victor Erasmo. PhD
Universidade de São Paulo

OROPEZA - GUZMÁN, Mercedes Teresita. PhD
National Polytechnique de Toulouse

Comité Arbitral

ALVARADO - FLORES, Jesús. PhD
Universidad Autónoma de Aguascalientes

DE LEON - FLORES, Anele. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MARTÍNEZ - QUIROZ, Marisela. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

MAGANA - BADILLA, Héctor Alfonso. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

VALDEZ - CASTRO, Ricardo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

QUIROZ - CASTILLO, Jesús Manuel. PhD
Universidad de Sonora

SANTACRUZ - ORTEGA, Hisila del Carmen. PhD
Instituto Tecnológico de Tijuana

MENDOZA - CASTILLO, Didilia Ileana. PhD
Instituto Tecnológico de Aguascalientes

OCHOA - TERÁN, Adrián. PhD
Tecnológico Nacional de México

FRONTANA - VAZQUEZ, Carlos Eduardo. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

SALDARRIAGA, Hugo. PhD
Universidad Autónoma del Estado de México

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Sistemas Experimentales emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Bolivia considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

Detección de Plagio

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Métodos lógicos, métodos de investigación, método hipotético-deductivo, método de la observación científica, método de la medición, experimentación científica, climatología geología, geoquímica, acústica y a otros temas vinculados a las Biología y Química.

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Análisis experimental de la difusión salina durante la desalación por congelación*, por CASTILLO-TÉLLEZ, Beatriz, CASTILLO-TÉLLEZ-Margarita, LÓPEZ-VIDAÑA, Erick César y MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto, con adscripción en la Universidad de Guadalajara, Universidad Autónoma de Campeche y la Universidad Nacional Autónoma de México, como segundo artículo presentamos, *Liberación de Ibuprofeno usando la red metalorgánica de Zirconio UiO-66*, por BÁEZ-GARCÍA, Diana Laura, SANTANA-CRUZ, Alejandra y LOERA-SERNA, Sandra, como tercer artículo presentamos, *Construcción y pruebas preliminares de un prototipo experimental para evaluar la transferencia de calor en un tubo de sección transversal cuadrada en un intercambiador de calor*, por VALDIVIEZO-DE LOS SANTOS, Esteban, SILVA-AGUILAR, Oscar, COLORADO-GARRIDO, Dario y ALAFFITA-HERNANDEZ, F. Alejandro, con adscripción en la Universidad Veracruzana, como ultimo artículo presentamos, *Método aproximado para determinar la potencia óptica en una linterna fotónica*, por PALMA-ARGUELLO, Patricia Ixchel, PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, MARTÍNEZ-PIÑÓN, Fernando y HERNÁNDEZ-VALDEZ, Genaro, con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana y el Instituto Politécnico Nacional.

Contenido

Artículo	Página
Análisis experimental de la difusión salina durante la desalación por congelación CASTILLO-TÉLLEZ, Beatriz, CASTILLO-TÉLLEZ-Margarita, LÓPEZ-VIDAÑA, Erick César y MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto <i>Universidad de Guadalajara</i> <i>Universidad Autónoma de Campeche</i> <i>Universidad Nacional Autónoma de México</i>	1-7
Liberación de Ibuprofeno usando la red metalorgánica de Zirconio UiO-66 BÁEZ-GARCÍA, Diana Laura, SANTANA-CRUZ, Alejandra y LOERA-SERNA, Sandra	8-15
Construcción y pruebas preliminares de un prototipo experimental para evaluar la transferencia de calor en un tubo de sección transversal cuadrada en un intercambiador de calor VALDIVIEZO-DE LOS SANTOS, Esteban, SILVA-AGUILAR, Oscar, COLORADO-GARRIDO, Dario y ALAFFITA-HERNANDEZ, F. Alejandro <i>Universidad Veracruzana</i>	16-22
Método aproximado para determinar la potencia óptica en una linterna fotónica PALMA-ARGUELLO, Patricia Ixchel, PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, MARTÍNEZ-PIÑÓN, Fernando y HERNÁNDEZ-VALDEZ, Genaro <i>Universidad Autónoma Metropolitana</i> <i>Instituto Politécnico Nacional</i>	23-29

Análisis experimental de la difusión salina durante la desalación por congelación

Experimental analysis of saline diffusion during freezing desalination

CASTILLO-TÉLLEZ, Beatriz^{1†}, CASTILLO-TÉLLEZ-Margarita^{2*}, LÓPEZ-VIDAÑA, Erick César³ y MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto⁴

¹Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara, Colotlán, Jalisco 46200 México

²Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería, Campeche. C.P. 24085

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables, Priv. Xochicalco S/N Temixco, Morelos México, C.P. 62580

⁴Universidad de Guadalajara, Coordinación General de Extensión, J. Guadalupe Montenegro 2216, Col. Lafayette, Guadalajara, Jal. C.P. 44150

ID 1^{er} Autor: *Beatriz, Castillo-Téllez* / ORC ID: 0000-0003-3747-6320, Researcher ID Thomson: S-2264-2018, CVU CONACYT ID: 210564

ID 1^{er} Coautor: *Margarita, Castillo-Téllez* / ORC ID: 0000-0001-9639-1736, Researcher ID Thomson: S-2283-2018, CVU CONACYT ID: 210428

ID 2^{do} Coautor: *Erick César, López-Vidaña* / ORC ID: 0000-0002-9200-6578, CVU CONACYT ID: 333477

ID 3^{er} Coautor: *Mejía Pérez, Gerardo-Alberto*

DOI: 10.35429/JOES.2019.18.6.1.7

Recibido 9 de Enero, 2019; Aceptado 30 de Marzo, 2019

Resumen

Las consecuencias sobre la salud y la baja calidad de vida causadas por el problema de la escasez de agua, así como la alta relación entre la energía y el abastecimiento de agua, llaman la atención hacia la desalación por congelación (F/M, por sus siglas en inglés), una técnica bien conocida pero no utilizada para esta aplicación. Es considerada como la más sostenible en términos de demanda energética comparada con las técnicas de desalación comercial (aproximadamente 70% menos que la desalación térmica). Sin embargo, presenta algunos problemas de “encapsulamiento” salino en el hielo, por lo que, en este trabajo, se lleva a cabo un análisis experimental para lograr una mejor comprensión del desplazamiento salino, utilizando una solución acuosa de cloruro de sodio, congelado a diferentes temperaturas mediante desalación F/M progresiva. Se ha encontrado que, a una temperatura de congelación de 8°C, es posible purificar hasta un promedio de 78,12% de la solución de sal congelada, obteniendo una salmuera fácil de separar.

Desalación por congelación, Agua salobre, Análisis experimental

Abstract

The consequences on health and low life quality caused by the problem of water scarcity, as well as the interrelation between energy and water supply, call attention to water desalination by Freezing Melting (F/M), which is a well-known technique but unfortunately, not used for this application, which is considered the most sustainable, in terms of its lower energy demand compared with commercial desalination techniques (about 70% less than thermal desalination). However, it presents some problems regarding the saline trapping in the ice, therefore, in this work, an experimental analysis is carried out to achieve a better understanding of the saline displacement, using an aqueous solution of sodium chloride, frozen at different temperatures, and configurations containers, with a F/M progressive desalination. It has been found that, at a freezing temperature of 8°C, it is possible to purify up to an average of 78.12% of the frozen salt solution, obtaining an easy-to-separate brine.

Freezing desalination, Brackish water, Experimental analysis

Citación: CASTILLO-TÉLLEZ, Beatriz, CASTILLO-TÉLLEZ-Margarita, LÓPEZ-VIDAÑA, Erick César y MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto. Análisis experimental de la difusión salina durante la desalación por congelación. Revista de Sistemas Experimentales. 2019. 6-18: 1-7

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Después de muchos años de suministro a la población a través de la explotación del agua en acuíferos y aguas superficiales, estas fuentes se han vuelto cada vez más inaccesibles, costosas e insostenibles. Los acuíferos han sido sobreexplotados y los ríos y lagunas contaminados. Debido a esto, la capacidad de desalación instalada en el mundo ha aumentado rápidamente en la última década. Se ha logrado una reducción significativa del costo de la desalación como resultado de importantes avances tecnológicos (Ghaffour, Missimer, & Amy, 2013).

Esto ha dado lugar a una disponibilidad a precios competitivos con las opciones de obtención de recursos hídricos convencionales (Ghaffour et al., 2013; Reddy & Ghaffour, 2007). De hecho, recientemente se ha logrado una rápida instalación de plantas desaladoras a escala mundial, como adaptación a los efectos del cambio climático a los que contribuyen las tecnologías utilizadas para el suministro de agua dulce (L. Gao, Yoshikawa, Iseri, Fujimori, & Kanae, 2017). Sin embargo, esta técnica requiere una alta cantidad de energía, debido a la alta salinidad del agua marina o salobre (Li, Goswami, & Stefanakos, 2013).

El desarrollo de métodos de desalación energéticamente eficientes es importante para resolver estos problemas complejos. Sin embargo, las aplicaciones comerciales no se han desarrollado lo suficiente y los estudios son limitados a nivel laboratorio (Williams, Ahmad, Connolly, & Oatley-Radcliffe, 2015).

Desde el punto de vista de la industria, el proceso congelación tiene una serie de ventajas importantes (Ahmad & Williams, 2011; Ghaffour et al., 2013; Karagiannis & Soldatos, 2008; M.S. Rahman, M. Ahmed, 2007; Peñate & García-Rodríguez, 2012): Factor de separación muy alto, alta eficiencia energética (ya que el calor latente de congelación del agua es bajo comparado con el calor latente de la evaporación; 333.5 kJ/kg y 2256.7 kJ/kg, respectivamente) (Rogers & Mayhew, 1995), insensible a la suciedad biológica y la corrosión, la ausencia de pretratamiento químico, baja descarga de sustancias químicas tóxicas al medio ambiente y materiales de construcción baratos, que reducen el costo de capital (Williams et al., 2015).

Sin embargo, el problema más difícil de resolver es el atrapamiento de sal en el hielo durante el proceso de congelación (Cole & Shapiro, 1998). Esto dificulta su separación y requiere el aplastamiento de hielo, por lo tanto, los costos de operación aumentan (Subramani & Jacangelo, 2015; Wiegandt & Berg, 1980).

La calidad de la separación de la sal del agua depende de varios factores relacionados principalmente con la cinética del proceso de congelación, incluso independientemente de la solubilidad de la sal en el hielo (Jungwirth, Vrbka, & Jungwirth, 2005). En la literatura se encuentran muchos trabajos que se han centrado en obtener una menor salinidad del agua. Se ha propuesto usar agitadores y ventiladores para hacer circular la solución y el aire frío, mejorando la transferencia de masa y calor. Se ha integrado una "semilla" de hielo para lograr una congelación más rápida (Shirai, Wakisaka, Miyawaki, & Sakashita, 1998). Yu et al. (Yu, Ma, & Zhang, 2007) encontraron que a baja temperatura inicial de la solución (aproximadamente 6°C), la concentración de la solución y el proceso de recristalización son factores importantes para obtener una pureza mayor del hielo producido.

También se han llevado a cabo experimentos a diferentes concentraciones de sal, agitando el recipiente de y también se ha aumentado el número de ciclos de lavado del hielo para determinar si los parámetros mencionados pueden reducir los efectos sobre la retención de sal y el uso de energía para congelar el agua (Rahman, Ahmed, & Chen, 2007). Desafortunadamente, incluso con los progresos realizados en estas investigaciones, el fenómeno del rechazo de la sal/impureza en la interfaz sólido-líquido se mantuvo lejos de entender (Grange, Viskanta, & Stevenson, 1976).

En este trabajo se llevaron a cabo tres tipos de experimentos para una mejor comprensión de la difusión salina, utilizando un aislamiento térmico en las paredes de los contenedores (Figura 1) para lograr un gradiente salino y térmico unidireccional, lo cual no se ha reportado en literatura revisada. Esta técnica conduce a la purificación de agua congelada con una fácil separación de la salmuera líquida.

Además, se analizaron los perfiles tanto de temperatura como de salinidad, proporcionando información sobre la difusión de la sal, que se considera un factor importante para producir una calidad de agua dulce aceptable.



Figura 1 Tamaños, geometrías y aislamiento utilizado

Metodología y experimentación

En este artículo se realizaron tres experimentos:

- Se aislaron diferentes paredes de los contenedores utilizados para determinar cómo se vio afectada la difusión de iones salinos (ver Figura 1).
- El 2^{do} experimento se basó en el modelo teórico unidimensional propuesto por (Castillo Téllez, 2017). La evolución de ambos procesos: las difusiones térmicas y de masa, se comparan de tal manera que este modelo puede predecir si la sal permanecerá dentro del hielo o la difusión de iones salinos tendrá lugar antes del cambio de fase. De acuerdo con esto, se ha realizado un experimento para representar y validar este modelo.

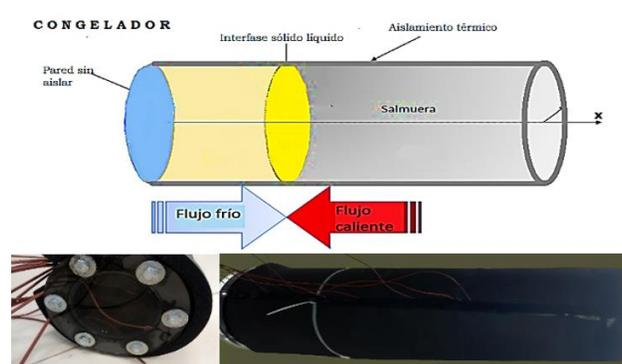


Figura 2 Modelo físico

Este proceso se denomina congelación progresiva. Es un método para concentrar las impurezas en una fase líquida y obtener una fase sólida pura mediante el control de un frente de hielo de forma unidimensional. Por lo tanto, permite la fácil separación del hielo y la salmuera concentrada. Sus principales aplicaciones son la industria alimentaria y farmacéutica (Chabarov & Aider, 2014; W. Gao & Shao, 2009; Halde, 1980; Shirai et al., 1998).

Además, se han realizado estudios exitosos que demuestran la viabilidad de su uso para la desalación de agua (Fujioka, Wang, Dodbiba, & Fujita, 2013).

Para simplificar la experimentación y obtener mediciones precisas, utilizamos cloruro de sodio (NaCl) para estimar el comportamiento de la salmuera como la evolución del agua de mar. El cloruro de sodio es el componente principal del agua de mar y sus valores de densidad, viscosidad dinámica y calor específico son similares a los valores de agua de mar (A. Melinder & Ignatowicz, 2015).

Este diseño físico consiste en un cilindro horizontal con aislamiento térmico excepto en un lado plano para impulsar el flujo de calor en una dirección X unidimensional (Figura 3). La superficie no aislada fue expuesta al aire frío a temperaturas por debajo del punto de congelación de la solución salina. El agua que progresivamente es congelada empieza a ser liberada de sal, enviándola a la salmuera líquida, cada vez más concentrada.

Dependiendo de las temperaturas de la salmuera y el aire frío, la evolución de la formación de hielo tiene lugar en la interfaz sólido-líquido. Cuando la temperatura del aire es inferior al punto de congelación de la solución salina y la temperatura de salmuera es mayor que la de la interfaz sólido-líquido, la transferencia de calor debería realizarse de la salmuera líquida hacia aire frío.

A través del hielo formado y del espesor del material del cilindro existe transferencia de calor por convección y por el aire frío y la salmuera, la transferencia es por convección natural.

