

Volumen 3, Número 10 — Abril — Junio - 2019

ISSN 2523-6784

# Revista de Innovación Sistemática



## **ECORFAN-Taiwan**

### **Editor en Jefe**

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

### **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 Innovación Sistemática**, Volumen 3, Número 10, de Abril a Junio 2019, es una revista editada trimestralmente por Ecorfan-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: [www.ecorfan.org/taiwan](http://www.ecorfan.org/taiwan), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC. ISSN: 2523-6784. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática Ecorfan. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Junio 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 de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

# **Revista de Innovación Sistemática**

## **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 Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas.

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 Innovación Sistemática es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, 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 Electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas 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 Ciencias de Ingeniería y Tecnología. 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**

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD  
Universidad París XI

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD  
Universidad de Sevilla

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD  
Institut National Polytechnique de Lorraine

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

LARA - ROSANO, Felipe. PhD  
Universidad de Aachen

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Madrid

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Institute of Technology

## **Comité Arbitral**

PURATA - SIFUENTES, Omar Jair. PhD  
Centro Nacional de Metrología

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

GONZALEZ - MARRON, David. PhD  
Instituto Tecnológico de Pachuca

ZAVALA - DE PAZ, Jonny Paul. PhD  
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ALONSO - CALPEÑO, Mariela J. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Atlixco

FERREIRA - MEDINA, Heberto. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ÁLVAREZ - GUZMÁN, Eduardo. PhD  
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Innovación Sistemática 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 Taiwan 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 Electromagnetismo , fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Implementación de hornos ladrilleros en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, para reducir la huella ecológica*, por REYES-BARRAGÁN, José Luis, CARO-BECERRA, Juan Luis, ROBLES-CASOLCO, Said y RODRÍGUEZ-DÍAZ, Roberto Ademar, con adscripción en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, el Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero y el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, como segundo artículo presentamos, *Una comparación entre el método MOORA y CODAS bajo ambiente de Conjunto Pitagoreano Difuso*, por FLORES-RUVALCABA, Abbi Azalia, PÉREZ-DOMÍNGUEZ, Luis, GARCÍA-VILLALBA, Luz Angélica y ALMERAZ-DURÁN, Sara, con adscripción en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, como tercer artículo presentamos, *La tecnología en la aeronáutica en pro de las energías renovables y de la Bio-Sustentabilidad*, por SANTANA-VÁZQUEZ, Olivia, LÓPEZ-MELENDEZ, J Jesús, ROSALES-OLIVARES, Jorge Enrique y REYNOSO-VILLANUEVA, Miriam, con adscripción en la Universidad Aeronautica en Querétaro, como último artículo presentamos, *Estudio del comportamiento de sensores de gas basados en resonadores de cristal de cuarzo para altas frecuencias*, por JIMÉNEZ-ARELLANO, Juan Jesús, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino y TORRES-MÉNDEZ, Sergio, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Puebla, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y el Instituto Tecnológico de Puebla.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Implementación de hornos ladrilleros en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, para reducir la huella ecológica</b> REYES-BARRAGÁN, José Luis, CARO-BECERRA, Juan Luis, ROBLES-CASOLCO, Said y RODRÍGUEZ-DÍAZ, Roberto Ademar <i>Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara</i> <i>Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero</i> <i>Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco</i>	1-8
<b>Una comparación entre el método MOORA y CODAS bajo ambiente de Conjunto Pitagoreano Difuso</b> FLORES-RUVALCABA, Abbi Azalia, PÉREZ-DOMÍNGUEZ, Luis, GARCÍA-VILLALBA, Luz Angélica y ALMERAZ-DURÁN, Sara <i>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez</i>	9-19
<b>La tecnología en la aeronáutica en pro de las energías renovables y de la Bio-Sustentabilidad</b> SANTANA-VÁZQUEZ, Olivia, LÓPEZ-MELENDEZ, J Jesús, ROSALES-OLIVARES, Jorge Enrique y REYNOSO-VILLANUEVA, Miriam <i>Universidad Aeronautica en Querétaro</i>	20-28
<b>Estudio del comportamiento de sensores de gas basados en resonadores de cristal de cuarzo para altas frecuencias</b> JIMÉNEZ-ARELLANO, Juan Jesús, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino y TORRES-MÉNDEZ, Sergio <i>Universidad Tecnológica de Puebla</i> <i>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla</i> <i>Instituto Tecnológico de Puebla</i>	29-37

## Implementación de hornos ladrilleros en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, para reducir la huella ecológica

### Implementation of brick furnaces in Tlajomulco of Zúñiga, Jalisco, to reduce the ecological footprint

REYES-BARRAGÁN, José Luis†<sup>\*1</sup>, CARO-BECERRA, Juan Luis<sup>1</sup>, ROBLES-CASOLCO, Said<sup>2</sup> y RODRÍGUEZ-DÍAZ, Roberto Ademar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero

<sup>3</sup>Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

ID 1<sup>er</sup> Autor: José Luis, Reyes-Barragán / ORC ID: 0000-0003-2431-3784, arXivAuthor ID: jlbecario, CVU CONACYT ID: 85698

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Juan Luis, Caro-Becerra / ORC ID: 0000-0002-2384-2188, Researcher ID Thomson: K-2859-218, arXiv Author ID: juanluis74

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Said, Robles-Casolco / ORC ID: 0000-0003-1217-7682, CVU CONACYT: 122409

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Roberto Ademar, Rodríguez-Díaz / ORC ID: 0000-0002-0835-4677, arXiv Author ID: Rdiaz\_19, CVU CONACYT ID: 40715

DOI: 10.35429/JSI.2019.10.3.1.8

Recibido 02 de Abril, 2019; Aceptado 30 de Junio, 2019

#### Resumen

El uso ineficiente de combustibles para la cocción de ladrillos genera importantes emisiones de contaminantes a la atmósfera entre ellos dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, dióxido de nitroso NO<sub>2</sub> y Gases de Efecto Invernadero (GEI), por lo que es de suma importancia cuantificar dichas emisiones y establecer con ello una línea base de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq). El objetivo de este proyecto es la implementación de hornos ladrilleros en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga con el objeto de reducir la huella ecológica, fundamentada en los hornos ecológicos ya existentes llamados MK2, teniendo como innovación dicho horno la colocación de una segunda pared, la cual logrará contener el calor generado, logrando así un sistema cerrado aislado en ambos hornos conectados entre sí, para aprovechar con ello un pre-secado óptimo de los ladrillos. Esta investigación se sustenta en no tener pérdidas de calor debido a su hermeticidad, ya que el horno ecológico cuenta con una doble pared de sellado reduciendo con esto el tiempo de cocción entre 7 y 12 días.

**Gases de Efecto Invernadero, Huella ecológica, Horno ladrillero**

#### Abstract

The inefficient use of fuels for the burning of bricks generates important emissions of pollutants into the atmosphere, among them carbon dioxide CO<sub>2</sub>, nitrous dioxide NO<sub>2</sub> and Greenhouse Gases (GHG), so it is very important to quantify these emissions and establish with it a baseline of carbon dioxide emissions equivalent (CO<sub>2</sub>eq). The goal of this project is the implementation of brick kilns in the municipality of Tlajomulco of Zúñiga with the aim to reduce the ecological footprint, based on the existing ecological furnaces called MK2, having as oven innovation the placement of a second wall, which will manage to contain the generated heat, thus achieving a closed system isolated in both ovens connected to each other, to take advantage of it an optimal pre-drying of the bricks. This research is based on not having heat losses due to its hermeticity, since the ecological furnaces has a double sealing wall reducing the burning time between 7 and 12 days.

**Greenhouse Gases, Ecological footprint, Brick kiln**

**Citación:** REYES-BARRAGÁN, José Luis, CARO-BECERRA, Juan Luis, ROBLES-CASOLCO, Said y RODRÍGUEZ-DÍAZ, Roberto Ademar. Implementación de hornos ladrilleros en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, para reducir la huella ecológica. Revista de Innovación Sistemática. 2019. 3-10:1-8

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jcaro\_becerra@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

Hablar de la globalización implica debatir sobre políticas públicas que pregonan actualmente como la falta de compromisos en una sociedad de grandes desequilibrios e injusticias, por un lado, una minoría que concentra la mayor riqueza del planeta y por otro una mayoría que concentra la miseria más cruda (Martínez, 2010). Lo que se busca y se plantea en este artículo son políticas ambientales que puedan trascender como una estrategia de cambio en los hábitos y consumos de la sociedad.

Sin embargo, Meira Cartea (2013) menciona que el deterioro ambiental no se asume como una manifestación de las limitaciones ecológicas y sociales del modelo económico o como una expresión de la crisis civilizatoria de la humanidad, sino que se contempla en el mejor de los casos como una alternativa para controlar el frágil equilibrio de los ecosistemas.

Actualmente el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), sufre grandes problemas de contaminación debido a una degradación de sus ecosistemas, crecimiento demográfico irreversible, así como emisiones de carbono sin un control por parte del sector industrial, esto según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuesto de Efecto Invernadero (INEGYCEI), debido a que México en los últimos 50 años ha emitido 683 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>).

Como caso de estudio en este proyecto se aborda el tema de los ladrilleros del municipio de Tlajomulco de Zúñiga donde la contaminación atmosférica es una situación que preocupa a la industria ladrillera por dos aspectos:

- Extracción de materia prima principalmente por arcillas con las que se fabrican los ladrillos, ya que no se está controlando el manejo de extracción, propiciando así deterioros ecosistémicos sobre la calidad del suelo
- Las emisiones atmosféricas de los hornos utilizados, debido a que no tienen un control de los GEI (Cova *et al.*, 2017)

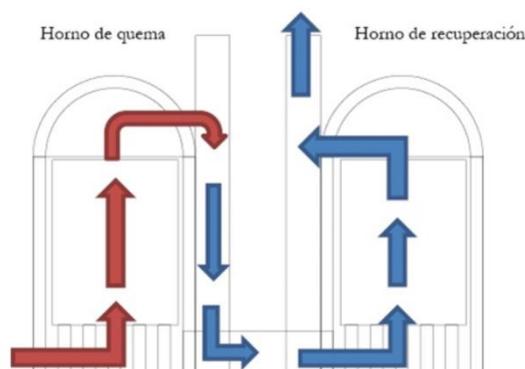
A partir de esta tendencia se propone la implementación de hornos ladrilleros para reducir la huella ecológica, la cual puede ser un área de mejora desde el punto de vista de eficiencia de producción, así como certificación y prueba de materiales bajo distintas normas, entre otras. La problemática actual de la contaminación que presenta el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) caso particular el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, se produce tanto a partir de los incendios forestales producidos por prácticas conocidas como *roza-tumba-quema*, además de la quema producida por la industria ladrillera, por consecuencia en sus procesos de elaboración y fabricación artesanal es uno de los más dañinos y contaminantes en la región.

El proceso tradicional de cocción de ladrillos dura entre 7 y 12 días dependiendo de las condiciones climatológicas de la región, por lo regular se utilizan materiales como madera y combustible, que al hacer cocción emiten grandes cantidades de gases altamente tóxicos (Zetter, 2017). Otra de las consideraciones que se debe de poner énfasis es el ámbito social haciendo referencia a los ladrilleros del AMG en particular del municipio de Tlajomulco de Zúñiga, lo cual incrementa los costes de producción debido a los traslados hacia los lugares de construcción, aumentando con ellos los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al medio ambiente. Precisamente el proyecto de “Implementación de hornos ladrilleros, para reducir la huella ecológica” consta de un sistema cerrado, es decir que se encuentra aislado del entorno y que no desarrolla interacciones con los agentes que están ubicados fuera de él, de tal manera que sus variables dependen únicamente de los factores que contiene el propio sistema ya que no mantiene relaciones o contacto con el exterior.

## Planteamiento del problema

La propuesta del horno ladrillero ecológico a implementar en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga para ser usado por los artesanos ladrilleros está fundamentada en un modelo existente llamado MK2 como se muestra en la figura 1, la limitante de estos hornos es que tienen pérdidas de calor en un 45%, en cambio el horno Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado tiene como innovación colocar una segunda pared y entre las dos paredes una colcha térmica aislante.

La cual logrará contener el calor presente en el horno logrando un sistema cerrado y aislado, permitiendo con ello retener el calor en el horno.



**Figura 1** Esquema del horno tipo MK2 donde se muestran los flujos de gas entre los dos hornos

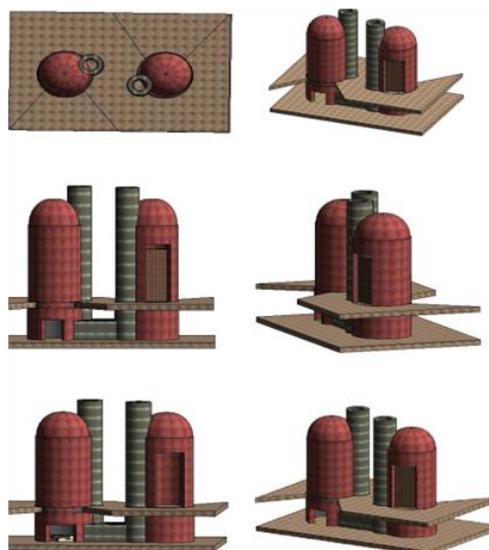
Fuente: Marcos Lujan

Un problema que presentan los hornos tipo MK2 es que pierden hasta un 30% de calor, además que los materiales con los que son construidos no son aislantes térmicos. Por otro lado la transferencia de calor en un medio físico, es el proceso por el cual se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura (Çengel, 2007). El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción, aunque estos tres procesos pueden ser simultáneos, puede ocurrir que uno de los procesos predomine sobre los otros.

El aislamiento sirve para retardar la transferencia de calor dentro de un espacio interior, por ejemplo en medios fríos el objetivo es mantener el aire caliente dentro y así detener o al menos retardar el movimiento del aire frío proveniente del exterior, mientras que un medio caliente el objetivo se invierte pero los principios de transferencia de calor se mantienen constantes, independientemente del sentido del flujo del calor.

Uno de los principios que se pretenden aplicar al horno Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado es la transferencia de calor en forma de energía electromagnética por el espacio circundante. La radiación que se presenta al interior del horno es causar una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección, es decir las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto entre ellas, sino que pueden estar separadas por un vacío.

La propuesta a implementar en el proyecto de hornos ladrilleros para reducir la huella ecológica es colocar un vacío de pared a pared del horno a una distancia de 15 cm, dado que con el aislamiento lo que se pretende es que no estén juntas con el fin de evitar la transferencia en forma de calor, llamándole así a este sistema Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado, dado que el mecanismo es propiamente similar a los hornos MK2, precisamente uno de los objetivos de este proyecto es optimizar la energía calorífica de las cámaras u hornos, como se puede apreciar en la figura 2.



