

ISSN 2410-3950

Volumen 6, Número 20 — Julio — Septiembre - 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 20, de Julio a Septiembre - 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 30 de Septiembre 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, AneD. 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, *Caracterización de un músculo artificial de nylon y su implementación en una articulación de un robot manipulador serial*, por ZAMUDIO-MARTÍNEZ, Patricio & AGUILAR-SALAZAR, Alejandro Tonatiuh, con adscripción en la Universidad Nacional Autónoma de México, como segundo artículo presentamos, *Evaluación del funcionamiento de un prototipo de electrofloculación para el tratamiento de agua residual proveniente de procesos de biodigestión y biocompostaje*, por ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, MONTAÑO-SOTO, Myriam Tatiana, EATON-GONZÁLEZ, Bernardino Ricardo y VÉLIZ-ZAMORANO, Ana Karina, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Tijuana, como tercer artículo presentamos, *Transporte masa: Simulación de fluidos incomprensibles en una capa difusora de gas utilizando OpenFoam*, por PAMPLONA-SOLIS, Blandy, CRUZ-ARGÜELLO, Julio, GOMEZ-BARBA, Leopoldo y MAY-CANCHE, Isaias, con adscripción en la Universidad de Guadalajara, como último artículo presentamos, *Desarrollo experimental de un Domo solar*, por ROSALES-RAMIREZ, Mirna Margarita, SANCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, ARAUJO-RAMIRO, Jorge Arturo y LEON-HERNANDEZ, Juan Antonio, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Altamira.

Contenido

Artículo	Página
Caracterización de un músculo artificial de nylon y su implementación en una articulación de un robot manipulador serial ZAMUDIO-MARTÍNEZ, Patricio & AGUILAR-SALAZAR, Alejandro Tonatiuh <i>Universidad Nacional Autónoma de México</i>	1-7
Evaluación del funcionamiento de un prototipo de electrofloculación para el tratamiento de agua residual proveniente de procesos de biodigestión y biocompostaje ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, MONTAÑO-SOTO, Myriam Tatiana, EATON-GONZÁLEZ, Bernardino Ricardo y VÉLIZ-ZAMORANO, Ana Karina <i>Universidad Tecnológica de Tijuana</i>	8-15
Transporte masa: Simulación de fluidos incomprensibles en una capa difusora de gas utilizando OpenFoam PAMPLONA-SOLIS, Blandy, CRUZ-ARGÜELLO, Julio, GOMEZ-BARBA, Leopoldo y MAY-CANCHE, Isaias <i>Universidad de Guadalajara</i>	16-24
Desarrollo experimental de un Domo solar ROSALES-RAMIREZ, Mirna Margarita, SANCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, ARAUJO-RAMIRO, Jorge Arturo y LEON-HERNANDEZ, Juan Antonio <i>Universidad Tecnológica de Altamira</i>	25-33

Caracterización de un músculo artificial de nylon y su implementación en una articulación de un robot manipulador serial

Testing of a nylon artificial muscle and its implementation in a joint of a serial manipulator robot

ZAMUDIO-MARTÍNEZ, Patricio†* & AGUILAR-SALAZAR, Alejandro Tonatiuh

Universidad Nacional Autónoma de México

ID 1^{er} Autor: *Patricio, Zamudio-Martínez* / ORC ID: 0000-0003-3378-5206, CVU CONACYT ID: 241062

ID 1^{er} Coautor: *Alejandro Tonatiuh, Aguilar-Salazar* / ORC ID: 0000-0003-3441-7587, CVU CONACYT ID: 840928

DOI: 10.35429/JOES.2019.20.6.1.7

Recibido 9 de Julio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

Resumen

En este artículo se presenta el estudio y la caracterización de un músculo de nylon, para validar su desempeño, definir sus propiedades, aplicando cargas sobre el mismo y sometiéndolo a estímulos térmicos. Se reportan los resultados de la implementación del músculo de nylon en una articulación de un mecanismo rígido, de un manipulador serial, sin embargo, el difícil control térmico que posee el músculo hace que el choque térmico (la temperatura ambiente y la aplicada) desgaste en cierto punto al músculo, agotando sus propiedades, llegando al punto de quemar el material o recibiendo una respuesta muy lenta por parte de este. Se comprueba que el material sólo puede soportar cargas en suspensión mientras que su implementación en un mecanismo rígido aún es cuestionable para su aplicación en sistemas rígidos. Se observa que una característica importante de los músculos de nylon es su increíble capacidad de contraer cargas que son superiores al mismo peso del músculo y que por medio de un estímulo térmico pueden contraerse gracias a su propiedad anisotrópica, así como el material es sumamente atractivo para la aplicación de la robótica blanda y materiales inteligentes.

Robótica blanda, Actuadores Blandos, Músculos Artificiales de Nylon

Abstract

In this paper we present the study and description of a nylon muscle, to validate its performance and define its properties, applying loads on it and subjecting it to thermal stimuli. The results of the implementation of the nylon muscle are reported in a joint of a rigid mechanism, of a serial manipulator, however, the difficult thermal control that the muscle possesses makes the thermal shock (the ambient temperature and the applied one) wear at a certain point to the muscle, exhausting its properties or a very slow response from it. Testing that the material can only be used in the suspension of the load in the application of rigid systems. It is observed that an important feature of nylon muscles is their incredible capacity to contract loads that are higher than the same weight of the muscle and that by means of a thermal stimulus can be contracted thanks to its anisotropic property, just as the material is extremely attractive for the application of soft robotics and intelligent materials

Soft Robotics, Soft Actuators, Nylon Artificial Muscle

Citación: ZAMUDIO-MARTÍNEZ, Patricio & AGUILAR-SALAZAR, Alejandro Tonatiuh. Caracterización de un músculo artificial de nylon y su implementación en una articulación de un robot manipulador serial. Revista de Sistemas Experimentales. 2019. 6-20: 1-7

* Correspondencia del Autor (pmz_rofi@comunidad.unam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La robótica blanda o también conocida como Soft Robotic, es una nueva rama de la robótica en la cual los componentes están esencialmente hechos de materiales blandos y estructuras activas monolíticas (o continuas), esto permite una mejor interacción en su entorno que los robots que están hechos de materiales rígidos. La robótica blanda al estar constituida de materiales blandos causa impacto en las áreas que requieren de materiales sensibles e inteligentes, las aplicaciones médicas, interacción social y la manipulación de objetos frágiles serán de las áreas que la robótica blanda asistirá y tendrá relevancia para realizar tareas que la robótica rígida aún está limitada. (Miriyevev, Stack et al. 2017, Campbell 2018, Coyle, Majidi et al. 2018).

A medida que la robótica blanda ha evolucionado, a la par sensores y actuadores compuestos de materiales flexibles e inteligentes surgen de la necesidad de crear sistemas discretos y capaces de realizar movimientos en entornos variables y estos puedan adaptarse al entorno, (Paik 2015, Campbell 2018). Los actuadores blandos están compuestos de polímeros capaces de expandirse y contraerse, efectuando movimientos lineales o rotatorios, (Kim, Yang et al. 2015).

Actuadores blandos actuados eléctricamente

La esencia de los actuadores blandos actuados eléctricamente es someter un polímero que sirve como dieléctrico entre dos nodos, esto crea un campo magnético entre los dos nodos, haciendo que el dieléctrico por la carga de energía eléctrica sufra una deformación. Actuador blando “elastómeros dieléctricos son materiales aislantes blandos. Se deforman por fuerzas eléctricas cuando se usan en un condensador entre dos electrodos mecánicamente compatibles.

Los elastómeros dieléctricos son un subgrupo de polímeros electro activos, materiales utilizados en transductores electromecánicos” (Bauer 2014). Se han investigado muchas clases de materiales para este tipo de aplicaciones incluyendo acrilatos, siliconas, uretanos cauchos en estado látex ABS y diferentes copolímeros, para su uso como actuadores o músculos artificiales, (Petralia and Wood 2010, Gonzalez-Jimenez 2015).

Actuadores blandos actuados neumáticamente

Los actuadores blandos actuados neumáticamente son de los sistemas de músculos artificiales en desarrollo entorno a robots blandos, (Yang, Verma et al. 2016). Menciona que un sistema de actuador neumático blando es accionado por el inflado de una red neumática de pequeños canales dentro del material elastómero, que producen contracciones y expansiones en los materiales cuando el sistema es actuado por los flujos de gases comprimidos. Las limitantes de estos tipos de actuadores es que su accionamiento es relativamente lento, por lo que se requieren cantidades grandes de aire comprimido para poder accionar todo el sistema y el flujo del gas comprimido pueda llegar a todos los canales de los materiales elastómeros.

Actuadores blandos actuados hidráulicamente

Los actuadores actuados hidráulicamente poseen una gran cantidad de energía que se transfiere a través de un sistema que conecta con las partes para ejecutar el movimiento del actuador lo que provoca una alta densidad de potencia, dicho sistemas por lo general están acompañados de maquinaria pesada, debido al gran trabajo y energía que estos brindan al accionarse, (Acome, Mitchell et al. 2018).

Actuadores blandos actuados térmicamente

Los actuadores accionados térmicamente son los prototipos de músculos artificiales prometedores debido a su simpleza en su funcionamiento y los materiales inteligentes, dentro de los sistemas de actuadores térmicos definimos a un material inteligente que posee memoria de forma al someterse a una diferencia de temperatura, ya que esto le permite al material deformarse y volver a su estado inicial sin dañar su estructura.

Actuadores blandos de Nylon

En el área de los materiales inteligentes, el nylon presenta propiedades termoplásticas lo que permite que se deforme con un estímulo externo como el calor (Haines 2015) la electricidad por efecto joule (Mirvakili and Hunter 2016) (Mirvakili, Ravandi et al. 2014) o incluso por un sistema que controla el agua a través del músculo, (Wu, Andrade et al. 2015).

En la actualidad las fibras de nylon y polietileno son grandes precursores de las fibras musculares artificiales, ya que permite combinar la contracción que ocasiona la inducción térmica reversible en dirección de la fibra, la gran expansión térmica volumétrica y la gran anisotropía en los cambios dimensionales inducidos térmicamente proporcionan un golpe muscular. Estas fibras precursoras están compuestas de cadenas poliméricas flexibles que están altamente orientadas en la dirección de la fibra.

La contracción térmica resultante de las fibras de nylon puede llegar a representar un 4% similar a los cables de memoria de forma de los Ni-Ti, (Yin, Zhou et al. 2018). Para que las fibras de nylon tengan una carrera de tracción, la fibra de nylon se somete a torsión al punto de que se convierta en un espiral, dándole el aspecto de un pequeño resorte, (Haines 2015). La Figura 1 muestra el ejemplo de un músculo de nylon retorcido.



Figura 1 Músculo de nylon retorcido

En la actualidad estos músculos de nylon están accionados a través de 3 sistemas, sistema de agua (Wu, Andrade et al. 2015), aire caliente (Haines 2015) y el efecto Joule (Mirvakili and Hunter 2016) teniendo gran carrera de recorrido, dichos sistemas consisten en calefacción y enfriamiento, el reto para todos los sistemas que activan el músculo artificial de nylon es someter el material a una temperatura tal que la contracción del músculo se efectúe, al tiempo que vuelva a su temperatura inicial cambiando a su estado original del músculo en cuestión de segundos. Los músculos de nylon poseen capacidades de cargas y de resistencia a la deformación semejantes o incluso superiores a los músculos biológicos y que en comparación compiten con otros músculos artificiales utilizados para la elaboración de actuadores blandos (Músculos artificiales eléctricos: elastómeros dieléctricos.

Músculos artificiales neumáticos: “McKibben Artificial Muscles”, “VAMP”, “Pneu net”. músculos artificiales hidráulicos: “Hasel”. y etc).

La necesidad de caracterizar y estudiar el desempeño de los músculos artificiales de nylon es brindar en el futuro la posibilidad de controlar mecanismos rígidos (manipuladores seriales, paralelos o híbridos) o blandos (robots continuos) de manera discreta aprovechando espacios en su implementación, sin la necesidad de mantenimiento como los actuadores convencionales y controlar a través de entornos variables, además de tener una mejor respuesta de actuación casi intuitiva.

Por lo que se parte del cuestionamiento si es posible que las características mecánicas de un músculo artificial de nylon puedan efectuar un movimiento lineal parecido a los actuadores lineales convencionales en la implementación de una articulación de un manipulador serial. Los actuadores blandos de nylon se encuentran en etapas de pruebas, debido a que el control y el nivel de respuesta del material aún resulta ser difícil de controlar.

Este artículo presenta el estado del arte de los actuadores blandos, la fabricación del músculo de nylon, la caracterización y estudio de un actuador blando de nylon (músculo artificial) su comportamiento mecánico y su desempeño como un actuador lineal, una aplicación en la implementación de un eslabón en una articulación de un manipulador serial, la realización de pruebas, la implementación del músculo y los resultados que se obtuvieron.

Fabricación del músculo artificial de nylon

Del artículo “Artificial Muscles From Line And Sewing Thread” (Haines 2015) se tomaron las técnicas para la fabricación del músculo de nylon enroscado, este consiste en someter el filamento de nylon a una tensión tal que se ejerce un torque sobre la misma, modificando su estructura y obteniendo de esta la espiral característica que poseen los músculos de nylon enroscados. Para la construcción del músculo de nylon se, tensó el filamento de nylon a un extremo y se aplicó el torque hasta obtener la espiral característica, posteriormente este músculo retorcido se introdujo en agua caliente para evitar tenciones internas en el proceso de fabricación.

Otros autores optaron por la construcción de un dispositivo que se dedica a fabricar músculos de nylon, (Semochkin 2016).

Pruebas de alargamiento del músculo

Ya fabricado el músculo artificial de nylon, se sometió a una prueba de alargamiento, esto permite conocer la magnitud de elongación del material antes de sufrir una deformación por la carga suministrada. En la Figura 2 se aprecia el músculo de Nylon sometido a diferentes cargas.



Figura 2 Músculo artificial de nylon sometido a carga

En la tabla 1 se muestra el alargamiento del músculo con respecto al peso medido en newtons.

Alargamiento (m)	Fuerza (N)
0.085	0
0.087	0.667
0.090	1.334
0.095	1.978
0.097	2.002
0.105	2.669
0.113	3.337
0.120	3.957
0.143	5.935
0.155	7.914
0.164	9.893

Tabla 1 Alargamiento y fuerza colocada en el músculo artificial de nylon

Para el estudio de los músculos de nylon se analizan sus propiedades mecánicas para conocer su comportamiento y aprovechar al máximo las características, estos se destacan por sus capacidades de carga altas en proporción a su tamaño e histéresis.

Características mecánicas del músculo

Se utiliza la teoría de los resortes para definir los parámetros mecánicos del músculo, ya que parte de la configuración de los músculos artificiales de nylon se comportan de la misma manera.

Ley de Hooke. Establece que el alargamiento $(x-x_0)$ del músculo será directamente proporcional al módulo de la fuerza aplicada, donde (k) es la constante del resorte.

$$F = -k(x - x_0) \quad (1)$$

Módulo de Young. Mide la resistencia del músculo del nylon (σ) al ser deformado elásticamente (ϵ) .

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

Potencia. Es la cantidad de trabajo (T) efectuado sobre una unidad de tiempo (t) .

$$P = \frac{T}{t} \quad (3)$$

Energía cinética E_C , es la energía que posee un cuerpo a causa de su movimiento, donde (m) es la masa y (v) la velocidad.