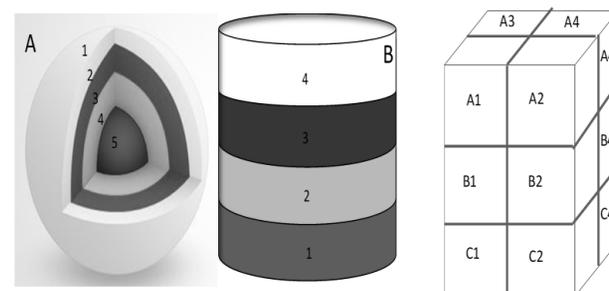


Figura 3 Sectores analizados para diferentes geometrías. a) tipo A, b) tipo B y c) tipo C

- Por último, se probaron diferentes tamaños de contenedores y geometrías, para definir cómo afectan estos parámetros a la difusión salina. Para determinar la dirección de la difusión iónica, el hielo obtenido al final del proceso de desalinización de congelación se analizó en diferentes tipos de secciones (A, B and C), como se observa en la Figura 3.

Los tres experimentos tuvieron los siguientes pasos comunes:

- Preparación de la solución (NaCl-H₂O) con una concentración aproximada de 34.5 gr/L.
- Congelación a diferentes temperaturas. Se utilizó un congelador Scientemp Corp con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Monitorización del comportamiento térmico mediante 25 termopares colocados en todo el volumen del contenedor.
- Para cortar el hielo formado y analizarlo, se diseñó un dispositivo con resistencias hechas de alambre de Kanthal, (aprovechando su resistencia al choque térmico manteniendo una alta resistencia eléctrica) como se muestra en la Figura 4.



Figura 4 Proceso de corte de hielo

Dividimos nuestro hielo en segmentos que están numerados desde la pared sin aislamiento, hasta el último hielo formado, como se aprecia en la Figura 4.

- Análisis de salinidad en diferentes secciones del hielo formado y en la salmuera líquida, utilizando un conductímetro marca Orion Star™ A212 y un salinómetro marca Atago.
- Los experimentos se realizaron a tres temperaturas diferentes: -8°C , -15°C y -30°C .

Resultados y discusión

La Figura 5 muestra la difusión salina en función del sector del contenedor utilizando diferentes longitudes del contenedor.

Para todos los valores de longitud (largo de los contenedores utilizados), la difusión salina aumenta con el aumento del segmento de contenedor, alcanzando su máximo en el último segmento. Además, hay una longitud crítica ($L_c=50\text{ cm}$) después de la cual, la difusión salina no se puede mejorar. Este resultado coincide con lo encontrado por (Johnson, 1979).

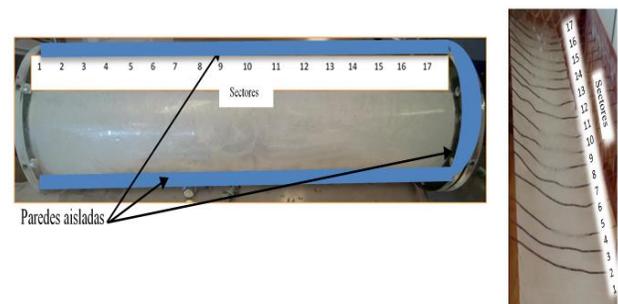


Figura 5 Procedimiento de corte y numeración de segmentos

El impacto de la velocidad de congelación se representa en figura 6. El mayor porcentaje de sal se desplaza en la misma dirección del cambio de fase sólido-líquido, de tal manera que los iones salinos se encuentran en el último segmento que se congeló o en la salmuera que no se logró congelar, dado su bajo punto de congelación.

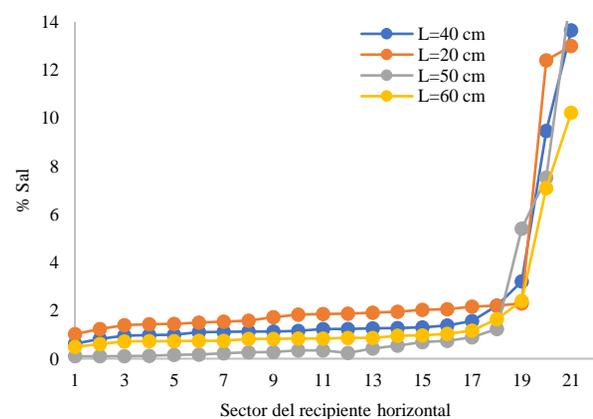


Figura 6 Salinidad para diversas longitudes, $T = -8^\circ\text{C}$

Cuando la temperatura de congelación es muy baja, los iones salinos quedan atrapados dentro del hielo, porque la difusión salina es más lenta que la difusión térmica, por lo tanto, la desalación del agua no se puede lograr.

Por lo tanto, la temperatura puede afectar a la difusión salina la cual se puede mejorar de una manera notable cuando la velocidad de congelación es menor (-8°C). A esta temperatura, es posible desplazar 78.8% de sal del hielo hacia la salmuera concentrada. (140.13 gr de un volumen de 5.15 L de hielo formado a un 0.64 L de salmuera).

A -30°C , no se logra la desalación, por lo que, los iones salinos permanecen dentro del hielo formado, dado que el cambio de fase líquido-sólido se produce más rápido que la difusión de la sal. A velocidades de congelación más bajas, la difusión de la salina es mejor, y la sal es repelida hacia un sector específico que será más fácil de separar. Es importante mencionar que en el experimento a -8°C , cuando la concentración salina fue 17%, la salmuera permanece líquida porque el punto de congelación de una solución diluida con concentraciones tan altas es muy bajo (el punto eutéctico para las soluciones de NaCl es a 23.4 %, -21°C) (Ake Melinder, 2007) e incluso a -20°C , es imposible congelar el agua salada en estas condiciones (Shone, 1987). Por lo tanto, es más fácil separar la salmuera del sólido.

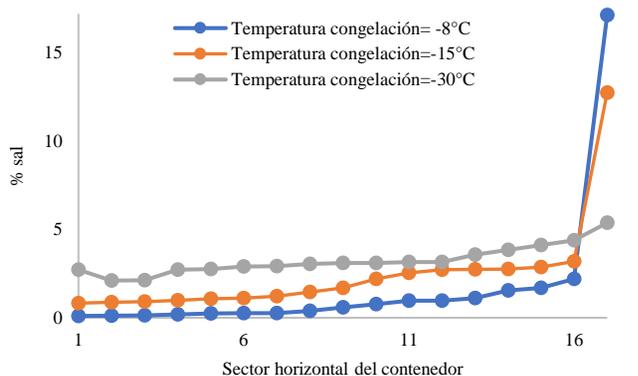


Figura 7 % Salinidad en función del sector de contenedores para diversas velocidades de congelación, con L=15 pulgadas

Para estudiar el movimiento salino de todas las geometrías sin aislamiento, calculamos la concentración de sal en diferentes sectores. Los resultados se muestran en la Tabla 1. Para sectores concéntricos (tipo A), la dirección de difusión de iones salinos es desde el centro hacia la superficie del hielo formado (Tabla 1). El resultado concuerda con (Rahman et al., 2007). Se debe a la baja solubilidad de la sal en agua sólida. Cuando el hielo comienza a formarse, la sal se rechaza a los niveles exteriores lentamente, hasta que la congelación total del agua.

Sector	gr NaCl/L
1 (superficie de hielo formado)	49.28
2	47.33
3	30.48
4	15.34
5	4.263
6 (centro del hielo formado)	1.327

Tabla 1 Salinidad de la superficie hacia el interior del hielo formado

Además, para los sectores horizontales (tipo B), se encuentra que, la dirección de difusión de iones salinos es de la parte inferior a la parte superior del contenedor (Tabla 2). La difusión se ve afectada por el fenómeno de flotabilidad y el contacto del recipiente con la superficie del congelador más frío. Este contacto permite un gradiente térmico que mejora el movimiento hacia la superficie del contenedor. Los resultados del corte tipo A se ven afectados por este movimiento, razón por la cual el nivel concéntrico más alto (1) contiene la sal concentrada. Para corroborar este resultado, se probó el corte tipo C, y como se puede ver en la Tabla 2, la difusión de sal comienza desde los sectores inferiores hasta la parte superior del contenedor.

Sector	(gr NaCl/L)
A1	13
A2	12.9
A3	13
A4	12.2
B1	3.5
B2	2.5
B3	2.7
B4	2.9
C1	1.7
C2	1.2
C3	1.4
C4	2

Tabla 2 Salinidad observada Corte tipo C, desplazamiento de abajo a arriba

Alcances y recomendaciones

Los resultados de este estudio experimental ayudarán a diseñar y construir prototipos de desalación por congelación más adecuados, de alto rendimiento para plantas industriales. Consecuentemente, se puede contribuir al suministro de agua dulce a las regiones costeras de los países desfavorecidos, con bajos requerimientos energéticos y con viabilidad económica. El estudio experimental debe complementarse con un estudio teórico para validar y refinar los resultados.

Una simulación del modelo teórico permitiría controlar en tiempo real las tasas de refrigeración adecuadas de acuerdo con las características de la salmuera cada vez más concentrada de tal manera que se pueda optimizar la desalinización de congelación.

Conclusiones

En resumen, analizamos experimentalmente la difusión salina durante la desalación del agua por congelación. Utilizamos aislamiento térmico para tener una difusión térmica y de masa unidimensional. La sal se desplaza de la sección más fría a la más cálida y se acumula hasta que llega a un punto en el que la salmuera no se logra congelar. Esto facilita separación del agua congelada pura de la salmuera líquida concentrada.

Además, estudiamos el impacto de la longitud del contenedor en la difusión de la sal. Se encontró que, la difusión de la sal aumenta con el aumento de la longitud del recipiente. Además, los experimentos se llevaron a cabo a diferentes temperaturas. La menor velocidad de congelación mejora la difusión salina, ya que da oportunidad a la masa de moverse antes de quedar atrapado dentro del hielo. De esta manera, es posible eliminar el 78,8% de la sal en el hielo formado a -8° C. Además, se estudió el impacto de la geometría en la difusión salina. Se encuentra que, para todas las geometrías, la dirección de difusión de iones salinos es de la parte inferior a la parte superior del hielo formado.

El análisis experimental realizado nos ayuda a comprender de una mejor manera el desplazamiento salino durante la congelación del agua de mar, que es uno de los principales problemas que presenta la tecnología. Por lo tanto, nos da información valiosa para optimizar el proceso de desalinización mediante la congelación.

Referencias

Ahmad, M., & Williams, P. (2011). Assessment of desalination technologies for high saline brine applications — Discussion Paper. *Desalination and Water Treatment*, 30(1–3), 22–36. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.1374>

CastilloTéllez, B. (2017). *Análisis teórico y experimental de los fenómenos de transporte asociados a la difusión salina durante la congelación de agua de mar para su potabilización, utilizando energía solar* (Universidad Nacional Autónoma de México). Retrieved from <http://132.248.9.195/ptd2017/mayo/0758838/Index.html>

CastilloTéllez, B., Castillo Téllez, M., González Chan, J. de J., & Sarracino Martínez, O. (2018). Experimental of Seawater Desalination using Thermosolar Energy. *European Journal of Sustainable Development*, 7(4), 74–80. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2018.v7n3p74>

Chabarov, A., & Aider, M. (2014). Mathematical modeling and experimental validation of the mass transfer during unidirectional progressive cryoconcentration of skim milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 21, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.08.001>

Cole, D. M., & Shapiro, L. H. (1998). Observations of brine drainage networks and microstructure of first-year sea ice. *Journal of Geophysical Research*, 103(C10), 21739. <https://doi.org/10.1029/98JC01264>

Fujioka, R., Wang, L. P., Dodbiba, G., & Fujita, T. (2013). Application of progressive freeze-concentration for desalination. *Desalination*, 319, 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.04.005>

Gao, L., Yoshikawa, S., Iseri, Y., Fujimori, S., & Kanae, S. (2017). An Economic Assessment of the Global Potential for Seawater Desalination to 2050. *Water*, 9(10), 763. <https://doi.org/10.3390/w9100763>

Gao, W., & Shao, Y. (2009). Freeze concentration for removal of pharmaceutically active compounds in water. *Desalination*, 249(1), 398–402. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.12.065>

Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>

- Grange, B. W., Viskanta, R., & Stevenson, W. H. (1976). Diffusion of heat and solutes scraped surface freezer during freezing of salt solutions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 19, 373–384. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(76\)90093-4](https://doi.org/10.1016/0017-9310(76)90093-4)
- Halde, R. (1980). Concentration of impurities by progressive freezing. *Water Research*, 14(6), 575–580. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90115-3](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90115-3)
- Johnson, W. E. (1979). Indirect freezing. *Desalination*, 31(1–3), 417–425. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)88545-8](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)88545-8)
- Jungwirth, P., Vrbka, L., & Jungwirth, P. (2005). Brine rejection from freezing salt solutions: A molecular dynamics study. *Physical Review Letters*, 95(September), 1–4. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.148501>
- Karagiannis, I. C., & Soldatos, P. G. (2008). Water desalination cost literature: review and assessment. *Desalination*, 223(1–3), 448–456. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.071>
- Li, C., Goswami, Y., & Stefanakos, E. (2013). Solar assisted sea water desalination: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 136–163. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.059>
- M.S. Rahman, M. Ahmed, X. D. C. (2007). Freezing-Melting Process in Liquid Food Concentration. In *Handbook of Food Preservation* (10th ed., pp. 667–690). New York, NY 10016: CRC Press.
- Melinder, A., & Ignatowicz, M. (2015). Properties of seawater with ice slurry use in focus. *International Journal of Refrigeration*, 52, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.12.022>
- Melinder, Ake. (2007). *Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids*. Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden.
- Peñate, B., & García-Rodríguez, L. (2012). Current trends and future prospects in the design of seawater reverse osmosis desalination technology. *Desalination*, 284, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.09.010>
- Rahman, M. S., Ahmed, M., & Chen, X. D. (2007). Freezing melting process and desalination: review of present status and future prospects. *International Journal of Nuclear Desalination*, 2(3), 253. <https://doi.org/10.1504/IJND.2007.013549>
- Reddy, K. V., & Ghaffour, N. (2007). Overview of the cost of desalinated water and costing methodologies. *Desalination*, 205(1–3), 340–353. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.03.558>
- Rogers, G. F. C., & Mayhew, Y. R. (1995). *Thermodynamic and Transport Properties of Fluids*. 1–28.
- Shirai, Y., Wakisaka, M., Miyawaki, O., & Sakashita, S. (1998). Effect of seed ice on formation of tube ice with high purity for a freeze wastewater treatment system with a bubble-flow circulator. *Water Research*, 33, 1325–1329. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00335-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00335-2)
- Shone, R. D. C. (1987). The freeze desalination of mine waters *. *J. S. At. Inst. Min. Metal*, 87(4), 107–112.
- Subramani, A., & Jacangelo, J. G. (2015). Emerging desalination technologies for water treatment: A critical review. *Water Research*, 75, 164–187. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.032>
- Wiegandt, H., & Berg, R. Von. (1980). Myths about freeze desalting. *Desalination*, 33(July 1979), 287–297. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916400885719>
- Williams, P. M., Ahmad, M., Connolly, B. S., & Oatley-Radcliffe, D. L. (2015). Technology for freeze concentration in the desalination industry. *Desalination*, 356, 314–327. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.10.023>
- Yu, T., Ma, J., & Zhang, L.-Q. (2007). Factors affecting ice crystal purity during freeze concentration process for urine treatment. *Journal of Harbin Institute of Technology (New Series)*, 14(5).