**Figura 2** Modelo en 3D del prototipo del horno ladrillero denominado Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado, donde se puede apreciar la doble pared a una separación de aproximadamente 15 cm.

Fuente: Elaboración Propia

### Marco Teórico

El Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) concentra aproximadamente el 62% de la población en el estado de Jalisco, de este porcentaje el 70% se dedica a la industria manufacturera y un 60% al sector informal, siendo la segunda aglomeración con mayor densidad de población del país (Cruz, 2015), además de ser el segundo productor de ladrillo a nivel nacional. Se estima que en el estado existen alrededor de 2500 ladrilleras, la mayoría de estas se concentran en el AMG, siendo el municipio Tlajomulco de Zúñiga uno de los principales productores de ladrillo. Si bien Tlajomulco de Zúñiga es de los principales productores en el estado (como se puede apreciar en la figura 3) el problema principal radica en las altas emisiones de contaminantes (principalmente de carbono) que provoca la cocción de ladrillos en los hornos artesanales.

De este total de ladrilleras que se encuentran asentadas en el AMG el 40% son informales según el Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina para mitigar el Cambio Climático por sus siglas en inglés (EELA, 2007), es decir son pequeñas industrias que apenas cuentan con un horno de campana (horno continuo) o en otras palabras un fogón de leña de ladrillo viejo para cocer el producto y que sirve para su uso.

Por otro lado la intensa extracción de arcilla ha ocasionado graves problemas de erosión en los suelos, además de los altos niveles de contaminación atmosférica emanados de los hornos principalmente por la falta de tecnificación, como consecuencia se presentan riesgos a la salud en la población más vulnerable, así como en sus ecosistemas.

Por ello, es importante mejorar los procesos de producción y de explotación mediante la Implementación hornos ladrilleros para reducir la huella ecológica mediante un uso tecnificado y de buenas prácticas en los ladrilleros con el objeto de que contribuyan a mitigar parte de los riesgos a la salud en la población más vulnerable como se señaló anteriormente, así como sus efectos dañinos (Sánchez, 2013).



**Figura 3** Vista aérea del municipio Tlajomulco de Zúñiga de la zona de explotación de arcilla para la producción de ladrillo

Fuente: Google Earth, 2018

## La huella ecológica

La huella ecológica es un indicador de sustentabilidad<sup>1</sup> para conocer el impacto que ejercen las actividades antropogénicas sobre el medio ambiente. Por otro lado la huella ecológica considera que el consumo de recursos y la generación de desechos pueden convertirse en una superficie productiva para la obtención de consumos para las próximas generaciones (SEMARNAT, 2012).

Debemos de ser concientes que la huella ecológica no sólo cuantifica la disponibilidad y consumo de los recursos naturales que cuenta un país, también puede medir la sostenibilidad a nivel personal, de ciudad o inclusive de institución (Amen, *et. al*, 2011). Herramientas como la calculadora personal de huella ecológica estimulan nuestra creatividad y ponen a prueba nuestros hábitos de consumo, por ello es de suma importancia hacer una valoración con el objeto de determinar el número de hectáreas necesarias para mantener nuestro estilo de vida (*ibid*), ya que a cada habitante del planeta le corresponde una parte importante de los impactos sociales que le es asignada a diferentes consumos, tales como: comida, vestido, bienes y servicios, etc.

## Materiales y métodos

Para evaluar el desempeño del horno Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado, se realizaron mediciones de consumo de energía utilizando una pistola termográfica marca FLIR modelo TG 165, así como termopares tipo Platino-Rodio (Pt-Rh) Termopar de tipo S, realizando 5 rondas de quemado en comparación con el horno MK2.

Para medir el consumo de energía se midió la calidad utilizada de los combustibles que se utilizan en el proceso de cocción, tales como: gas natural, carbón, madera y aserrín los cuales se incorporan en los propios ladrillos con una dosificación conocida.

A partir del consumo de cada combustible y del poder calorífico de cada uno de ellos, se calculó la energía requerida en cada proceso de cocción. El valor de los poderes caloríficos utilizados para cada combustible se encuentra en la tabla 1.

<sup>1</sup> El concepto de huella ecológica esta asociado al desarrollo sustentable plasmado en el informe Brundtland de 1987 y se define como aquel que satisface las necesidades actuales de la población sin comprometer el desarrollo de las próximas generaciones.

Combustible	PCS	Unidad
Gas natural	1.090	kJ/ft <sup>3</sup> N
Aserrín	8.340	kJ/kg
Leña	14.630	kJ/kg
Carbón	25.920	kJ/kg

**Tabla 1** Poder Calorífico Superior (PCS) utilizados en el proceso de cocción de ladrillos refractarios

Fuente: Marcos Lujan

Para esta investigación se tomó como caso de estudio a la empresa PIRO que se dedica a la fabricación de ladrillos refractarios siendo una empresa totalmente tecnificada con excelentes tiempos de manufactura del ladrillo y su cocción. El horno Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado será diseñado para fabricar ladrillos refractarios donde su construcción consiste en una chimenea de aproximadamente 4 m de diámetro y una profundidad de 2 m, cabe mencionar que el horno se alimentará de gas butano que reducirá los niveles de contaminación emitidas a la atmósfera además de poder eficientizar la cocción de los ladrillos en una producción de aproximadamente 5600 ladrillos por semana (PIRO, 2017).

Cabe mencionar que este diseño de hornos Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado se lograran reducir importantes emisiones de contaminantes hasta un 90%, así como la reducción de energía en un 50%, esto con el objeto de eficientar y reducir el tiempo de cocción de los ladrillos,

Sin embargo se consideró necesario realizar algunos cambios para mejorar su rendimiento, aprovechar el gas natural como combustible y así adaptarlo a las necesidades y las prácticas de los artesanos ladrilleros.



**Figura 4** Cribado de arenas

Fuente: <http://piro.mx/content/>

Las siguientes fases constan de pasar la arena a una mezcladora por medio de bandas transportadoras como se muestra en la figura 4, en esta mezcladora es donde se le da el punto de cocción a la masa con la cual se fabrican los ladrillos refractarios, para que al final del proceso lo que se tenga es una masa homogénea que pasa de ser almacenada en cribas a un reposo absoluto como se muestra en la figura 5, con el objeto de obtener la resistencia adecuada de un buen ladrillo refractario.



**Figura 5** Almacenamiento de la masa en forma de tambos o cribas

Fuente: <http://piro.mx/content/>

## Resultados

Una vez que los ladrillos son elaborados por la máquina de fabricación son transportados por unos carritos al túnel de secado. La seca del ladrillo se hace a través de los mismos gases que se generan en la quema de ladrillos, estos gases son transportados a través de túneles que están conectados entre sí, para así conseguir una cocción uniforme.

Es así como se tiene el producto final como principal característica estos ladrillos son capaces de soportar altas temperaturas.

Para tener un mejor detalle del destino de la energía térmica consumida en cada proceso de quema, se realizaron balances de energía para estimar como se consume la energía consumida en el proceso de cocción de ladrillos.

La tabla 2 detalla el consumo específico de energía en cada uno de los destinos considerados. En el caso del horno convencional se puede apreciar de un 15 a 23% de la energía que se traduce en la cocción del ladrillo, por lo que el resto de la energía se pierde en forma de calor perdido por flujo de gases en la chimenea, es decir el rendimiento térmico promedio del horno convencional es de un 20%.

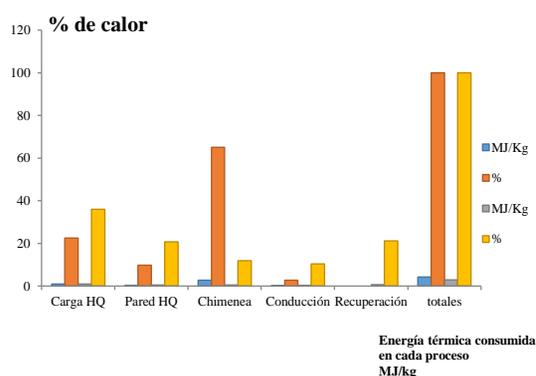
En el caso del horno Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado las estimaciones muestran que entre un 35 a 40% de la energía térmica va a calentar los ladrillos, un 21% calienta a la masa térmica del propio horno, un 10% se pierde por gases calientes emanados por la chimenea, otro 10% se pierde por conducción térmica hacia el ambiente y un 20% se llega a recuperar en el horno de recuperación o la segunda pared que funciona también como horno de quemado.

Estos resultados muestran que el horno Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado tiene un rendimiento térmico superior a los hornos convencionales.

Destino	Ensayo horno convencional		Ensayo horno Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado	
	MJ/kg ladrillo	(%)	Mj/kg ladrillo	(%)
Carga HQ	0.94	22.5	0.93	36.0
Pared HQ	0.41	9.8	0.54	20.7
Chimenea	2.74	65.1	0.46	11.8
Conducción	0.11	2.7	0.27	10.3
Recuperación	0.00	0.00	0.61	21.2
totales	4.21	100	2.81	100

**Tabla 2** Consumo de energía específica, realizado con base el balance energético de ambos hornos

Fuente: *Elaboración Propia*



**Gráfico 1** Distribución de consumos específicos de energía tanto en un horno convencional, como en el horno prototipo Eco-Cámara de Calor Sistema Aislado

Fuente: *Elaboración Propia*

## Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos se mejoró el tiempo de cocción de los ladrillos, así como la quema de combustibles fósiles, además de que aumentó la producción de ladrillos hasta un 30%, disminuyendo significativamente las pérdidas de energía en forma de calor y las emisiones de GEI.

Se observó que el aprovechamiento de calor del horno Eco-cámara fue de un 13.5% en la cocción de ladrillos, un 11% en la masa térmica que calienta el ladrillo, un 50% en los gases emanados de la chimenea, un 7.5% se recupera por conducción térmica y un 20% se recupera como se mencionó anteriormente en la segunda pared del horno Eco Cámara de Calor Sistema Aislado.

Estas medidas a implementar totalmente ecológicas y sustentables han hecho que los ladrilleros incentiven y aumenten su producción, dado que el proyecto “*Implementación de hornos ladrilleros, para reducir la huella ecológica*” es una técnica de trabajo totalmente limpia debido a que se han reducido los tiempos de cocción, así como la optimización de combustible.

## Recomendaciones

Uno de los retos que debe de tener el municipio de Tlajomulco de Zúñiga con los artesanos de la región es realizar procesos de producción más eficientes, además de motivar a los productores facilitándoles créditos para la adquisición y construcción de hornos de doble pared a través de programas de emprendurismo que los gobiernos municipales ofrecen.

Con respecto al Plan de Desarrollo Urbano y de acuerdo a lo establecido en la Ley General de Protección Ambiental, los artesanos deben de contar con licencias y permisos de captación de agua de lluvia, vertimiento y emisión de gases, por citar algunos ya que en la mayoría de los casos no cumplen la ley ni cuentan con permisos para su elaboración. Actualmente la única empresa que tiene licencia de explotación de arcillas y regulación de emisiones de GEI es la empresa PIRO.

A los ladrilleros informales se les recomienda que constituyan una empresa formal, ya que la informalidad propicia un estado tan complejo que va desde la falta del pago de impuestos hasta el deterioro de los recursos para su producción, ya que la misma ley obliga a los ladrilleros la protección del medio ambiente, esto se logrará planteando una nueva forma en el proceso de producción, concientizando a los ladrilleros en beneficio de todos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo técnico de los artesanos ladrilleros tanto de los municipios de Tonalá en particular de la empresa PIRO como del propio pueblo de Tlajomulco de Zúñiga que fueron nuestro caso de estudio, sin su apoyo incondicional este proyecto no hubiera tenido el éxito esperado. También agradecemos a la Mtra. Monica Guzmán Cortez y a los alumnos Gustavo, Mineli, Gladys Adriana Méndez Leon y Karen Judith Hernández Sánchez alumnos y alumnas de las carreras de Ing. Diseño Industrial e Ing Civil de la UPZMG, todos y cada uno de ellos comprometidos con las causas sociales y la defensa del medio ambiente en nuestra bella zona llamada valles del municipio de Tlajomulco.

## Referencias

Álvarez, Á. D., Ospino, J. O., & Arrieta, C. (2019). *Horno Solar para la cocción de ladrillos en la ciudad de Valledupar, Colombia*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA), Vol. 1, Num. 33.

Amen, Thora, et al (2011). *¿Un pie grande en el planeta pequeño? Haciendo cuentas con la huella ecológica. Triunfando en un mundo con cada vez mayor escasez de recursos*. Colección La Sostenibilidad tiene muchos rostros. Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) / Global Footprint Network.

Arango Ordoñez, Á. P. & Rodríguez Moreno, H. G. (2019). *Análisis de las Emisiones de Contaminantes Asociados a la Fabricación de Ladrillos y Propuesta de Reconversión Tecnológica*. Nemocón, Colombia

Çengel Yunus A. (2007). *Transferencia de calor. Un enfoque práctico*, Mc Graw Hill Interamericana Editores, México, D. F.

Contreras Lancheros, J. C., Rosero Vallejo, J. M. & Parra Rivera, B. F. Nueva versión de Criterios de Implementación ISO 14001: 2015. Caso de Estudio Sector de la Construcción. Proyecto de Estudio Ambiental Ladrillera Suarez y Gutiérrez SAS.

Cova Orozco A., et al (2017). *Proyecto ladrilleras*, Proyecto de Aplicación Profesional, del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), Tlaquepaque, Jalisco.

Jiménez Huerta E. y Cruz Solís H. (2015). *Colonias Populares consolidadas del área metropolitana de Guadalajara*, Retos y oportunidades, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas de la Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.

[http://piro.mx/content/Productos Industriales Refractarios de Occidente, S. A. de C. V. \(PIRO\), Guadalajara, Jalisco, México](http://piro.mx/content/Productos%20Industriales%20Refractarios%20de%20Occidente,%20S.%20A.%20de%20C.%20V.%20(PIRO),%20Guadalajara,%20Jalisco,%20M%C3%A9xico)

Lázaro Lázaro, E. E. & Díaz Vereau, D. A. (2019). Propuesta de mejora en la gestión de producción, calidad, mantenimiento y medioambiental de una ladrillera para incrementar su rentabilidad.

Martínez Castillo R. (2010). *La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual*. Revista Electrónica Educare, vol. XIV, num. 1 enero-junio, 2010, pp. 97-111. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.