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2 \quad (4)$$

Energía potencia elástica (U) . Es la energía ganada al deformar un resorte (k) es una constante y (x) el desplazamiento.

$$U = \frac{1}{2} k x^2 \quad (5)$$

Índice de muelles helicoidales (C) . Este parámetro permite saber por medio del valor de los diámetros (diámetro del músculo D_E y diámetro del filamento D_I) del músculo la rigidez del músculo.

$$C = \frac{D_E}{D_I} \quad (6)$$

A partir de las anteriores ecuaciones, puede conocer los parámetros mecánicos del músculo de nylon. En la Tabla 2 se muestra las características mecánicas del músculo.

Ley de Hooke	197.8 $\frac{N}{m}$
Módulo de Young	173.55 $\frac{N}{m^2}$
Potencia	0.0049465 Watt
Energía cinética	0.009893 [N * m]
Energía potencial elástica	0.00989 [N * m]
Índice de muelles helicoidales.	3

Tabla 2 Características Mecánicas del Músculo Artificial de Nylon

Pruebas de control del músculo

Se utilizó una pistola de calor, la cual proporciona una temperatura de $300^{\circ} C$, se colocó el músculo en suspensión soportando una carga de $2.669 N$. Posteriormente se utilizó la pistola aproximando la boquilla en el músculo. Esto dio como resultado una contracción por parte del músculo artificial de nylon por parte del músculo artificial de nylon aproximadamente de $0.02 m$ levantando la carga de $2.669 N$ en un tiempo de 2 a 3 segundos. Ver Figura 3 a) y 3 b).

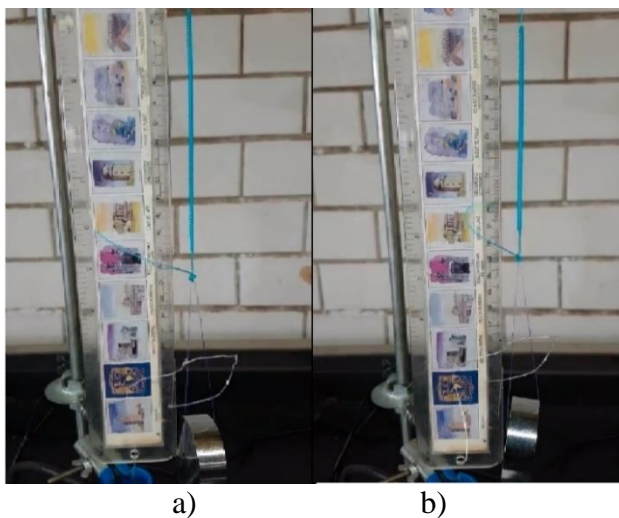


Figura 3 Contracción del músculo de nylon, a) sin calor, b) con calor

Una vez obtenidos los parámetros mecánicos del músculo artificial de nylon, se procedió a evaluar la magnitud de la fuerza necesaria para poder mover la articulación del manipulador serial por medio de un dinamómetro de $1kg * f$ ó $10 N$. En esta prueba se obtuvo una fuerza necesaria de aproximadamente $250 gr * f$, para poder desplazar la articulación del brazo del manipulador. Ver Figura 4.

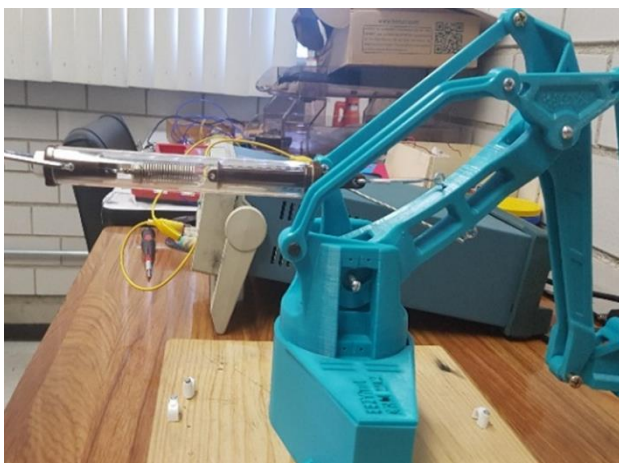


Figura 4 Prueba de fuerza en articulación con dinamómetro

Implementación de un manipulador serial

Durante la implementación del músculo en una articulación del manipulador serial, se observa el movimiento de este al momento de suministrar calor al músculo, obteniendo un desplazamiento angular de aproximadamente $10^{\circ} C$ por $2 cm$ de contracción del músculo de Nylon. Ver figura 5.

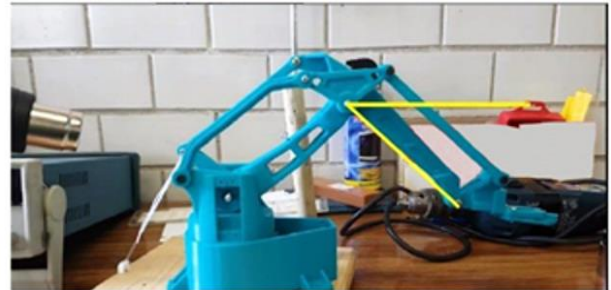


Figura 5 Actuación del músculo dentro de articulación de un manipulador serial

Resultados

La realización de las pruebas mecánicas del músculo artificial de nylon mostró los parámetros mecánicos de los cuales están constituidos estos músculos, se logró observar y medir el comportamiento del músculo de nylon al estar sometido a cargas y al control de la contracción del músculo por medio del calor suministrado al mismo, teniendo una respuesta entre 2 y 3 segundos, contrayéndose a $2 cm$ y soportando cargas aproximadas a los $9.89 N$.

Las pruebas realizadas a este tipo de actuadores brindaron la oportunidad de conocer mejor la configuración de este, tomando pruebas para conocer sus capacidades mecánicas y aplicándolos en una articulación de un manipulador son elementos que permiten conocer los alcances que pueden tener estos actuadores para la aplicación en la robótica.

Se obtuvieron resultados interesantes con respecto en la actuación en los manipuladores, sin embargo, el músculo artificial de nylon al ser sometido a diez pruebas, se vio una deformación a causa del contacto directo de la temperatura de la pistola de calor, esto causaba una pérdida en la tensión del músculo y por ende la contracción del músculo disminuye. Para trabajo futuro se espera mejorar el control de la temperatura suministrada en un medio controlado para la actuación segura del actuador.

Agradecimientos

Agradezco en lo que corresponde a la DGAPA, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, a través del proyecto UNAM-DGAPA-PAPIME-PE112319: "Desarrollo de material didáctico y banco de pruebas para el fortalecimiento de la enseñanza en instrumentación y control, aplicando tecnologías IoT y Robótica."

Conclusiones

Los resultados en la implementación del músculo de nylon en la articulación del robot manipulador serial se observa que el difícil control térmico que posee el músculo hace que el choque térmico y la temperatura ambiente desgasten al músculo agotando sus propiedades. Se comprueba que el material sólo puede soportar cargas en suspensión mientras que su implementación en un mecanismo rígido aún es cuestionable para su aplicación en sistemas rígidos.

El estudio y la aplicación de este tipo de elementos blandos permiten el desarrollo de sistemas discretos y capaces de trabajar bajo diferentes tipos de estímulos dependiendo del entorno. Se observa que una característica importante de los músculos de nylon es su increíble capacidad de contraer cargas que son superiores al mismo peso del músculo. Por lo tanto, el material es sumamente atractivo para la aplicación de la robótica blanda y materiales inteligentes.

Referencias

Acome, E., S. K. Mitchell, T. G. Morrissey, M. B. Emmett, C. Benjamin, M. King, M. Radakovitz and C. Keplinger (2018). "Hydraulically amplified self-healing electrostatic actuators with muscle-like performance." *Science* 359(6371): 61-65.

Bauer, S. (2014). Dielectric Elastomers. *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials*. S. Kobayashi and K. Müllen. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 1-9.

Campbell, S. (2018). "The Robotics Revolution Will Be Soft: Soft Robotics Proliferate-Along with Their Sources of Inspiration." *IEEE Pulse* 9(3): 19-24.

Coyle, S., C. Majidi, P. LeDuc and K. J. Hsia (2018). "Bio-inspired soft robotics: Material selection, actuation, and design." *Extreme Mechanics Letters* 22: 51-59.

Gonzalez-Jimenez, A. R. (2015). Elastómeros dieléctricos para su uso como actuadores o músculos artificiales. *Plásticos Modernos*. Vol. 109.: 14-17.

Haines, C. S. (2015). Artificial muscles from fishing line and sewing thread, ProQuest LLC.

Kim, J.-H., W. Yang, J. Jo, P. Sincak and H. Myung (2015). *Robot Intelligence Technology and Applications 3. Results from the 3rd International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications*. Cham, sl: Springer International Publishing (*Advances in Intelligent Systems and Computing*, 345). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-16841-8>. II, Springer.

Miriyev, A., K. Stack and H. Lipson (2017). "Soft material for soft actuators." *Nature Communications* 8(1): 596.

Mirvakili, S. M. and I. W. Hunter (2016). Bending artificial muscle from nylon filaments. *Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) 2016*, March 21, 2016 - March 24, 2016, Las Vegas, NV, United states, SPIE.

Mirvakili, S. M., A. R. Ravandi, I. W. Hunter, C. S. Haines, N. Li, J. Foroughi, S. Naficy, G. M. Spinks, R. H. Baughman and J. D. W. Madden (2014). Simple and strong: Twisted silver painted nylon artificial muscle actuated by Joule heating. *Electroactive Polymer Actuators and Devices, EAPAD 2014*, March 10, 2014 - March 13, 2014, San Diego, CA, United states, SPIE.

Paik, J. (2015). *Soft Robotics: Transferring Theory to Application*, "Soft Components for Soft Robots", Springer.

Petralia, M. T. and R. J. Wood (2010). Fabrication and analysis of dielectric-elastomer minimum-energy structures for highly-deformable soft robotic systems. *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*.

Semochkin, A. N. (2016). A device for producing artificial muscles from nylon fishing line with a heater wire. 2016 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM).

Wu, L., M. J. d. Andrade, R. S. Rome, C. Haines, M. D. Lima, R. H. Baughman and Y. Tadesse (2015). Nylon-muscle-actuated robotic finger. SPIE Smart Structures and Materials + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, SPIE.

Yin, H., J. Zhou, J. Li and V. S. Joseph (2018). "Fabrication and Properties of Composite Artificial Muscles Based on Nylon and a Shape Memory Alloy." Journal of Materials Engineering and Performance 27(7): 3581-3589.

Evaluación del funcionamiento de un prototipo de electrofloculación para el tratamiento de agua residual proveniente de procesos de biodigestión y biocompostaje

Evaluation of the operation of an electroflocculation prototype for the treatment of residual water from biodigestion and biocomposting processes

ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio^{†*}, MONTAÑO-SOTO, Myriam Tatiana, EATON-GONZÁLEZ, Bernardino Ricardo y VÉLIZ-ZAMORANO, Ana Karina

Universidad Tecnológica de Tijuana

ID 1^{er} Autor: *Juan Antonio, Alfonso-Alvarez* / ORC ID: 0000-0002-3925-1662, Researcher ID Thomson: H-8445-2018, CVU CONACYT ID: 412788

ID 1^{er} Coautor: *Myriam Tatiana, Montaña-Soto* / ORC ID: 0000-0003-0741-9173, CVU CONACYT ID: 324049

ID 2^{do} Coautor: *Bernardino Ricardo, Eaton-González* / ORC ID: 0000-0003-4528-4740, Researcher ID Thomson: F-7906-2012, CVU CONACYT ID: 94473

ID 3^{er} Coautor: *Ana Karina, Véliz-Zamorano* / ORC ID: 0000-0002-8894-4430, CVU CONACYT ID: 527944

DOI: 10.35429/JOES.2019.20.6.8.15

Recibido: 11 de Junio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

Resumen

Introducción. En los últimos años el Gobierno de Baja California ha promovido no descargar agua residual con alto contenido de grasas y aceites. Una empresa de la región dedicada a la recolección de lodos, decidió instalar un sistema de centrifugado horizontal para la extracción de aceite, generando un lodo con 5% de grasa y aceite, el cual se envía a un proceso de biodigestión y lombricomposta para la generación de humus sólido y líquido, generando aguas residuales con alta carga orgánica que requieren de un tratamiento antes de su disposición. Objetivo: Elaborar un prototipo experimental de electrofloculación para el tratamiento de agua residual (TAR) con alto contenido de materia orgánica. La Metodología se dividió en 4 etapas: 1) Caracterización de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual; 2) Montaje del prototipo; 3) Experimentación; 4) Verificación del Sistema. Contribución. Mediante la elaboración del prototipo se confirmó de la efectividad del proceso de electrofloculación para el TAR con un alto contenido de materia orgánica y bacterias patógenas, ya que se logró una disminución mayor al 50% en la presencia de DBO5 (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), coliformes fecales y Salmonella.

Electrofloculación, Caracterización, Prototipo

Abstract

Introduction. In recent years, the Government of Baja California has promoted not to discharge wastewater with high content of fats and oils. A company in the region dedicated to the collection of sludge, installed a horizontal centrifugation system for the extraction of oil, generating a sludge with 5% fat and oil. The result of this process is sent to a process of biodigestion and vermicompost for the generation of solid and liquid humus, which generates wastewater with high organic load that require a treatment before disposal. Objective. Develop an experimental prototype of electroflocculation to wastewater treatment with a high content of organic matter. Methodology was divided into 4 stages: 1) Physicochemical and biological characterization of the wastewater; 2) Assembly of the electroflocculation prototype; 3) Experimental assessment 4) Verification of system operation. Contribution. Through the elaboration of the prototype, the effectiveness of the electroflocculation process was confirmed for the wastewater treatment (WT) with a high content of organic matter (OM) and pathogenic bacteria, since a greater than 50% decrease of the biochemical oxygen demand (BOD5), chemical demand of oxygen (COD), fecal coliforms and Salmonella.

Electrofloculation, Characterization, Prototype

Citación: ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, MONTAÑO-SOTO, Myriam Tatiana, EATON-GONZÁLEZ, Bernardino Ricardo y VÉLIZ-ZAMORANO, Ana Karina. Evaluación del funcionamiento de un prototipo de electrofloculación para el tratamiento de agua residual proveniente de procesos de biodigestión y biocompostaje. Revista de Sistemas Experimentales. 2019. 6-20: 8-15

* Correspondencia del Autor (juan.alfonso@uttijuana.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En los últimos años el Gobierno del Estado de Baja California ha promovido la recolección de grasas y aceites residuales provenientes de la industria restaurantera, para evitar el problema ocasionado por descargas no controladas de agua con un alto contenido de grasas y aceites, que trae como consecuencia el taponamiento del sistema de drenaje y una baja eficiencia en el sistema de tratamiento de agua residuales de la ciudad de Tijuana, Baja California, en donde se cuenta con infraestructura para tratar el 100% del agua residual.

Derivado de dichas medidas los restaurantes y negocios dedicados a la producción de alimentos deben contar con trampas de grasas y aceites, con la finalidad de recolectar la mayor cantidad posible de este residuo. Las trampas de grasas se deben limpiar periódicamente para garantizar su buen funcionamiento, lo que genera residuos con alto contenido de grasas y aceites (lodos con hasta un 50% de grasas y aceites), que deben disponerse de forma adecuada mediante el pago de servicios de recolección.

Problemática

Uno de los principales problemas de la recolección de residuos provenientes de trampas de grasas y aceites es que debido a su naturaleza química, el residuo se considera peligroso y no puede ser dispuesto directamente en el suelo. Es necesario enviarlo a un sistema de confinamiento, generando altos costos a las empresas dedicadas a su recolección.

Lo anterior motivó a una empresa ubicada en la región, dedicada a la recolección de lodos, a instalar un sistema de centrifugado horizontal para la extracción de aceite, generando un lodo con 5% de grasa y aceite, el cual posteriormente se envía a un proceso de biodigestión y lombricompostaje para la obtención de humus sólido y líquido, este sistema genera aguas residuales con alta carga orgánica que requieren de un tratamiento antes de su descarga a la red municipal de alcantarillado de la Ciudad.