Liberación de Ibuprofeno usando la red metalorgánica de Zirconio UiO-66

Release of Ibuprofen using a Zirconium metal organic framework UiO-66

BÁEZ-GARCÍA, Diana Laura†, SANTANA-CRUZ, Alejandra y LOERA-SERNA, Sandra

Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

ID 1^{er} Autor: Diana Laura, Báez-García / ORC ID: 0000-0002-5055-6125

ID 1^{er} Coautor: Alejandra, Santana-Cruz / ORC ID: 0000-0001-8951-8145

ID 2^{do} Coautor: Sandra, Loera-Serna / ORC ID: 0000-0001-9562-3195

DOI: 10.35429/JOES.2019.18.6.8.15

Recibido: 11 de Enero, 2019; Aceptado 30 de Marzo, 2019

Resumen

En el presente trabajo se utilizó un tipo de red metalorgánica de zirconio conocida como UiO-66 (reportada por investigadores de la Universidad de Oslo, por lo que recibe el nombre de las siglas de la misma) para adsorber ibuprofeno y liberarlo en un medio simulando el pH de la sangre. La bioviabilidad y baja toxicidad de la red UiO-66 son las características por las que se eligió este nanomaterial para transportar un fármaco. Este proyecto implementó una metodología para la síntesis de UiO-66 a temperatura ambiente, lográndose además adaptar las técnicas de liberación in vitro de fármacos reportados en la literatura, a la liberación simulada de ibuprofeno empleando la red UiO-66. La simulación in vitro tuvo como finalidad determinar la eficiencia con que este material transporta y libera ibuprofeno hasta llegar a la sangre. Es por lo anterior, que las condiciones de simulación consideraron una temperatura fisiológica de 37 °C y un medio de liberación (solución amortiguada de fosfatos) con pH similar al de la sangre. Los resultados muestran que la liberación se llevó a cabo de forma gradual durante las primeras 24 h. Además, independientemente de la concentración inicial, la cantidad de ibuprofeno liberada fue la misma.

MOF, Ibuprofeno, UiO-66

Abstract

In the present work, a type of zirconium metal organic framework known as UiO-66 (reported by researchers from the University of Oslo, for which it is called acronym) was used to adsorb ibuprofen and release it in a medium simulating the blood pH. The bioviability and low toxicity of the UiO-66 are the characteristics by which this nanomaterial was chosen to transport a drug. This project implemented a methodology for the synthesis of UiO-66 at room temperature; it was also achieved to adapt the techniques of in vitro release of drugs reported in the literature, to the simulated release of ibuprofen using the UiO-66 framework. The aim of the in vitro simulation was to determine the efficiency with which this material transports and releases ibuprofen to the blood. Therefore, the simulation conditions considered a physiological temperature of 37 °C and a release medium (buffer solution of phosphates) with pH similar to the blood. The results show that the release was carried out gradually during the first 24 h. In addition, regardless of the initial concentration, the amount of ibuprofen released was the same.

MOF, Ibuprofen, UiO-66

Citación: BÁEZ-GARCÍA, Diana Laura, SANTANA-CRUZ, Alejandra y LOERA-SERNA, Sandra. Liberación de Ibuprofeno usando la red metalorgánica de Zirconio UiO-66. Revista de Sistemas Experimentales. 2019. 6-18: 8-15

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Desde tiempos remotos se han empleado fármacos para preservar la salud y prolongar la vida de los seres humanos. Sin embargo, existe una creciente necesidad por desarrollar tratamientos más eficaces que permitan alcanzar sitios específicos dentro del cuerpo humano. Muchos fármacos poseen efectos secundarios, pues al tratar el área afectada por una enfermedad, llegan a afectar tejidos sanos. La necesidad de atender este problema ha conducido a cambiar la forma de transportar e implementar nuevas tecnologías, que permitan al fármaco llegar a un sitio particular. Además, entre más localizada y prolongada sea su liberación en el cuerpo, es menos probable que se genere una resistencia del mismo.

Los trabajos pioneros para la adsorción de fármacos fueron llevados a cabo por Horcajada *et al.* (2006), mediante la síntesis de las redes metalorgánicas MIL-100 y MIL-101 (por sus siglas en inglés MIL= Materials of Institute Lavoisier), las cuales exhiben poros de gran tamaño (25-34 Å) y áreas superficiales específicas dentro del rango de 3100 y 5900 m²·g⁻¹. Más tarde, estos materiales nanoestructurados fueron empleados para almacenar en su interior ibuprofeno, un antiinflamatorio y un analgésico común (Horcajada *et al.*, 2010).

Los resultados mostraron que se logró una adsorción considerable en el material poroso, lo que se traduce en una alta capacidad de carga. Esta investigación representó un hito científico, pues permitió conocer por primera vez la interacción entre un ingrediente activo y una red metalorgánica como excipiente. Además, aportó información sobre la degradación *in vitro* del material bajo condiciones fisiológicas.

También se han alcanzado resultados satisfactorios empleando las redes metalorgánicas: MIL-53 (Horcajada *et al.*, 2010) y CD-MOF (CD=γ-ciclodextrina) (Hartlieb *et al.*, 2017). La síntesis de la red UiO-66 por Cavka *et al.* (2008), resultó en la obtención de un material cristalino de elevada porosidad. Estudios subsecuentes comprobaron la biocompatibilidad y capacidad de carga de este material (Ruyra *et al.*, 2015), razón por la cual se considera que esta MOF tiene potencial para su aplicación en farmacéutica.

Cunha *et al.* (2013a) estudiaron la adsorción de cafeína e ibuprofeno en la estructura UiO-66, logrando buenos resultados. Además, se evaluó la liberación de cafeína para su aplicación en cosmética, pero se observó baja estabilidad por parte del material en un medio fisiológico simulado (Cunha *et al.*, 2013b). A la fecha, se han llevado a cabo diversas pruebas de encapsulación y liberación de distintos fármacos, para el tratamiento de glaucoma, afectaciones óseas, proliferación de células cancerosas y administración de antiinflamatorios vía dérmica.

Zhu *et al.* (2014) comprobaron la efectividad de la UiO-66 como matriz portadora de alendronato, siendo liberada 10.5 % de la carga al transcurrir 96 h a un pH=7.4; por otro parte la encapsulación y liberación de tartrato de brimonidina para la medicación del glaucoma dio a conocer la fuerte interacción entre el fármaco y la red y su capacidad para dosificar entre 75 y 85 % de la carga en un rango de 6 a 8 días (Gandara-Loe *et al.*, 2018).

Por último, el enfoque que Rojas *et al.* (2018) tuvieron para la administración dérmica de ibuprofeno, proporciona una idea sobre la interacción entre el principio activo, la red y el medio de liberación. El medio elegido para este tipo de administración fue agua destilada, con el objetivo de simular la humedad de la piel; siendo notable la liberación del 46 % del fármaco al transcurrir un día, la cual se concluye fue debido a la hidrofobicidad de la molécula.

En el presente trabajo se propone una estructura estable y biocompatible como matriz portadora para la administración oral de ibuprofeno. La adsorción de ibuprofeno es de particular interés en esta investigación, debido a que no existen estudios previos sobre su liberación *in vitro* empleando la red UiO-66. Esta red metalorgánica de zirconio se ha caracterizado por ser de baja toxicidad, lo cual es de sumo interés en aplicaciones biotecnológicas. Se ha probado que es posible encapsular fármacos dentro de la UiO-66, por lo que se propuso una metodología para sintetizar el nanomaterial a temperatura ambiente, con el objetivo de determinar su capacidad para liberar ibuprofeno en un medio simulando la sangre.

La caracterización del material se realizó mediante: difracción de rayos X (DRX), espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), análisis termogravimétrico (ATG) y microscopía electrónica de barrido (MEB) antes del encapsulamiento. Después de encapsular se caracterizó por DRX para verificar la presencia del fármaco y que se conserva la estructura. Mediante DRX se comprobó que la estructura de la UiO-66 se conserva aún después de la liberación.

Finalmente, la simulación *in vitro* tuvo como objetivo determinar la eficiencia con que este material transporta y libera ibuprofeno hasta llegar a la sangre, por lo que se realizaron pruebas empleando una solución PBS (por sus siglas en inglés, Phosphate Buffer Solution) a 37 °C; la solución se monitoreó mediante la técnica de espectroscopia de ultravioleta visible (UV-Vis) para conocer la concentración de ibuprofeno liberado dentro de un intervalo de tiempo específico.

Procedimiento experimental

1. Síntesis de la MOF UiO-66 a temperatura ambiente

La obtención de UiO-66 se llevó a cabo mediante síntesis no solvotérmica utilizando el procedimiento reportado por DeStefano *et. al* (2017) a temperatura ambiente. A esta metodología se le efectuaron algunas modificaciones. La síntesis se llevó a cabo en dos pasos:

Paso 1: En un matraz se adicionaron 0.712 mL de propóxido de zirconio ($Zr(OnPr)_4$), 7 mL de N,N-dimetilformamida (DMF) y 4 mL de ácido acético. La solución se calentó por 2 h a una temperatura constante de 130 °C. Después de 1 h de calentamiento es posible observar una coloración amarilla, característica de la síntesis, la cual se intensifica hasta dar por concluida la reacción. La solución se dejó enfriar a temperatura ambiente en un vaso de precipitados.

Paso 2: La solución a temperatura ambiente se colocó bajo agitación para adicionar 75 mg de ácido tereftálico (BDC). Posteriormente, se sonicó por 30 s y se dejó en agitación a 200 rpm por 18 h.

Transcurrido este tiempo se observó la formación de una suspensión, la cual se centrifugó a 6000 rpm durante 15 min. Se recuperó el sólido húmedo y se colocó en la estufa a 50 °C. El sólido permaneció por 4 días para garantizar su secado. Para eliminar remanentes de reactivos y disolvente, el sólido se lavó con metanol bajo condiciones de reflujo. Se llevaron a cabo dos lavados. Para secar el sólido se colocó en la estufa (50 °C) por 4 h. Finalmente, el sólido se trituro empleando un mortero de ágata para obtener un polvo fino, el cual se caracterizó por diversas técnicas.

2. Técnicas de caracterización

La UiO-66 se caracterizó empleando las técnicas de difracción de rayos-X, espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, análisis termogravimétrico y microscopía electrónica de barrido. A continuación se explican brevemente las condiciones de análisis.

2.1 Difracción de rayos-X (DRX). Se empleó un equipo Phillips X-PERT equipado con ánodo de cobre ($CuK_{\alpha} = 1.5406 \text{ \AA}$). Las muestras se analizaron a alto ángulo, en un rango de 4-50 (2 θ) con un tamaño de paso de 0.02 ° y tiempo de paso 0.04 s.

2.2. Espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). Se utilizó un espectrofotómetro infrarrojo de la marca Perkin Elmer modelo Frontier con accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) incorporado. Los espectros obtenidos se reportan en un intervalo de 4000 a 400 cm^{-1} .

2.3. Análisis termogravimétrico (ATG). La MOF se analizó utilizando un equipo de la marca TA Instruments modelo SDT Q600. El análisis se llevó a cabo empleando un incremento de temperatura de 10 °C por min hasta alcanzar la descomposición de la muestra a 800 °C.

2.4 Microscopía electrónica de barrido (MEB). Las micrografías se obtuvieron con un microscopio electrónico de la marca Zeiss con un voltaje de 2.0 kV.

3. Adsorción de ibuprofeno post-síntesis

La UiO-66 como sistema de liberación se constituyó en dos pasos mediante un encapsulamiento *ex situ*. 1) Se sintetizó el sólido de acuerdo con la metodología ya mencionada y 2) se adsorbió ibuprofeno (IBU) bajo las condiciones óptimas de impregnación reportadas por Cunha *et al.* (2013a). Se prepararon 20 mL de cada solución de impregnación: 5, 10 y 20 mg de IBU·mL⁻¹ de etanol (los sistemas obtenidos fueron denominados: IBU@(5), IBU@(10) e IBU@(20)). Se colocaron bajo agitación hasta la completa disolución.

Para la etapa de adsorción, se consideró la relación de peso reportada en la bibliografía, la cual indica debe ser de 4:1 para ibuprofeno y UiO-66 respectivamente. El líquido se separó del sólido y se guardó para su caracterización mediante UV-Vis.

4. Liberación de ibuprofeno simulando el tracto digestivo

Se simularon las condiciones de la sangre mediante una solución amortiguada de fosfatos (PBS) a pH=7.4. La solución PBS se preparó con: 4.03 g de NaCl, 0.11 g de KCl, 0.575 g de Na₂HPO₄ y 0.10 g de KH₂PO₄. Después, se elaboró una curva de calibración para ibuprofeno, empleando la solución PBS como disolvente y estándares de 20, 40, 60, 100, 120, 140, 180, 200 y 240 ppm.

La liberación del IBU se monitoreó mediante espectroscopia de UV-Vis utilizando el equipo Nanophotometer marca Implen. Se determinó λ_{\max} en 220 nm. Se llevó a cabo la simulación *in vitro* para cada sistema (IBU@(5), IBU@(10) e IBU@(20)) utilizando alícuotas de cada 5 min. Para esta determinación se utilizaron 20 mL de solución PBS y 20 mg de cada material.

Análisis y discusión de resultados

Propiedades fisicoquímicas de la UiO-66

Para verificar la estructura del material sintetizado a partir de la metodología reportada por DeStefano *et al.* (2017), se procedió a analizar el sólido mediante difracción de rayos-X.

En la Figura 1 se muestra el patrón de difracción simulado obtenido de la base de datos CSD (The Cambridge Structural Database), además del difractograma correspondiente a la UiO-66 sintetizada, en la región de 5-40° (2 θ). Se puede observar en la Figura 1 que ambos difractogramas son similares, lo cual corrobora que la estructura sintetizada es la UiO-66 y que además se trata de un material cristalino. Por lo tanto, la metodología para sintetizar la UiO-66 a temperatura ambiente, permite obtener un material de cristalinidad considerable para la aplicación que se persigue.

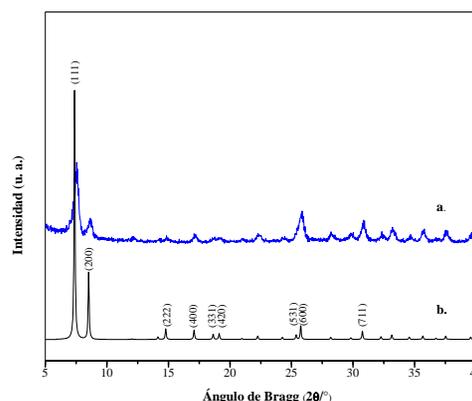


Figura 1 Patrón de difracción simulado (b) y difractograma DRX del sólido sintetizado (a)

Se determinó el tamaño de cristal a partir de los planos (111) y (200) del difractograma de la UiO-66 sintetizada (Figura 1). Se realizaron los cálculos correspondientes empleando la ecuación de Debye y Scherrer. El tamaño de cristal obtenido fue de 42 y 40 nm respectivamente. Mediante espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier se analizó el material sintetizado. El espectro obtenido se muestra en la

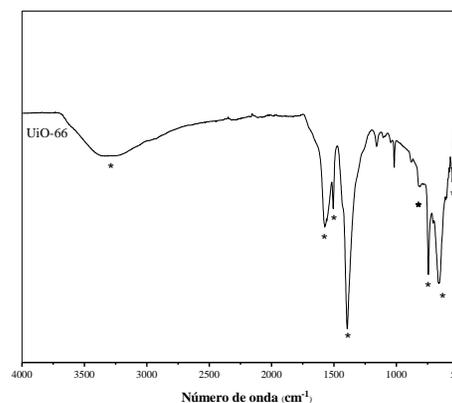


Figura 2. Para la asignación de las bandas principales del espectro FTIR, se consideraron los modos de vibración reportados por Valenzano *et al.* (2011).