Meira Cartea P. A. (2013). *Crisis ambiental y globalización: una lectura para educadores en un mundo insostenible*, en Educación, medio ambiente y sustentabilidad, Gonzalez Gaudiano E. J. (compilador), Siglo XXI editores, pp. 53-72.

Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina para mitigar el Cambio Climático EELA, (2012). *Estudio del Mercado del Sector Ladrillero Artesanal en la localidad de Nemocón*, Quali Investigación de Mercados, Cundinamarca, Colombia.

Sánchez Silva M. y Zapata Valencia L. (2013). *Impacto ambiental y gestión del riesgo de ladrilleras en la vereda Los Gómez de Itagüí*. Cuaderno Activa, Revista Científica de la Facultad de Ingeniería del Tecnológico de Antioquía, Medellín, Colombia.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT (2012). *Huella ecológica, datos y rostros*, Del. Tlalpan, México D. F.

Valencia, M. N. R. (2019). Desarrollo tecnológico para la fabricación de materiales agregados reciclados (AR) con base en residuos de construcción. Gaceta Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Vol. 1, Num. 135, Pp. 12-14.

Zetter Echánove I., *et al* (2017). *Proyecto ladrillera*, Proyecto de Aplicación Profesional del Programa de Diseño Responsable y Sustentabilidad del Hábitat, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente, Tlaquepaque, Jalisco. Disponible en: <https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/4562/Proyecto+Ladrillera.pdf?sequence=3>

## Una comparación entre el método MOORA y CODAS bajo ambiente de Conjunto Pitagoreano Difuso

### A comparison between MOORA and CODAS methods under Pythagorean Fuzzy Sets

FLORES-RUVALCABA, Abbi Azalia†\*, PÉREZ-DOMÍNGUEZ, Luis, GARCÍA-VILLALBA, Luz Angélica y ALMERAZ-DURÁN, Sara

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

ID 1<sup>er</sup> Autor: Abbi Azalia, Flores-Ruvalcaba / ORC ID: 0000-0001-7651-3871

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Luis, Pérez-Domínguez / ORC ID: 0000-0003-2541-4595, CVU CONACYT ID: 405262

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Luz Angélica, García-Villalba / ORC ID: 0000-0003-3112-8771, CVU CONACYT ID: 242497

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Sara, Almeraz-Durán / ORC ID: 0000-0001-8358-1346, CVU CONACYT ID: 960812

DOI: 10.35429/JSI.2019.10.3.9.19

Recibido 04 de Abril, 2019; Aceptado 30 de Junio, 2019

#### Resumen

Los métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM), han avanzado de manera acelerada en años recientes. Muchos autores han hecho notable el manejo de la incertidumbre involucrada en los problemas MCDM, como una constante para tomar la decisión más adecuada entre las alternativas planteadas. Por esta razón, se ha integrado la lógica difusa a la MCDM logrando nuevas metodologías híbridas. Estas han logrado aumentar la capacidad de toma de decisiones, lo que permite manipular información no difusa (cuantitativa) y difusa (cualitativa). El principal objetivo de este artículo presenta el análisis comparativo del método de evaluación conjunta basada en la distancia (CODAS) bajo ambiente pitagoreano difuso con la finalidad de examinar las ventajas y diferencias en comparación al método de optimización multi-objetivo sobre la base de análisis de proporción (MOORA) bajo conjunto difuso pitagoreano. El análisis, en este sentido, mostrará un nuevo panorama para la selección de la mejor metodología de toma de decisiones, de las aquí presentadas, aprovechando sus ventajas y logrando así un mayor beneficio en aplicaciones de problemas reales. Se presentará un caso ilustrativo, resuelto con la metodología de optimización multi-objetivo sobre la base de análisis de proporción bajo ambiente pitagoreano difuso (PF-MOORA), para ver los resultados respecto a CODAS bajo ambiente pitagoreano difuso (PF-CODAS).

CODAS, MOORA, Conjuntos Difusos Pitagoreanos

#### Abstract

Multi-criteria decision-making methods (MCDM) have accelerated in recent years. Many authors have made remarkable manipulation of the uncertainty involved in MCDM problems as a constant to make the most appropriate decision among the alternatives proposed. For this reason, fuzzy logic has been integrated into the MCDM, achieving new hybrid methodologies. These have managed to increase decision-making capacity, allowing us to manipulate nonfuzzy (quantitative) and fuzzy (qualitative) information. The main of this paper presents the comparative analysis of the Pythagorean Fuzzy CODAS method in order to examine the advantages and differences in comparison to MOORA Pythagorean Fuzzy Set method. The analysis, in this sense, aims to present a new scenario for the selection of the best decision-making problem, taking its advantages and thus achieve a greater benefit in real problems applications. An illustrative case will be presented with the MOORA-PFS methodology, to see the results obtained with Pythagorean Fuzzy CODAS. Besides, this comparative study to academics to choose more operative methods for solve MCDM problems.

CODAS, MOORA, Pythagorean Fuzzy Set

**Citación:** FLORES-RUVALCABA, Abbi Azalia, PÉREZ-DOMÍNGUEZ, Luis, GARCÍA-VILLALBA, Luz Angélica y ALMERAZ-DURÁN, Sara. Una comparación entre el método MOORA y CODAS bajo ambiente de Conjunto Pitagoreano Difuso. Revista de Innovación Sistemática. 2019. 3-10: 9-19

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: al137664@alumnos.uacj.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

Los problemas de toma de decisiones multicriterio o por sus siglas en inglés MCDM (Multiple Criteria Decision Making) son definidos como: “la tarea para evaluar, comparar y clasificar un conjunto de alternativas, opciones o elecciones finitas con respecto a un conjunto de atributos finitos” [1]. En general, estos métodos están diseñados para ayudar al interesado a elegir la mejor opción entre todas las alternativas factibles sobre la base de dos o más criterios [2].

Los métodos MCDM, han avanzado de manera acelerada en años recientes. Muchos autores han hecho notable el manejo de la incertidumbre involucrada en este tipo de problemas, como una constante para tomar la decisión más adecuada entre las alternativas planteadas. Por esta razón, se ha integrado la lógica difusa a la MCDM logrando nuevas metodologías híbridas.

La aplicación de la lógica difusa puede darse en procesos complejos, cuando ciertas partes del sistema son poco conocidas, esto quiere decir que pueden existir errores posibles en su evaluación o cuando el ajuste de una variable puede producir desajuste en otras. En general, su ventaja por excelencia es contribuir a representar y operar conceptos que tengan imprecisión o incertidumbre. Esta área también muestra otros beneficios en aplicaciones en tiempo real, como menor complejidad, tiempo de procesamiento rápido y es fácil de entender [3]. El rápido desarrollo de estas técnicas impulsa a investigadores a mejorar las debilidades de métodos existentes y reforzar sus fortalezas, lo cual lleva a realizar comparativas entre ellos para conocer sus características y puntos de mejora.

El principal objetivo de este artículo es presentar el análisis comparativo del método CODAS bajo ambiente pitagoreano difuso con la finalidad de examinar las ventajas y diferencias en comparación al método MOORA bajo conjunto difuso pitagoreano. El análisis, en este sentido, pretende presentar un nuevo panorama para la selección de la mejor metodología de toma de decisiones, de las aquí presentadas, aprovechando sus ventajas y logrando así un mayor beneficio en aplicaciones de problemas reales.

El artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 1, la metodología de ambos métodos es presentada, así como sus antecedentes. En la sección 2, la comparativa de los métodos es mostrada en un desglose de siete subsecciones. La sección 3 presenta el ejemplo ilustrativo con la finalidad de mostrar las diferencias entre los métodos; La sección 4 muestran los resultados obtenidos por ambas técnicas. Finalmente, en la sección 5 las conclusiones son presentadas.

## Descripción del método.

### a. MOORA bajo ambiente difuso pitagoreano (PF-MOORA)

El método MOORA en su versión clásica fue introducido por Brauers y Zavadskas en el 2006 [4]. Diversos autores han utilizado las ventajas de esta técnica y a partir de él han desarrollado nuevas versiones como MULTIMOORA [5, 6], MOOSRA [7] y Fuzzy MOORA [8]. La lógica difusa ha transformado este método y actualmente se conoce una nueva versión llamada MOORA bajo ambiente difuso pitagoreano desarrollada por Pérez-Domínguez et al [9]. Los pasos de esta técnica se describen a continuación.

Definiciones previas:

1. Se tiene un conjunto de alternativas el cual se denota como  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$
2. La colección de criterios, los cuales serán evaluados, son representados por  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m\}$
3. Un número difuso pitagoreano se denota como  $PFN = \{\mu, \nu, \pi\}$ , en donde  $\mu$  representa un valor real,  $\nu$  es un valor no real y  $\pi$  es un valor de incertidumbre.
4. Cada decisor será representado por  $DM_k = \{\mu_k, \nu_k, \pi_k\}$  el cual es un PFN.

Paso 1. Establecer un equipo de decisores (DM) y capturar las preferencias de cada uno. El grupo de decisores será denotado como  $DM = \{DM_1, DM_2, \dots, DM_k, \dots, DM_l\}$ . Tome en cuenta que las preferencias de los DM se evalúan a través del mapeo de términos lingüísticos por PFN. La escala PFN es mostrada en la Tabla 1.

Luego, el peso equivalente de cada DM se calcula usando el concepto de aritmética ponderada difusa pitagoreano representado por la ecuación (1).

$$\delta_k = \frac{(\mu_k + \pi_k(\pi_k / (\mu_k + \nu_k)))}{\sum_{k=1}^l (\mu_k + \pi_k(\pi_k / (\mu_k + \nu_k)))} \quad (1)$$

Donde  $\sum_{k=1}^l \delta_k = 1$ .

Significado	PFNs ( $\mu, \nu$ )
Aprendiz (Ap) / Muy insignificante (VI)	(0.10, 0.90)
Estudiante (Lr) / Insignificante (I)	(0.35, 0.60)
Capaz (Ct) / Promedio (A)	(0.50, 0.45)
Hábil (S) / Imperativo (Im)	(0.75, 0.40)
Dominante (D) / Muy Significativo (VS)	(0.90, 0.10)

**Tabla 1** Escala de evaluación para las preferencias de los criterios

Fuente: Pérez-Domínguez, L. et al (2018)

Paso 2. Indicar las preferencias de los criterios. Por lo tanto, todas las opiniones o preferencias deben ser consideradas y fusionadas en una sola. Para evaluar los criterios de preferencia de cada DM, se puede usar la escala lingüística mostrada en la Tabla 1. Para esta evaluación utilice las ecuaciones (2) y (3).

$$\omega_j = \lambda_1 \omega_j^{(1)} \oplus \lambda_2 \omega_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_l \omega_j^{(l)} \quad (2)$$

$$\omega_j = P[\sum_{j=1}^n \lambda_j \mu_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j \nu_j] \quad (3)$$

Donde  $\omega_j = \{\mu_j, \nu_j\}$  y  $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ .

Paso 3. Crear la matriz de decisión difusa pitagoreana, la cual denota la evaluación de acuerdo con las preferencias de los DM. La escala utilizada para evaluar cada alternativa es mostrada en la Tabla 2. Para la creación de la matriz utilice (4) y (5).

$$x_{kl} = \omega_1 x_{kl}^{(1)} \oplus \omega_2 x_{kl}^{(2)} \oplus \dots \oplus x_{kl}^{(t)} \quad (4)$$

$$x_{kl} = \left[ \sum_{k=1}^j \left( (\omega \cdot \mu_{kl}^{(z)}), (\omega \cdot \nu_{kl}^{(z)}) \right) \right] \quad (5)$$

Paso 4. Calcular la matriz de decisión difusa pitagoreana ponderada combinada denotada por  $R'$ . Los elementos de  $R'$  se calculan mediante la ecuación (6).

$$R' = R \cdot \omega = \{ \langle x, \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_\omega(x), \nu_{A_i}(x) + \nu_\omega(x) - \nu_{A_i}(x) \cdot \nu_\omega(x) \rangle | x \in X \} \quad (6)$$

Significado	PFNs ( $\mu, \nu$ )
Enormemente malo (EB) / Extremadamente bajo (EL)	{0.10, 0.99}
Muy malo (TB) / Muy poco (VL)	{0.10, 0.97}
Malo (NG) / Poco (L)	{0.25, 0.92}
Medio malo (MB) / Medio pequeño (ML)	{0.40, 0.87}
Regular (F) / Mediano (M)	{0.50, 0.80}
Medio Bueno (MG) / Medio Alto (MH)	{0.60, 0.71}
Alto (T) / Grande (B)	{0.70, 0.60}
Muy grande (VB) / Muy alto (VT)	{0.80, 0.44}
Excepcional (E) / Tremendamente Alto (TH)	{1.00, 0.00}

**Tabla 2** Escala de evaluación para alternativas.

Fuente: Pérez-Domínguez, L. et al (2018).

Paso 5. Calcular la suma de  $Nx_i$  y  $Cx_j$ . En consecuencia, (7) denota la suma de los criterios de beneficio y (8) denota la suma de los criterios de costo.

$$Nx_i = \sum_{i=1}^g (\mu_{A'_i(x_i)}, \nu_{A'_i(x_i)}, \pi_{A'_i(x_i)}) \quad (7)$$

$$Cx_j = \sum_{j=g+1}^m (\mu_{A'_i(x_j)}, \nu_{A'_i(x_j)}, \pi_{A'_i(x_j)}) \quad (8)$$

Paso 6. Desfucificar  $Nx_i$  y  $Cx_j$  por medio de (9) y (10).

$$Nx_i = (\mu_{\alpha_{x_i}})^2 - (\nu_{\alpha_{x_i}})^2 \quad (9)$$

$$Cx_j = (\mu_{\alpha_{x_j}})^2 - (\nu_{\alpha_{x_j}})^2 \quad (10)$$

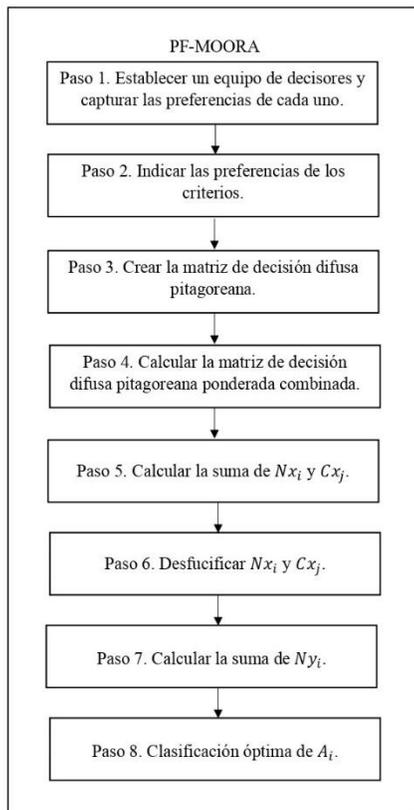
Paso 7. Calcular el valor de  $Ny_i$ . Se obtiene por medio de (11).

$$Ny_i = Nx_i - Cx_j \quad (11)$$

Paso 8. Clasificación óptima de  $A_i$ . Las alternativas se ordenan en orden descendente a través de los valores dados por  $Ny_i$ .