Justificación

Debido a los procesos biológicos utilizados en la degradación de los lodos provenientes de trampas de grasas y aceites, se generan aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica y coliformes fecales.

Las aguas residuales generadas requieren de un tratamiento que permita su disposición o reúso. La implementación de un sistema de tratamiento de electrofloculación, que consiste en la remoción de contaminantes que se encuentran en suspensión o disueltos, mediante la inducción de corriente eléctrica en la fase acuosa, a través de electrodos metálicos como aluminio, dispuestos en paralelo permitirá el cumplimiento de la NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal (Prieto García, Callejas Hernández, Reyes Cruz, & Marmolejo Santillán, 2012). Debido a lo anterior se propuso como objetivo de esta investigación: Elaborar un prototipo experimental de electrofloculación para verificar su efectividad en el tratamiento de agua residual (TAR) con alto contenido de materia orgánica (MO) y bacterias patógenas.

Metodología

El funcionamiento del prototipo se basó en aplicar al agua residual una corriente eléctrica mediante la incorporación de dos electrodos de aluminio, logrando que se desestabilicen los contaminantes suspendidos o disueltos en el agua, mediante la producción burbujas de oxígeno en el ánodo y de hidrógeno en el cátodo permitiendo la formación flóculos de contaminante en la superficie del reactor lo que permite una fácil separación (Aldeguer, Prats, & Seller, 2019). El desarrollo del prototipo de electrofloculación se dividió en 4 etapas: 1) Caracterización de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual; 2) Diseño y montaje del prototipo; 3) Experimentación; 4) Verificación del sistema

Caracterización de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual.

Con la finalidad de conocer las características del agua residual se realizaron los análisis físicos, químicos y biológicos que se muestra la tabla 1.

Para la medición pH se utilizó un medidor de pH de la marca ThermoScientific, modelo Orion Start A111 con compensador de temperatura. Para la conductividad eléctrica se utilizó un conductímetro HANNA Waterproof con compensador de temperatura con una resolución de 1 µS/cm.

Parámetro	Método	Norma de referencia
pH	Potenciometría	NMX-AA-008-SCFI-2016
Conductividad Eléctrica	Potenciometría	NMX-AA-093-SCFI-2018
Grasas y Aceites	Extracción Soxhlet	NMX-AA-005-SCFI-2013
Sólidos Sedimentables	Cono Imhoff	NMX-AA-004-SCFI-2013
Nitrógeno Total	Kjeldahl	NMX-AA-026-SCFI-2010
<i>Escherichia coli</i>	Número Más Probable (NMP)	NMX-AA-042-SCFI-2015
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Electrométrico	NMX-AA-028-SCFI-2001
Demanda Química de oxígeno (DQO)	Volumétrico	NMX-AA-030/1-SCFI-2012
Salmonella sp.	Preenriquecimiento	NOM-114 - SSA1-1994

Tabla 1 Parámetros analizados al agua residual

Fuente: *Elaboración Propia*

La determinación de grasas y aceites se realizó mediante el método de extracción Soxhlet, que consiste en la extracción de grasa y aceite utilizando hexano como solvente de extracción, en ciclos de aproximadamente 3 minutos para un total de 20 ciclos por hora. Los sólidos sedimentables se midieron como la cantidad de sólidos depositados en el fondo de un cono Imhoff en un periodo de 60 min, de conformidad con la NMX-AA-004-SCFI-2013.

La determinación de nitrógeno total se realizó mediante el método Kjeldahl, se utilizó sistema de digestión combinado de la marca CRAFT modelo KC-1600V. El método consistió en digerir la muestra mediante el empleo de una solución ácida, para posteriormente realizar la destilación, y la solución recolectada se tituló con una solución de ácido sulfúrico 0.006 M. La determinación de DBO₅ se realizó mediante el método electrométrico, para la medición de oxígeno disuelto (OD) que se realizó antes y después de los 5 días incubación se utilizó un medidor Milwaukee modelo MW 600.

La DQO se realizó mediante una oxidación con Dicromato de Potasio, el exceso de Dicromato se valoró con una solución de Tiosulfato de Sodio.

Los parámetros biológicos de *Escherichia Coli* y *Salmonella* se realizaron mediante la técnica del número más probable (NMP). Para la determinación de *E. Coli* se realizó inicialmente una prueba presuntiva con medio de cultivo caldo Lauril Sulfato, la prueba confirmativa se realizó a los tubos positivos mediante su inoculación en caldo Billis Verde Brillante a 45°C. Finalmente la presencia de *E. Coli* se confirmó mediante la inoculación de los tubos positivos en Caldo E.C.

Para la determinación de *Salmonella* el método se dividió en 4 etapas: 1) Preenriquecimiento; 2) Enriquecimiento selectivo; 3) Sembrado en placa con agar XLD (Xilosa Lisina Desoxicolato) y Agar VB (Billis Verde brillante); 4) identificación bioquímica mediante medio TSI (Hierro-Triple Azúcar)

Montaje del prototipo de electrofloculación

Para definir el sistema de electrofloculación a escala laboratorio, primero se procedió a identificar la capacidad de volumen del reactor, los materiales y equipos para su elaboración. Se decidió un volumen 1000 mL, electrodos de aluminio (Vasudevan, 2012) tanto ánodo como cátodo de aproximadamente 40 cm³ cada uno, en forma de placa (Chen, 2004), con finalidad que en condiciones ácidas genere hidrógeno para que arrastre los flóculos generados hacia la parte superior. Con una distancia entre electrodos de 4 cm. (Ozyonar & Karagozogu, 2011).

También se integró al sistema una fuente de poder de la marca B&K PRECISION modelo 1672, con un rango de voltaje de 0 a 99V y rango de amperaje de 0 a 9.99 Ampere, para controlar la intensidad de corriente a la celda (Mendoza Burgos & Sánchez Guzmán, 2019). Elegidos los componentes se decidió que el prototipo debería estar integrado por una fuente de poder, un sistema de reacción con un ánodo y un cátodo de aluminio, y un sistema de agitación.

Experimentación

Definido el prototipo se procedió a determinar los parámetros de trabajo. Considerando el volumen del agua, pH de trabajo, diferencia de potencial e intensidad de corriente, factores de suma importancia, ya que se ha demostrado que se obtienen altos porcentajes en la disminución de la DQO cuando se disminuye el pH (Arango Ruiz & Garcés Giraldo, 2007). También se consideró el tiempo de reacción y se realizaron por lo menos 20 corridas experimentales.

La experimentación consistió en ajustar el pH del agua a 4 con una solución ácido clorhídrico 1 M, para posteriormente aplicar una intensidad de corriente de 8 Amperes y un voltaje de 34V durante 5 minutos. Finalmente el agua obtenida en el proceso de electrofloculación se pasó por un tratamiento físico, que consistió en la filtración con carbón activado para la eliminación de color y malos olores.

Verificación del sistema

Para verificar la efectividad del sistema de tratamiento, se procedió a determinar las características físicas, químicas y biológicas del agua tratada mediante el sistema de electrofloculación. Los parámetros considerados fueron los mismos que para el agua residual además se incluyeron la determinación de dureza, sólidos disueltos totales y sulfatos, las técnicas utilizadas fueron las mismas técnicas descritas en el apartado 4.1.

Para la determinación de dureza total se hizo referencia al método descrito en la Norma Mexicana (Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001, 2001), que consiste en una valoración con disolución de EDTA 0.01 M, empleando un indicador negro de Eriocromo T, para la cuantificación de CaCO_3 , y la determinación de sulfatos mediante el método turbidimétrico (Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014, 2015) para el que se utilizó un espectrofotómetro UV-VIS Agilent Technologies modelo Cary 60.

Resultados

Los resultados para cada una de las etapas llevadas a cabo para la evaluación del funcionamiento del prototipo de electrofloculación para el tratamiento de agua residual proveniente de procesos de biodigestión y biocompostaje se muestran a continuación:

Etapa 1. Caracterización de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual

En la tabla 2, se presentan los resultados de la determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual antes del proceso de electrofloculación.

Parámetro	Valor promedio	Límite permisible NOM-002-SEMARNAT-1996
pH	7.3	5.5 – 10
Conductividad Eléctrica (mS/m)	10.3	Sin Especificación
Grasas y Aceites (mg/L)	13	25
Sólidos Sedimentables (mL/L)	0.6	5
Nitrógeno Total (mg/L)	4.92	40
Escherichia Coli por cada 100 mL, NMP	210	Sin Especificación
DBO ₅ (mg/L)	500	150
DQO (mg/L)	883.2	Sin especificación
Salmonella/100 mL	Presencia	Sin Especificación

Tabla 2. Resultados de caracterización del agua residual
Fuente: NOM-002-SEMARNAT

Como se puede observar la mayoría de los parámetros se encuentran dentro de la especificaciones de la NOM-002-SEMARNAT-1996, sin embargo los parámetros de DBO₅ y DQO se encuentra por encima del doble de lo especificado por la norma, debido a la naturaleza del agua residual proveniente de un proceso de digestión, y por ende un alto contenido de *E.coli* y presencia de *Salmonella sp.*

Etapa 2. Montaje del prototipo de electrofloculación

Identificado el material se procedió a la construcción del prototipo, que consistió en una fuente de poder, un sistema de reacción que contiene un ánodo y un cátodo de aluminio situados de forma monopolar, y un sistema de agitación (Mollah, y otros, 2004) , como se muestra en la figura 1.

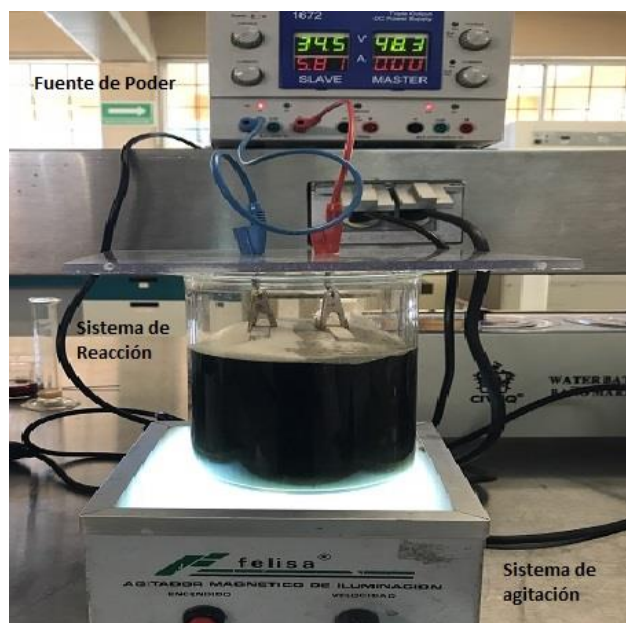


Figura 1 Componentes del sistema de electrofloculación
Fuente: Elaboración Propia

Etapa 3. Experimentación.

Construido el sistema de electrofloculación el pH se ajustó a 4, ya que debido a los resultados de las pruebas experimentales prospectivas, a un pH más básico no es posible llevar a cabo la reacción, además este pH propicia el aumento en la producción de burbujas de hidrógeno favoreciendo la flotación de los contaminantes. (Piña, Domínguez, & Ramírez González, 2011)

Ajustado el pH se procedió con el encendido del sistema manteniendo un voltaje aproximado de 34 Volt (V) y una intensidad de corriente de 8 Amperes. Dado que dependiendo de la naturaleza del agua residual algunos autores han trabajado con un voltaje próximo a 32V y una intensidad de corriente aproximada de 3A que depende de la densidad de corriente y distancia de las placas, dicho proceso generó espuma color beige (ver figura 2), la cual se removió cada vez que se llenaba el recipiente de reacción.

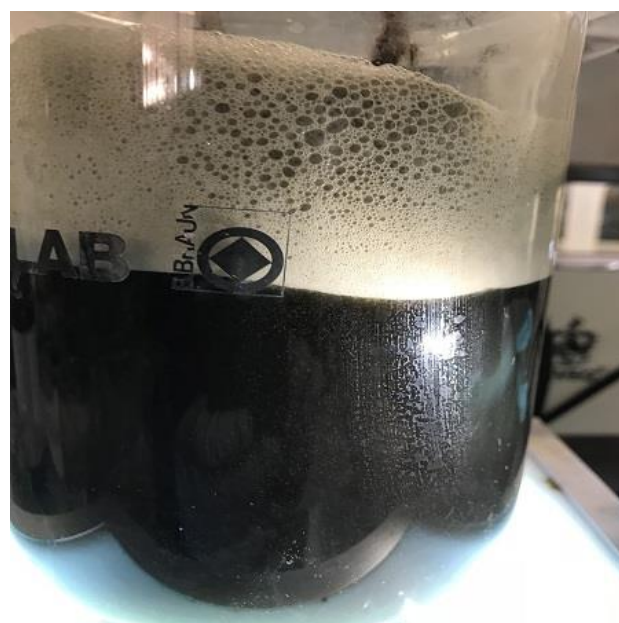


Figura 2 Espuma formada en el proceso
Fuente: Elaboración Propia

Se continuó con el proceso de electrofloculación hasta que ya no se observó la generación de espuma abundante, esto sucedió alrededor de los 5 minutos de funcionamiento, se ha reportado que la mayor remoción ocurre durante los primeros 10 minutos (Holt, Barton, & Mitchell, 2005), la agitación no fue vigorosa con la finalidad de no romper los flóculos generados. Al terminar el proceso se obtuvo un agua de color amarillo claro, sin la formación de precipitados, como se muestra en la figura 3.

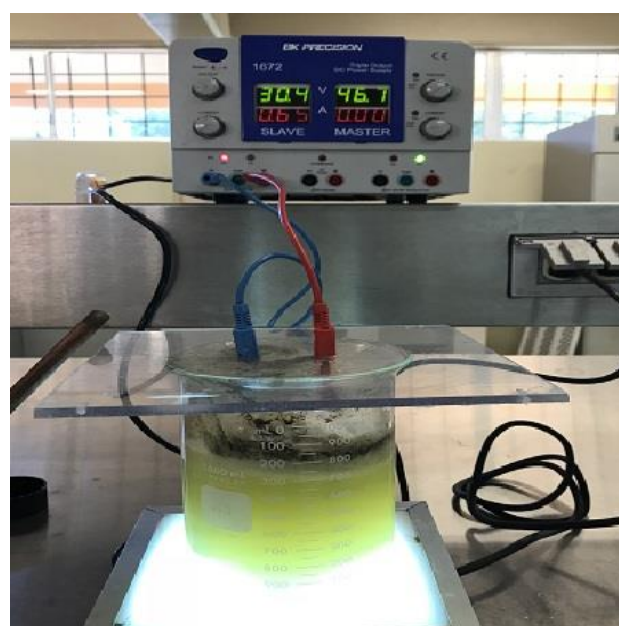


Figura 3 Termino del proceso de electrofloculación.
Fuente: Elaboración Propia

Debido a la apariencia del agua se decidió realizar tratamientos físicos que no afecten el proceso de electrofloculación, en primer lugar se colocó el agua tratada en un recipiente sedimentador con la finalidad de eliminar sólidos suspendidos, posteriormente se procedió a filtrar mediante el uso de filtros Whatman número 4, de 150 mm, y finalmente se realizó una última filtración con un filtro compuesto por algodón y carbón activado, repitiendo este último paso de 2 a 3 veces hasta obtener un agua sin color ni olor.