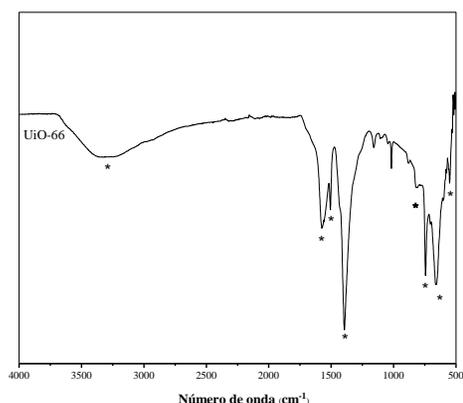


Figura 2 Espectro FTIR de la UiO-66 sintetizada

La banda de vibración centrada a 3400 cm^{-1} se asigna a la vibración de estiramiento del enlace O-H, correspondiente a las moléculas de solvente presente en la estructura. Las bandas de absorción observadas en el sólido UiO-66 a 1600 y 1400 cm^{-1} , se asignan a los modos de estiramiento asimétrico y simétrico de los enlaces que corresponden al grupo carboxilato (COO^-). Lo anterior confirma la presencia del ligante (BDC) en la estructura; además, se observa que su intensidad de absorción es fuerte debido a su elevada concentración. La banda situada en 1500 cm^{-1} se asocia al enlace $\text{C}=\text{C}$ del grupo aromático presente en el ligante. Las otras tres bandas características de este enlace se ven enmascaradas por los modos de vibración de los enlaces del grupo carboxilato.

En la región de la huella digital, a 814 y 750 cm^{-1} , se encuentran las bandas de absorción de los modos de vibración de deformación de los enlaces O-H y C-H (aromático). En cuanto al elemento zirconio, se identifican tres bandas a 480 , 550 y 630 cm^{-1} , las cuales corresponden a los modos de vibración de estiramiento de los enlaces Zr-OH , Zr(OC) y Zr-O , respectivamente.

En la Figura 3 se muestra el diagrama ATG de la UiO-66. Este perfil presenta cuatro etapas de descomposición de la muestra. Primeramente, se observa una pérdida de peso de 12.29% , antes de 100 °C , misma que se atribuye al proceso de liberación de H_2O o solvente ocluido en los poros. A continuación, se observa una pérdida de peso de 0.3% , la cual se asocia a la pérdida de disolvente (DMF).

Un tercer evento, de 315 °C a 400 °C , se atribuye a la pérdida de moléculas del ligante sin reaccionar, la cual equivale a un 6.85% wt de la muestra. Posteriormente, en el intervalo de 400 °C a 528 °C , se observa un cambio abrupto de descomposición, donde la pérdida de peso de la muestra es de 31.39% .

Este evento en específico, proporciona información relevante sobre la estabilidad térmica del material; pues en este intervalo, se descompone de manera significativa la estructura de la UiO-66. Por último, a partir de 528 °C se presenta una pérdida mínima de 0.65% hasta quedar solo material remanente de compuestos inorgánicos (ZrO). Se observa que la pérdida de peso total de la muestra es de 56.67% .

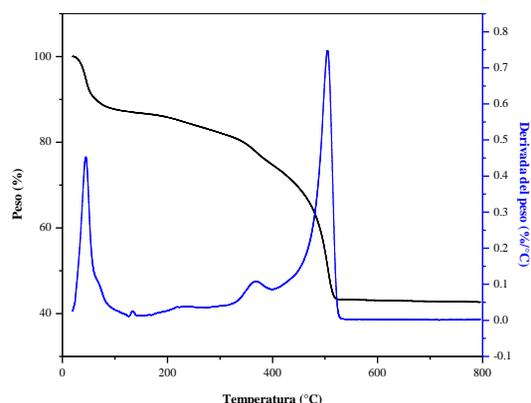


Figura 3 ATG de la UiO-66 sintetizada

En la Figura 4 se muestran las micrografías de la MOF sintetizada. Como se puede apreciar, las partículas presentan una morfología definida, en forma de esferas, Figura 4b) y c). Se observan cavidades en el material con tamaño de entre 31 nm y 56 nm , Figura 4a). De acuerdo con el histograma presentado en la Figura 5, el tamaño de partícula se encuentra principalmente en un intervalo de 35 a 60 nm , con una mayor frecuencia en 50 nm .

El tamaño de partícula reportado en la bibliografía para este material se encuentra en un intervalo de 150 a 500 nm (DeStefano et al., 2017), por lo que las partículas obtenidas en esta investigación son de un tamaño considerablemente menor. Adicionalmente, la organización morfológica de las partículas no hace un sólido definido, si no que se presentan aglomeradas.

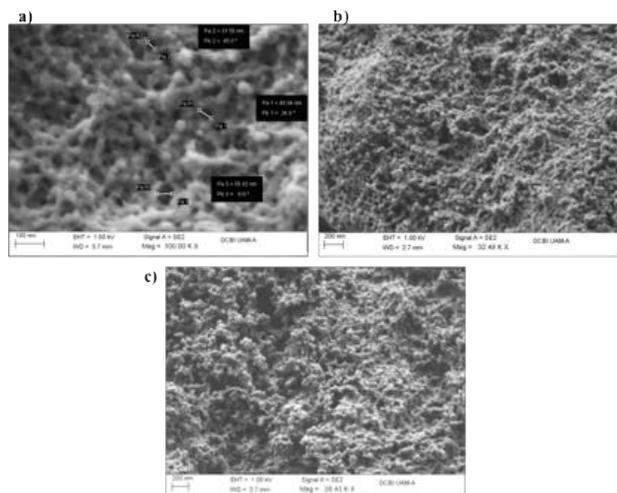


Figura 4 Micrografías de la MOF después de la síntesis, a) tamaño de cavidades, b) tamaño de partícula y c) organización morfológica de las partículas

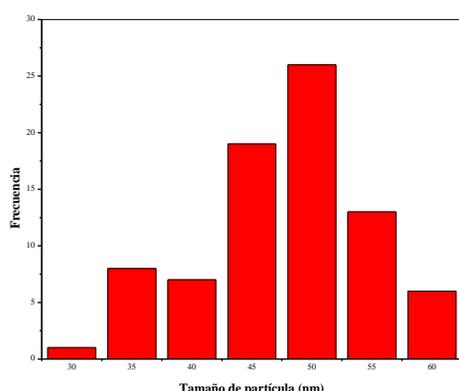


Figura 5 Frecuencia del tamaño de partícula

Adsorción de IBU en la UiO-66

Debido a la baja capacidad de solubilidad que tiene la molécula de ibuprofeno en solución acuosa ($0.05 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$), se empleó etanol para impregnar la MBA en el sólido sintetizado (Cunha et al., 2013a). La cantidad de IBU adsorbida por mg de MOF para cada sistema se muestra en la Figura 6. Empleando una solución de $5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ se obtuvo el sistema IBU@(5), en el cual se adsorbieron 3.9 mg de ibuprofeno por mg de UiO-66. En cuanto a la solución de concentración $10 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, se encapsularon 3.6 mg de ibuprofeno por mg de UiO-66. Finalmente, empleando una solución de $20 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ se lograron encapsular 3.8 mg de IBU por mg de MOF.

La cantidad adsorbida en cada sistema es muy similar sin importar la concentración de la solución de impregnación. Se alcanza una mejor adsorción en IBU@(20), la cual comparada con IBU@(5) es solo 2% mayor. Por lo contrario, para IBU@(10) la diferencia porcentual con respecto a IBU@(20) es de 8%.

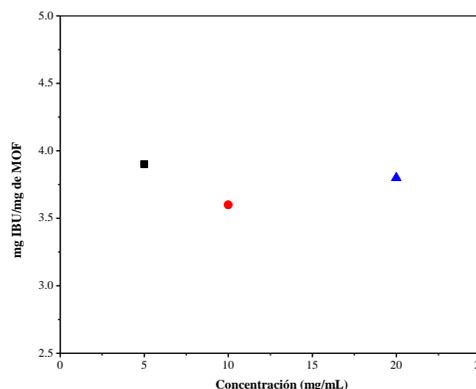


Figura 6 Cantidad de IBU encapsulada variando la concentración de impregnación (5, 10 y 20 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$; marcador azul, rojo y verde respectivamente)

Con los resultados obtenidos se determinó que la saturación de la solución de encapsulación no conlleva a una mejor adsorción, esto probablemente a que se llega a la cantidad máxima posible de IBU que se puede adsorber en el material. Esto implica que no es necesario saturar la solución con IBU, pues la concentración óptima de impregnación es de $5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, que es cuatro veces menor a la concentración de la solución más saturada.

Liberación de ibuprofeno simulando el tracto digestivo

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la liberación de los sistemas IBU@(5), IBU@(10) y IBU@(20). El seguimiento de la liberación se llevó a cabo empleando una técnica espectroscópica, mediante la cual se cuantificó la cantidad de MBA liberada en un rango de tiempo de 0 a 24 h. En la Figura 7 se muestra el espectro de absorción de ibuprofeno en el rango de UV visible, en el cual se puede apreciar una banda de absorción máxima en 220 nm al emplear una solución PBS como disolvente y el equipo Nanophotometer.

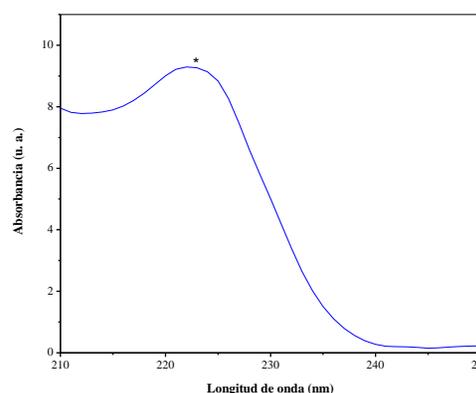


Figura 7 Espectro de absorción de ibuprofeno

En cuanto al sistema IBU@(5), se puede observar en la Figura 8 que la concentración de ibuprofeno aumenta paulatinamente durante el seguimiento espectrofotométrico. Transcurridas 24 h, se alcanza la liberación del 10, 12 y 10 % de la IBU para IBU@(5), IBU@(10) y IBU@(20), respectivamente. El perfil de liberación muestra que los sistemas son capaces de liberar la IBU de manera sostenida y modulada. Este comportamiento es ideal para el propósito de la presente investigación.

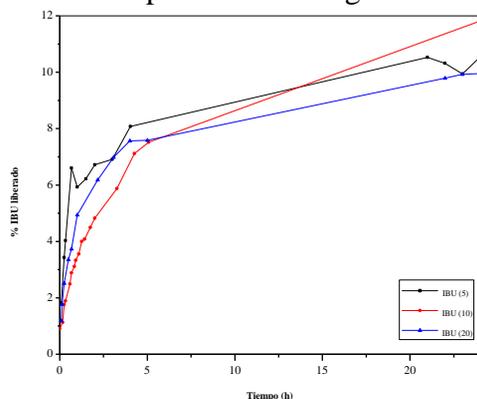


Figura 8 Perfil de liberación de los sistemas IBU@(5), IBU@(10) y IBU@(20) por 24 h

El comportamiento del sistema IBU@(10) resulta interesante, pues parece no asemejarse a los demás sistemas en cuanto a la tendencia que sigue el material al liberar IBU. Como se muestra arriba en la Figura 25, el sistema libera durante las primeras un porcentaje de carga menor con respecto a los demás, de tal forma que su curva se mantiene cerca y por debajo de las demás curvas de liberación. Después de seguir durante 6 horas la liberación, la cantidad de ibuprofeno liberado se dispara notablemente. Esta situación no es favorable debido a que no prolonga la liberación del IBU por más tiempo, lo cual se corrobora al término de la simulación *in vitro* (24 h), cuando se libera el 12% de la MBA encapsulada. Es posible diferenciar dos etapas en la liberación de ibuprofeno: la primera durante el inicio (4 h), en donde se libera cerca del 8% de la carga y una segunda etapa más lenta donde se libera la carga restante (2 a 4 %) hasta transcurrir 24 h.

Conclusiones

En este trabajo se logró obtener la MOF UiO-66 mediante una variación de la síntesis reportada. Se comprobó la obtención de cristales de tamaño nanométrico por difracción de rayos X, los cuales poseen un tamaño de partícula de 42 nm y un parámetro de red de 20.6624 Å.

Por espectroscopia de infrarrojo, se asociaron las bandas de absorción a los modos de vibración y estiramiento de los enlaces presentes en la estructura de la MOF; esto corroboró la obtención del nanomaterial UiO-66. Además, de acuerdo con el análisis termogravimétrico se determinó que el mayor porcentaje de pérdida de masa del material ocurrió a una temperatura de 528 °C, donde es posible observar la degradación del material.

La cantidad de IBU adsorbida en el material resultó independiente de la concentración inicial, presentándose una capacidad de adsorción máxima de 3.9 mg. La liberación en las condiciones fisiológicas simuladas, se realizó de forma gradual y mantenida durante 24 h, con un porcentaje máximo de liberación de 12 %.

En el marco de esta investigación, se determinó que la UiO-66 es eficiente como material de liberación. De acuerdo con esto, el sistema más adecuado para liberar ibuprofeno sería IBU@(5), pues a una concentración baja de fármaco se alcanza aproximadamente la misma adsorción que con una solución saturada y el mismo porcentaje de liberación después de 24 h.

Recomendaciones

Durante la simulación *in vitro* se dificultó el filtrado de las partículas de la MOF, específicamente en las últimas horas de liberación, por lo que se sugiere el uso de una técnica HPLC (González, Bor & Amaro, 2019), para cuantificar de manera más precisa el ibuprofeno liberado. Además, la realización de la cinética de adsorción y de liberación para realizar cálculos específicos sobre las velocidades de los procesos.

Agradecimientos

Al CONACyT por el apoyo económico otorgado mediante el proyecto A1-S-31186. Al proyecto divisional CB006-16 de la UAM Azcapotzalco.

Referencias

Cavka, J. H., Jakobsen, S., Olsbye, U., Guillou, N., Lamberti, C., Bordiga, S., & Lillerud, K. P. (2008). A new zirconium inorganic building brick forming metal organic frameworks with exceptional stability. *Journal of the American Chemical Society*, 130(42), 13850-13851.