**b. CODAS bajo ambiente difuso pitagoreano (PF-CODAS).**

El método CODAS fue desarrollado por Ghorabae en 2016 y surgió como un método que ha considerado debilidades presentadas en métodos anteriores y ha mejorado sus características tanto en eficiencia como en actualización metodológica [10, 11].



**Figura 1** Diagrama de flujo del método PF-MOORA.

Fuente: Elaboración Propia

En el 2018 Bolturk desarrollo CODAS bajo ambiente difuso pitagoreano, una nueva metodología híbrida. Este nuevo método ofrece resultados significativos y es útil cuando la información es vaga, incompleto o incierta [12].

A continuación, se detalla la serie de pasos de este método.

#### Definiciones previas:

1.  $N_b$  representa al conjunto de criterio de beneficio y  $N_c$  al conjunto de criterios de costo.
2.  $\omega_j$  representa al peso normalizado dado para cada criterio.

Paso 1. Construcción de la matriz de decisión denotada por  $X$  de  $n$  alternativas por  $m$  criterios. Utilice (12) para crear la matriz.

$$X = [X_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Donde  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  y  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ .

Paso 2. Calcular la matriz de decisión normalizada. Se usa normalización lineal para el rendimiento de los valores. De acuerdo al tipo de criterio utilice (13) y (14).

$$Si j \in N_b \mid \eta_{\mu_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}, \eta_{\nu_{ij}} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (13)$$

$$Si j \in N_c \mid \eta_{\mu_{ij}} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}, \eta_{\nu_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (14)$$

Paso 3. Calcular el peso normalizado de cada criterio, para ello utilice (15). Los valores obtenidos deben estar entre cero y uno y la suma de todos los pesos debe ser igual a uno según (16).

$$\omega_j = \frac{(\mu_k + \pi_k(\pi_k/(\mu_k + \nu_k)))}{\sum_{k=1}^m (\mu_k + \pi_k(\pi_k/(\mu_k + \nu_k)))} \quad (15)$$

$$0 < \omega_j < 1; \sum_{j=1}^m \omega_j = 1 \quad (16)$$

Después de obtener el peso construya la matriz de decisión ponderada a través de (17).

$$r_{\mu_{ij}} = \sqrt{1 - (1 - \eta_{\mu_{ij}}^2)^{\omega_j}}, r_{\nu_{ij}} = (\eta_{\nu_{ij}})^{\omega_j} \quad (17)$$

Paso 4. Determinar la solución ideal negativa. Según el criterio utilice (19) y (20).

$$ns = [ns_j]_{1 \times m} \quad (18)$$

$$Si j \in N_b \mid \max_i r_{\mu_{ij}}, \min_i r_{\nu_{ij}} \quad (19)$$

$$Si j \in N_c \mid \min_i r_{\mu_{ij}}, \max_i r_{\nu_{ij}} \quad (20)$$

Paso 5. Calcular la distancia euclidiana, denotada por  $E_i$  (21) y Taxicab, denotada por  $T_i$  (22) de las alternativas de la solución ideal negativa.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{\mu_{ij}} - \eta_{\mu_{ij}})^2 + (r_{\nu_{ij}} - \eta_{\nu_{ij}})^2} \quad (21)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |(r_{\mu_{ij}} - \eta_{\mu_{ij}}) + (r_{\nu_{ij}} - \eta_{\nu_{ij}})| \quad (22)$$

Paso 6. Construir la matriz de evaluación relativa. Utilice (23) y (24).

$$R_a = [h_{ik}]_{n \times n} \quad (23)$$

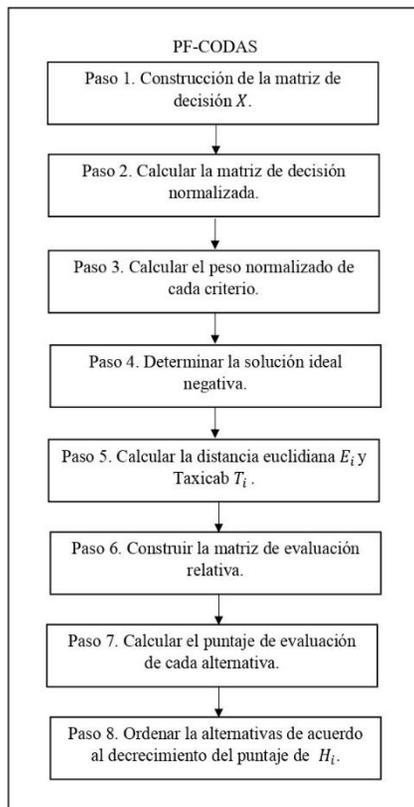
$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (24)$$

Donde  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$  y  $\psi$  denota la función umbral para reconocer la igualdad de la distancia euclidiana de dos alternativas. Se sugiere que este parámetro sea ajustado entre 0.01 y 0.05.

Paso 7. Calcular el puntaje de evaluación de cada alternativa. Siga la ecuación (25).

$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (25)$$

Paso 8. Ordenar las alternativas de acuerdo al decrecimiento del puntaje de  $H_i$ . La alternativa con el mayor  $H_i$  es la mejor elección entre las alternativas.



**Figura 2** Diagrama de flujo del método PF-CODAS.

Fuente: *Elaboración propia*

## Comparativa entre método

### a. Optimización multiobjetivo.

Los métodos multicriterio en general contemplan en su definición que la mejor opción de entre todas las alternativas tiene la base en dos o más criterios, lo cual es tan solo un punto partida. Sin embargo, los problemas de optimización implican que para problemas prácticos debe haber más de tres criterios [13].

Si bien no existe un número máximo de criterios, pero siempre se debe considerar que los objetivos (criterios) deben ser finitos y estos pueden ser de costo y beneficio, y siempre están sujetos a restricciones [14, 15].

Existen autores que en sus publicaciones han optado por presentar ejemplos ilustrativos con un número de criterios más extenso, por ejemplo 34 criterios contra 5 alternativas [16] y 53 criterios contra 10 alternativas [11].

El número de criterios solo definirá el tiempo de cálculo matemático; una cantidad de criterios reducido, tardará un tiempo reducido en calcular la mejor alternativa.

### b. Construcción de la matriz de decisión

PF-MOORA antes de comenzar con la construcción de la matriz, establece la preferencia de los decisores; en este paso se evalúan las capacidades de los expertos y se otorga un término lingüístico a cada persona. Esto permite ponderar las futuras opiniones o preferencias en base a su experiencia y conocimientos.

Además, los decisores establecen sus evaluaciones de los criterios. A partir de este paso se comienza la construcción de la matriz difusa pitagoreana, donde los expertos comienzan con una comparativa de las alternativas frente a los criterios propuestos.

Como ya se ha observado, uno de los requisitos de esta técnica es que de manera previa se debe formar un equipo de miembros a los cuales se les denomina decisores. Estos son personas con un alto grado de especialización en el tema abordado y se encargan de evaluar los criterios, como realizar comparativas de las alternativas frente a los criterios planteados. De manera general, este equipo emite sus opiniones especializadas en términos lingüísticos, que posteriormente el método trabajara como datos cuantitativos. [17]

PF-CODAS a diferencia de MOORA no requiere tener un equipo de expertos para la creación de la matriz de decisión. Aquí, simplemente se requiere tener una persona que asigne de manera directa una opinión o preferencia en la comparativa de las alternativas frente a los diferentes criterios. Este decisor también indicará que criterios serán de costo o beneficio. Comúnmente se tiene acceso a información de cada alternativa y en base a ello se concede una evaluación. [18]

### c. Normalización

La normalización se utiliza para eliminar las unidades de funciones de criterio, de modo que todos los criterios son números adimensionales, esto quiere decir que no tienen una unidad de medida específica [19].

En el caso de PF-MOORA la normalización solamente abarca la evaluación de los criterios, la cual se realiza a través de la raíz cuadrada de la suma de todos los elementos del número difuso pitagoreano al cuadrado. Mientras que en PF-CODAS interviene el tipo de criterio; si el criterio es de beneficio debe seguir la ecuación (13) y si es de costo debe utilizarse la ecuación (14).

En la normalización ponderada PF-MOORA multiplica el peso obtenido por la evaluación de los decisores, por los valores difusos pitagoreanos de la matriz de decisión pitagoreana. Para más información puede consultar el artículo de Pérez-Domínguez et al [9], e identificar esta información en los ejemplos ilustrativos. Mientras que PF-CODAS involucra el peso normalizado de cada criterio, para luego construir la matriz de decisión ponderada.

### d. Preferencia

La preferencia hace referencia a la ponderación que se le da a cada criterio. Este se otorga para expresar la importancia relativa de los diferentes criterios. Para ambos casos el peso de estos es obtenido por una misma ecuación.

Para el caso de PF-MOORA la ponderación de cada criterio es obtenido en base a la evaluación del grupo de decisores. Cada uno de ellos establece un término lingüístico para cada criterio, los cuales pasan de valores difusos a valores numéricos y son trabajados en la ecuación (1) del método.

En cambio, para PF-CODAS la ponderación de los criterios solamente considera necesario que el encargado de la aplicación de la técnica asigne un término lingüístico y después obtenga el peso del criterio a través de la ecuación (15) del método.

### e. Determinación de resultados

Las marcadas diferencias de los dos métodos propuestos residen en la determinación de resultados de cada uno.

En el caso de PF-MOORA, a partir del paso 5 se lleva a término la diferenciación entre el criterio de costo y beneficio. Se comienza por realizar la suma de los criterios, primero los de beneficio, luego los de costo.

El paso 6 se encarga de defucificar los criterios. De manera detallada este paso es el puente para trasladar los números difusos pitagoreanos (trabajando solamente su valor real y no real) a la obtención de un único valor para el criterio de beneficio denotado por  $Nx_i$  y el criterio de costo denotado por  $Cx_j$ .

Para poder realizar la clasificación de las alternativas es necesario obtener  $Ny_i$ . Este valor es obtenido de la resta del valor único del criterio de beneficio contra el de costo, el cual se obtiene a través de la ecuación (11). Las alternativas son ordenadas en orden descendente y aquella con el valor  $Ny_i$  mayor positivo es la solución óptima.

En el caso de PF-CODAS, el rendimiento general de una alternativa se mide por la distancia euclidiana y la distancia de taxicab. Estas distancias se calculan de acuerdo con la solución ideal negativa.

Si la distancia euclidiana de dos alternativas está muy cerca una de la otra, se usa la distancia de taxicab para compararlas. El grado de cercanía de las distancias euclidianas se establece mediante el parámetro de umbral denotado por  $\psi$ . Por lo tanto, la alternativa que tiene mayores distancias es más deseable. Por ello en este proceso la distancia euclidiana se considera como una medida primaria y la distancia de taxicab se considera una medida secundaria [10].

El uso de dos tipos de distancias en el proceso de evaluación ayuda a aumentar la precisión de los resultados de clasificación [11].

## f. Áreas de aplicación

En la literatura puede encontrarse variedad de aplicación de ambas metodologías. MOORA en su versión clásica como en su versión difusa, ha sido aplicado para resolver problemas complejos de toma de decisiones en entornos de fabricación [13], optimización de procesos [14], selección de maquinaria [7], selección de material [5, 15], ubicación y diseño de instalaciones [20], selección de sistemas de tecnología avanzada [21] y selección de proveedores [8, 22], solo por citar algunos.

De igual manera, CODAS tanto en su versión clásica como difusa tiene aplicaciones en la selección de proveedores [12], resolución de problemas de mantenimiento de procesos industriales [23], evaluación de segmentos del mercado [24] y selección de tecnología para la generación de energía [25].

## g. Aspectos destacados

En el caso de MOORA investigadores destacan la simplicidad del método y lo posiciona como una técnica fácil de implementar [14]. Por otro lado, la cantidad de cálculos matemáticos permite un rápido tiempo de cómputo para encontrar la solución del problema [22]. Además, el resultado obtenido es de naturaleza estable. Por estas razones expertos consideran este método como una metodología que cubre la debilidad de métodos más antiguos [8].

CODAS al ser un método realmente reciente en la literatura tiene algunas propiedades intrínsecas que lo hacen atractivo y prácticamente útil. Por ejemplo, ayuda a estructurar de manera adecuada los problemas, ofrece un proceso que conduce a decisiones explicables y justificables [10]; además la integración de CODAS con PFS puede proporcionar una poderosa herramienta de decisión en condiciones de incertidumbre [16].

## Caso Ilustrativo

Se retoma un caso ilustrativo propuesto por Ghorabae [26], el cual será analizado en los dos ambientes propuestos con anterioridad (MOORA-PF y CODAS-PF). Este se describe a continuación.



**Figura 3** Robot industrial automotriz (figura ilustrativa)  
Fuente: Automotive News México

Una compañía automotriz desea seleccionar un robot adecuado para su proceso de producción. Se tienen ocho candidatos como alternativas ( $L_1$  a  $L_8$ ) de los cuales se desea seleccionar al mejor. Los tomadores de decisiones tienen acceso a folletos y datos de estas alternativas (robots). Siete criterios subjetivos son considerados por el equipo de toma de decisiones para la evaluación de alternativas:

- Inconsistencia con la infraestructura (C1)
- Interfaz hombre-máquina (C2)
- Flexibilidad de programación (C3)
- Contrato de servicio del vendedor (C4)
- Apoyar el rendimiento del socio de canal (C5)
- Cumplimiento (C6)
- Estabilidad (C7)

Todos los criterios anteriores son de beneficio, excepto "Inconsistencia con la infraestructura".

## Resultados

### a. De acuerdo a PF-MOORA

Para este propósito, formaron un equipo de tres miembros para tomar una decisión sobre el problema. Los tomadores de decisiones se denotan por D1, D2 y D3.

Como se puede observar, la Tabla 3 muestra la importancia otorgada a cada decisor. Para el caso ilustrativo en específico se ha optado por tratar a todos los decisores con la misma importancia, obteniendo pesos iguales.