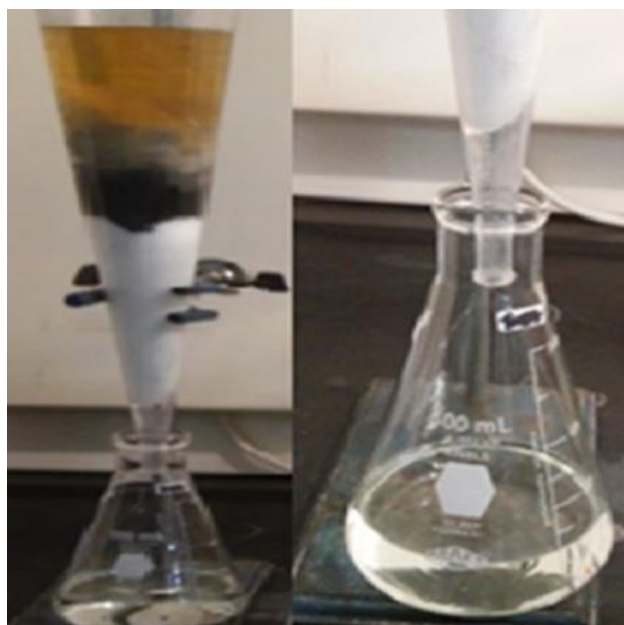


Figura 4 Apariencia final del agua residual tratada
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3, se muestran los parámetros utilizados para cada lote procesado en el sistema de electrofloculación, por cada 900 mL de agua de entrada en el sistema se recuperan 700 mL de agua limpia con una apariencia transparente y sin olor, lo que representa un 77% de recuperación. También es importante indicar que por cada corrida se obtuvieron en promedio 55.43 g de lodo húmedo y 7.35 g de lodo base seca.

Parámetro utilizado	Medición
Volumen de agua (mL)	900
pH inicial	8.50
pH de trabajo	4.20
Voltaje (V)	32
Intensidad de corriente (A)	9.93
Potencia consumida (W)	268.49
Tiempo de electrofloculación (min)	5

Tabla 3. Parámetros de trabajo de la electrofloculación
Fuente: Elaboración Propia

Etapa 4. Verificación del funcionamiento del sistema

La tabla 4, presenta los resultados de la determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos realizados al agua residual tratada, mismos análisis realizados al agua antes del proceso de electrofloculación.

Parámetro	Valor promedio	Límite máximo permisible NOM-002-SEMARNAT
pH	8.7	5.5 – 10
Conductividad Eléctrica (mS/m)	12.10	Sin Especificación
Grasas y Aceites (mg/L)	Ausencia	25
Sólidos Sedimentables (mL/L)	Ausencia	5
Nitrógeno Total (mg/L)	28	40
<i>Escherichia Coli</i> por cada 100 mL, NMP	93	Sin Especificación
DBO ₅ (mg/L)	150	150
DQO (mg/L)	201.6	Sin Especificación
Salmonella /100 mL	Presencia	Sin Especificación
Sólidos suspendidos totales (SST), mg/L	100	200 mg/L
Dureza (mg/L)	317	Sin Especificación
Sulfatos (mg/L)	946	Sin Especificación

Tabla 4 Resultados de la determinación de parámetros al agua residual tratada
Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a la DBO el valor obtenido se encuentra en el valor límite del promedio diario con una efectividad de remoción del 70% con respecto al valor establecido antes del tratamiento del agua residual.

Los resultados muestran una disminución del 77% con respecto a la cantidad de sólidos suspendidos totales, el parámetro se encuentra a la mitad del límite máximo permitido, lo que indica que el tratamiento es efectivo. La DQO también mostró una disminución, aunque la norma de descarga de agua no indican el límite para DQO, es de suma importancia, ya que indica la degradación de la materia inorgánica. Otros de los parámetros importantes en el tratamiento de aguas residuales son los parámetros biológicos, ya que pueden determinar el uso o reúso que se le puede dar al agua residual, esos parámetros son: número más probable de coliformes fecales (*Escherichia coli*) y *Salmonella sp.*

Los resultados demuestran una disminución de alrededor del 56% en la presencia de *Escherichia coli*, valores por debajo del límite máximo permisible de contaminantes para agua residual tratada para el reúso de forma directa en servicios al público, 240 NMP/100 mL (Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, 1998).

Con respecto a *Salmonella* los resultados indican la presencia en un bajo porcentaje con respecto a la condición inicial del agua residual, lo que representa una remoción de aproximadamente 98%.

Con respecto al reúso del agua para un sistema de acuaponía, podría ser factible debido a que se removieron más del 50% de los contaminantes, aunque todavía existe la presencia de bacterias patógenas, se han reportado valores 1043 NMP/100 mL como aceptables en ríos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, 2002), aunque para dureza se encuentra dentro de rango de 20 a 350 mg/L (Campos Pulido, López, Avalos, Hoyos, & Reta Mendiola, 2013).

Agradecimiento

Se agradece a la empresa ENREMEX, por permitirnos participar en conjunto en el fondo Programa de Estímulos a la Innovación Tecnológica 2016, CONACYT.

Conclusiones

Mediante la implementación del sistema de electrofloculación, se logró el tratamiento del agua residual proveniente del digestor dando cumplimiento a un gran número de parámetros establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996, el sistema de tratamiento demostró ser efectivo con una reducción mayor al 50% en la DQO y DBO₅.

Con respecto a los valores de *E. coli* se logró una reducción de más del 50%, con un valor final por debajo de 100 NMP, lo que representa una cuantificación 10 veces menor al límite máximo permisible (1000 NMP) establecido por la NOM-002-SEMARNAT-1996. Derivado de la eficiencia del tratamiento aplicado los valores obtenidos de E.Coli dan cumplimiento con lo establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997 que indica un valor menor a 100 NMP de coliformes para uso directo.

En este sentido el agua residual tratada a través de este método puede ser una alternativa para el reúso del recurso hídrico en zonas áridas del país, como es el caso de la ciudad de Tijuana que se caracteriza por una zona de escasa precipitación, con escasas fuentes de agua superficiales y subterráneas, siendo su única fuente de abastecimiento el agua proveniente del río Colorado (Navarro Chaparro, 2010).

Finalmente se puede concluir que se cumplió con los objetivos, ya que se logró la construcción de un prototipo de electrofloculación, y se demostró su efectividad para dar cumplimiento con los límites máximos permitidos para su disposición al sistema de drenaje.

Referencias

Aldeguer, A., Prats, D., & Seller, A. (2019). *Electrocoagulación en Fangos secundarios en la EDAR de Novelda - Monforte Del Cid. Efectos Sobre la Digestión anaerobia*. Orihuela: Universidad de Alicante.

Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 43(147), 56-67.

Campos Pulido, R., López, A. A., Avalos, D. A., Hoyos, A. A., & Reta Mendiola, J. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(5), 939-950.

Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38, 11-41.

Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59, 355-357.

Mollah, M., Morkovsky, P., Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Elsevier B.V*, 199 -210.

Navarro Chaparro, S. K. (2010). La problemática del agua urbana en la Ciudad de Tijuana, Baja California y algunas alternativas para la gestión sustentable. Tijuana, Baja California, México.

Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. (2015). Diario Oficial de la Federación. *Análisis de agua medición de sólidos y sales disuelta en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba*. México, D.F., México.

Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001. (17 de Abril de 2001). Diario Oficial de la Federación. *Análisis de agua determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba*. México, D.F., México.

Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014. (13 de Enero de 2015). Diario Oficial de la Federación. *Análisis de agua medición ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba*. México, D.F.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. (21 de Septiembre de 1998). Diario Oficial de la Federación. *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público*. Mexico, D.F., México.

Ozyonar, F., & Karagozoglou, B. (June de 2011). Operating Cost Analysis and Treatment of Domestic Wastewater by Electrocoagulation Using Aluminum Electrodes. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(1), 173-179.

Piña, S., Dominguez, M., & Ramirez González. (2011). Revisión de las variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(2), 257-271.

Prieto García, F., Callejas Hernández, J., Reyes Cruz, V., & Marmolejo Santillán, Y. (2012). Electrocoagulación: una alternativa para la depuración de lactosuero residual. *REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica.*, 5(3), 51-77.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. (2002). Informe de la situación del medio ambiente en México. México, México.

Vasudevan, S. (March de 2012). Electrochemistry for Green and Clean Environment. (Central Electrochemical Research Institute, Ed.) *Research Journal of Chemistry and Environment*, 16(1), 3-6.

Transporte masa: Simulación de fluidos incomprensibles en una capa difusora de gas utilizando OpenFoam

Mass transport: Simulation of incompressible fluids in a gas diffuser layer using OpenFoam

PAMPLONA-SOLIS, Blandy†, CRUZ-ARGÜELLO, Julio*, GOMEZ-BARBA, Leopoldo y MAY-CANCHE, Isaias

Universidad de Guadalajara - Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativa

ID 1^{er} Autor: Blandy, Pamplona-Solis / **ORC ID:** 0000-0003-0293-992X, **CVU CONACYT ID:** 356408

ID 1^{er} Coautor: Julio, Cruz-Argüello / **ORC ID:** 0000-0001-8664-9422, **CVU CONACYT ID:** 221002

ID 2^{do} Coautor: Leopoldo, Gomez-Barba / **ORC ID:** 0000-0003-0608-3452, **CVU CONACYT ID:** 336905

ID 3^{er} Coautor: Isaias, May-Canche / **ORC ID:** 0000-0003-2897-6649, **CVU CONACYT ID:** 255571

DOI: 10.35429/JOES.2019.20.6.16.24

Recibido 09 Julio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

Resumen

La Capa difusora de gases (GDL) provee una ruta de transporte para las especies reactantes desde los canales de flujo hasta la capa catalizadora en una celda de combustible. El diseño de los componentes requiere que las especies presenten una difusión uniforme hacia los electrodos y que los productos formados sean desalojados lo más rápido posible, para evitar el incremento de la resistencia óhmica debido al bloqueo de los sitios activos. Este trabajo presenta una propuesta de solución para la ecuación de continuidad en fluidos incomprensibles en un modelo 3D para una capa difusora de gases con características de malla de alambre para una celda de combustible utilizando el software de código abierto "OpenFoam". El objetivo del estudio es mostrar que bajo diferentes escalas de la capa difusora de gases se presentan cambios significativos en las velocidades de propagación de las especies reactantes hacia el área activa de la celda de combustible.

Celda de combustible, GDL, OpenFoam

Abstract

The Gas Diffusion Layer (GDL) provides a transport route for the reactant species from the flow channels to the catalytic layer in a fuel cell. The components design requires that the species present a uniform diffusion towards the electrodes and that the formed products are shifted as faster as possible, to avoid the increase of the ohmic resistance due to the blocking of the active sites, or it constitutes a bottleneck that the performance decrease fast. This work presents a solution proposal for the continuity equation in incompressible fluids in a 3D model of a gas diffuser layer with titanium wired mesh characteristics of a fuel cell using "OpenFOAM" open source software. The aim of the study is to show that under different scales or size of the gas diffusion layer there are significant changes in the velocities of propagation of the reactant species towards the active area of the fuel cell.

Fuel Cell, GDL, OpenFoam

Citación: PAMPLONA-SOLIS, Blandy, CRUZ-ARGÜELLO, Julio, GOMEZ-BARBA, Leopoldo y MAY-CANCHE, Isaias. Transporte masa: Simulación de fluidos incomprensibles en una capa difusora de gas utilizando OpenFoam. Revista de Sistemas Experimentales. 2019. 6-20: 16-24

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jcruz@itchetumal.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor

Introducción

El estudio de la conversión directa de energía química a energía eléctrica por medio de celdas de combustible (*Fuel Cell- FC*, por sus siglas en inglés) ha ganado popularidad debido principalmente a dos factores: a) la alta eficiencia en la conversión de energía y b) la disminución de contaminantes emitidos a la atmósfera (Alvarado-Flores & Ávalos-Rodríguez, 2013; J. Wang, Yuan, Yu, & Sundén, 2017; Wu, 2016).

El hidrógeno es el combustible principal de las celdas, sin embargo aunque es el elemento más abundante en el universo, no se encuentra en su estado puro en la naturaleza (Lodders, 2003), por lo que se requiere de procesos de reformado de hidrocarburos o electrolisis para su obtención. Durante su extracción a partir de combustibles fósiles se producen gases contaminantes que limita a las celdas de combustible como una fuente limpia de energía.

La electrolisis es un método limpio para obtener hidrógeno a través de la división de la molécula de agua. En este sentido se han creado Celdas de Combustible Regenerativas Unificadas (URFC – *Unified Regenerative Fuel Cell*), donde una misma unidad puede trabajar en modo celda de combustible para generar electricidad o en modo electrolizador para obtener hidrógeno. (Min, Ishida, Ito, & Maeda, 2010; Y. Wang, Leung, Xuan, & Wang, 2016).

La ventaja principal de las celdas de combustible es que no presentan la descarga espontánea de las baterías de ion de litio, ya que en cuanto se les suministra combustible (hidrógeno) generan energía, sin embargo es imperante, la búsqueda de materiales y diseños más eficientes para que la generación de energía de este tipo celdas pueda llegar a niveles de comercialización (Niu, Fan, Bao, & Jiao, 2018). El negro carbón debido a su bajo costo, es el material ampliamente utilizado en los dos electrodos (ánodo y cátodo) en las celdas de combustible, por su parte la evolución del hidrógeno no presenta problemas de corrosión en la mayoría de los materiales (Gabbasa, Sopian, Fudholi, & Asim, 2014), pero el proceso de evolución del oxígeno en el electrolizador origina serios problemas de corrosión a causa de los sobrepotenciales anódicos (Kim, Lee, & Tak, 2009; Min et al., 2010).

El desarrollo de un electrodo para el modo electrolizador es intrínsecamente diferente al de la celda de combustible, pues en ambos casos es necesario un adecuado equilibrio de las propiedades hidrofóbicas e hidrófilas. (Ma, Sui, & Zhai, 2008; Pettersson, Ramsey, & Harrison, 2006).

Un adecuado diseño de la celda de combustible requiere que las especies presenten una difusión uniforme hacia los electrodos y que los productos resultantes del proceso electroquímico sean desalojados lo más rápido posible para evitar inundación en la celda; sin embargo, para su optimización es necesario saber cómo ocurre la distribución de las especies reactivas en los canales de flujo, así como la difusión de las mismas sobre las capas de soporte mediante el estudio de la mecánica de fluidos, por lo que la simulación de modelos que puedan predecir su funcionamiento es esencial y evitar los problemas de las técnicas experimentales que se presentan en laboratorio (Aguirre, 2009; Yin, Wu, He, Du, & Jiao, 2014).

La Capa difusora de gases (GDL – *Gas Diffusion Layer*) provee una ruta para los gases reactivos desde los canales de flujo hasta la capa catalizadora, permitiendo el acceso al área activa, por lo que es importante conocer su comportamiento dentro del funcionamiento de las FC. (Ionescu & Buzbuchi, 2017; J. Wang et al., 2017; Yin et al., 2014)

Las técnicas experimentales para mejorar las condiciones de generación de electricidad, así como la producción de hidrógeno son usualmente costosas y prolongadas. Los modelos matemáticos con la simulación han sido utilizados como herramientas en el proceso de descubrimiento de nuevos conocimientos en el diseño de las celdas de combustible. En la literatura existen múltiples trabajos para modelar las FC, sin embargo, existen pocos estudios enfocados a las Celdas Regenerativas Unificadas y mucho menos a modelos del comportamiento de la Capa Difusora de Gases (Abdol Rahim, Tijani, Kamarudin, & Hanapi, 2016; Colleen Spiegel, 2008).