- Cunha, D., Gaudin, C., Colinet, I., Horcajada, P., Valenzano, L., Civalleri, B., Chavan, S., Bordiga, S., Nilsen, M. H., Jakobsen, S., ... & Lamberti, C. (2011). Disclosing the complex structure of UiO-66 metal organic framework: a synergic combination of experiment and theory. *Chemistry of Materials*, 23(7), 1700-1718.
- Maurin, G., & Serre, C. (2013a). Rationalization of the entrapping of bioactive molecules into a series of functionalized porous zirconium terephthalate MOFs. *Journal of Materials Chemistry B*, 1(8), 1101-1108.
- Cunha, D., Ben Yahia, M., Hall, S., Miller, S. R., Chevreau, H., Elkaim, E., ... & Serre, C. (2013b). Rationale of drug encapsulation and release from biocompatible porous metal-organic frameworks. *Chemistry of Materials*, 25(14), 2767-2776.
- DeStefano, M. R., Islamoglu, T., Garibay, S. J., Hupp, J. T., & Farha, O. K. (2017). Room-temperature synthesis of UiO-66 and thermal modulation of densities of defect sites. *Chemistry of Materials*, 29(3), 1357-1361.
- Gandara-Loe, J., Ortuño-Lizarán, I., Fernández-Sánchez, L., Alió, J. L., Cuenca, N., Vega-Estrada, A., & Silvestre-Albero, J. (2018). Metal-Organic Frameworks as Drug Delivery Platforms for Ocular Therapeutics. *ACS applied materials & interfaces*, 11(2), 1924-1931.
- González, M., Bor, M., & Amaro, R. (2019). Desarrollo y validación de un método analítico por HPLC para la determinación simultánea de ibuprofeno y tiocolchicosido en comprimidos. *Afinidad*, 76(586).
- Hartlieb, K. J., Ferris, D. P., Holcroft, J. M., Kandela, I., Stern, C. L., Nassar, M. S., & Stoddart, J. F. (2017). Encapsulation of Ibuprofen in CD-MOF and Related Bioavailability Studies. *Molecular pharmaceuticals*, 14(5), 1831-1839.
- Horcajada, P., Serre, C., Vallet-Regí, M., Sebban, M., Taulelle, F., & Férey, G. (2006). Metal-Organic Frameworks as Efficient Materials for Drug Delivery. *Angewandte Chemie International Edition*, 45(36), 5974-5978.
- Horcajada, P., Chalati, T., Serre, C., Gillet, B., Sebrie, C., Baati, T., ... & Chang, J. S. (2010). Porous metal-organic-framework nanoscale carriers as a potential platform for drug delivery and imaging. *Nature materials*, 9(2), 172-178.
- Rojas, S., Colinet, I., Cunha, D., Hidalgo, T., Salles, F., Serre, C., ... & Horcajada, P. (2018). Toward Understanding Drug Incorporation and Delivery from Biocompatible Metal-Organic Frameworks in View of Cutaneous Administration. *ACS omega*, 3(3), 2994-3003.
- Ruyra A., Yazdi, A., Espín, J., Carné-Sánchez, A., Roher, N., Lorenzo, J., ... & MasPOCH, D. (2015). Synthesis, culture medium stability, and in vitro and in vivo zebrafish embryo toxicity of metal-organic framework nanoparticles. *Chemistry-A European Journal*, 21(6), 2508-2518.
- Zhu, X., Gu, J., Wang, Y., Li, B., Li, Y., Zhao, W., & Shi, J. (2014). Inherent anchorages in UiO-66 nanoparticles for efficient capture of alendronate and its mediated release. *Chemical Communications*, 50(63), 8779-8782.

Construcción y pruebas preliminares de un prototipo experimental para evaluar la transferencia de calor en un tubo de sección transversal cuadrada en un intercambiador de calor

Construction and preliminary tests of an experimental prototype to evaluate heat transfer in a square cross-section tube in a heat exchanger

VALDIVIEZO-DE LOS SANTOS, Esteban†, SILVA-AGUILAR, Oscar, COLORADO-GARRIDO, Dario* y ALAFFITA-HERNANDEZ, F. Alejandro

Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería. Av. Universidad km 7.5, C. P. 96535 Col. Santa Isabel, Coatzacoalcos, Veracruz

Universidad Veracruzana, Centro de Investigación en Recursos Energéticos y Sustentables, Av. Universidad km 7.5, Col. Santa Isabel, Coatzacoalcos, Veracruz. C. P. 96535

ID 1^{er} Autor: Noel Esteban, Valdiviezo-De los Santos

ID 1^{er} Coautor: Oscar, Silva-Aguilar / ORC ID: 0000-0002-5109-3193, CVU CONACYT ID: 338659

ID 2^{do} Coautor: Dario, Colorado-Garrido / ORC ID: 0000-0003-4157-1005, Researcher ID Thomson: 56013715700

ID 3^{er} Coautor: F. Alejandro, Alaffita-Hernández / ORC ID: 0000-0002-9462-0160, Researcher ID Thomson: 57103583500

DOI: 10.35429/JOES.2019.18.6.16.22

Recibido 09 Febrero, 2019; Aceptado 28 Marzo, 2019

Resumen

La aportación de esta investigación es determinar el cambio en el flujo de calor ocasionado por la torsión axial en un tubo de sección transversal cuadrada. El tubo estudiado es parte de un prototipo de intercambiador de calor diseñado y construido por el grupo de investigación en "Ingeniería y simulación de procesos energéticos" de la Universidad Veracruzana, región Coatzacoalcos, Veracruz. El prototipo experimental se diseñó y construyó con tubería PVC y la sección de prueba con tubos de aluminio. El equipo transfiere calor desde 5 a 60 kJ de energía, con flujos volumétricos de agua de 3 a 20 l/min. El tubo sin torsión axial (0°) es comparado con otros tres tubos con 180°, 360° y 540° de torsión. Los resultados reportados en este estudio muestran las pruebas experimentales preliminares en donde se configuran cuatro niveles de flujo de agua, se utilizaron instrumentos de medición de flujo y temperatura. Los resultados muestran un incremento en la transferencia de calor en el equipo a medida que se aumenta el grado de torsión axial en los tubos de sección cuadrada.

Flujo de calor, Mejoras pasivas, Prototipo

Abstract

The contribution of this research is to determine the change in the heat flow by the axial torsion in a tube of square cross section. The tube studied is part of a prototype heat exchanger designed and built by the research group in "Engineering and simulation of energy processes" of the Universidad Veracruzana, Coatzacoalcos region, Veracruz. The experimental prototype was designed and constructed with PVC pipe and the test section with aluminum tubes. The heat transfer of equipment was from 5 to 60 kJ with volumetric flows from 3 to 20 l/min and water as a working fluid. The tube without axial torsion (0°) is compared with three other tubes with 180°, 360° and 540° torsion. The experimental results reported in this study show the preliminary experimental tests where four levels of water flow are configured, using flow and temperature measurement instruments. The preliminary experimental results reveal an increase in the heat transfer in the equipment as the degree of axial torsion in the square section tubes is increased.

Heat flux, Passive improvements, Prototype

Citación: VALDIVIEZO-DE LOS SANTOS, Esteban, SILVA-AGUILAR, Oscar, COLORADO-GARRIDO, Dario y ALAFFITA-HERNANDEZ, F. Alejandro. Construcción y pruebas preliminares de un prototipo experimental para evaluar la transferencia de calor en un tubo de sección transversal cuadrada en un intercambiador de calor. Revista de Sistemas Experimentales. 2019. 6-18: 16-22

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: torlia@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor

Introducción

El presente trabajo describe el diseño, construcción y pruebas preliminares de un prototipo experimental para cuantificar la transferencia de calor en tubos de sección transversal cuadrada en un intercambiador de calor. Los intercambiadores de calor son los sistemas térmicos más utilizados, se usan en procesos industriales, doméstico, comercial, procesos químicos, centrales eléctricas, etc. Diversos autores han reportado prototipos construidos para evaluar la transferencia de calor bajo diferentes características.

Al respecto, (Patiño et al. 2016) construyeron diversos prototipos, uno de estos utilizando tubos de PVC como tubería del sistema y cobre como su sección de prueba utilizados para un calentador solar de colector plano, usaron electroválvulas hidráulicas para el control de flujo. García et al. (2016) presentaron la construcción de un prototipo de cocina solar, el cual fue elaborado de tubos internos con cubierta de aleación de nitrato de aluminio, con un recipiente de lámina de acero inoxidable de grado alimenticio.

Actualmente incrementar la transferencia de calor en un intercambiador de calor ha llevado a proponer diseños novedosos. Con dicho fin, las técnicas propuestas son las activas y las pasivas, se han hecho trabajos en donde se menciona los métodos antes mencionados. Ambas técnicas modifican el tratamiento del flujo(fluido), en el caso de “método activo” se requiere de una fuente de energía externa para aumentar la transferencia de calor, en casos específicos los sistemas trabajan a temperaturas altas o son expuestos a calor excesivo, esto puede afectar su funcionamiento y la vida útil (Alam y Kim; 2017). Para garantizar el rendimiento de los sistemas, estos son enfriados externamente para eliminar el exceso de calor, ya que se generan puntos calientes del sistema y de esta manera disipar el calor.

Por otro lado, la técnica de “método pasivo” no requiere de un suministro energía externa, este método es muy popular en las industrias debido a su diseño simple, más compacto y confiable (Dewan et al. 2004).

Los procesos industriales requieren de una nueva generación de equipos que tengan un mejor rendimiento y excluyan las desventajas de las construcciones utilizadas actualmente (Wang Q. et al; 2014). Valdez et al. (2019) presentan el estudio donde se evaluó el efecto de torsión en el tubo interno de un intercambiador de calor de doble tubo con fluidos monofásicos, los autores reportan un incremento en la transferencia de calor de hasta un 28.8%.

La modificación de la superficie junto con promotores de la turbulencia es de las grandes ventajas de este método, hay diferentes promotores de la turbulencia en forma de: aspereza artificial (Prasad. 2013, Prasad et al. 2015), interrupción del flujo (Muszynski T. and Koziel S.M. 2016), aletas (Alam Tabish y Man-Hoe Kim. 2017), cintas retorcidas (Promvonge et al. 2007, Yadav. 2009), costillas (Hans et al. 2010), obstáculos (Akpınar y Koçyiğit. 2010, Bekele et al. 2014).

En el trabajo de Gupte y Date (1989) evaluaron de manera semi empíricamente los coeficientes de transferencia de calor por un flujo de remolino en un anillo, como consecuencia de estos diferentes promotores generan un incremento en la transferencia de calor. De igual forma se puede mejorar la transferencia de calor con un aumento del área de transferencia de calor usando una superficie extendida. Dewan et al. (2004) especifican como los métodos pasivos aportan una mejora en el aumento en la transferencia de calor respecto a los métodos activos.

En la presente investigación se diseñó, construyo y se realizaron pruebas preliminares de un intercambiador de calor de contacto indirecto. El sistema consta de las siguientes secciones:

1. Tanque de alimentación,
2. Arreglo de tuberías y bomba en paralelo para controlar el flujo volumétrico,
3. Sección de prueba y
4. Estanque.

En la sección de prueba se evalúa un tubo de sección transversal cuadrada de material aluminio y 1 m de longitud en posición horizontal. El prototipo está diseñado para evaluar diferentes geometrías de tubo. La presente investigación se organizó de acuerdo con lo siguiente:

En la sección 2 se describen los componentes del prototipo experimental y los materiales de construcción, en la sección 3 se presenta la selección de los instrumentos de medición de caudal y temperatura, en la sección 4 se describe el procedimiento de operación del prototipo; así como los resultados de las pruebas preliminares y finalmente las conclusiones.

Materiales y descripción del prototipo

En la Figura 1 se muestra el prototipo del intercambiador de calor, su estructura consta de tubería de PVC, conexiones Te, codos de 45°, 90°, tuercas unión y válvulas. Antes de iniciar las pruebas preliminares todas las uniones fueron verificadas de que no se tenga alguna fuga en el sistema.

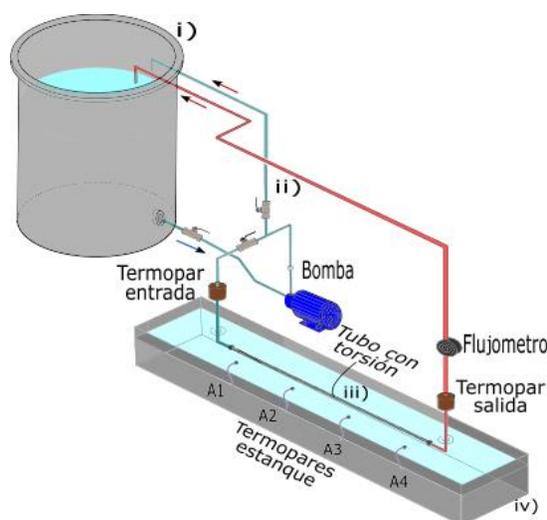


Figura 1 Diagrama esquemático del prototipo

Se utilizó una bomba ½ hp de potencia la cual se colocó a la salida del tanque. En la succión de la bomba, se tiene una válvula de bola la cual se mantiene abierta en todo momento y dos válvulas iguales se colocaron en la descarga de la bomba para tener control en la variación de flujo volumétrico. Las especificaciones se encuentran en la Tabla 1.

Material	Cantidad
Tubo ASTM D 1785 SCH 40, ½ pulgada PVC PR 600 @ 23°C	7 m
T ASTM D 1785 SCH 40, ½ pulgada PVC PR 600 @ 23°C	1
Codos de 90° ASTM D 1785 SCH 40, ½ pulgada PVC PR 600 @ 23°C	10
Codos de 45° ASTM D 1785 SCH 40, ½ pulgada PVC PR 600 @ 23°C	2
Válvulas PCP SCH 80 PVC 235 PSI @ 23°C	3
Bomba Adir periférica de ½ hp	1

Tabla 1 Material, accesorios y equipo utilizado en el prototipo

Se propuso una mejora pasiva a los tubos de sección cuadrada al aplicar en frío esfuerzos tangenciales superiores al límite elástico para obtener una torsión axial permanente Figura 2.

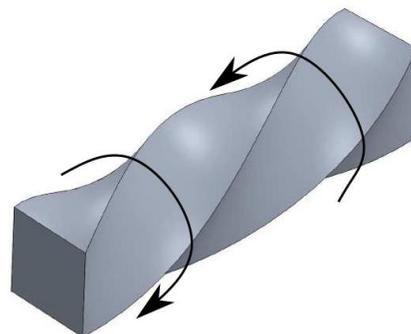


Figura 2 Torsión axial

En la sección de prueba de intercambio de calor la variación angular de la sección transversal entre los extremos fue de 0, 180, 360 y 540°. En los extremos se instalaron conectores cónicos de sello metal-metal, Figura 3.

Se hicieron pruebas de hermeticidad para verificar la ausencia de fisuras en tubos y fugas en las conexiones.



Figura 3 Tubos de aluminio

La Tabla 2 muestra las características y propiedades de los tubos de sección transversal cuadrada:

Tubo	
Material (composición)	Aluminio-magnesio-silicio
Longitud de arista exterior	12.7 mm
Espesor de pared	1 mm
Longitud del tubo	1m
Conductividad térmica	209 $\frac{w}{m \cdot K}$

Tabla 2 Características del tubo de prueba

VARIABLES DE OPERACIÓN E INSTRUMENTOS

Se colocaron 4 termopares en el estanque y 2 termopares uno a la entrada y otro a la salida de nuestra sección de prueba para tener indicadores de medida sobre el comportamiento del intercambiador de calor, los termopares utilizados son tipo T.

La Tabla 3 muestra los rangos a los que trabaja cada instrumento y los valores de incertidumbre.

Instrumento	Termopar T	Medidor de flujo
Cantidad	6	1
Rango de trabajo	-250 a 350 °C	1 a 60 l/min
Error	± 0.5 °C puntual	± 2% en escala completa

Tabla 3 Rango e incertidumbres de los instrumentos de medición

Se instaló un medidor de flujo en la salida de la sección de prueba en la **Figura 4** de marca Digiten FL-608 el cual su rango de trabajo es de 1-60 l/min.