Decisor	D1	D2	D3
Termino lingüístico	S	S	S
Numero PFN	{0.75, 0.40}	{0.75, 0.40}	{0.75, 0.40}
Peso	0.333	0.333	0.333

**Tabla 3** Importancia de los decisores según PF-MOORA. Fuente: Flores Ruvalcaba, A. (2018).

Para una evaluación natural de los criterios, se ha trabajado la importancia de los pesos de los criterios, evaluados por los decisores a través de términos lingüísticos, los cuales son mostrados en la Tabla 4.

DMs	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	Im	A	D	Im	D	S	D
D2	Vs	A	Im	Vs	Im	D	S
D3	Vs	S	D	Vs	Im	D	S

**Tabla 4** Importancia de los pesos de los criterios. Fuente: Flores Ruvalcaba, A. (2018)

El paso crítico del método se centra en la construcción de la matriz difusa pitagoreana, la cual surge de la evaluación de las alternativas respecto a los criterios. Estas evaluaciones son otorgadas por los decisores y para cada uno de ellos se crea una tercera parte de la matriz como se puede ver en la Tabla 5. A partir de los datos de la Tabla 5, se realizan los pasos de la metodología. Finalmente se obtuvo la clasificación de las alternativas. Se tiene pues que  $I_1 > I_4 > I_5 > I_3 > I_8 > I_2 > I_6 > I_7$ . Como se puede observar la  $I_1$  ocupa el primer lugar de la clasificación, esto quiere decir que es la mejor alternativa, la cual satisface los criterios planteados con anterioridad.

DM	I's	Criterios						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	$I_1$	VL	VT	M	MH	MH	E	TH
	$I_2$	VT	L	ML	M	VT	MH	M
	$I_3$	B	ML	L	M	ML	ML	MH
	$I_4$	ML	M	VT	VT	M	MH	M
	$I_5$	E	VL	ML	VL	L	M	ML
	$I_6$	VL	MH	VB	M	E	E	VB
	$I_7$	VB	ML	L	ML	L	VL	ML
	$I_8$	TH	L	L	VL	L	ML	ML
D2	$I_1$	L	E	MH	MH	VB	VB	VB
	$I_2$	E	ML	L	ML	VB	M	ML
	$I_3$	MH	L	ML	ML	M	L	VB
	$I_4$	L	ML	MH	MH	ML	M	ML
	$I_5$	B	L	ML	VL	L	ML	L
	$I_6$	VL	B	B	ML	E	ML	E
	$I_7$	E	M	L	M	ML	L	L
	$I_8$	B	VL	L	L	VL	M	ML
D3	$I_1$	L	E	M	B	MH	VB	E
	$I_2$	B	ML	ML	M	MH	VB	M
	$I_3$	MH	L	L	M	M	ML	MH
	$I_4$	ML	M	B	VB	ML	M	M
	$I_5$	LE	VL	L	VL	ML	ML	ML
	$I_6$	EL	MH	MH	L	ML	MH	VB
	$I_7$	E	MH	ML	M	L	VL	ML
	$I_8$	E	VL	ML	M	L	ML	L

**Tabla 5** Evaluación de las alternativas respecto a los criterios Fuente: Flores Ruvalcaba, A. (2018).

**b. De acuerdo a PF-CODAS**

El primer paso del método indica que debe construirse la matriz de decisión denotada por X. La Tabla 6 muestra esta matriz en términos lingüísticos (PFN). Recuerde que los significados de los términos aquí empleados se encuentran en la Tabla 2 con su respectivo PFNs.

Criterios							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
L1	L	VT	M	MH	MH	VB	VB
L2	B	ML	ML	MH	M	MH	M
L3	MH	L	L	F	M	ML	MH
L4	ML	M	B	VB	ML	M	M
L5	L	VL	ML	VL	L	ML	ML
L6	VL	MH	B	MB	VT	VB	VB
L7	VB	M	MB	M	L	VL	ML
L8	VL	VL	L	ML	L	ML	ML

**Tabla 6** Matriz de decisión (X) para PF-MOORA. Fuente: Elaboración Propia

Como se identificó en la sección anterior, el eje central de este método parte a través de la identificación del tipo de criterio, pudiendo ser de beneficio o de costo. A partir de esto, se realiza la obtención de los pesos. Esta información puede ser encontrada en la Tabla 7.

Criterios							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Tipo	Costo	Beneficio					
PFN	VB	M	MH	ML	L	ML	M
Peso	0.243	0.14	0.175	0.112	0.072	0.112	0.143

**Tabla 7** Ponderación de los criterios según el tipo. Fuente: Elaboración Propia

La solución ideal negativa y la obtención de la distancia Euclidiana como Taxicab se muestran en la Tabla 8. A partir de estos datos se realizó la clasificación de las alternativas.

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
Solución ideal negativa	0.062	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.062	
L's	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Ei	1.24	1.84	1.96	1.56	2.20	1.42	2.02	2.11
Ti	1.63	4.48	4.76	2.84	5.25	0.18	5.04	5.30

**Tabla 8** Calculo de la solución ideal negativa por criterio, y distancia Euclidiana - Taxicab por alternativa. Fuente: Elaboración Propia

Se tiene pues que  $L_1 > L_5 > L_4 > L_3 > L_8 > L_2 > L_6 > L_7$ . Como se puede observar la  $L_1$  ocupa el primer lugar de la clasificación, esto quiere decir que es la mejor alternativa, la cual satisface los criterios planteados con anterioridad.

La comparativa de clasificación de las alternativas es mostrada en la Tabla 9. Aquí se hace notar que bajo las tres metodologías la mejor alternativa que satisface los criterios planteados es la primera denotada como  $I_1$  en el caso de PF-MOORA o  $L_1$  para el caso de PF-CODAS.

Alternativa	Clasificación		
	PF-MOORA	PF-CODAS	Ghorabae (interval type-2 fuzzy sets)
$I_1$	1	1	1
$I_2$	4	5	4
$I_3$	5	4	5
$I_4$	3	3	3
$I_5$	8	8	8
$I_6$	2	2	2
$I_7$	6	6	6
$I_8$	7	7	7

**Tabla 9** Comparativa de clasificación de los métodos propuestos: PF-MOORA y PF-CODAS

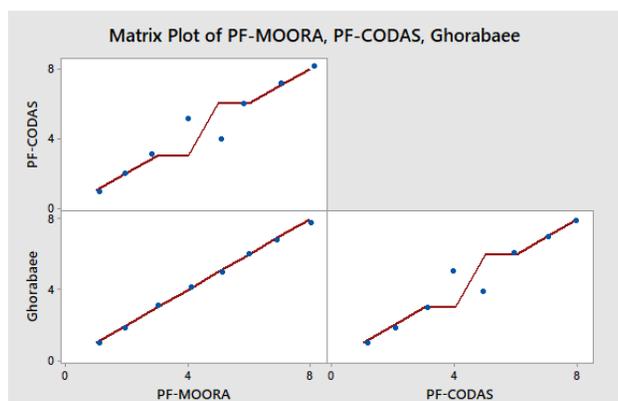
Fuente: Elaboración propia con base en Flores Ruvalcaba, A. (2018)

Variable	Alfa-Cronbach's
PF-MOORA	0.988
PF-CODAS	1.00
Ghorabae	0.988

**Tabla 10** Evaluación de coeficiente alfa de Cronbach's.

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 10 muestra el coeficiente alfa de Cronbach's, el cual se muestra arriba del valor aceptable que es 0.7. Como se puede visualizar todas las variables presentan un coeficiente arriba de 0.9, lo cual muestra que los métodos propuestos son consistentes para determinar el ranking deseado.



**Gráfico 1** Gráfico de correlación de los métodos.

Fuente: Elaboración Propia

El Gráfico 1 indica la tendencia de las correlaciones, de tal modo que la evaluación muestra una alta correlación de los resultados obtenidos por los métodos PF-MOORA, PF-CODAS, y el propuesto por Ghorabae.

Métodos	PF-MOORA	PF-CODAS
PF-CODAS	0.976	1.000
Ghorabae	1.000	0.976

**Tabla 11** Matriz de correlación de los métodos.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la matriz de correlación que se observa en la Tabla 11, confirma si existe alta correlación entre los resultados obtenidos por los diferentes métodos aquí presentados que se consideraron para evaluar las alternativas contra todos los criterios.

En resumen, como se muestra en el análisis estadístico, los métodos de comparación que se utilizaron, arrojan un resultado de alta correlación.

Además, como se puede apreciar, en ambos casos el ranking de las alternativas sigue un patrón similar, demostrando que puede trabajarse con diversos métodos MCDM y puede llegarse a una solución similar.

## Conclusiones

La toma de decisiones multicriterio es un factor clave para lograr el éxito en cualquier área, especialmente en aquellas que se requiere una decisión justificable. Estas tareas involucran una variedad de factores y aspectos que deben ser considerados, a fin de encontrar la mejor solución. La integración de métodos híbridos proporciona una valiosa herramienta de decisión en condiciones de incertidumbre. Una gran cantidad de estudios apuntan al hecho de que estos modelos proporcionan resultados significativamente mejores, en comparación a los métodos clásicos.

El método PF-MOORA se posiciona como una técnica simple y fácil de utilizar. Además, se caracteriza por su rápido tiempo de cómputo para encontrar la solución del problema. Por otro lado, PF-CODAS es un método reciente que ayuda a estructurar de manera adecuada los problemas y ofrece un proceso que conduce a decisiones explicables y justificables.

Se ha presentado un caso ilustrativo obteniendo resultado por ambas técnicas y haciendo la comparación de la clasificación de sus alternativas. Con esto se ha demostrado la validez y estabilidad de los métodos aquí mencionados.

Este análisis muestra que ambos métodos en su versión difusa pitagoreana son completamente consistentes con los resultados de otros métodos híbridos.

Investigaciones futuras pueden abordar otras características aquí no mencionadas. Además, estos métodos pueden aplicarse a muchos otros problemas MCDM con aplicaciones como la selección de proveedores, selección de proyectos y la selección de robots solo por mencionar algunas, para observar el comportamiento de las metodologías.

## Referencias

- [1] Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Hajiagha, R., Hossein, S., & Hashemi, S. S. (2015). The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group decision making in engineering. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [2] Wang, P., Li, Y., Wang, Y. H., & Zhu, Z. Q. (2015). A new method based on TOPSIS and response surface method for MCDM problems with interval numbers. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [3] Majumder, H., & Maity, K. (2018). Prediction and optimization of surface roughness and micro-hardness using grnn and MOORA-fuzzy-a MCDM approach for nitinol in WEDM. *Measurement*, 118, 1-13.
- [4] Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 516-571.
- [5] Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., & Sayadi, M. K. (2016). Extension of MULTIMOORA method with interval numbers: an application in materials selection. *Applied Mathematical Modelling*, 40(2), 1372-1386.
- [6] Hafezalkotob, A., & Hafezalkotob, A. (2015). Comprehensive MULTIMOORA method with target-based attributes and integrated significant coefficients for materials selection in biomedical applications. *Materials & Design*, 87, 949-959.
- [7] Sarkar, A., Panja, S. C., Das, D., & Sarkar, B. (2015). Developing an efficient decision support system for non-traditional machine selection: an application of MOORA and MOOSRA. *Production & Manufacturing Research*, 3(1), 324-342.
- [8] Arabsheybani, A., Paydar, M. M., & Safaei, A. S. (2018). An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. *Journal of Cleaner Production*, 190, 577-591.
- [9] Pérez-Domínguez, L., Rodríguez-Picón, L. A., Alvarado-Iniesta, A., Luviano Cruz, D., & Xu, Z. (2018). MOORA under Pythagorean fuzzy set for multiple criteria decision making. *Complexity*, 2018.
- [10] Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 50(3).
- [11] Ghorabae, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Hooshmand, R., & Antuchevičienė, J. (2017). Fuzzy extension of the CODAS method for multi-criteria market segment evaluation. *Journal of Business Economics and Management*, 18(1), 1-19.
- [12] Bolturk, E. (2018). Pythagorean fuzzy CODAS and its application to supplier selection in a manufacturing firm. *Journal of Enterprise Information Management*, 31(4), 550-564.
- [13] Mukhuti, A., Rout, A., & Tripathy, S. (2016, March). Optimization of INCONEL 600 using wire EDM by MOORA and Taguchi's method. In *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)* (pp. 1577-1582). IEEE.
- [14] Gadakh, V. S. (2010). Application of MOORA method for parametric optimization of milling process. *International Journal of Applied Engineering Research*, 1(4), 743.

- [15] Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection. *Materials & Design*, 37, 317-324.
- [16] Heidary Dahooei, J., Kazimieras Zavadskas, E., Vanaki, A. S., Firoozfar, H. R., & Keshavarz-Ghorabae, M. (2018). An evaluation model of business intelligence for enterprise systems with new extension of codas (codas-ivif). *Economics and Management*.
- [17] Wang, P., Meng, P., Zhai, J. Y., & Zhu, Z. Q. (2013). A hybrid method using experiment design and grey relational analysis for multiple criteria decision making problems. *Knowledge-Based Systems*, 53, 100-107.
- [18] Yager, R. R. (2004). Modeling prioritized multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 34(6), 2396-2404.
- [19] Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2009). Robustness of the multi-objective MOORA method with a test for the facilities sector. *Technological and economic development of economy*, 15(2), 352-375.
- [20] Attri, R., & Grover, S. (2014). Decision making over the production system life cycle: MOORA method. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 5(3), 320-328.
- [21] Flores Ruvalcaba, A. A. (2018). Aplicación de MOORA y conjuntos difusos pitagóreanos para la selección de herramientas de sistemas de tecnología avanzada. *Compendio Investigativo de Academia Journals Celaya 2018*, 10(8), 1649-1654.
- [22] Akkaya, G., Turanoğlu, B., & Öztaş, S. (2015). An integrated fuzzy AHP and fuzzy MOORA approach to the problem of industrial engineering sector choosing. *Expert Systems with Applications*, 42(24), 9565-9573.
- [23] Badi, I., Abdulshahed, A. M., & Shetwan, A. (2018). A case study of supplier selection for a steelmaking company in Libya by using the Combinative Distance-based ASsessment (CODAS) model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(1), 1-12.
- [24] Badi, I., Ballem, M., & Shetwan, A. (2018). Site selection of desalination plant in Libya by using combinative distance-based assessment (CODAS) method. *International Journal for Quality Research*, 12(3).
- [25] Pamučar, D., Badi, I., Sanja, K., & Obradović, R. (2018). A novel approach for the selection of power-generation technology using a linguistic neutrosophic CODAS method: A case study in Libya. *Energies*, 11(9), 2489.
- [26] Ghorabae, M. K. (2016). Developing an MCDM method for robot selection with interval type-2 fuzzy sets. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 37, 221-232.