Los resultados reportados en modelos de simulación de celdas de combustible consideran a la GDL como un medio poroso, descartando su composición geométrica a nivel macroscópico (Owejan, Trabold, & Mench, 2014; Truc, Ito, & Fushinobu, 2018; Wan et al., 2018; J. Wang et al., 2017; Zhang, Cheng, & He, 2017).

Por lo que en este trabajo se considera importante conocer el efecto de la capa difusora con diferentes geometrías en el transporte de los gases en su ruta hacia el catalizador durante el modo electrolizador en el cátodo de la celda.

La GDL en una URFC tiene un funcionamiento diferente al que tiene en una Celda de Combustible. A través de la Capa Difusora los gases humidificados mantienen húmeda la membrana tanto de la FC como de la operación de la URFC en modo celda de combustible; sin embargo, el exceso de agua en las rutas de transporte de gas de la GDL, especialmente el electrodo de oxígeno (cátodo durante modo celda de combustible), induce a la pérdida de transporte de masa (Gabbasa et al., 2014).

Aunque las celdas de combustible están integradas con componentes fijos, es decir, no tienen partes móviles o motores para funcionar (Fig. 1). El fenómeno que sucede en su interior es complejo, debido a que más de un proceso sucede en el mismo momento, es el caso de la GDL que debe ser optimizada para que el gas reactante circule eficientemente, al mismo tiempo que el agua debe viajar en dirección opuesta y no acumularse en los espacios de circulación, además que debe ser conductiva eléctrica y térmicamente (Al-baghdadi, 2017).

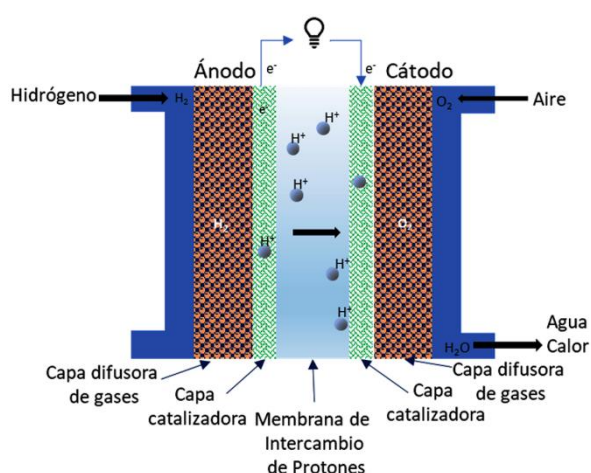


Figura 1 Componentes de una celda de combustible

Método

Este trabajo desarrolla tres casos de simulaciones en un ambiente tridimensional (3D) del transporte del oxígeno a través de mallas de titanio tipo tela utilizadas como capa difusora de gases. Las características de la tela de titanio comercializada por la empresa Fuel Cell Store son mostradas en la Tabla 1 (Store, n.d.).

Código Producto	Espesor	Grosor Hilo	Longitud Diamante
592779 & 592780	50.8 μm	101.6 μm	787 μm

Tabla 1 Especificación de la malla

Durante el proceso de simulación un paso muy importante es la creación de la geometría del sistema a modelar por medio de software CAD (*computer-aided design*, por sus siglas en inglés), la especificación de las dimensiones de cada elemento con forma de diamante de la malla de titanio tipo tela es presentada en la Fig. 2.

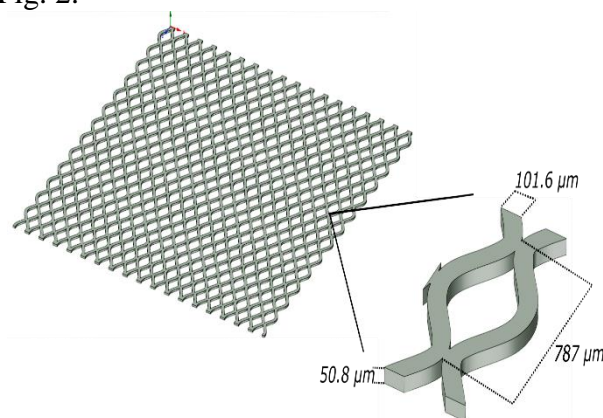


Figura 2 Especificación del diamante de la malla utilizada en la GDL

Para la simulación de los tres casos se modificó la geometría de la GDL por medio de la colocación de tres mallas de titanio tipo tela en diferentes posiciones: a) caso 1 mallas colocadas en $0^\circ - 0^\circ - 0^\circ$, b) caso 2 mallas colocadas en $0^\circ - 90^\circ - 0^\circ$ y c) caso 3 mallas $0^\circ - 45^\circ - 0^\circ$. Las cuáles deben ser replicables al momento de ensamblar la celda de combustible en laboratorio con el objetivo de validar los resultados de la simulación. La Fig. 3 presenta las tres configuraciones planteadas en esta investigación.

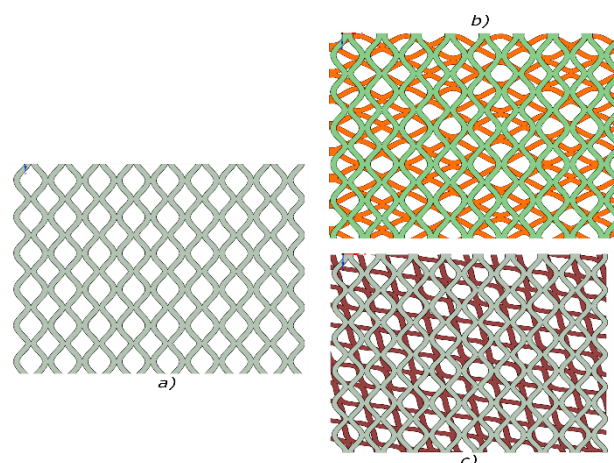


Figura 3 Colocación de las mallas: a) $0^\circ - 0^\circ - 0^\circ$ b) $0^\circ - 90^\circ - 0^\circ$ c) $0^\circ - 45^\circ - 0^\circ$

Ecuaciones que gobiernan el fenómeno

El comportamiento de las especies que son transportadas dentro de la celda de combustible es modelado por medio de las ecuaciones de conservación. Ecuación de continuidad en forma diferencial:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Donde:

t es el tiempo

ρ es la densidad

u, v, w son las velocidades en X, Y, Z

La ecuación puede ser expresada en su forma vectorial:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (2)$$

La ecuación de momento puede ser escrita para cada una de las direcciones, las cuales son llamadas ecuaciones de Navier - Stokes.

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu (\nabla^2 \vec{V}) \quad (3)$$

Donde:

p es la presión

\vec{V} es el vector de velocidades

Descripción del modelo

El espacio geométrico utilizado en la simulación para el transporte del fluido a través del cátodo es presentado en la Fig. 4, está compuesto por tres elementos principales: 1) el serpentín (elemento color gris), 2) la capa difusora de gases (compuesta por las tres telas de malla de titanio, elemento en color verde) y 3) el catalizador (elemento color azul).

El modelo tridimensional del sistema establece una velocidad de entrada (INLET = 0.05m/s en dirección al eje y), con paredes no deslizables y una presión relativa de salida (OUTLET = 0 = 110325 pascales). Los valores utilizados como condiciones de frontera y geometría se especifican en la tabla 2.

Supuestos del modelo

Para la ejecución de las simulaciones del modelo 3D, se configura como un sistema de fase simple, isotérmico y de estado estable, asumiendo:

1. La temperatura dentro de la celda es uniforme con un valor constante de 298.15°K. No se considera algún intercambio de calor.
2. El número de Reynolds y la velocidad son bajas, por lo que prevalecen condiciones de flujo laminar.
3. La PEM es impermeable a los gases.
4. Los gases son considerados incompresibles.
5. La presión en las fronteras se establece con el valor de presión atmosférica.
6. La GDL es una malla regular.

Experimentación

La primera etapa del procedimiento es el preprocesamiento, en la cual se fijan el dominio, los principios y supuestos del problema físico. La siguiente fase que se realiza es la definición del modelo matemático que gobernará el comportamiento entre las variables durante el proceso de simulación, así mismo se debe elegir el método de solución.

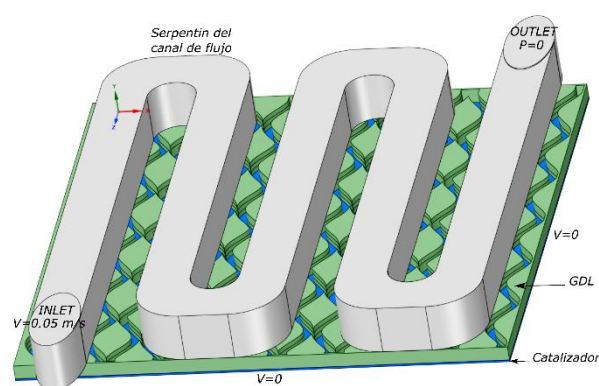


Figura 4 Contexto del modelo

Parámetro	Valor	Unidades
Altura canal serpentín	0.5	mm
Ancho canal serpentín	0.5	mm
Espaciamiento entre canales	0.5	mm
Espesor de la capa difusora	0.15	mm
Espesor de la capa catalítica	0.03	mm
Área de la capa difusora	25	mm ²
Velocidad de entrada	0.05	m/s
Presión salida	110325	pascal

Tabla 2 Condiciones del contexto del modelo

La solución de las ecuaciones que gobiernan la mecánica de fluidos se realizó por medio del método numérico de volúmenes finitos implementados en el CFD (*Computational Fluid Dynamics*) de código abierto denominado *OpenFoam* (Martin, 2019). Para la utilización de este método se realizó el diseño de la geometría definida como en la Fig. 4, en este proceso se utilizó software CAD para facilitar su creación.

Una vez realizada la geometría, se subdividió el dominio en volúmenes de control por medio de mallas obteniendo el *grid* computacional que se esboza en la Fig. 5. Debido a la diferencia en los tamaños de los elementos que componen el modelo (serpentin, GDL y catalizador) se aplicó un mallado no uniforme con celdas principalmente tetraédricas que son más adecuadas en geometrías complejas, pero con la desventaja de mayores tiempos de ejecución para encontrar la convergencia en la solución de las ecuaciones.

Es importante señalar que en el proceso de mallado se debe mantener la continuidad del *grid* computacional entre los diferentes elementos que integran al modelo completo (serpentin, GDL y catalizador). Así mismo durante el proceso de mallado se requiere definir las zonas de frontera para establecer los parámetros de ejecución de la simulación.

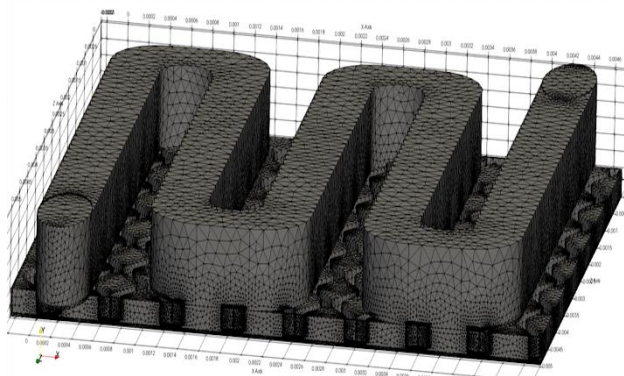


Figura 5 Grid de celdas obtenido del proceso de mallado

El *grid* con mayor número de celdas fue el del caso 2 ($0^\circ - 45^\circ - 0^\circ$) con un total de 1,684,409 elementos usados para simular el transporte del oxígeno en el cátodo de celda de combustible. El algoritmo de solución usado fue el algoritmo SIMPLE (OpenFOAM, n.d.), configurado para tener una convergencia en 10^{-6} en las variables de continuidad y velocidad.

Resultados y discusión

Por medio de la ejecución del algoritmo SIMPLE se encontró la convergencia en los tres casos de GDL presentados en este trabajo. Los resultados de la simulación en openFoam son guardadas en los directorios de tiempo que son utilizados posteriormente para la fase de post-procesamiento.

Caso 1 GDL $0^\circ - 0^\circ - 0^\circ$

La simulación se realizó con tres mallas todas colocadas en posición de cero grados, como se presenta en la Fig. 3a. Los resultados obtenidos son procesados con el software *open-source* de visualización *Paraview*, la mayor velocidad es alcanzada en el centro del serpentin con 1.5×10^{-1} m/s, como se observa en la Fig. 6.

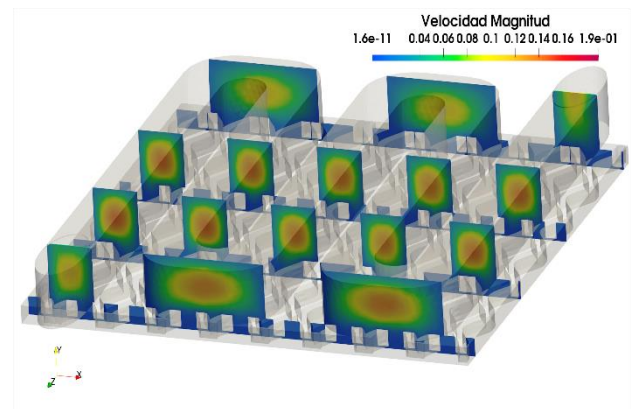


Figura 6 Perfiles de velocidad caso 1

Respecto al transporte del oxígeno en la zona de la capa difusora de gases, se presenta una distribución del fluido únicamente sobre el área de contacto con el serpentin, sin tener un movimiento considerable hacia otros sitios rumbo al catalizador (Fig. 7), las velocidades alcanzadas en este segmento de la celda se encontraron en un rango de 8.2104×10^{-8} hasta 0.043753 m/s.

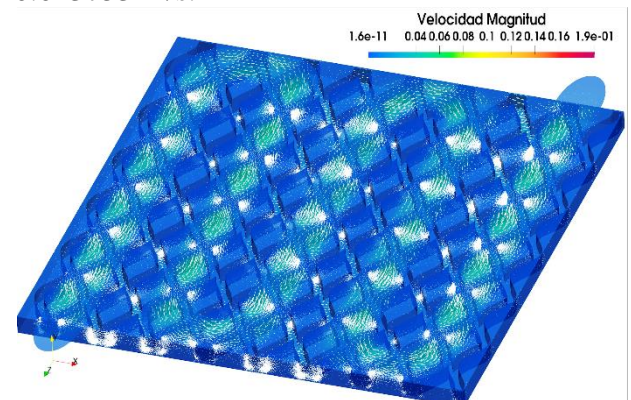


Figura 7 Vectores de velocidad GDL caso 1

Caso 2 GDL alternado $0^\circ - 90^\circ - 0^\circ$

Este caso de estudio consistió en modelar la capa difusora alternando la colocación de las tres mallas bajo el siguiente orden $0 - 90 - 0$ grados. El comportamiento presentado en el serpentín fue el esperado al concentrarse las mayores velocidades en el área central del flujo con velocidades de 2.1×10^{-1} m/s (Fig. 8).

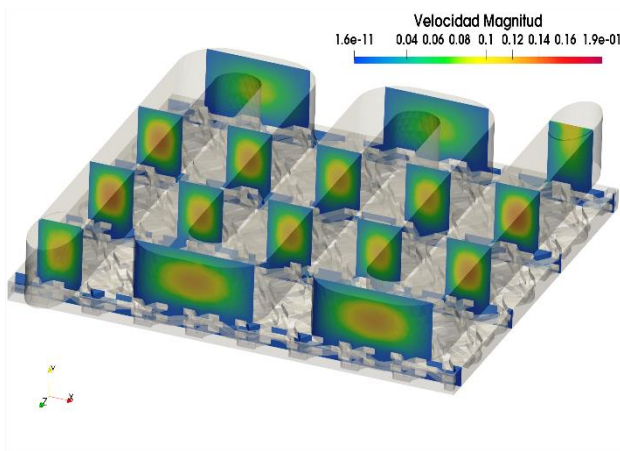


Figura 8 Perfiles de velocidad caso 2

La distribución del fluido en la GDL y catalizador exhibe un comportamiento más errático con las zonas de contacto, el choque de las moléculas de oxígeno con la disposición de los bordes de la GDL logran que haya mayor distribución en la capa del catalizador. En el área presentada en la Fig. 9 se obtuvieron velocidades entre 1.4165×10^{-11} y 8.227×10^{-1} m/s.