Figura 4 Medidor de flujo

Se utilizó para la lectura de datos un Agilent 34972A ilustrado en la Figura 5, el adquisidor tiene tarjetas con entradas análogas para poder conectar los termopares y el medidor de flujo.



Figura 5 Agilent 34972^a

Para la calibración de los instrumentos los termopares tipo T junto con el medidor de flujo se sometieron a pruebas de calibración, con ayuda del Agilent y el programa Agilent BenchLink Data Logger 3 el cual ayuda a indicar en cada canal que variable se conecta, en nuestro caso: temperatura y flujo másico.

Los termopares se calibraron mediante inmersión simultánea en un fluido a temperatura constante hasta obtener uniformidad en las mediciones de temperatura, con el medidor de flujo se contrastaron los resultados de la medición analógica, con los valores de caudal obtenidos en reiteradas mediciones experimentales.

$$\dot{V} = \frac{f}{5.5} \frac{l}{min} \quad (2)$$

La ecuación (2) rige al medidor de flujo de acuerdo con el fabricante, donde \dot{V} es el flujo volumétrico, f es frecuencia en Hz (el medidor sirve por medio del efecto Hall) y teniendo un factor de conversión propuesto por el fabricante. En la Figura 6 se le denomina válvula 1 (válvula para la sección de prueba) y válvula 2 (válvula para retorno). La variación de apertura de las válvulas permitió obtener diferentes flujos volumétricos y en consecuencia diferentes valores de Reynolds.

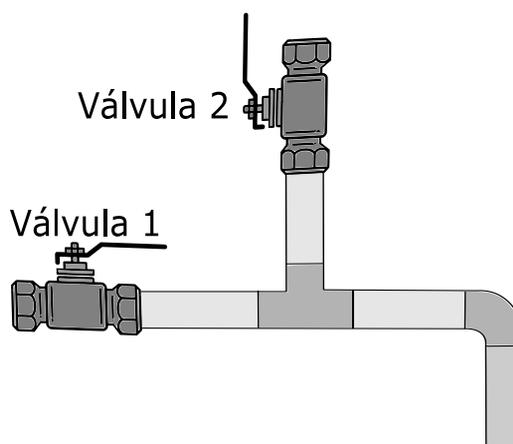


Figura 6 Válvulas a la salida de la bomba de la bomba extraída de la Figura 1

PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y PRUEBAS PRELIMINARIAS

El Agilent se conecta mediante un puerto USB a una computadora, con el programa Agilent BenchLink Data Logger 3 antes mencionado para obtener lecturas de los instrumentos de medición.

Para el arranque de las pruebas se sigue el siguiente procedimiento:

1. Primero se calentó el agua en el estanque, verificando que la temperatura sea lo más uniforme posible en todo el volumen, esto se verificaba con el programa Agilent BenchLink Data Logger 3. El objetivo de este primero paso es alcanzar un estado de estabilidad térmica en el estanque.
2. Se configura el equipo para los niveles de flujo volumétrico deseado, utilizando siguiente procedimiento:
 - a. La primera posición de las válvulas indica como parcialmente abierta la válvula 1 y totalmente abierta la válvula 2 para el primer nivel de flujo.
 - b. Para la segunda posición de las válvulas es totalmente abiertas ambas válvulas para el segundo nivel de flujo.
 - c. Para la tercera posición de las válvulas es totalmente abierta la válvula 1 y parcialmente abierta la válvula 2 para el tercer nivel de flujo.
 - d. Finalmente, se toma la posición totalmente abierta la válvula 1 y totalmente cerrada la válvula 2 para el máximo nivel de flujo posible.
3. La sección de prueba permite cambiar el tubo de sección cuadrada, se fue experimentando con cada tubo fabricado, para 3 niveles de torsión en tubo: 0° (tubo sin torsión), 180°, 360° y 540°.
4. El tiempo de experimentación y registro de datos para cada prueba es de 8 minutos, por cada nivel de flujo volumétrico.

El Gráfico 1 da como referencia el orden al que fue sometidas todas las pruebas, la cual va de forma ascendente, del flujo menor al flujo mayor de forma escalonada, de acuerdo con lo descrito en el paso 2.

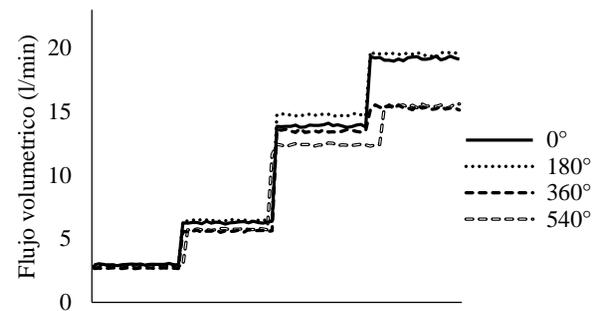


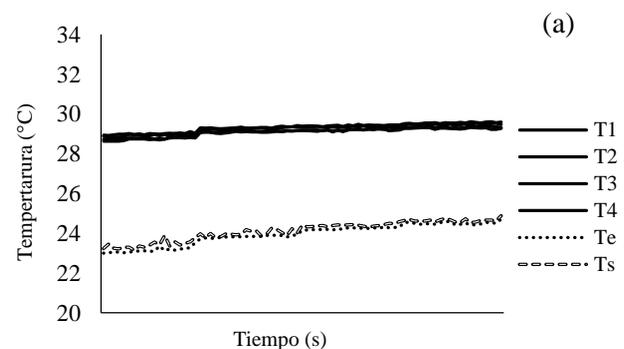
Gráfico 1 Flujo volumétrico utilizado para las pruebas preliminares

En el Gráfico 2 se muestra la temperatura registrada por los termopares, donde T1, T2, T3, T4 indicando a los termopares que están en el estanque, Te a la temperatura de entrada y Ts la temperatura de salida. El calor transmitido en las pruebas parte de la fórmula (3) la cual está indicando en la Gráfica 3.

$$\dot{Q} = \dot{V}\rho C_p \Delta T \quad (3)$$

Donde \dot{Q} es el flujo de calor en W, \dot{V} el flujo volumétrico en m^3 , ρ la densidad media del fluido en kg/m^3 , C_p el calor específico medio en $\text{J}/\text{kg K}$ y ΔT la diferencia de temperaturas en $^{\circ}\text{C}$, entre la entrada y salida del tubo evaluado.

Como se puede observar en la Gráfica 3, la transferencia de calor aumenta a medida que el caudal y los grados de torsión aumentan. Para una prueba, seleccionando un grado de torsión en el tubo, la transferencia de calor se aumenta a medida que el flujo volumétrico se aumenta usando la configuración de válvulas descritas en la sección 4 *Procedimiento de arranque y pruebas preliminares*.



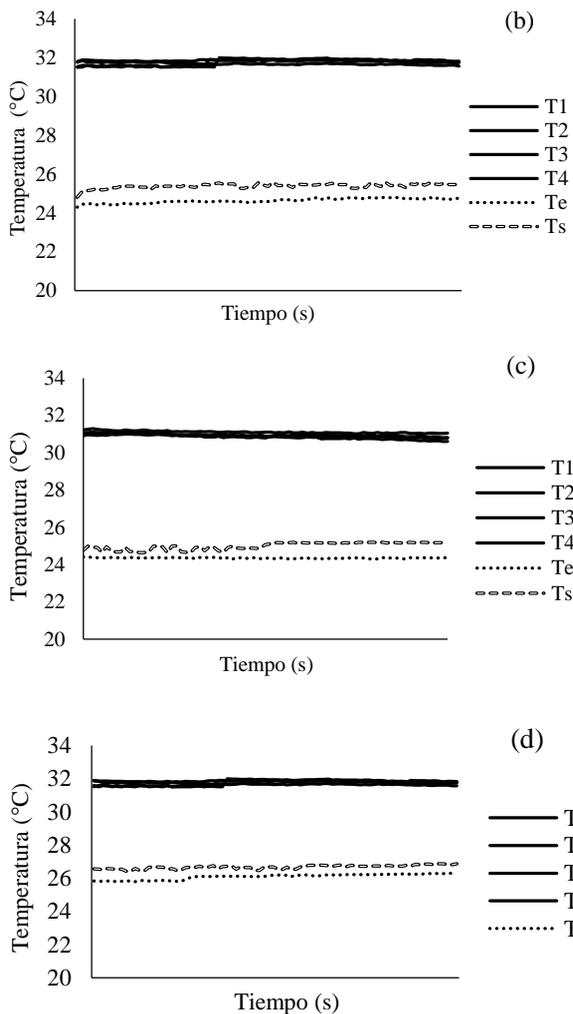


Gráfico 2 Variación de temperatura a caudal constante de tubos con torsión: (a) 0°, (b) 180°, (c) 360° y (d) 540°

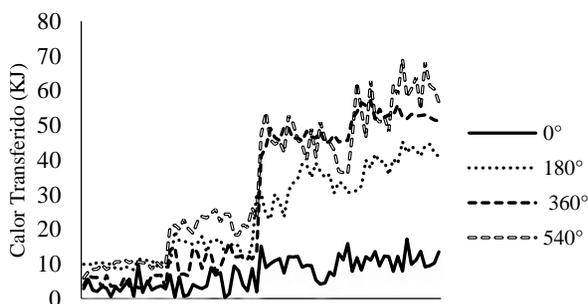


Gráfico 3 Calor transferido con variación de flujo volumétrico y torsión

Conclusiones

Un prototipo experimental para evaluar la transferencia de calor en tubos de Aluminio-magnesio-silicio de sección transversal cuadrada con diferentes niveles de torsión axial ha sido exitosamente diseñado, construido y evaluado preliminarmente.

Las pruebas preliminares reportadas en este trabajo revelan que existe un incremento en la transferencia de calor del tubo al estanque cuando usamos un tubo con torsión de 180°, 360° y 540° en comparación con un tubo sin torsión 0°. Además, la configuración de válvulas planificada en el diseño del prototipo nos permite trabajar con 4 niveles de flujo volumétrico, con la finalidad de medir su influencia en la transferencia de calor.

Las pruebas experimentales deben de prolongarse con la finalidad de que el sistema alcance un estado de estabilidad termodinámica, tanto en el estanque como en el flujo interior de la sección de prueba, con la finalidad de cuantificar en una mejor medida los resultados. El presente prototipo tiene la finalidad de ayudar a ingenieros, docentes y estudiantes a evaluar la transferencia de calor en secciones de prueba con tubos de diferentes geometrías.

Referencias

Akpınar EK, Koçyiğit F. Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Appl Energy* 2010; 87:34 38–50

Alam Tabish, Kim Man-Hoe* (2017) A comprehensive review on single phase heat transfer enhancement techniques in heat exchanger applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 2018; 813–839

Bekele A, Mishra M, Dutta S. Performance characteristics of solar air heater with surface mounted obstacles. *Energy Convers Manag* 2014; 85:603–11.

Dewan A, Mahanta P, Sumithra Raju K and Suresh Kumar P 2004 Review of passive heat transfer augmentation techniques. *Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part A: J. Power and Energy*.

García-Carrera, Diana, Lupian-Ugalde, Valeria, Marroquin-De Jesus, Ángel y Hernández-Rivera, Jaime. Caracterización de una cocina solar dúplex de tubos evacuados. *Revista de Prototipos Tecnológicos* 2016; 6: 52-60.

Gupte, N. S. and Date, A. W. Friction and heat transfer characteristics of helical turbulent air flow in annuli. *Trans. ASME, J. Heat Transfer*, 1989, 111:337–344.

Hans VS, Saini RP, Saini JS. Heat transfer and friction factor correlations for a solar air heater duct roughened artificially with multiple v-ribs. *Sol Energy* 2010; 84: 898–911.

Muszynski T., Koziel S.M., Parametric study of fluid flow and heat transfer over louvered fins of air heat pump evaporator, *Arch. Thermodyn.* (3) 2016; 37:45–62

Patiño-Jiménez, Felipe, Ramírez-Coutiño, Víctor y Lujan-Martínez, Miriam. Sistema de Destilación Solar para Agua Contaminada. *Revista de Prototipos Tecnológicos* 2016; 6: 76-81.

Prasad BN, Kumar A, Singh KDP. Optimization of thermo hydraulic performance in three sides artificially roughened solar air heaters. *Sol Energy* 2015; 111:313–9.

Prasad BN. Thermal performance of artificially roughened solar air heaters. *Sol Energy* 2013; 91:59–67.

Promvonge P, Khanoknaiyakarn C, Kwankaomeng S, Thianpong C. Thermal behavior in solar air heater channel fitted with combined rib and delta-winglet. *Int Commun Heat Mass Transf* 2011; 38:749–56.

Promvonge P, Eiamsa-ard S. Heat transfer behaviors in a tube with combined conical-ring and twisted-tape insert. *Int Commun Heat Mass Transf* 2007; 34: 849–59.

Valdez M, Ardila JG, Colorado D, Escobedo-Trujillo BA, Computational model to evaluate the effect of passive techniques in tube-in-tube helical heat exchanger, *Energies* 2019, 12, 1912.

Wang Q., M. Zeng, T. Ma, X. Du, J. Yang, Recent development and application of several high-efficiency surface heat exchangers for energy conversion and utilization, *Appl. Energy* 2014; 135:748–777.

Yadav AS. Effect of half length twisted-tape turbulators on heat transfer and pressure drop characteristics inside a double pipe U-bend heat. *Jordan J Mech Ind Eng* 2009; 3:17–22.

Método aproximado para determinar la potencia óptica en una linterna fotónica

Approximate method to determine the output optical power in a photonic lantern

PALMA-ARGUELLO, Patricia Ixchel†¹, PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina*¹, MARTÍNEZ-PIÑÓN, Fernando² y HERNÁNDEZ-VALDEZ, Genaro¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, Av San Pablo Xalpa 180, Reynosa Tamaulipas, Ciudad de México, C.P. 02200

²Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e innovación Tecnológica, Cerrada Cecati S/N, Col. Sta Catarina, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02250

ID 1^{er} Autor: Patricia Ixchel, Palma-Arguello / ORC ID: 0000-0001-6527-5230, Researcher ID Thomson: G-1187-2019, CVU CONACYT ID: 972079

ID 1^{er} Coautor: Grethell Georgina, Pérez-Sánchez / ORC ID: 0000-0002-5505-6226, Researcher ID Thomson: C-8641-2018, CVU CONACYT ID: 230934

ID 2^{do} Coautor: Fernando, Martínez-Piñón / ORC ID: 0000-0002-6845-6085, CVU CONACYT ID: 202377

ID 3^{er} Coautor: Genaro, Hernández-Valdez / ORC ID: 0000-0002-1280-3527, CVU CONACYT ID: 35223

DOI: 10.35429/JOES.2019.18.6.23.29

Recibido 09 Febrero, 2019; Aceptado 28 Marzo, 2019

Resumen

La astronomía se ha beneficiado de manera significativa con el desarrollo de la tecnología fotónica. Sin embargo, el uso de fibras ópticas monomodo en esta área no es del todo eficiente, esto debido principalmente a que su núcleo, del orden de 8 micras de diámetro, no permite la captación de grandes cantidades de luz. Además, en ciertos estudios astronómicos, se requiere analizar la luz incoherente multimodal proveniente de los astros, particularmente en el rango espectral del infrarrojo cercano. Una solución a estas demandas es el uso de linternas fotónicas, que son dispositivos que funcionan como interfaz entre un conjunto de fibras monomodo y una fibra multimodo, y en cuya transición se obtienen pérdidas ópticas muy bajas. Sin embargo, no existe hasta donde tenemos conocimiento, un método matemático para el análisis del comportamiento de la potencia de salida en las linternas fotónicas. Por lo que, en este trabajo se propone un método numérico de aproximación para determinar la potencia óptica de salida de fibras ópticas monomodo en una linterna fotónica, utilizando la solución de las ecuaciones de eigenvalor, así como la captura espacial de una parte de la distribución de potencia óptica, mediante el extremo de una fibra óptica adelgazada monomodo.