## La tecnología en la aeronáutica en pro de las energías renovables y de la Bio-Sustentabilidad

### Aeronautics technology in favor of renewable energies and sustainable Bio

SANTANA-VÁZQUEZ, Olivia†\*, LÓPEZ-MELENDEZ, J Jesús, ROSALES-OLIVARES, Jorge Enrique y REYNOSO-VILLANUEVA, Miriam

*Universidad Aeronautica en Querétaro. (UNAQ) Dependencia: CGUT*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Olivia, Santana-Vázquez* / ORC ID: 0000-0002-1795-5319, CVU CONACYT ID: 900748

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *J Jesús, López-Melendez* / ORC ID: 0000-0002-1710-9999, CVU CONACYT ID: 944688

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Jorge Enrique, Rosales-Olivares* / ORC ID: 0000-0001-9815-3205, CVU CONACYT ID: 473268

ID 3<sup>er</sup> Coautora: *Miriam, Reynoso-Villanueva* / ORC ID: 0000-0003-3307-9686, CVU CONACYT ID: 633822

DOI: 10.35429/JSI.2019.10.3.20.28

Recibido 20 de Abril, 2019; Aceptado 30 de Junio, 2019

#### Resumen

Las ciencias básicas, la tecnología y las ciencias humanas en la aeronáutica se integran en favor de las energías renovables para el desarrollo sustentable. Es así que el objetivo de este proyecto es crear un sistema de almacenamiento de agua pluvial y condensada con riego automatizado, alimentado con energía solar que provea la humedad de cultivos y contribuya a la reducción de CO<sub>2</sub> en la región de semidesierto de Querétaro. La metodología utilizada es investigación-acción, la cual consiste en observar y detectar una problemática real, enseguida analizar y valorar las posibilidades de intervención. En este caso fue el desaprovechamiento de recursos naturales en la universidad (agua y energía solar). Enseguida se diseña una estrategia de acción la cual consistió en: 1. Integrar un equipo de profesores especialistas y estudiantes. 2. Planeación general del proyecto. 3. Investigación teórica y de campo. 4. Diseño de sistemas: El hidráulico, de estructuras, de riego automatizado con energía solar. 5. Aplicación de pruebas de dispositivos y el estudio de proceso de cultivos y de elaboración de composta. En este proyecto la contribución es sobretodo social y ecológica y no a la ciencia; se fomenta la responsabilidad social universitaria en la importancia de que la aplicación de la tecnología ofrezca alternativas para cuidado y uso de recursos naturales y un mayor uso de energías renovables. Como valor agregado se contribuye en la investigación aplicada con enfoque interdisciplinario de profesores y estudiantes de diferentes carreras aeronáuticas en pro del desarrollo sustentable. Se aclara que en esta etapa inicial aun no se hace aporte científico ya que se tiene planeado en una siguiente hacer pruebas y muestra de niveles de radiación y de humedad en la región.

**Tecnología, Energía Renovable, Sustentabilidad**

#### Abstract

Basic sciences, technology and human sciences in aeronautics are integrated in favor of renewable energies for sustainable development. Thus, the objective of this project is to create a rainwater and condensed water storage system with automated irrigation, powered by solar energy that provides crop moisture and contributes to the reduction of CO<sub>2</sub> in the semi-desert region of Querétaro. The methodology used is action research, which consists of observing and detecting a real problem to immediately analyze and assess the possibilities of intervention. In this case it was the waste of natural resources in the university (water and solar energy). An action strategy was designed afterwards which consisted in: 1. Integration of a team of specialist teachers and students. 2. General planning of the project. 3. Theoretical and field research. 4. Systems design: hydraulic, structures, automated irrigation with solar energy. 5. Application of device tests and the study of the process of crop growing and composting. Our contribution in this project is above all social and ecological and not to science; university social responsibility is encouraged emphasizing the importance that the application of technology offer alternatives for the care and use of natural resources and greater use of renewable energy. As an added value, the project contributes to applied research with an interdisciplinary approach of professors and students of different aeronautical careers in favor of sustainable development. It is clarified that during this initial stage there is still no scientific contribution made as we plan, in a subsequent stage, to test and show levels of radiation and humidity in the region.

**Technology, Renewable energy, Sustainable Bio**

**Citación:** SANTANA-VÁZQUEZ, Olivia, LÓPEZ-MELENDEZ, J Jesús, ROSALES-OLIVARES, Jorge Enrique y REYNOSO-VILLANUEVA, Miriam. La tecnología en la aeronáutica en pro de las energías renovables y de la Bio-Sustentabilidad. Revista de Innovación Sistemática. 2019. 3-10: 20-28

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: Olivia.santana@unaq.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

La ciencia y la tecnología tienen como fin el desarrollo y bienestar de la humanidad, es así que este proyecto interdisciplinario hace una integración y aplicación de distintas ciencias y disciplinas tecnológicas. El objetivo es construir un biohuerto autosustentable en el cual se aprovecharán los recursos naturales (agua pluvial, agua condensada, energía solar, residuos orgánicos) y los estructurales (techos amplios y canaletas) de las naves de la Universidad Aeronáutica en Querétaro.

El valor agregado es que se constituye en un modelo ecológico de tecnología aplicada en el aprovechamiento de recursos en medio de la comunidad semirural y empresas aeronáuticas del entorno, en las cuales se ha comenzado a dar a conocer el proyecto como una muestra de la responsabilidad social universitaria en la que se integra la triple hélice: ACADEMIA-SOCIEDAD-EMPRESA, mediante la aplicación de conocimientos tecnológicos para ofrecer alternativas al problema de escasez de agua y poco aprovechamiento de la energía solar los municipios del Marques y de Colón del semidesierto queretano.

La primera característica es la integración de las áreas tecnológicas aeronáuticas de Aviónica y Manufactura para desarrollar el sistema hidráulico de captación y almacenamiento de agua pluvial y condensada y el sistema de riego automatizado, ambos activados con energía solar; la segunda es el estudio estructural de los techos de las naves de la universidad donde la caída libre de agua fluye por canaletas que facilitan su almacenamiento; la tercera es la estética estructural del invernadero la cual se ha diseñado con motivo aeronáutico, una aeronave, (Aerohuerto).

También como característica es que además de las hortalizas que se cultivarán al interior del invernadero en el exterior se ha reservado espacio para cultivo de cactáceas y otras especies como plátano, el cual servirá como materia prima para la investigación aeronáutica en el área de los materiales compuestos y la última característica valiosa, el gran impacto social al interior de la comunidad universitaria, en las familias, en las empresas y escuelas que a lo largo del año visitan la UNAQ (Universidad Aeronáutica en Querétaro).

Por sus sistemas hidráulico, eléctrico y electrónico se caracteriza como un modelo didáctico para concientizar en la aplicación de tecnología en pro del uso y cuidado del agua, el aprovechamiento de recursos, el fomento del uso de energías limpias, el cultivo de productos orgánicos, la salud nutricional y una economía sostenible.

Se parte de una problemática social observada en la zona del semi-desierto queretano de la cual la universidad y empresas por su ubicación forman parte, (crisis de agua y poco aprovechamiento de energía solar, agua pluvial y agua condensada).

Hipótesis: El aprovechamiento de la energía solar, el agua pluvial y condensada mediante la aplicación de tecnología interdisciplinaria en la construcción de biohuertos autosustentables coadyuvará a la responsabilidad social de la universidad, empresas y comunidades.

La primera sección del artículo hace referencia al estudio de los factores geofísicos (clima, temperatura, tipo de suelo, agotamiento de mantos acuíferos de la zona y las características físicas en la UNAQ, lugar donde se desarrolla el proyecto.

La segunda sección presenta el diseño de la estructura del prototipo del invernadero con la primera cisterna, el uso y aprovechamiento de la energía solar como una de las mejores opciones para activar el sistema de riego automatizado. Y la tercera describe y muestra la fabricación de jardineras y el proceso de elaboración de composta para el cultivo de hortalizas.

## Los factores geofísicos en el semidesierto queretano de Colón Querétaro

En Querétaro se comienza a padecer cada vez más la escasez de agua y como academia queremos colaborar en la concientización de su cuidado. Referente a este tema Morales (2017) en su artículo periodístico refiere *“El agua es necesaria para todas las formas de vida... y es imprescindible generar conciencia entre la ciudadanía sobre su importancia, uso moderado, reuso y cuidado”*. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el uso inadecuado del agua derivará en que para 2025 la mitad de la población mundial (3 mil 500 millones de personas) viva en zonas con extrema escasez de agua.

En Querétaro, existe una sobre-explotación de acuíferos, al respecto el observatorio ciudadano dice: “seis de los 12 acuíferos existentes en el estado están sobreexplotados”. El Observatorio Ciudadano de Protección Ambiental de Querétaro (OCPAQ). afirma. “En el acuífero de San Juan del Río se tiene una sobreexplotación de 133 m<sup>3</sup>, en el de Amazcala de 24.68 m<sup>3</sup>, para el ubicado en Buenavista la sobreexplotación es de 11.41 m<sup>3</sup>, mientras que para los ubicados en Huimilpan, Tolimán y Querétaro, se calcula una sobreexplotación de 0.53 m<sup>3</sup>, 0.70 m<sup>3</sup> y 67 m<sup>3</sup> respectivamente, agrega Urribarren. “Esto genera un total de 237.32 m<sup>3</sup> al año “. Con base a esta información nuestro proyecto se suma a quienes quieren ofrecer alternativas viables de solución a la problemática del agua en nuestra región.

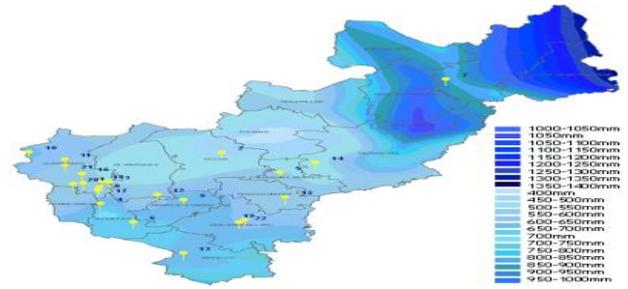
**Respecto a las condiciones climatológicas en la zona de Cólón Querétaro**



**Figura 1** Mapa sobre los climas en el estado de Querétaro Fuente INEGI

Las condiciones climatológicas: “El municipio Colón, encontramos que éste se caracteriza por el clima de estepa local, INEGI, (2017). La ubicación geográfica de la Universidad Aeronáutica en Querétaro es de 20°37’32.5”N y 100°11’15.3”W y a 1919 metros sobre el nivel del mar. Esta zona entre los municipios de Colón y el Marques se caracteriza por tener un clima de seco a semiseco, que a su vez representa el 51% del estado de Querétaro.

Los grados de humedad son alrededor del 22.9%, adicionalmente presenta una precipitación anual que va de los 550 a 600mm al año, ocasionando que sea una zona poco fértil para cualquier tipo de cultivo y con requerimientos altos de agua. Ver Fig. 2.



**Figura 2** Taza de precipitación de agua pluvial en Querétaro-México Fuente: INEGI

Durante el periodo que no llueve, la sustentabilidad del agua de riego queda a cargo de la condensación de la humedad que existe en el aire expuesto y al descenso de la temperatura que caracteriza a la zona. Es así que el agua condensada que corre sobre el techo de la nave de la UNAQ a través del sistema de canaletas de desagüe se aprovechará para el riego. Ver Fig.3.



**Figura 3** Superficie de techo de la UNAQ. Con canaletas hacia los desagües

La temperatura, en época de verano llega a registrar hasta 32°C y los índices de radiación UV son mayores a 10, lo que equivale a una potencia solar de 1kW/m<sup>2</sup>; estos datos indican que la poca humedad que se deposita en el terreno se evapora rápidamente a causa de que el suelo es compacto y con poca absorción de líquidos, disminuyendo la humedad en el terreno; por ello que se considera una zona árida xerófila.

En la universidad cuando llueve es observable la cantidad de agua que corre sobre el grande techo de la nave principal, éste tiene una superficie perimetral de 703m, y un área de 1.92 hectáreas. Obsérvese la Fig.4.donde se aprecia el área mencionada, el tipo de suelo y las canaletas por donde descienden las aguas.



**Figura 4** Área de la nave y caída de agua pluvial y condensada

Durante la noche y mañanas el agua condensada corre por las canaletas y sale por dos tuberías que la direccionan en caída libre sobre el campo.

### Resultados

La universidad se encuentra ubicada geográficamente en el Municipio de Colón colindando con el del Marques y su tasa de precipitación anual es de las más bajas en el estado, de 450- 500 mm. Esto nos coloca entre las zonas más áridas de la localidad estatal y entre las de mayor escasez de agua. Cuantitativamente en temporada fría de las 4:00 a 9:00 A.M en los meses de octubre a febrero en el desague de una de las canaletas se obtiene 1L. de captación de agua condensada por cada media hora lo cual en 5 horas un solo desague nos ofrece 10 litros de agua condensada diariamente.

### Estructura del prototipo “aerohuerto” con la primera cisterna y sistemas hidráulico y solar

Con base a la ubicación física de los desagües, la universidad otorgó para este proyecto un área de 100 m<sup>2</sup>. para el invernadero, ésta se encuentra sobre una plancha de tepetate de 1.5 m de profundidad, lo cual nos indica que no es apta para el cultivo y será necesario acondicionar el suelo. Ver Fig. 5



**Figura 5** Área designada para el biohuerto UNAQ

Obsérvese el diseño del prototipo y la estructura del “domo”, por su forma simula el fuselaje de una aeronave. Ver Fig 6.



**Figura 6** Prototipo del domo del aerohuerto UNAQ

Esta estructura está hecha de tubos de policloruro de vinilo (PVC); es un material ligero, resistente, inerte y completamente inocuo, con buen comportamiento al fuego y resistente a la intemperie. Se cubrirá con plástico lechoso de 30% de sombra el cual permite la entrada de luz de todas las longitudes de onda, para que las plantas puedan realizar la fotosíntesis. En algunos puntos del domo se colocaron columnas metálicas para soportar las cargas y esfuerzos que se lleguen a presentar. Ver Figura. 7.