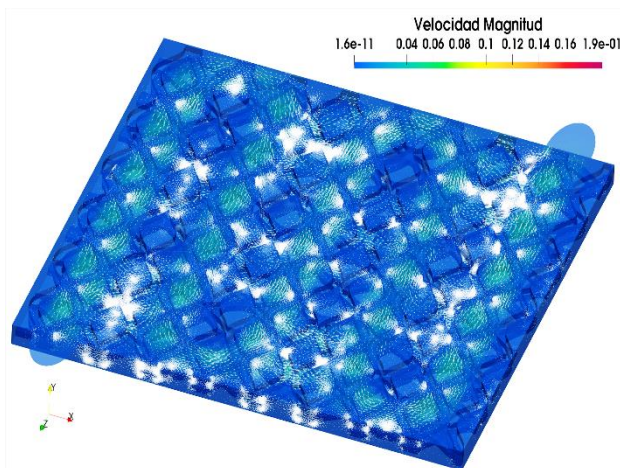


Figura 9 Vectores de velocidad GDL caso 2

Caso 3 GDL alternado $0^\circ - 45^\circ - 0^\circ$

La última configuración de la capa difusora se realizó ubicando alternadamente las mallas en las posiciones de $0 - 45 - 0$ grados.

La mayor velocidad alcanzada en el centro del serpentín fue de 1.5×10^{-1} m/s, al igual que en los casos anteriores el comportamiento del flujo del oxígeno en esta zona fue similar (Fig. 10).

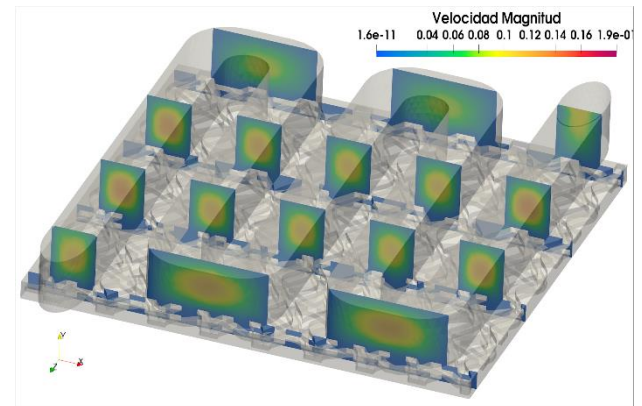


Figura 10 Perfiles de velocidad caso 3

El flujo del oxígeno en la zona del GDL para el caso 3 tuvo mayor distribución hacia el catalizador como se observa en la Fig. 10, sin embargo las velocidades obtenidas oscilan entre 3.234471×10^{-10} y 9.4474×10^{-2} m/s siendo las menores de los tres casos analizados (Fig. 11).

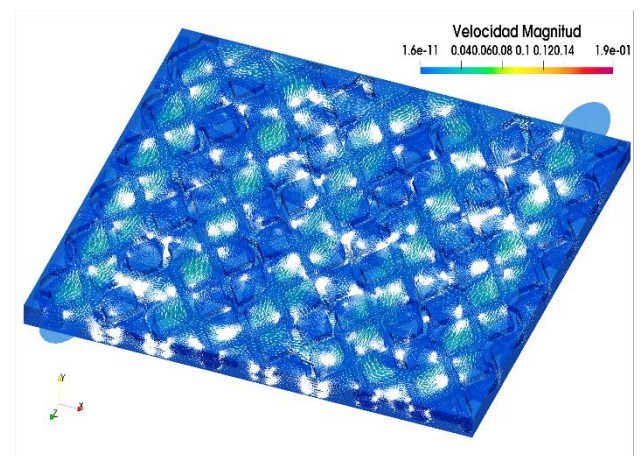


Figura 11 Vectores de velocidad GDL caso 3

En este trabajo la Capa Difusora de Gases es considerada como una malla regular de titanio lo que permite analizar el flujo de los reactantes a escala macroscópica la cual se fundamenta en el transporte por convección y como el cambio en la geometría favorece al flujo de las especies, a diferencia de la mayoría de las investigaciones que establecen a la GDL como un medio poroso para lo cual se establece un índice de difusión omitiendo la forma de los espacios creados en la GDL.

Los CFD son herramientas computacionales que se utilizan ampliamente para simular la dinámica de fluidos en un vasto número de aplicaciones incluidas entre ellas la simulación en las celdas de combustible, en la actualidad se puede encontrar en el mercado software CFD propietario (no software libre) (ANSYS, COMSOL, Autodesk CFD, etc) con costos elevados de licenciamiento, por lo que utilizarlo en proyectos de investigación es necesario contar con el presupuesto suficiente para su adquisición, debido a esto es importante incursionar en el uso de software *open-source* que permita aplicar las ventajas de los CFD en la investigación sin que los recursos económicos sean una limitante.

La aplicación del software *OpenFoam* en la simulación del comportamiento de los fluidos en las celdas de combustible apoyará a nuevos investigadores demostrando la potencialidad y confiabilidad de las herramientas *open-source*.

Conclusiones

El objetivo de este trabajo es analizar los cambios que presenta la velocidad durante el fenómeno de transporte del oxígeno en su ruta desde la placa difusora de flujo (serpentin) hacia el catalizador en una celda de combustible, con base a la realización de tres simulaciones con configuraciones diferentes en la colocación de la tela mallada de titanio a diferentes grados de solapamiento.

En cada uno de los casos se realizó la configuración de las condiciones de frontera y configuraciones en el *solver simpleFoam* establecido para flujos incompresibles descartando las opciones de turbulencia que permite trabajar en *OpenFoam*.

Después de la ejecución de las simulaciones se obtuvieron las velocidades del flujo del oxígeno que se presentan en la tabla 3, encontrándose que el caso 2 presenta la mayor velocidad de transporte con $8.227e-1$ m/s, mientras que la configuración (0-0-0) tiene la menor con $4.3753e-2$ m/s. Asimismo la mayor velocidad obtenida en el cátodo fue obtenida en el caso 2 con $2.1e-1$ m/s a diferencia de $1.5e-1$ m/s hallada en los casos 1 y 3.

A partir de los resultados generados se puede establecer que la disposición geométrica de la capa difusora de gases (GDL) contribuye a cambios en la distribución y las velocidades del flujo de los gases dentro de la celda de combustible, lo cual es una condicionante del rendimiento de la celda.

Caso estudio	Velocidad cátodo (m/s)	Velocidad GDL (m/s)	Número de celdas grid computacional
Caso 1, solapamiento (0-0-0)	$1.5e-1$	$8.2104e-08$ a $4.3753e-2$	1159792
Caso 2, solapamiento (0-90-0)	$2.1e-1$	$1.4165e-11$ a $8.227e-1$	1602683
Caso 3, solapamiento (0-45-0)	$1.5e-1$	$3.23447e-10$ a $9.4474e-2$	1684409

Tabla 3 Resultado de la velocidad en casos de estudio

El proceso de transporte en una URFC involucra la entrada y salida del hidrógeno, oxígeno y agua dependiendo del modo de funcionamiento de la celda, por lo que es importante ampliar el alcance de la investigación para conocer el efecto de la geometría en las velocidades al introducir líquidos y durante el cambio de fase líquida a gaseosa de los compuestos químicos.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado por el Doctorado en Tecnologías de Información de la Universidad de Guadalajara y al Instituto Tecnológico de Chetumal. Este trabajo es soportado por el proyecto de ciencia básica 235848: "Estudio y Desarrollo de la Capa Difusora de Gas/Líquido de una Celda de Combustible Regenerativa Unificada tipo PEM". CONACYT 2015-2018.

Referencias

Abdol Rahim, A. H., Tijani, A. S., Kamarudin, S. K., & Hanapi, S. (2016). An overview of polymer electrolyte membrane electrolyzer for hydrogen production: Modeling and mass transport. *Journal of Power Sources*, 309, 56-65.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.01.012>

- Aguirre, A. (2009). Descripción y Modelado de una Pila de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico, 231. Retrieved from http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6055/PFC_Antonio_Mayandia_V2.pdf?sequence=1
- Al-baghdadi, M. A. R. S. (2017). Proton exchange membrane fuel cells modeling: A review of the last ten years results of the Fuel Cell Research Center-IEEF. *International Journal of Energy and Environment*, 8(1), 1–28.
- Alvarado-Flores, J., & Ávalos-Rodríguez, L. (2013). Materiales para ánodos, cátodos y electrolitos utilizados en celdas de combustible de óxido sólido. *Revista Mexicana de Física*, 59(1), 66–87.
- Colleen Spiegel. (2008). *PEM Fuel Cell: Modeling and Simulation using MATLAB*. (Elsevier, Ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012374259-9.50006-9>
- Gabbasa, M., Sopian, K., Fudholi, A., & Asim, N. (2014). A review of unitized regenerative fuel cell stack: Material, design and research achievements. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(31), 17765–17778. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.08.121>
- Ionescu, V., & Buzbuchi, N. (2017). PEMFC Two-dimensional FEM Model to Study the Effects of Gas Flow Channels Geometry on Reactant Species Transport. *Energy Procedia*, 112(October 2016), 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1085>
- Kim, J., Lee, J., & Tak, Y. (2009). Relationship between carbon corrosion and positive electrode potential in a proton-exchange membrane fuel cell during start/stop operation. *Journal of Power Sources*, 192(2), 674–678. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2009.03.039>
- Lodders, K. (2003). SOLAR SYSTEM ABUNDANCES AND CONDENSATION TEMPERATURES OF THE ELEMENTS Katharina Lodders. *Sciences-New York*, 591(2), 1220–1247. Retrieved from <http://iopscience.iop.org/0004-637X/591/2/1220>
- Ma, L., Sui, S., & Zhai, Y. (2008). Preparation and characterization of Ir/TiC catalyst for oxygen evolution. *Journal of Power Sources*, 177(2), 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.11.106>
- Martin, J. (2019). *Universidad nacional del santa*.
- Min, C., Ishida, M., Ito, H., & Maeda, T. (2010). Influence of properties of gas diffusion layers on the performance of polymer electrolyte-based unitized reversible fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(2), 1740–1753. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.10.091>
- Niu, Z., Fan, L., Bao, Z., & Jiao, K. (2018). Numerical investigation of innovative 3D cathode flow channel in proton exchange membrane fuel cell. *International Journal of Energy Research*, 42(10), 3328–3338. <https://doi.org/10.1002/er.4086>
- OpenFOAM. (n.d.). OpenFOAM: User Guide: SIMPLE algorithm. Retrieved March 11, 2019, from <https://www.openfoam.com/documentation/guides/latest/doc/guide-applications-solvers-simple.html>
- Owejan, J. P., Trabold, T. A., & Mench, M. M. (2014). Oxygen transport resistance correlated to liquid water saturation in the gas diffusion layer of PEM fuel cells. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 71, 585–592. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.12.059>
- Pettersson, J., Ramsey, B., & Harrison, D. (2006). A review of the latest developments in electrodes for unitised regenerative polymer electrolyte fuel cells. *Journal of Power Sources*, 157(1), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.01.059>
- Store, F. C. (n.d.). Titanium Screen. Retrieved February 8, 2019, from <https://www.fuelcellstore.com/fuel-cell-components/gas-diffusion-layers/wire-mesh-and-cloth/titanium-screen-mesh-cloth>

Truc, N. T., Ito, S., & Fushinobu, K. (2018). Numerical and experimental investigation on the reactant gas crossover in a PEM fuel cell. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *127*, 447–456. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.092>

Wan, Z. H., Zhong, Q., Liu, S. F., Jin, A. P., Chen, Y. N., Tan, J. T., & Pan, M. (2018). Determination of oxygen transport resistance in gas diffusion layer for polymer electrolyte fuel cells. *International Journal of Energy Research*, *42*(6), 2225–2233. <https://doi.org/10.1002/er.4012>

Wang, J., Yuan, J., Yu, J.-S., & Sunden, B. (2017). Investigation of effects of non-homogenous deformation of gas diffusion layer in a PEM fuel cell. *International Journal of Energy Research*, *41*(14), 2121–2137. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1002/er.3774>

Wang, Y., Leung, D. Y. C., Xuan, J., & Wang, H. (2016). A review on unitized regenerative fuel cell technologies , part-A : Unitized regenerative proton exchange membrane fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *65*, 961–977. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.046>

Wu, H. (2016). A review of recent development : Transport and performance modeling of PEM fuel cells. *Applied Energy*, *165*, 81–106. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.075>

Yin, Y., Wu, T., He, P., Du, Q., & Jiao, K. (2014). Numerical simulation of two-phase cross flow in microstructure of gas diffusion layer with variable contact angle. *International Journal of Hydrogen Energy*, *39*(28), 15772–15785. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.07.162>

Zhang, Z., Cheng, J., & He, X. (2017). Numerical simulation of flow and heat transfer in composite PCM on the basis of two different models of open-cell metal foam skeletons. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.05.012>

Desarrollo experimental de un Domo solar

Experimental development of a Solar Dome

ROSALES-RAMIREZ, Mirna Margarita*†, SANCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, ARAUJO-RAMIRO, Jorge Arturo y LEON-HERNANDEZ, Juan Antonio

Universidad Tecnológica de Altamira

ID 1^{er} Autor: *Mirna Margarita, Rosales-Ramirez* / ORC ID: 0000-0003-4957-952X, CVU CONACYT ID: 1019626

ID 1^{er} Coutor: *José Alfonso, Sánchez-Cortez* / ORC ID: 0000-0002-8762-1154, CVU CONACYT ID: 500152

ID 2^{do} Coautor: *Jorge Arturo, Araujo-Ramiro* / ORC ID: 0000-0002-1044-505X, CVU CONACYT ID: 1019660

ID 3^{er} Coautor: *Juan Antonio, Leon-Hernandez* / ORC ID: 0000-00019439-6832, CVU CONACYT ID: 1019639

DOI: 10.35429/JOES.2019.20.6.23.33

Recibido 09 Julio, 2019; Aceptado 28 Septiembre, 2019

Resumen

El proyecto que se presentara en el siguiente artículo, muestra los resultados que se obtuvieron en un trabajo experimental que fue realizado por alumnos de la carrera de energías renovables, el cual tiene como objetivo la elaboración de un domo solar, que aprovecha la energía calorífica del gran astro del sistema solar, además de reducir la contaminación y reducir las emisiones de CO₂ a la atmosfera terrestre. La idea es simple, elaborar un domo solar o cúpula solar, con el cual se puedan calentar y/o cocinar los alimentos, de una manera más fácil y económica y sin necesidad de utilizar los métodos convencionales como lo son la quema de gas, y en las zonas rurales, el uso de leña u otros materiales orgánicos contaminantes.

Cupula, Energia, Contaminantes, Sustentable, Medio ambiente, Ahorro

Abstract

The project presented in the following scientific article shows the results obtained in an experimental work that was carried out by students of the renewable energy career, which aims to develop a solar dome, which uses the heat energy of the great star of the solar system, in addition to reducing pollution and reduce CO₂ emissions to the Earth's atmosphere. The idea is simple, make a solar dome, with which you can heat and / or cook food, in an easier and cheaper way and without using conventional methods such as gas burning, and in rural areas, the use of firewood or other organic pollutants.