Linterna fotónica, Astronomía, Potencia óptica

Abstract

Astronomy has benefited significantly from the development of photonic technology. However, the use of single-mode optical fibers in this area is not entirely efficient, this is mainly since its core, of the order of 8 microns in diameter, does not allow the capture of large amounts of light. In addition, in certain astronomical studies, it is required to analyze the multimodal incoherent light coming from the stars, particularly in the spectral range of the near infrared. One solution to these demands is the use of photonic lanterns, which are devices that function as an interface between a set of single-mode fibers and a multimode fiber, and in whose transition very low optical losses are obtained. However, there is not as far as we know, a mathematical method for the analysis of the behavior of the output power in photonic lanterns. Therefore, in this work we propose a numerical approximation method to determine the optical output power of single mode optical fibers in a photonic lantern, using the solution of eigenvalue equations, as well as the spatial capture of a part of the distribution of optical power, through of the end of a monomode tapered optical fiber.

Photonic-lantern, Astronomy, Optical power

Citación: PALMA-ARGUELLO, Patricia Ixchel, PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, MARTÍNEZ-PIÑÓN, Fernando y HERNÁNDEZ-VALDEZ, Genaro. Método aproximado para determinar la potencia óptica en una linterna fotónica. Revista de Sistemas Experimentales. 2019. 6-18: 23-29

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: ggps@azc.uam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor

Introducción

Una linterna fotónica es un dispositivo en el cual una fibra multimodo (MM) se une a un conjunto de fibras monomodo (SM) adelgazadas (“*Optical fiber tapers*” en inglés. “*Taper*”, en general, se refiere a una estructura geométrica cónica), y cuyo funcionamiento permite el paso de diferentes modos de propagación de la luz al mismo tiempo sin que interfieran entre sí, ya que estos toman un camino separado por las diferentes fibras SM, ver Figura 1 (Leon-Saval, Birks, Bland-Hawthorn, & Englund, 2005; Yerolatsitis & Leon-saval, 2015).

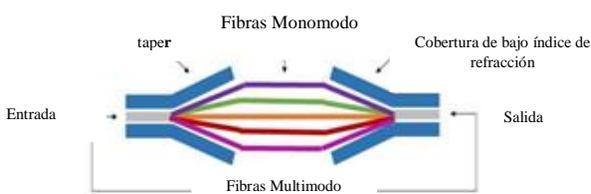


Figura 1 Diagrama esquemático de una linterna fotónica.

En astronomía, las linternas fotónicas se utilizan para la observación en el rango del espectro del infrarrojo cercano y medio, ya que permiten transportar y filtrar información desde el plano focal del telescopio hasta los instrumentos de análisis, con pérdidas muy bajas. Debido a que las fibras MM permiten la transmisión de múltiples modos en el mismo núcleo, la luz incoherente proveniente de los astros puede ser transportada desde el telescopio por la fibra MM hasta la zona de transición con las fibras SM.

Así cada modo de propagación es transmitido en las diferentes fibras SM, y filtrado mediante rejillas de Bragg, para posteriormente ser enviadas por la fibra MM de salida hacia espectrógrafos que analizan la información, como se puede observar en la Figura 2.

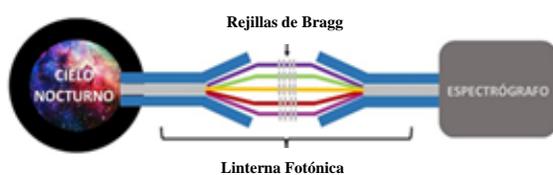


Figura 2 Linterna fotónica como instrumento para la observación en astronomía

Las linternas fotónicas en astronomía permiten realizar mediciones de la luz obtenida en observación, ya que con un solo dispositivo se pueden recolectar y filtrar diferentes bandas de información al mismo tiempo, con pérdidas muy bajas en el proceso, siendo el proceso de filtrado físico por medio de rejillas de Bragg más rápido y directo que el filtrado digital. (Jovanovic, Guyon, Kawahara, & Kotani, 2017).

De las linternas fotónicas se sabe que, la luz proveniente de la fibra MM excita diferentes modos de propagación en la guía de onda, los cuales se acoplan de manera preferencial a las diferentes fibras monomodo en función de su posición a lo largo de la transición, viajando a través de estas de forma separada. Sin embargo, el proceso exacto mediante el cual cada modo elige una guía de onda, aún no ha sido explorado en su totalidad, ya que los trabajos realizados hasta el momento se enfocan en excitar los modos por separado y analizarlos individualmente (Chala Estrada Roberto Daniel, 2019; González & Morris, 2019; Miguel Caldas Abril, 2018; Velázquez-benítez et al., 2018).

Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es determinar la distribución de potencia óptica total a partir de la potencia individual de los diferentes modos de propagación excitados en una linterna fotónica vía sus fibras ópticas monomodo de entrada.

Metodología

En este trabajo se desarrolla un método de simulación para obtener la superposición de modos de propagación de la luz dentro de una fibra óptica MM, la potencia óptica en el área transversal de esta, y la distribución de potencia en una linterna fotónica de pocos modos.

El método desarrollado, se basa en las ecuaciones propuestas por Gloge para los modos aproximados Linealmente Polarizados (LP) (Gloge & Equation, 1971), con el supuesto que, aunque los modos viajan por la fibra sin interferir entre sí, la intensidad óptica en el área transversal de la misma es la suma de las intensidades de cada modo individual. Además, la distribución de potencia total en el área de transición con las fibras SM es lo que excita la creación de los modos en estas últimas.

El método de simulación propuesto consiste en los siguientes pasos:

- Obtención de la ecuación de eigenvalor.
- Solución a la ecuación de eigenvalor.
- Superposición de modos y cálculo de la potencia óptica.
- Distribución de potencia óptica de salida de la linterna fotónica.

Para llevarlos a cabo, se realiza la simulación de los modos de propagación de la luz que pueden ser excitados y transmitidos en una fibra MM, posteriormente se simula la superposición de dichos modos, basándose en las suposiciones antes mencionadas, y el resultado obtenido se aplica a una potencia de excitación de 1 mW. Finalmente, se simula la distribución de potencia transmitida a un arreglo de siete fibras SM adelgazadas.

Con este método se logra aproximar el comportamiento del campo electromagnético dentro de una fibra MM en múltiples aspectos, como lo son la distribución de campo, la potencia óptica y la intensidad lumínica, lo que es de interés no solo para la astronomía, sino también para el campo de las telecomunicaciones, el diseño de sensores y todas las áreas tecnológicas donde se involucre el uso de fibras ópticas (guías de onda).

Contribución de la investigación

La contribución principal de este trabajo es el diseño de un método numérico de simulación para determinar la distribución de potencia óptica total a la salida de una linterna fotónica, dependiendo del número de fibras ópticas monomodo a la entrada; lo cual determina también el número de modos excitados. Existen diversos trabajos de investigación sobre el análisis de linternas fotónicas, sin embargo, la determinación teórica de la distribución de la potencia óptica total no ha sido reportada.

Análisis teórico y simulación

Obtención de la ecuación de Eigenvalor

Se considera la estructura interna de una fibra multimodo como se muestra en la Figura 3.

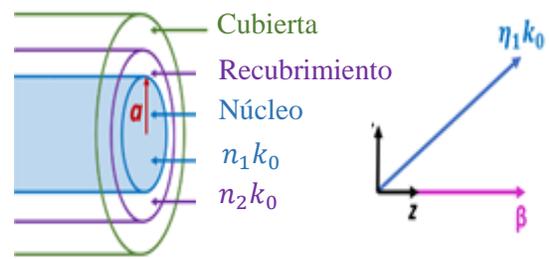


Figura 3 Diagrama de la estructura interna de una fibra óptica multimodo

En donde las ecuaciones paramétricas de la fibra están descritas por:

$$u^2 = a^2(n_1^2 k_0^2 - \beta^2) \quad (1)$$

$$w^2 = a^2(\beta^2 - n_2^2 k_0^2) \quad (2)$$

$$v^2 = u^2 + w^2 \quad (3)$$

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (4)$$

Donde v es la frecuencia normalizada, u y w son los parámetros modales de la guía, n_1 es el índice de refracción del núcleo, n_2 es el índice de refracción del revestimiento, a es el radio del núcleo y λ es la longitud de onda.

La ecuación de eigenvalor o ecuación característica de la fibra para modos aproximados o modos polarizados linealmente por guiado débil ($n_1 \approx n_2$) es:

$$\frac{u J_{l+1}(u)}{J_l(u)} = \frac{w K_{l+1}(w)}{K_l(w)} \quad (5)$$

Donde J_l es la función Bessel de primera clase de orden l y K_l es la función Bessel modificada de segunda clase de orden l . De las cuales obtenemos las ecuaciones para el campo electromagnético F en fibras de guiado débil, r es la coordenada radial el cual varía entre 0 y el radio del revestimiento. Las funciones están definidas en coordenadas cilíndricas debido a la geometría de la fibra como:

$$F_l = \frac{J_l\left(\frac{u r}{a}\right)}{J_l(u)} \cos(l\varphi), \quad 0 < r < a \quad (6)$$

$$F_l = \frac{K_l\left(\frac{w r}{a}\right)}{K_l(w)} \cos(l\varphi), \quad r > a \quad (7)$$

Para poder realizar el tratamiento en el lenguaje de programación utilizado, se realiza la conversión a coordenadas rectangulares, por lo que las ecuaciones 6 y 7 quedan como:

$$F_l = \frac{J_l\left(u\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{a}\right)}{J_l(u)} \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} \quad (8)$$

si $\sqrt{x^2 + y^2} \leq a$.

$$F_l = \frac{K_l\left(w\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{a}\right)}{K_l(w)} \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}, \quad (9)$$

si $\sqrt{x^2 + y^2} > a$

La función F_l nos brinda el valor porcentual del campo $\Psi(E, H)$ en cada par coordenado (r, ϕ) , por lo cual 8 y 9 quedan definidas como:

$$\Psi = \frac{J_l\left(u\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{a}\right)}{J_l(u)} \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}, \quad (10)$$

si $\sqrt{x^2 + y^2} \leq a$

$$\Psi = \frac{K_l\left(w\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{a}\right)}{K_l(w)} \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}, \quad (11)$$

si $\sqrt{x^2 + y^2} > a$

Para obtener la potencia óptica P se utiliza la siguiente ecuación:

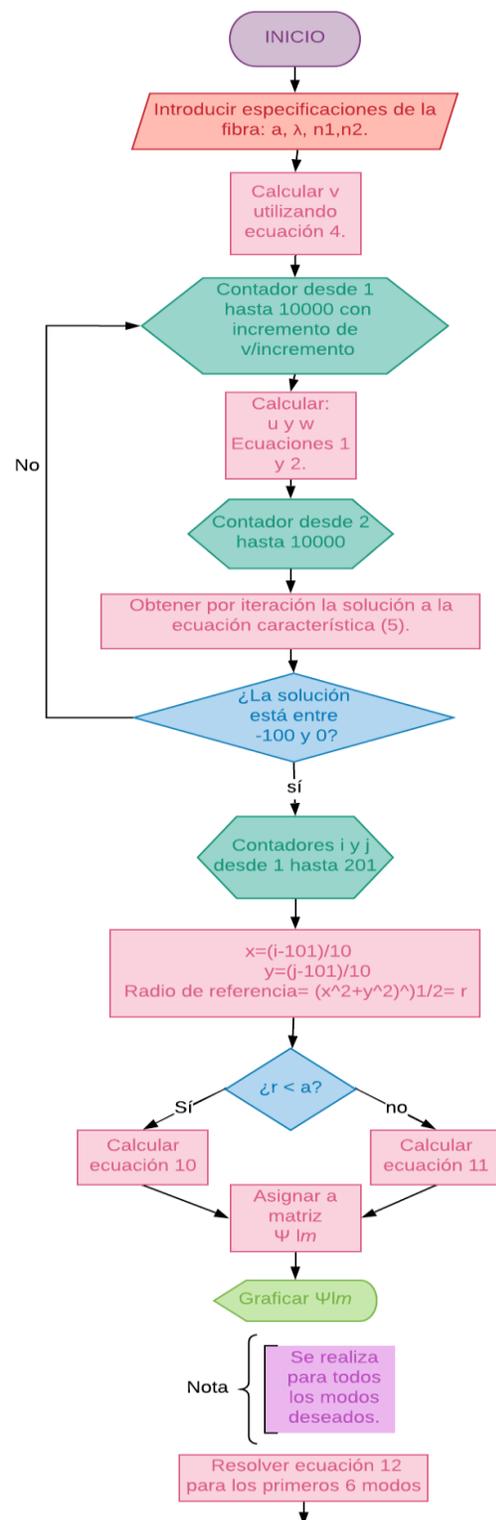
$$P \propto \alpha \Psi^2 \quad (12)$$

Donde α es una constante de proporcionalidad.

Solución a la ecuación de eigenvalor

Los parámetros u y w de la fibra son las soluciones a la ecuación (5), y como estas dependen del radio del núcleo, es de esperarse que, al resolverla, se obtengan varios pares de soluciones para la misma. Es esto lo que da origen a las familias de modos, que en el caso aproximado se denotan como LP_{lm} , donde l representa el número correspondiente a la familia, y m el modo individual.

Además, el parámetro v que se obtiene de ellos, nos sirve como indicador del orden y número de modos generados en una fibra dada. Con el fin de resolver la ecuación de eigenvalor para las familias de modos (10 y 11), se formuló un código que, utilizando las ecuaciones antes mencionadas, realiza el proceso que se ilustra con el diagrama de flujo de la Figura 4.



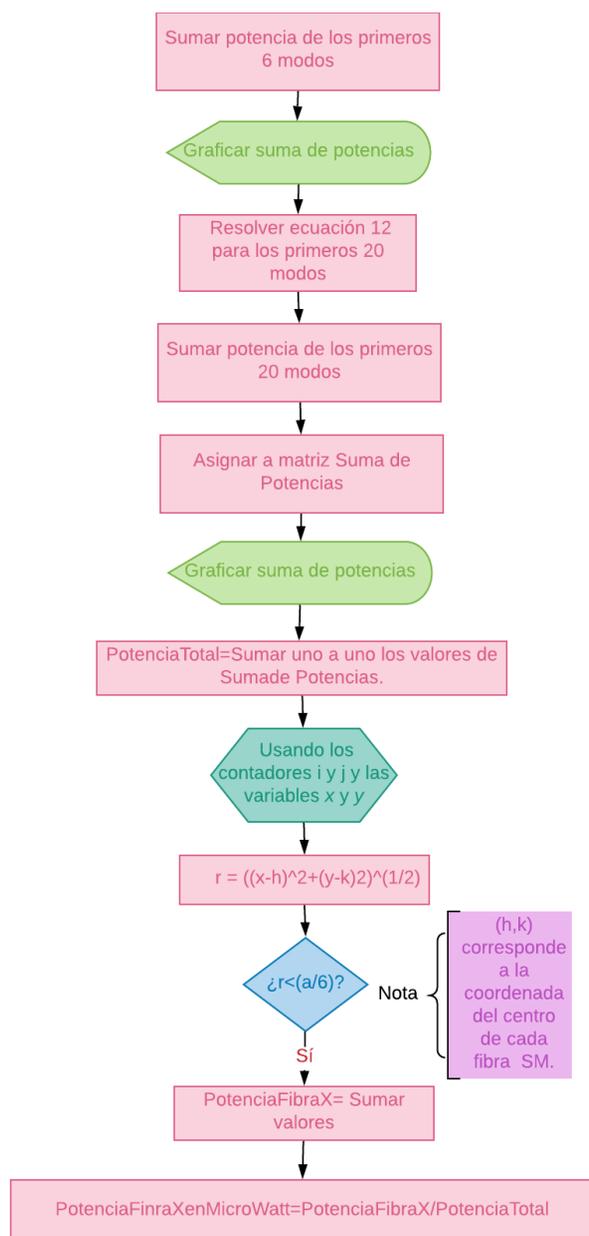


Figura 4 Diagrama de flujo del modelo de solución al problema de la potencia óptica de salida en la fibra MM de una linterna fotónica.