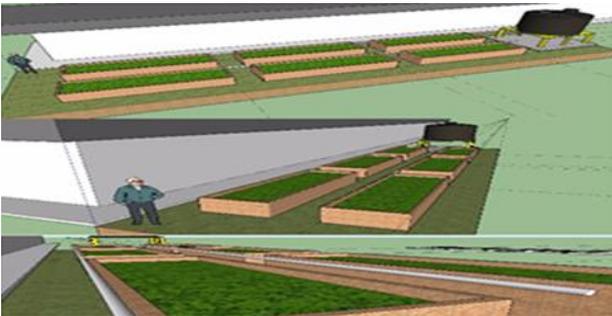
**Figura 7** Estructura en PVC del domo con columnas metálicas de soporte

**Sistema hidráulico:** Se realizó el cálculo de tubería necesario para direccionar el agua al reservorio y lo requerido fueron 60 metros de tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro; este cálculo conlleva todos los accesorios que usarán en dicha instalación; también se calculó el peso de la cisterna con agua y accesorios en 5500 kg, dato con el cual realizó la obra civil de una plancha de 3m x 3m, teniendo un área de 9 m<sup>2</sup>. de concreto armado para soportar la cisterna y que ésta no se fracture. Ver Figura. 8



**Figura 8** Primera cisterna de agua sobre la plancha construida

Finalmente, observése la Figura. 9. Que muestra la distribución general de las secciones de cultivo en jardineras sobre la cuales se distribuirá el riego automatizado desde la cisterna.



**Figura 9** Distribución de áreas de cultivos para orientación de los sistemas hidraulico y de riego

La SEMARNAT (2018), con respecto al uso de energías renovables afirma: “Representan mayor seguridad energética, menos contaminación y ahorros a la economía de estados y municipios”. México destaca como territorio con mayor promedio de radiación solar anual con índices que van de los **4.4 kWh/m<sup>2</sup> por día en la zona centro**, a los 6.3 kWh/m<sup>2</sup> por día en el norte del país. Ver figura 10.



**Figura 10** Radiación solar en la región del México  
Fuente: Instituto de investigaciones eléctricas

A lo largo de los meses del año el estado de Querétaro se coloca entre los de alta radiación solar llegando al nivel de 6.9 en el mes de mayo. Obsérvese la tabla 1.

Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	PROMEDIO
5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	5.9

**Tabla 1** Niveles de radiación solar en Querétaro  
Fuente: Instituto de investigación eléctrica

Es importante el aprovechamiento sustentable de la energía solar, es por eso que en este proyecto se diseñó el prototipo de riego automático con el uso de la energía solar. Este sistema se basa en la utilización de dos (2) módulos solares de 130 Vatios. Ver figura 11. Un (1) regulador de carga, un (1) inversor Xpower Digital 800w, dos (2) baterías de alta profundidad las cuales tienen una capacidad de 470.02 kWh, una (1) bomba sumergible de 0.5HP de potencia, una red de tuberías y 2 aspersores, los cuales se garantizarán el óptimo funcionamiento del sistema de riego que ofrece ahorro de agua y de energía eléctrica, beneficiando al medio ambiente y a la comunidad universitaria de la UNAQ.



**Figura 11** Panel solar que suministrará la energía para el sistema de riego automático

Riego Automatizado Autosustentable: De acuerdo al diseño que implica riego por goteo, este se controlará con una electroválvula que será energizada por una batería de 12VCD. Esta batería será cargada con una fuente de alimentación de aproximadamente de 22 VCD formada por un panel de celdas solares.

El sensado de la humedad en la tierra se realizará con una matriz de sensores los cuales serán alimentados también por la batería y enviarán la señal de requerimiento de humedad a la electroválvula. El agua que controla esta válvula será proporcionada por la fuerza de gravedad del líquido contenido en la cisterna de almacenamiento.

El riego será por goteo y al tener la tierra la suficiente humedad se cerrará la válvula, permitiendo tener un buen control en la dosificación del agua. El sistema se autosustenta en el control y alimentación eléctrica, requiriendo poca atención humana. Ver tabla 2. de cálculo de voltajes requeridos.

Datos	Medidas
Voltaje máximo del panel solar	22.4 Vmax.
Voltaje máximo con la bomba	20.2 Vmax.
Voltaje máximo primer circuito	19.9 Vmax.
Voltaje máximo con relevador	21.5 Vmax.

Tabla 2 Voltajes requeridos para el sistema de riego automatizado

A continuación, se describe el funcionamiento de circuitos con los sensores de humedad requeridos en el sistema de riego automatizado.

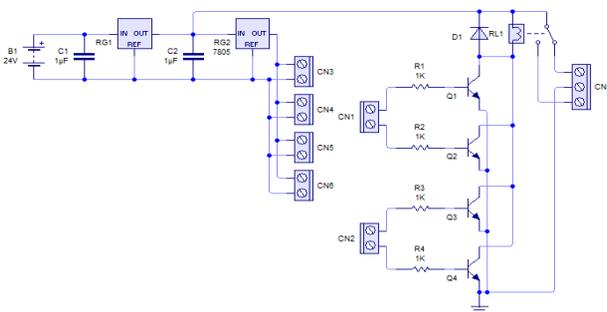


Figura 12 Circuito para la detección de humedad

**Funcionamiento del circuito**

El panel solar suministrará en condiciones adecuadas entre 22 a 18 voltios de corriente directa, provocando que la batería esté siempre cargándose, cuando el panel solar deje de suministrar energía, la batería que todo el día estuvo cargándose sustituirá al panel solar para que el circuito siempre esté funcionando sin la necesidad de una corriente exterior.

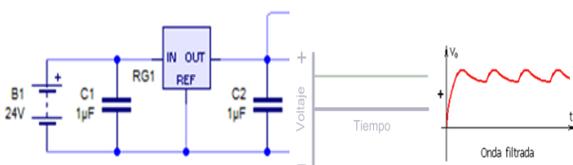


Figura 13 Regulación de voltaje y señal constante y Señal con rizado

El lm7812 su función es que el voltaje suministrado por el panel solar o batería, lo regula a 12 voltios, los condensadores cerámicos se encargarán de que el voltaje de salida del regulador siempre se mande una señal constante. Ver. Figura. 13. Todo esto servirá para la etapa de alimentación del relevador y de la bomba de agua. Nota, para las primeras pruebas se cambio la bomba de agua por un led.

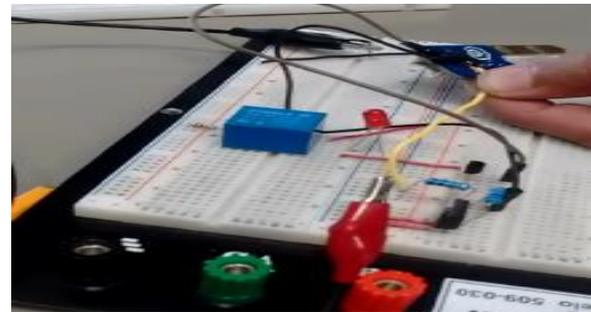


Figura 14 El regulador Im 7805 suministra energía a los sensores de humedad

El regulador lm7805 su función en este circuito es la suministración de 5 voltios a todos los sensores de humedad. Los terminales a bloques en el positivo y negativo para nuestros sensores. Ver Figura.15

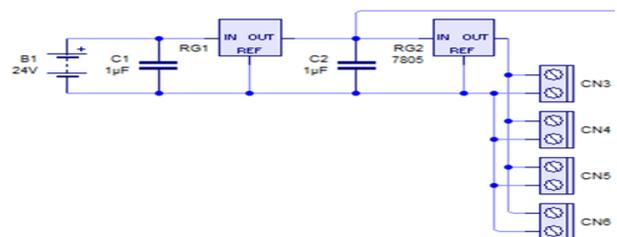


Figura 15 Bloques positivo y negativo

**Sensor de humedad**

Datos	Medidas
Voltaje de alimentación	5 volts. Etapa de control del relevador para poder controlar la bomba de agua
Voltaje de salida máxima	4.5 volts.
Voltaje de salida mínima	3.2 volts.

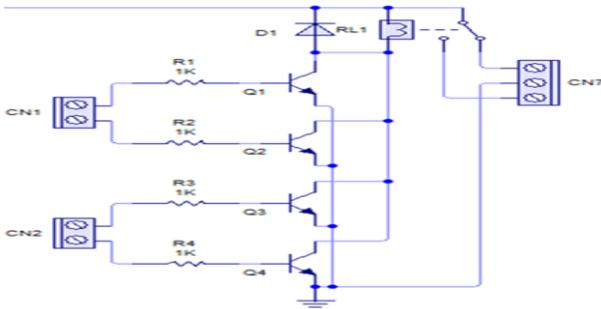
Tabla 3 Cálculo de Volts para sensores de humedad

El sensor de humedad que funciona con 5 voltios entrada estará en modo digital esto significará que nada más nos proporcionará un 1 cuando hay humedad y un cero cuando no hay humedad. Ver Figura. 16



**Figura 16** Prueba de humedad de suelo con sensores

El sensor de humedad nos dará aproximadamente entre 3.2 y 4.5 voltios cuando esté en uno y 0 voltios cuando está en cero. Se utilizarán cuatro sensores, puestos en diferentes lugares para la detección de humedad o agua en las jardineras.



**Figura 17** Etapa de control del relevador para poder controlar la bomba de agua

Una vez que cualquier sensor de humedad haya mandado un 1, el transistor 2n2222a se polarizara su base dejando pasar el voltaje del colector al emisor, provocando que el relevador se active y con ello la bomba de agua. Ver Fg.17.

## Resultados

- 1.Los niveles de radiación solar en Querétaro durante los meses del año aseguran una constante energización de los paneles solares.
- 2.Los sensores de humedad para su funcionamiento no rebasan los volts que almacena y suministra el panel solar por tanto para el riego un solo panel de 22 volts logra activar los sensores de humedad y la bomba.

## La fabricación de jardineras, cultivos y proceso de elaboración de composta

En la 1ª fase de este proyecto se acondicionan las jardineras sobre el suelo y se manufacturan dos prototipos más: una de fibra de vidrio y otras del scraph de placas de aluminio. Ver Figura. 18.

También se definen los tipos de hortalizas que se cultivarán al interior del biohuerto: zanahoria, espinaca, rábano, lechuga, perejil, tomate, cebolla, menta, piña y albahaca. Y al exterior, plantio de cáctaseas las cuales se utilizarán para experimentos de investigación sobre materiales compuestos para el desarrollo aeronáutico.



**Figura 18** Tipos de jardineras para el aerohuerto

A la par de la fabricación de las jardineras se procesó la primera composta, la cual es el material orgánico (fertilizante natural) que se obtiene como producto de la acción microbiana controlada sobre residuos orgánicos. A) recaudación de residuos orgánicos de las cafeterías de la Universidad. B) En una caja de plástico se colocó en la parte inferior una bolsa negra para residuos y sobre ella se agregó una capa de tierra y agua para mantenerla húmeda. C) Adicionalmente, se agregó una capa de trozos de cartón encima de la tierra y una capa de residuos orgánicos. D) Inmediatamente, se comenzó a agregar una capa de material seco por dos capas de desechos orgánicos. E) Después, se agregó una capa de tierra y 1 litro de agua para humedecer. F) Finalmente, se tapó el contenedor y se dejó reposar por tres días, a partir de entonces el cuidado que se tuvo fue el siguiente: se agregó agua tres veces por semana y se mezcló constantemente durante un mes. (Ver Figura. 19 del proceso de composta.



**Figura 19** Proceso de elaboración de composta

## Resultados

El área del huerto al tener 1m de profundidad en terreno industrializado a base de una capa de tepetate los cual nos indicó no era apto para cultivos, se está acondicionando el suelo con tierra de cultivos y humus orgánico. Cada jardinera requiere 7 costales de tierra para cultivo con 20 Kl C/U, lo que equivale 140 Kl. A partir del scrap generado por las practicas realizadas en la universidad, se reutilizan varias placas y así poder realizar jardineras con elementos 100% reciclados, esto para la reducción de costos.

## La metodología

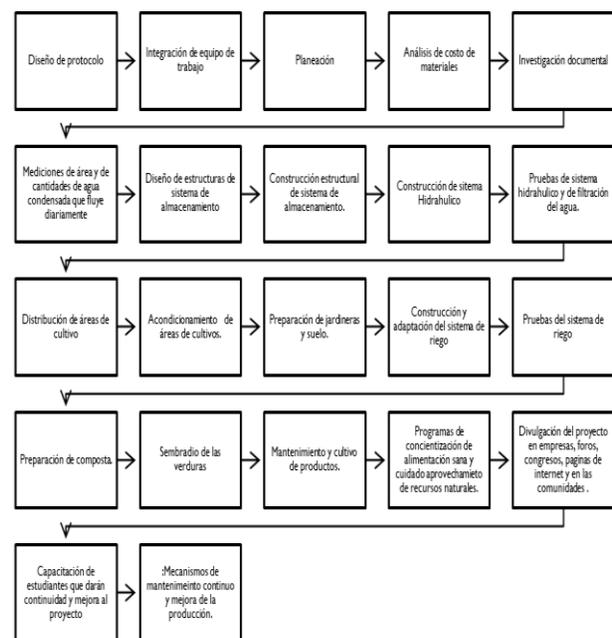
Este proyecto en su primera etapa utiliza la metodología de investigación-acción que es más cualitativa que cuantitativa. Para ello se parte de datos generales de medición de escasez de agua en la región y la observación del desaprovechamiento permanente del agua condensada y pluvial en la UNAQ. Posteriormente se realiza el estado del arte geofísico del lugar, así como el diseño estructural del prototipo del biohuerto y su sistemas: La estructura del domo integra la construcción de un sistema hidráulico para almacenamiento del agua pluvial y condensada, seguido de esto se realiza el estudio y desarrollo de un sistema de riego automatizado con uso de energía solar y finalmente estudios del método para el cultivo y cuidado de hortalizas y el proceso de elaboración de composta con el diseño y la fabricación de composteros.

La técnica de captación de aguas se realiza mediante la utilización de las canaletas que están sobre la nave, para dar cause a las tomas que la conducirán a la cisterna de almacenamiento; de la cual el sistema de riego automatizado se alimentará. Este último requiere de energía solar obtenida mediante los paneles con la finalidad de activar los sensores de humedad y los diferentes dispositivos, los cuales se están implementando. Recursos: Humanos: profesores especializados y estudiantes de manufactura y de aviónica. Materiales: de construcción (cemento, grava, arena, varilla. hidraulicos: tubos, bombas, pegamentos, cisterna y accesorios...) Electricos: panel, sensores, placas, cables...) Naturales: residuos orgánicos. Estructuras: perfil, madera, recipientes–tambos. scrap de placas de aluminio, fibra de vidrio, resina, remaches, entre otros.

Desde su planteamiento contempla la difusión en las empresas del sector para que se sumen al cuidado y aprovechamiento del agua, así como a la aplicación de las energías renovables, en este caso la energía solar.