Dome, Energy, Pollutants, Sustainable, Environment, Saving

Citación: ROSALES-RAMIREZ, Mirna Margarita, SANCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, ARAUJO-RAMIRO, Jorge Arturo y LEON-HERNANDEZ, Juan Antonio. Desarrollo experimental de un Domo solar. Revista de Sistemas Experimentales. 2019. 6-20: 25-33

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: mirnarosales1796@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor

Introducción

El domo solar permite mantener el sabor natural de los alimentos, ya que esta no se sobre calienta, no se carameliza en exceso y es prácticamente imposible que se quemé. El experimento consiste en checar los parámetros de la temperatura para ver la diferencia de temperaturas en los dos prototipos. El papel aluminio aumenta considerablemente el gran tiempo de cocción. Cada prototipo tiene el mismo material de construcción pero diferente forma.

El primer prototipo es de una caja de madera pintada de color negro con aerosol, y la tapa superior de vidrio, con el interior cubierto por papel aluminio. El segundo prototipo es de una base de madera pintada de color negro con aerosol pero la diferencia de este que es una pecera de vidrio de 8 pulgadas con la boquilla hacia abajo y cubierta de papel aluminio. El prototipo fue diseñado con una programación en arduino, en donde se desarrolló en el programa "Arduino", que este mismo, lleva sensores de temperatura Lm35, conectados en la parte inferior de los prototipos.

El prototipo adquiere los datos en vivo por medio del programa Excel, en donde se presenta al momento las variaciones que se están presentando en el domo solar. El diseño inicio por una idea del Ingeniero Alfonso Sánchez Cortez (2019), fue modificada, por los alumnos encargados de este prototipo y redactado por Mirna Margarita Rosales Ramírez, alumna de la institución.

Antecedentes

La cocina solar

Tomamos como punto de partida la noticia de La Cocina Solar (Agencia Informativa Conacyt). En este explica, México es un país que cuenta con un alcance mayor de radiación solar, que esta es un área de oportunidad que se ha tenido desde siempre.

Investigadores han aprovechado la energía solar para procesar alimentos. Sin embargo, aún es necesario desarrollar tecnologías o procedimientos de energía verde (limpia), para poder aplicarlos a escala industrial y tener mayor competitividad.

"El proyecto es aprovechar una fuente de energía inagotable, como es el sol, para el procesamiento tecnológico de, en este caso, alimentos, es decir, fomentar la utilización de una energía térmica procedente del sol para facilitar en costos y procesos la industria de los alimentos", explicó el químico farmacobiólogo Rodrigo Guzmán Pedraza, colaborador del proyecto y estudiante de la Maestría en Ciencia y Tecnología en Alimentos de la institución. (Felipe Sánchez Banda, junio de 2017).

"Hemos estado desarrollando trabajos de investigación sobre el uso de esta tecnología solar sobre materiales o soluciones y modelos para poder correlacionar cómo se podrían evitar o mejorar nuevos productos y procesos tales como colorantes, pasteurización de alimentos, cocción de alimentos, incluso estamos iniciando trabajos de freídos bajo vacío y bajo cocción solar. También un estudiante de posgrado está trabajando con el procesamiento del aguamiel". (Doctor Contreras Esquivel, 2017).

El científico Contreras Esquivel señaló que los proyectos en el laboratorio se han enfocado en el área de carbohidratos para conocer el impacto que tiene la energía solar sobre los cambios fisicoquímicos de los carbohidratos en los alimentos y, de esta manera, contribuir con información en relación con el beneficio o perjuicio que podría tener esta tecnología.

GoSun

GoSun Fusion tiene el objetivo de alimentar a una familia de cinco miembros con su tecnología de cocción solar y un sistema de calentamiento eléctrico con energía solar en las noches, cuando está nublado o cuando llueve.

El horno Fusion se puede recargar a través del banco de energía solar de y panel solar de GoSun. Funciona con accesorios como un termómetro Bluetooth.

La tecnología del horno solar funciona con la tecnología del tubo al vacío sin el uso de gas propano ni de carbón. La luz solar es enfocada en el tubo al vacío a través de reflectores parabólicos. Esto convierte a casi 80 por ciento de los rayos solares en calor que puede alcanzar hasta los 550 grados Fahrenheit o 290 grados Celsius, mientras que el exterior del horno se mantiene fresco para el tacto.

El tubo al vacío funciona como un aislante para mantener la comida caliente. El Fusion utiliza un elemento de calentamiento térmico en la base de la bandeja de cocción. (Molly P.2019).

Cocina Solar Parabólica

Es un artefacto que utiliza la superficie reflectora de un paraboloide de revolución que concentra la energía solar incidente y genera la temperatura necesaria para la cocción de los alimentos. Existen diversos modelos, pero en general una cocina parabólica consta de tres partes principales:

1. Parrilla o soporte para el recipiente de cocción.
2. Concentrador parabólico.
3. Estructura soporte del sistema.

Algunos modelos de cocinas disponen de un sistema de alineamiento solar, generalmente es un dispositivo o visor, cuya sombra nos indica la posición relativa del concentrador parabólico con el sol, facilitando encontrar fácilmente la orientación adecuada en todo momento con la finalidad de conseguir un rendimiento óptimo.

Los rayos solares reflejados, provienen desde toda la superficie del concentrador, al incidir en un recipiente de cocción de material apropiado, elevan de forma instantánea su temperatura a valores que permiten afectar cualquier tipo de reparación alimenticia de forma similar como lo hace una cocina convencional. (Maria, H., 2018).

Objetivos

Objetivo general

Reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

Objetivos particulares

- No producir humo ni emisiones nocivas, para nuestro planeta tierra, que en la actualidad, los niveles de contaminación han sido elevados.
- Aprovechar la gran potencia de la radiación solar, que se presenta en la exposición al sol.
- Dejar de utilizar todo tipo de gas, que estos dañan nuestra capa de ozono.

Delimitaciones

En este proyecto existen dos tipos de delimitaciones, una de ellas y la más importante es la condición climática, ya que cuando el día se encuentre nublado o lluvioso, el Domo Solar recibirá un nivel bajo de energía solar y por ende, este no podrá ser utilizado de manera adecuada. La producción de calor de este sistema es a través de la radiación solar.

Otra delimitación es el lugar en donde el Domo Solar sea utilizado, tiene que estar a una exposición completa de la radiación solar, para que pueda recibir toda la energía calorífica y no exista algún objeto que genere sombra y desvíe la radiación que va directo al Domo Solar.

Contribución de la investigación

El uso diario del Domo Solar, generará un cambio total en la vida de los seres humanos, de cualquier identidad social. El beneficio será notorio, ya que este mismo no estará generando contaminación y será una opción muy económica para el usuario.

Justificación

Este proyecto está realizado con la intención de poder darle la importancia que tiene la radiación solar. Contemplando el cuidado que se le debe de tener al medio ambiente, evitando la contaminación del aire con los gases que el ser humano produce.

Actualmente el consumo de gas es algo muy importante para la subsistencia de las personas, ya que es utilizado para preparar alimentos. En muchas zonas rurales o de muy bajos recursos, existe una escasez del suministro del gas y la gente opta por utilizar el fuego a partir de la leña, la cual esta suele ser muy peligrosa para el ser humano que está expuesto a ella y así mismo la persona inhala el humo y este es demasiado ya que, el humo está hecho de una compleja mezcla de gases y partículas finas que se producen cuando se queman la leña y otros materiales orgánicos.

Estas partículas microscópicas pueden penetrar profundo en los pulmones, provocan una serie de problemas de salud, desde irritación en los ojos y goteo nasal, hasta enfermedades cardíacas y pulmonares crónicas. La exposición a la contaminación por partículas incluso se relaciona con la muerte prematura.

ROSALES-RAMIREZ, Mirna Margarita, SANCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, ARAUJO-RAMIRO, Jorge Arturo y LEON-HERNANDEZ, Juan Antonio. Desarrollo experimental de un Domo solar. Revista de Sistemas Experimentales. 2019

Condiciones geográficas de la zona

Clima

El clima del Puerto de Altamira tiene un clima subtropical húmedo con una temperatura al año de un promedio de 24.4°C, llegando a más de 30°C durante el verano promedio y acercándose a los 10°C durante el invierno promedio.

La temperatura máxima registrada ha sido de 46°C durante el 5 de mayo de 1999 y la temperatura mínima registrada ha sido de -4°C durante el 27 de diciembre de 1983. Con una precipitación pluvial anual media de 1,000 mm. (Wikipedia, 2019)

Mes	Máxima	Mínima	Lluvia
Enero	23°C	16°C	2 días
Febrero	25°C	17°C	1 días
Marzo	27°C	20°C	1 días
Abril	29°C	22°C	1 días
Mao	31°C	25°C	1 días
Junio	32°C	26°C	6 días
Julio	32°C	25°C	7 días
Agosto	32°C	26°C	8 días
Septiembre	31°C	25°C	12 días
Octubre	30°C	23°C	7 días
Noviembre	27°C	20°C	3 días
Diciembre	24°C	17°C	1 días

Tabla 1 Se representa el clima en Altamira y los días de lluvia. (Mirna, R., 2019)

Establecimientos de la hipótesis

El alto nivel de radiación solar aumenta el nivel de temperatura al utilizar estufas solares ayudamos a nuestro medio ambiente, conservando oxígeno puro y reservando bosques y miles de árboles, ayuda a disminuir la emisión de agentes contaminantes, además de satisfacer la necesidad del hombre.

Son económicas y permiten una buena cocción de los alimentos generando una mayor conciencia de cuidado del medio ambiente, aprovechando al máximo la energía solar.

Metodología

Lo primero que se hizo fue el diseño de los prototipos, calculando el volumen necesario e investigando el material más apropiado para realizar las primeras pruebas. Se reunieron todos los materiales que se necesitan para la construcción de los dos prototipos.

Descripción del material

Madera

La parte sólida de los árboles que se encuentra debajo de la corteza. Así, madera es el conjunto de tejidos, de cierta dureza, que constituyen la mayor parte del tronco y las ramas del árbol.

Suele ser menos densas que el agua, tiene una conductividad térmica y eléctrica baja. La madera es un aislante térmico. (IES Villalba Hervás)

Vidrio

El vidrio es un material obtenido por la fusión de compuestos inorgánicos a altas temperaturas, y el enfriamiento de la masa resultante hasta un estado rígido, no cristalino.

El vidrio es un material no poroso, que resiste temperaturas de hasta 150° C (vidrio común), sin perder ninguna de sus propiedades físicas y químicas. Esta particularidad permite que los objetos de vidrio puedan ser reutilizados varias veces para un mismo propósito. (RESIDUOS SOLIDOS URBANOS)

Metal

Cada uno de los elementos químicos buenos conductores del calor y de la electricidad, con un brillo característico y normalmente sólidos a temperatura ordinaria. Los metales comprenden la mayor parte de la tabla periódica de los elementos y se separan de los no metales por una serie de elementos de características intermedias, los denominados semimetales, que forman una línea diagonal entre el boro y el polonio. (Castilla y León).

Construcción del Domo

Caja

- La construcción de la caja fue realizada con madera con un grosor de medio centímetro.
- Se cortaron 5 pedazos con una medida de 20 x 19 cm.
- Se juntaron con clavos y con silicón.
- Añadimos el forro del papel aluminio por la parte de adentro.
- Cerramos con la tapa de vidrio en donde la pegamos con silicón.
- Hicimos los orificios para los sensores.

Domo

- Se compró una pecera de 8 pulgadas.
- La pecera fue volteada 180°.
- Fue pegada con silicón a la madera
- La superficie de la madera con la pecera previamente pintada con aerosol fue forrada con papel aluminio.

Arduino

- La programación se hizo en código de arduino con un sensor de temperatura LM35.
- Se hizo la soldadura del sensor con estaño, que este iba unido a los puentes que van en la entrada y salida del arduino.
- La lectura de datos se capturo en Excel.
- Se colocó el arduino conectado por la parte inferior del domo.

El ensamblado de los prototipos fue añadido pieza por pieza. Lo primero que se hizo fue cortar la madera con una medida de 20 por 20 para el primer prototipo después de esto se añadió la media esfera así contemplando la programación que se había hecho previamente con el programa arduino. Al colocar la pecera sabíamos que teníamos que ponerla en media luna en la parte superior del prototipo que habíamos armado anteriormente.

Después se añadió en la parte inferior en la programación del arduino con los cables expuestos y los sensores para que así mismo se hiciera la toma de datos en el programa Excel en el que se iban marcando la temperatura y así mismo se iban añadiendo las variaciones que se iban presentando al paso de los minutos y de las horas.

En el segundo prototipo se hacía lo mismo que se mencionó anteriormente, a diferencia que la base de este fue una madera cortada en forma de cirulo, y la pecera se añadió en la parte del centro. La toma de datos por medio del arduino se colocó en la parte inferior del prototipo. Colocando todos los materiales de forma correcta, para que no existirá algún problema con el ensamblado del mismo.

Fases de prueba**Prueba de resistencia**

El domo solar estuvo expuesto a la radiación solar en la hora pico, en donde la radiación solar es más fuerte. (1:00pm – 4:00 pm).

El domo solar presento un aumento de temperatura con diferentes variaciones del mismo.

El vidrio se sobrecalentó a diferencia de la madera que esta sobre la base. El vidrio es un material no es conductor pero más sin embargo, al estar expuesto a la radiación solar, absorbe la energía y este se convierte en el efecto invernadero.

Prueba de Sellado

Nuestro prototipo fue sellado de forma anaeróbica, para que al momento de que el Domo Solar experimente el efecto invernadero, se podrá llegar a un nivel más alto de temperatura.

Listado de materia prima y herramientas**Materia prima**

- Madera
- Metal
- Aluminio
- Silicón (Alta temperatura)
- Aerosol (Color negro)
- Vidrio
- Pecera de 8"
- Pecera de 16"

Herramienta

- Caladora
- Lijadora
- Taladro
- Pistola de silicón de manualidades
- Pistola de silicón industrial
- Pinzas de punta
- Grapadora industrial
- Martillo

Programación

- Arduino uno
- Cable de datos
- Sensores de temperatura (2)
- Puentes

Diseño

Nuestro diseño fue creado en el programa AutoCAD2018.

AutoCAD es un programa de dibujo por computadora CAD 2 y 3 dimensiones, puedes crear dibujos o planos genéricos, documentar proyectos de ingeniería, arquitectura, mapas o sistemas de información geográfica por mencionar algunas industrias y aplicaciones.

Los archivos generados por AutoCAD tienen el formato DWG propietario de Autodesk, este es el programa pionero representante de la tecnología CAD (Computer Aided Design). (3DCadPortal, 2019).