El resultado obtenido en la primera parte del código es una matriz de orden 200x200 formada por los valores de campo $\Psi(E, H)$ en cada punto. La segunda parte del código se encarga de graficar tridimensionalmente el perfil de campo $\Psi(E, H)$ y de brindarnos la vista superior de este (ejemplos en Anexo 1), que es de interés para comparar con las reportadas en la enciclopedia de RP Photonics (“RP Photonics Encyclopedia - modes, waveguide, propagation modes, optical fiber, resonator, resonator, field distribution,” n.d.).

Para lograr igualar la polarización en las familias de modos impares, se agrega una fase inicial al argumento de $\cos(l\varphi) \rightarrow \cos(l\varphi + \delta)$. También es necesario cambiar el valor de l en las funciones para obtener las matrices de todas las familias de modos.

Superposición de modos

Una vez calculadas las matrices de campo para cada uno de los modos, estas son elevadas al cuadrado de forma individual con el fin de obtener una matriz de potencia óptica para cada modo, como lo indica la ecuación 12.

Las matrices obtenidas son sumadas con el fin de obtener la matriz de potencia correspondiente a la superposición de los modos. Esta matriz es graficada tridimensionalmente y se puede observar el perfil de la distribución de potencia, así como la vista superior de la misma.

Cálculo de la potencia óptica de salida

La estructura interna de un conjunto de fibras adelgazadas en el *taper* de una linterna fotónica, como se puede observar en la Figura 5, las fibras SM se han adelgazado de forma adiabática (con bajas pérdidas) lo suficiente, de tal forma que el núcleo pasa a ser despreciable y la nueva guía de onda es el recubrimiento de la misma, por lo tanto, suponemos sus áreas transversales como las que reciben la potencia óptica de salida para transportar los modos.

Se realiza la suposición de siete fibras SM adelgazadas de igual radio, colocadas en una configuración similar a la de la Figura 5, las cuales son aproximadas a círculos dentro de la matriz de potencia correspondiente a la superposición de los primeros veinte modos de propagación. Geométricamente, se calcula la posición de estos dentro de la matriz, y se suman los valores de la potencia correspondientes a cada uno de los pares ordenados (x, y) que se encuentren dentro del área de dicho círculo.

También se realiza la suma del valor de potencia de todos los puntos contenidos en un círculo, correspondiente al núcleo de la fibra MM, esto con el fin de conocer cuál es el valor total de potencia dentro de la fibra MM y qué proporción de esta es transmitida por cada una de las fibras SM adelgazadas.

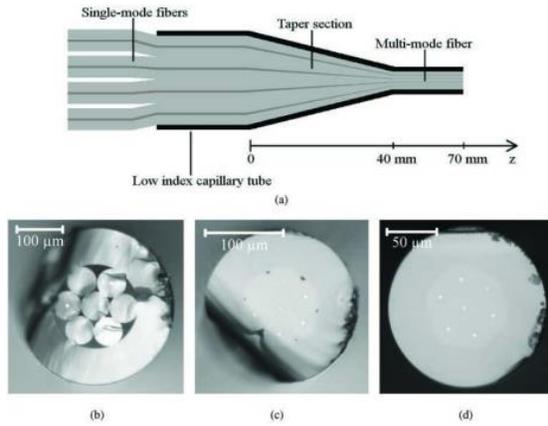


Figura 5 (a) Ilustración esquemática de una linterna fotónica. (b)-(d) Imagen microscópica de la sección transversal del conjunto de fibras en diferentes posiciones de la transición del taper, a $z=5$ mm, $z=20$ mm y $z=25$ mm, respectivamente. Tomada de Efficient multi-mode to single-mode coupling in a photonic lantern.(Noordegraaf, Skovgaard, & Nielsen, 2009)

Como una primera aproximación, se considera que la potencia total del círculo correspondiente a la fibra MM corresponde a $1000 \mu\text{W}$ de potencia de excitación, y por medio de una simple regla de proporcionalidad, se obtiene la fracción de potencia que se transmite a cada fibra SM. El arreglo de las fibras SM se muestra en la Figura 6.



Figura 6 Arreglo espacial de siete fibras SM (círculos morados) conectadas al núcleo de la fibra MM que será utilizado en este trabajo

Resultados

El proceso descrito anteriormente, fue aplicado a la superposición de los primeros seis modos de propagación con la polarización obtenida del código, sin modificar la fase inicial y también con la polarización correspondiente a la reportada por RP Photonics, esto para comparar sus distribuciones de potencia (Gráfico 1). Posteriormente, se realiza el mismo proceso para los primeros veinte modos de propagación (Gráfico 2).

Distribución de potencia para seis modos superpuestos.

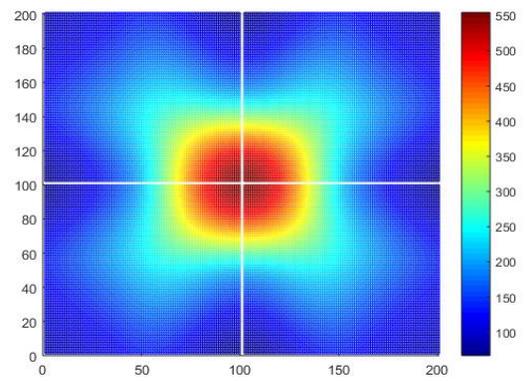


Gráfico 1 Vista superior del perfil de potencia para la superposición de los primeros seis modos de propagación

Distribución de potencia para veinte modos superpuestos.

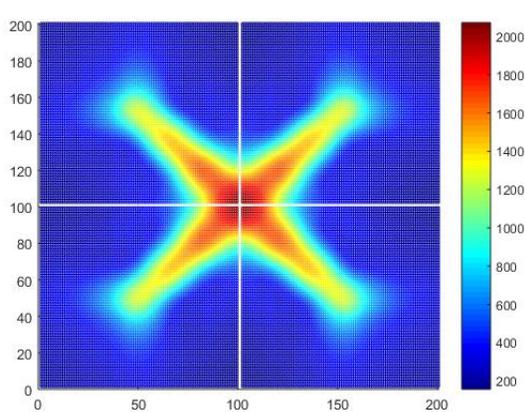


Gráfico 2 Vista superior del perfil de potencia para la superposición de los primeros veinte modos de propagación

Aplicando el proceso descrito en el apartado 2.4 a la superposición de los primeros seis y veinte modos de propagación simulados con nuestro código, se obtienen las potencias ópticas de salida mostradas en la Tabla 1.

Primeros 6 modos		Primeros 20 modos	
Fibra	Potencia [μW]	Fibra	Potencia [μW]
1	18.9	1	26.1
2	18.4	2	22.7
3	17.5	3	18.4
5	18.4	5	22.7
6	17.5	6	18.4
7	18.4	7	22.7

Tabla 1 Potencias ópticas de salida correspondientes a cada una de las siete fibras para seis y veinte modos de propagación

En la tabla 1 se puede observar que, mientras aumenta el número de modos que se propagan por la fibra MM, la potencia óptica de salida total es mayor y su distribución espacial para cada una de las fibras SM es menos uniforme, es decir, la diferencia en la cantidad de potencia que obtiene cada fibra es más grande al aumentar el número de modos.

Este resultado se puede considerar válido en la generalidad de los casos ya que es producto del aumento en la cantidad de campos superpuestos. También se puede observar, que para las fibras 2, 4, 5 y 7 existe una simetría en la potencia recibida, esto es debido a tres factores: la posición de cada fibra en el arreglo espacial, la cantidad de fibras utilizadas y a la polarización específica de cada modo. Esto puede considerarse un resultado particular, sin embargo, es de esperarse que al variar estos tres factores se observe un cambio en la simetría de distribución, sin embargo, ésta sigue existiendo para cada tipo de configuración que se utilice, aunque de diferente forma.

Conclusiones

Hemos encontrado un método que permite obtener de forma aproximada y mediante simulación la distribución espacial de potencia óptica generada por la superposición de diferentes modos de propagación de la luz en una fibra MM, y cómo es que ésta se distribuye en un arreglo de n fibras SM. Éste se puede aplicar a cualquier tipo y tamaño de fibra, a diferentes polarizaciones de la luz y al número de modos que se desee analizar; modificando los parámetros de entrada y el tamaño de las matrices. El método obtenido es aplicable no sólo a linternas fotónicas de uso astronómico, sino también para linternas fotónicas aplicadas a las telecomunicaciones.

Trabajo Futuro

En próximos trabajos se pretende realizar una comparación de los resultados obtenidos con el método desarrollado en este trabajo y los resultados de mediciones experimentales. También se buscará desarrollar un método similar para los modos exactos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Unidad Azcapotzalco y al Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC) del Instituto Politécnico Nacional por permitir el uso de sus instalaciones en el desarrollo de este trabajo. Grethell Georgina Pérez Sánchez agradece al CONACyT CB-2016-01 por financiar el proyecto 285600. Fernando Martínez-Piñón agradece al IPN por los recursos facilitados en el proyecto de investigación SIP 20181388.

Referencias

- Chala Estrada Roberto Daniel. (2019). *Montaje de un espectrómetro con esfera integradora para la caracterización fotométrica de leds*.
- Gloge, D., & Equation, C. (1971). Weakly Guiding Fibers. *Applied Optics*, 10(10), 2252–2258.
- González, D. O., & Morris, P. A. (2019). Diseño de una antena cilindro parabólica offset en la banda X para el radar FURUNO, 40, 86–100.
- Jovanovic, N., Guyon, O., Kawahara, H., & Kotani, T. (2017). Application of Multicore Optical Fibers in Astronomy. *Optical Fiber Communication Conference*, 8(1), 125–127. <https://doi.org/10.1364/OFC.2017.W3H.3>
- Leon-Saval, S. G., Birks, T. A., Bland-Hawthorn, J., & Englund, M. (2005). Multimode fiber devices with single-mode performance. *Optics Letters*, 30(19), 2545. <https://doi.org/10.1364/OL.30.002545>
- Miguel Caldas Abril. (2018). *Desarrollo de una metodología para la estimación de las propiedades térmicas del biodiesel a través de métodos ópticos*. Retrieved from <http://ring.uaq.mx/bitstream/123456789/1201/1/RI007882.pdf>
- Noordegraaf, D., Skovgaard, P. M. W., & Nielsen, M. D. (2009). Efficient multi-mode to single-mode coupling in a photonic lantern. *Optics Express*, 17(3), 1988–1994.
- RP Photonics Encyclopedia - modes, waveguide, propagation modes, optical fiber, resonator, resonator, field distribution. (n.d.). Retrieved June 23, 2019, from <https://www.rp-photonics.com/modes.html>
- Velázquez-benítez, A. M., Antonio-lópez, J. E., Alvarado-zacarías, J. C., Fontaine, N. K., Ryf, R., Chen, H., ... Amezcua-correa, R. (2018). Scaling photonic lanterns for space-division multiplexing. *Nature*, (January), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27072-2>
- Yerolatsitis, S., & Leon-saval, S. G. (2015). The Photonic Lantern. *Advances in Optics and Photonics*, (April). <https://doi.org/10.1364/AOP.7.000107>

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2^{do} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2^{do} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Sistemas Experimentales. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]

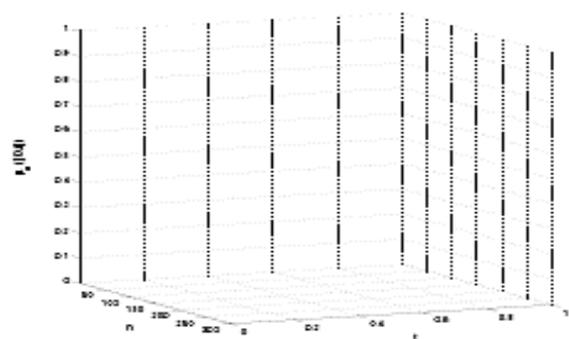


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

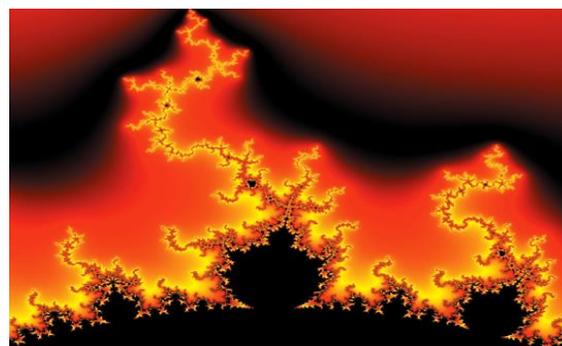


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij}$$

(1)

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

Revista de Sistemas Experimentales se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Sistemas Experimentales emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Bolivia considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding Bolivia para su Revista de Sistemas Experimentales, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

DULCINEA (Revistas científicas españolas)

UNIVERSIA (Biblioteca Universitaria-Madrid)

SHERPA (Universidad de Nottingham- Inglaterra)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre – Bolivia. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN® Bolivia), sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre – Bolivia.

Revista de Sistemas Experimentales

“Análisis experimental de la difusión salina durante la desalación por congelación”

CASTILLO-TÉLLEZ, Beatriz, CASTILLO-TÉLLEZ-Margarita, LÓPEZ-VIDAÑA, Erick César y MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto

Universidad de Guadalajara

Universidad Autónoma de Campeche

Universidad Nacional Autónoma de México

“Liberación de Ibuprofeno usando la red metalorgánica de Zirconio UiO-66”

BÁEZ-GARCÍA, Diana Laura, SANTANA-CRUZ, Alejandra y LOERA-SERNA, Sandra

“Construcción y pruebas preliminares de un prototipo experimental para evaluar la transferencia de calor en un tubo de sección transversal cuadrada en un intercambiador de calor”

VALDIVIEZO-DE LOS SANTOS, Esteban, SILVA-AGUILAR, Oscar, COLORADO-GARRIDO, Dario y ALAFFITA-HERNANDEZ, F. Alejandro

Universidad Veracruzana

“Método aproximado para determinar la potencia óptica en una linterna fotónica”

PALMA-ARGUELLO, Patricia Ixchel, PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, MARTÍNEZ-PIÑÓN, Fernando y HERNÁNDEZ-VALDEZ, Genaro

Universidad Autónoma Metropolitana

Instituto Politécnico Nacional