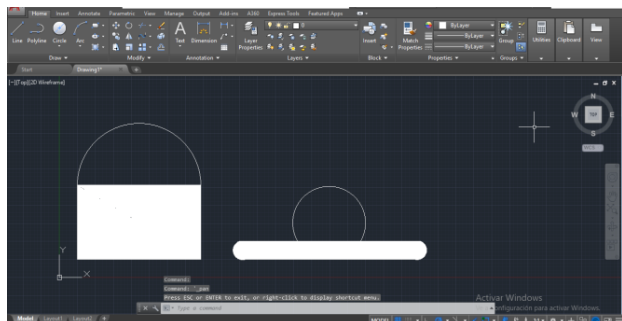


Figura 1 Captura de pantalla del diseño de los 2 prototipos. (Mirna, R., 2019)

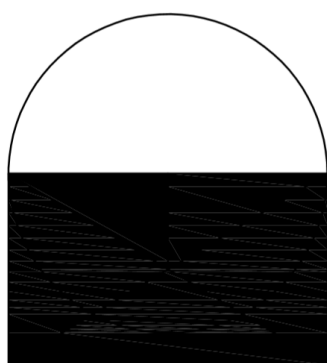


Figura 2 Representación del primer prototipo. (Mirna, R., 2019)

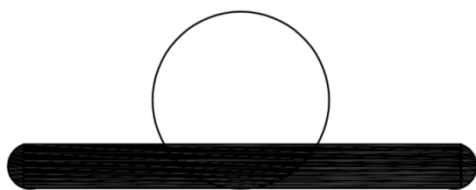


Figura 3 Representación del segundo prototipo. (Mirna, R., 2019)

Código de Programación

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("hora,tiempo de inicio,temperatura");
  Serial.println("RESETTIMER");
}
de
```

```
void loop() {
  int sensorValue1 = analogRead(A0);
```

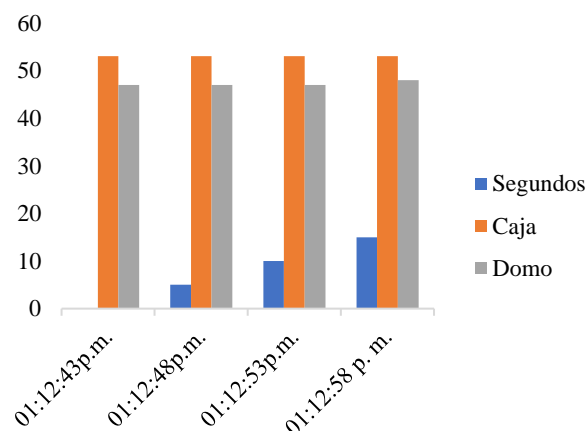
```
int sensorValue2 = analogRead(A1);
  sensorValue1 = sensorValue1 * 0.48820125;
  sensorValue2 = sensorValue2 * 0.48820125;
  Serial.print("DATA,TIME,TIMER,");
  Serial.print(",");
  Serial.print(sensorValue1);
  Serial.print(",");
  Serial.println(sensorValue2);
  delay(5000);
}
```

Programa Arduino, en donde se representa el código de programación para la toma de datos de la temperatura. (Mirna, R., 2019)

Toma de datos

hora	tiempo de inicio	Caja	Domo
01:12:43 p. m.	0.04	53	47
01:12:48 p. m.	5.00	53	47
01:12:53 p. m.	10.00	53	47
01:12:58 p. m.	15.00	53	48
01:13:03 p. m.	20.00	53	48

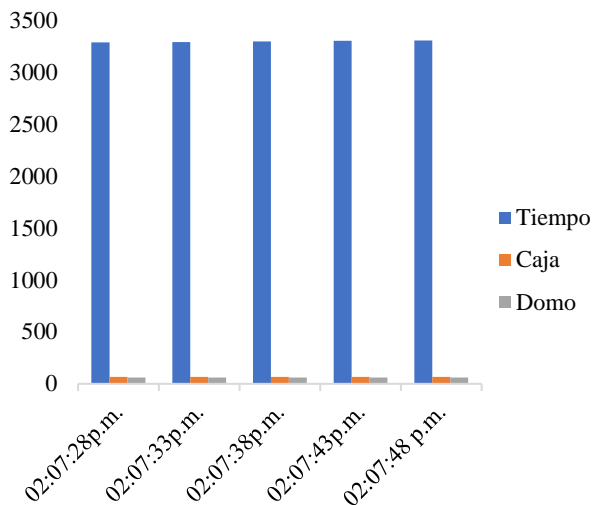
Tabla 2 Temperatura en experimento iniciando a la 1:12:43 pm con un tiempo de retención de 0.04 segundos y una temperatura en la caja de 53°C y en el domo de 47 °C. (Mirna, R., 2019)



Grafica 1 Representa los datos reales del inicio de la exposición solar del Domo Solar. (Mirna, R., 2019)

hora	tiempo de inicio	Caja	Domo
02:07:28 p. m.	3285.28	66	61
02:07:33 p. m.	3290.28	66	61
02:07:38 p. m.	3295.28	66	61
02:07:43 p. m.	3300.28	66	61
02:07:48 p. m.	3305.28	67	61

Tabla 3 Temperatura en experimento finalizando a las 2:07:48 pm con un tiempo de retención de 3305.28 segundos y una temperatura en la caja de 67°C y en el domo de 61 °C. (Mirna, R., 2019)



Grafica 2 Representa los datos reales de la finalización de la exposición solar del Domo Solar. (Mirna, R., 2019)

Comparación de la toma de datos

1. La primera toma de datos de 1:12:58pm en donde inicio una temperatura de inicio de 53 y 48 °C.
2. La ultima toma de datos de 2:07:48 pm con una finalización de 67 y 61 °C.

Radiación solar

La radiación solar es la magnitud empleada para indicar el valor de la radiación incidente en una superficie, en el caso del sol, se define como la energía solar recibida por cada metro cuadrado en un segundo. A lo largo de un día despejado varia, sobre todo, por la inclinación de los rayos del sol. Esta inclinación es mayor en invierno, disminuyendo entonces la irradiación solar (o insolación solar), que tiene un valor promedio de 1.367 W/m². (J. Lorente, curso de fotoprotección).

La radiación solar se disminuye debido a procesos de absorción y difusión que proceden los gases y partículas de la atmosfera y las nubes. La irradiación solar incidente en el suelo no suele superar los 1.000W/m², dependiendo mucho del lugar, la hora del día, época del año y estado del cielo. (J. Lorente, curso de fotoprotección).

Una parte de la irradiación solar que incide en el suelo proviene directamente del disco solar (irradiación sol directa) y la otra proviene del cielo y las nubes (irradiación sol difusa).

Para cielos despejados, la irradiación directa predomina en las horas centrales del día, y varía con el coseno del Angulo cenital del sol (ley de cosenos). Cuando el sol está oculto por las nubes o en el crepúsculo, casi toda la irradiación es difusa.

La suma de la irradiación solar directa y difusa se llama irradiación solar global y suele medirse con pirómetros en los observatorios meteorológicos. (J. Lorente, curso de fotoprotección).

La intensidad de la radiación (energía por unidad de superficie, por unidad de tiempo y por unidad de angulo solido que transporta la radiación electromagnética), interesa conocer su longitud de onda o intervalo espectral, fundamental para conocer los efectos de la radiación. El sol emite un amplio espectro de radiaciones, desde rayos gamma hasta longitudes de onda largas, de tipo infrarrojo. (J. Lorente, curso de fotoprotección).

Clases de radiación	Longitud de onda
Rayos gamma	< 0,1 nm
Rayos X	0, 1 – 100 nm
Ultravioleta C	100 – 280 nm
Ultravioleta B	280 – 320 nm
Ultravioleta A	320 – 400 nm
Visible	400 – 700 nm
Infrarrojo A	700 – 1,4 μm
Infrarrojo B	1, 4 – 3, 0 μm
Infrarrojo C	3, 0 μm – 1 mm

μ: En el sistema de numeración griega tiene el valor de 40

Tabla 4 Representa los tipos de radiaciones según su longitud de onda. (J. Lorente, curso de fotoprotección)

Clase de radiación	Longitud de onda
Infrarrojo cercano	700 nm - 1, 4 μm
Infrarrojo de onda corta	1 – 3 μm
Infrarrojo medio	3 – 5 μm
Infrarrojo de onda larga	5 – 14 μm
Infrarrojo térmico	8 – 15 μm
Infrarrojo de onda mu larga	12 – 30 μm
Infrarrojo lejano	15 μm – 1 mm

μm: El micrómetro es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.

Mm: milímetro

Tabla 5 Representa tipos de radiaciones infrarrojas según su longitud de onda. (J. Lorente, curso de fotoprotección)

Problemas matemáticos

Volumen de la Caja

Dimensiones de la caja: 20cm de largo, 20cm de ancho, 10cm de alto

Volumen: lado x lado x lado

$$V = 20 \times 20 \times 10: 4000 \text{cm}^3$$

V: volumen de la caja

Volumen de una esfera

$$V: \frac{4}{3} \pi r^3$$

r: radio de la esfera

Radio: 10cm

$$V: 4.188 \times 1000: 4188 \text{ cmm}^3$$

Reconocimientos

Reconocimiento total a nuestros padres, y a las personas que siempre nos han brindado su apoyo, puesto que de no ser por ellos no estuviésemos cursando esta profesión y así mismo agradecemos y reconocemos a los responsables de cifrar nuestra fe en ellos.

Principalmente reconocemos la ayuda, consejos, llamadas de atención y sobre todo enseñanzas educativas y de la vida a esas personas que a lo largo de diez cuatrimestres, nos han brindado ayuda en la medida de lo posible, nuestros profesores, quienes consideramos nuestros amigos también y personas como ejemplo a seguir, nombraremos a quienes han estado en su mayoría siempre apoyándonos, dicho sea de paso, son buenas personas, excelentes profesionales y ejemplos a seguir:

- Ingeniero Alfonso Sánchez Cortez
- Doctora Amparo González
- Ingeniero Juan Manuel Lozano Lozano
- Ingeniero Marco Antonio Merino Treviño
- Ingeniero Elvis Carrillo Ortega

Y más profesionistas que no cabrían en este texto, siempre han estado ahí, apoyándonos pese a todo, a nuestros errores, fallos etc. A todos ellos agradecemos sin excepción.

Conclusiones

El proyecto experimental realizado y redactado en el documento, da respuesta a muchas incógnitas que se tenían al plantear el problema que se busca solucionar.

Existían algunas dudas sobre el aprovechamiento de la energía solar, incluyendo radiación y temperatura, este proyecto ayuda y abre mas el campo de ideas sobre el cómo mejorar el prototipo para dar una mejor eficacia al resultado que se busca, y ese resultado ayudara, no solo al medio ambiente y disminución en el uso de gases contaminantes, sino que también ayuda a las personas a realizar una necesidad como es el cocinar de manera más sencilla y económica.

La comparación de resultados en la medición de las variables, que es el cambio de temperatura a lo largo del día, da a entender en cómo se puede absorber y aprovechar el calor, usando los materiales adecuados para su construcción; evidentemente y como se mostraron en los resultados, la caja da una temperatura más alta que en el domo, lo cual eso resuelve la incógnita de saber cómo y en que se puede aprovechar mas la energía calorífica de el sol.

Referencias

Carlos G. & Enrique G.. (Diciembre, 2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA SOLAR . Junio, 2019, de Escuela Universitaria Politécnica de Valladolid Sitio web: http://www.eis.uva.es/energias-renovables/trabajos_07/COCINA-SOLAR.pdf

«Estado de Tamaulipas-Estación: Tampico». Normales Climatologicas 1951–2010. Servicio Meteorológico Nacional. Archivado desde el original el 3 de marzo de 2016. Consultado el 25 de abril de 2015. Web: <https://web.archive.org/web/20160303212344/http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL28111.TXT>

Felipe Sánchez Banda. (16 de junio de 2017). La cocina solar . Junio,2019, de Agencia Informativa Conacyt Sitio web: <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/energia/15562-la-cocina-solar>

IES Villalba Hervás . (2005). La madera. Junio,2019, de Tecnología Industrial I Sitio web: https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/materiales_madera.pdf

Jeronimo Lorente. (2010). curso de fotoproteccion. 2010, de Consejo general de colegios oficiales de farmacéuticos Sitio web: <https://www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Documents/MAQUETACION%20MATERIAL%20FORMATIVO%20fotoproteccionfotproc2010.pdf>

MANUAL DE GESTION INTEGRAL. (2002). El vidrio. Junio,2019, de RESIDUOS SOLIDOS URBANOS Sitio web: http://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/parte_3.3_vidrio.pdf

Maria H. (2018). Cocina solar. Junio,2019, de Cocina con el sol Sitio web: <https://gastronomiasolar.com/comprar/MegaPiscinas> . (2015/18). CALENTADOR SOLAR DE AGUA CON FORMA DE CÚPULA| GRE. Junio,2019, de MegaPiscinas Sitio web: <https://megapiscinas.com/es/filtracion-y-electricidad/calentador-solar-de-agua-con-forma-de-c%C3%BApula-gre.html>

MOLLY P.. (Enero 11,2019). Horno solar GoSun cocina a oscuras. Junio,2019, de Hogar Inteligente Sitio web: <https://www.cnet.com/es/noticias/caracteristicas-gosun-horno-solar-ces-2019/>

Museu Nacional de la Ciència i la Tècnica de Catalunya . (Mayo,14,2010). Cocinando en el mayor reflector solar de Europa. Junio,2019, de Terra Ecología Practica Sitio web: <http://www.terra.org/categorias/blog-de-un-ecologista/cocinando-en-el-mayor-reflector-solar-de-europa>

«Normales climatológicas 1981–2000». Servicio Meteorológico Nacional. Archivado desde el original el 3 de marzo de 2016. - --- Consultado el 25 de abril de 2015. Web: <https://web.archive.org/web/20160303212133/http://smn.cna.gob.mx/observatorios/historica/tampico.pdf>

Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA). (2008). Los metales. Junio, 2016, de Junta de Castilla y León Sitio web: <http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Los%20metales.pdf>

Wikipedia. (Enero,2016). Tampico. Junio,2019, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tampico>

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]

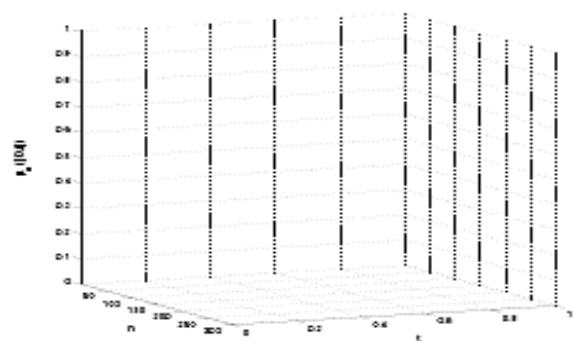


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

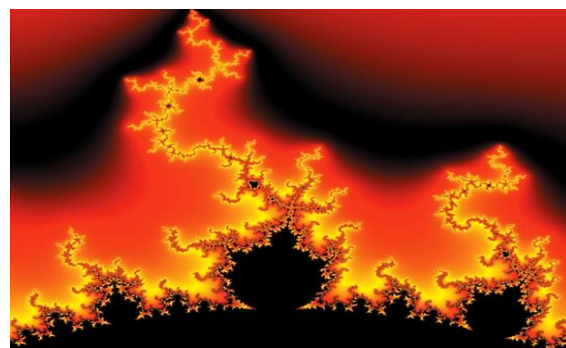


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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

“Caracterización de un músculo artificial de nylon y su implementación en una articulación de un robot manipulador serial”

ZAMUDIO-MARTÍNEZ, Patricio & AGUILAR-SALAZAR, Alejandro Tonatiuh

Universidad Nacional Autónoma de México

“Evaluación del funcionamiento de un prototipo de electrofloculación para el tratamiento de agua residual proveniente de procesos de biodigestión y biocompostaje”

ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, MONTAÑO-SOTO, Myriam Tatiana, EATON-GONZÁLEZ, Bernardino Ricardo y VÉLIZ-ZAMORANO, Ana Karina

Universidad Tecnológica de Tijuana

“Transporte masa: Simulación de fluidos incomprensibles en una capa difusora de gas utilizando OpenFoam”

PAMPLONA-SOLIS, Blandy, CRUZ-ARGÜELLO, Julio, GOMEZ-BARBA, Leopoldo y MAY-CANCHE, Isaias

Universidad de Guadalajara

“Desarrollo experimental de un Domo solar”

ROSALES-RAMIREZ, Mirna Margarita, SANCHEZ-CORTEZ, José Alfonso, ARAUJO-RAMIRO, Jorge Arturo y LEON-HERNANDEZ, Juan Antonio

Universidad Tecnológica de Altamira