Sus impactos son: ecológico, social y económico ya que se utiliza la tecnología en favor del uso y cuidado de recursos naturales y esto favorece el desarrollo sustentable. También se impactará en la comunidad educativa mediante la concientización de mejora en la alimentación sana en consumo de verduras. Y un tercer impacto es en nuestro entorno comunitario e industrial, al presentar y promover el prototipo en las empresas cercanas y hacerles ver los beneficios ecológicos, económicos y sociales del cuidado y uso de recursos naturales.

**Nota.** Este proyecto, aunque no está concluido en todas sus fases y solamente en la primera ha sido presentado en la empresa Safrán, una de las más importantes del clúster aeronáutico en México y ha sido muy valorado por su interdisciplinariedad y su enfoque tecnológico, ecológico y social el cual desde la academia muestra un trabajo interdisciplinario entre estudiantes y profesores asesores especializados en la industria y en la docencia. La Figura. 20. muestra la planeación general.



**Figura 20** Planeación general metodológica de cada uno de los pasos del desarrollo de este proyecto

## Conclusión

Se puede concluir en esta primera etapa que el proyecto interdisciplinario fomenta la aplicación de la Ciencia y Tecnología en favor de la sustentabilidad ofreciendo alternativas a la problemática de escasez de agua y aprovechamiento de recursos naturales. Denotando la participación de las empresas en interacción con la academia mediante aplicación de tecnología en pro de la sustentabilidad.

## Los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos son variados y en cada sección se han explicado, pero en síntesis se puede decir que se ha provocado una perspectiva diferente en profesores y estudiantes en cuanto a la aplicación de los conocimientos tecnológicos. Las autoridades académicas y administrativas de la universidad dan muestra de un mayor interés por la responsabilidad social del aprovechamiento del agua. También se puede remarcar que la investigación sobre los factores geofísicos de la región ha dado mayor fundamento y soporte a la hipótesis planteada ante el problema identificado. Y en cuanto a la divulgación ésta se ha venido realizando a nivel estatal por CONCYTEQ y fue elegido a nivel Nacional para presentarse en el Concurso Nacional de Innovación y Emprendimiento (CONIES) 2019.

## Posibilidad de mejora

Darle un alcance más amplio mediante la instalación de otras cisternas con mayor capacidad de almacenamiento de agua pluvial para utilizar el agua en otros servicios de la universidad. Y se presentará en otras empresas aeronáuticas del entorno con fines de posicionamiento en el mercado.

## Agradecimiento

A los estudiantes y profesores de la UNAQ que colaboran. Al CONCYTEQ quien a través del concurso de Nuevos Talentos eligió nuestro proyecto y otorgó cuatro becas a los estudiantes y un pequeño ingreso económico para efectuar la primera fase. También se agradece a los directivos y administrativos de la UNAQ quienes han dado la autorización para el desarrollo de este proyecto.

## Referencias

INEGI (2014) Contenidos geográficos. En [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/historicos/2104/702825937539/702825937539\\_2.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/historicos/2104/702825937539/702825937539_2.pdf). Recuperado 10/11/18.

INEGI (2017) Mapas de climatología de Querétaro. En <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/>, consulta octubre 2018.

INEGI. (2017) Anuario estadístico y geográfico de Querétaro 2017. En [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/QRO\\_ANUARIO\\_PDF.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/QRO_ANUARIO_PDF.pdf).

Instituto de Investigaciones eléctricas en <https://www.gob.mx/ineel#multimedia>. Recuperado 3/10/18.

Morales (2018) Escasez de agua, una problemática mundial. En <https://amqueretaro.com/especiales/2018/07/09/escasez-del-agua-una-problematika-mundial>. Recuperado el 3/11/2018.

SEDESU (2017) E Servicios Ambientales Integrales de Consultoría y Cambio Climático. En SEDESU (2016) en <http://www.queretaro.gob.mx/sedesu/contenido.aspx?q=q05znG4LZgnZ8+zz89iPFsMkhLnCHX1>. Recuperado 25/08/18.

SEMARNAT (2018) Energías renovables, gran oportunidad para México. EN <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/energias-renovables-gran-oportunidad-para-mexico-172759?idiom=es>. Recuperado 5/11/18

SEMARNAT y CONAGUA. Normas oficiales mexicanas. NOM-001-SEMARNAT-1996. NOM-002-SEMARNAT-1996. NOM-003-SEMARNAT-1997.

UNAM. El Potencial de la radiación solar. En <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bits/tream/handle/132.248.52.100/277/A5.pdf>. 23/09/2018

## Estudio del comportamiento de sensores de gas basados en resonadores de cristal de cuarzo para altas frecuencias

### Study of the behavior of gas sensors based on quartz crystal resonators for high frequencies

JIMÉNEZ-ARELLANO, Juan Jesús<sup>†\*</sup>, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino y TORRES-MÉNDEZ, Sergio

*Universidad Tecnológica de Puebla  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Instituto Tecnológico de Puebla*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Juan Jesús, Jiménez-Arellano* / ORC ID: 0000-0002-0279-1999, CVU CONACYT ID: 177103

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *José Lorenzo, Muñoz-Mata* / ORC ID: 0000-0001-7813-5579, CVU CONACYT ID: 177117

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Severino, Muñoz-Aguirre* / ORC ID: 0000-0002-1822-1464, CVU CONACYT ID: 121589

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Sergio, Orres-Méndez* / ORC ID: 0000-0001-7399-784X, CVU CONACYT ID: 177116

DOI: 10.35429/JSI.2019.10.3.29.37

Recibido 16 de Abril, 2019; Aceptado 20 Junio, 2019

#### Resumen

Los sensores de microbalanza de cristal de cuarzo (QCM) se han empleado frecuentemente como dispositivos de micro-pesaje, puesto que han demostrado ser altamente sensibles debido a corrimientos en su frecuencia de resonancia a causa de incrementos en la masa adherida sobre su superficie. Este tipo de dispositivos son utilizados normalmente como arreglos de sensores para los sistemas conocidos como Narices Electrónicas, para la detección y análisis de gases, fluidos, y compuestos biológicos entre otros. La sensibilidad de los sensores QCM es directamente proporcional a la frecuencia de resonancia del cristal. Por lo que incrementar la sensibilidad, implica usar cristales de altas frecuencias por arriba de los 20 MHz. Se han fabricado cristales en dos modalidades: fundamental y sobretono, siendo los últimos empleados para frecuencias entre los 30 MHz y 200 MHz. En este trabajo se muestran argumentos teóricos y resultados experimentales que describen las características y diferencias en el desempeño de sensores a 30 MHz en ambas modalidades, además de otras consideraciones en el comportamiento de estos dispositivos que no se pueden observar desde el punto de vista analítico, pero sí desde el punto de vista experimental.

**Sensor QCM de Alta Frecuencia, Sobretono, Nariz Electrónica**

#### Abstract

Quartz crystal microbalance (QCM) sensors have been frequently used as micro-weighing devices, since they have demonstrated to be highly sensitive due to the frequency shifts ought to mass-increments stuck on the sensing film surface of the sensor. This kind of devices are normally used as arrays of sensors in systems known as Electronic Noses, for the detection and analysis of gases, fluids, and biological compounds among others. The sensitivity of the QCM sensors is directly proportional to the resonance frequency of the crystal. Therefore, increasing sensitivity implies using high frequency crystals above 20 MHz. Quartz crystals have been manufactured in two modalities: fundamental and overtone, the latter being used for frequencies between 30 MHz and 200 MHz. In this work, we present theoretical arguments as well as experimental results that describe the characteristics and differences in the performance of 30 MHz sensors in both modalities, in addition to other considerations in the behavior of these devices that cannot be observed from the analytical point of view, but from the point of experimental view.

**High-Frequency QCM Sensors, Overtone, Electronic Nose**

**Citación:** JIMÉNEZ-ARELLANO, Juan Jesús, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino y TORRES-MÉNDEZ, Sergio. Estudio del comportamiento de sensores de gas basados en resonadores de cristal de cuarzo para altas frecuencias. Revista de Innovación Sistemática 2019. 3-10:29-37

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: [juan.jimenez@utpuebla.edu.mx](mailto:juan.jimenez@utpuebla.edu.mx))

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

Las narices electrónicas (NE) son complejos sistemas electrónicos capaces de detectar y analizar componentes volátiles. Existen muchos sensores comerciales para gases, y uno de los más empleados son los del tipo microbalanza de cristal de cuarzo o QCM (Quartz Crystal Microbalance por sus siglas en inglés) tipificados por su frecuencia resonante de operación (Gardner, Bartlett 1999). La respuesta típica de estos sensores ante un particular componente volátil, genera un decremento significativo en su frecuencia resonante; comportamiento descrito a través de un estudio hecho por Günter Sauerbrey en 1959. Las relaciones cuantitativas del estudio muestran que, si se incrementa la frecuencia resonante, mayor será el decremento significativo en su frecuencia; dicho en otras palabras, se incrementa la *sensibilidad* del sensor y por ende la de la nariz electrónica.

La *sensibilidad* de cualquier sensor y especialmente para aquellos empleados en una nariz electrónica, es un parámetro sumamente importante; pues de ello depende que tan capaz el sistema pueda detectar bajos niveles de concentración de el o los componentes volátiles. Niveles de concentración tan bajos que pueden ser indetectables para ciertos sensores y mucho más para una nariz humana.

Existen muchas razones por las cuales es importante tener una nariz electrónica con alta sensibilidad. En muchas de las industrias, muy a menudo se presentan situaciones donde las concentraciones de ciertas sustancias pueden alcanzar niveles críticos y riesgosos tanto para la salud como para la seguridad de las personas (Pi-Guey, Tsao-Yun 2017). En domótica para monitorear niveles muy bajos de gas natural, LP y otras sustancias de uso común. En la industria farmacéutica y biotecnología para la detección de enfermedades a través del estudio de reacciones químicas de ciertos agentes biológicos (Gardner, Bartlett 1994). A la fecha ya se empiezan a dar aplicaciones en la industria de los electrodomésticos, cosméticos y automotriz.

Muchos han sido los trabajos acerca de los sensores de gas del tipo QCM; empleando para su implementación, resonadores de cristal de cuarzo cuyas frecuencias van desde 5 MHz hasta 20 MHz (Muñoz, Nakamoto and Moriizumi 1999); presentando algunos rasgos característicos en común: por un lado, los circuitos osciladores utilizados para estos sensores se centran en el empleo de compuertas lógicas del tipo TTL o CMOS (Nakamoto, Nakamura and Moriizumi 1996) y esto restringe su operación a las frecuencias límites de las compuertas (aproximadamente a 30 MHz).

Por otro lado, muchos trabajos emplean QCMs con resonadores que fueron fabricados en modo fundamental (Speller, Siraj, McCarter and Vaughan 2017) y comúnmente los fabricantes manufacturan resonadores en un margen entre 1.8 MHz y 25 MHz en este modo (International Crystal Manufacturing 2004).

Para frecuencias mayores; el incremento en la complejidad del proceso de fabricación y los costos, hace que los fabricantes sólo manufacturen resonadores de este tipo en pequeños lotes y para pedidos especiales (Stehrer, Schwödiauer, Graz, Pollheimer and Gruber 2010). A cambio de esto, se fabrican resonadores en modo de sobretono para contemplar frecuencias desde 16 MHz hasta 200 MHz (International Crystal Manufacturing 2004). Utilizar resonadores de esta clase implica por un lado emplear componentes de altas frecuencias para los circuitos; y por el otro, se requieren modificaciones en los osciladores para que estos resonadores puedan trabajar a altas frecuencias, algo que no es tan inmediato y fácil de implementar (Alassi, Benammar, Dan Brett 2017).

El presente trabajo se enfoca en el tratamiento y aplicación de los sensores QCM creados con resonadores de altas frecuencias; se muestra un estudio teórico y experimental sobre sus rasgos característicos más importantes tanto de comportamiento como de desempeño, además de un comparativo en relación con aquellos sensores creados con resonadores de bajas frecuencias. El desarrollo del artículo se ha dividido en varias secciones: fundamentos teóricos acerca de los sensores QCM, circuito oscilador para altas frecuencias, implementación de sensores QCM para altas frecuencias, arreglo y desarrollo experimental, obtención y discusión de resultados, conclusiones y trabajo a futuro.

## Fundamentos Teóricos Acerca de los Sensores de Microbalanza de Cristal de Cuarzo

Los resonadores de cristal de cuarzo son dispositivos que rigen su funcionamiento a través de un fenómeno conocido como *efecto piezoeléctrico*; que en breves palabras se puede decir que bajo ciertas condiciones: a) un cristal sometido a un esfuerzo mecánico puede generar una diferencia de potencial en el extremo de sus terminales (efecto piezoeléctrico directo) o b) un cristal al que se le aplique una fuerza electromotriz variante en el tiempo genera un movimiento mecánico de desplazamiento en su estructura física traducido en oscilaciones permanentes y precisas (efecto piezoeléctrico inverso). Es debido a este fenómeno piezoeléctrico inverso que los cristales de cuarzo pueden ser utilizados como resonadores para la implementación de sensores microgravimétricos capaces de detectar masas muy pequeñas de varios ordenes de magnitud (Arnau 2004). Entre estos dispositivos destacan los sensores QCM, que se emplean para la detección de componentes volátiles, fluidicos y algunas otras propiedades físicas (Theisen, Martin 2004).

Günter Sauerbrey (Sauerbrey 1959) mostró que el comportamiento de los QCM, cuando son empleados para la detección de pequeñas cantidades de masa, puede ser cuantitativamente expresado como lo muestra la Ecuación 1.

$$\Delta f_N = -\frac{2}{\sqrt{\rho_q \mu_q}} \frac{\Delta m f_N^2}{N \cdot A} \quad (1)$$

Donde  $\Delta f_N$  denota el cambio en la frecuencia resonante del sensor, el signo menos indica que el cambio es un decremento.  $\Delta m$  es la cantidad de masa agregada sobre la superficie efectiva del electrodo del resonador,  $f_N$  es la frecuencia resonante del QCM,  $A$  es el área efectiva sobre el cual se deposita la masa excedente,  $\rho_q$  y  $\mu_q$  son respectivamente la densidad y el módulo de cizalla del cuarzo.  $N$  es un numero entero impar positivo que indica el modo resonante del sensor siendo 1 para el modo fundamental y para los demás valores el respectivo sobretono.

De la ecuación de Sauerbrey se puede observar que si se incrementa la frecuencia resonante del sensor  $f_N$ , se incrementa el valor para  $\Delta f_N$ .

Más aún, mediante una manipulación algebraica se establece una relación entre las respuestas para un mismo QCM en sus modos fundamental y alguno de sus sobretonos, como lo indica la Ecuación 2.

$$\Delta f_N = N \cdot \Delta f_1 \quad (2)$$

Existen algunos casos donde hay resonadores de cuarzo fabricados con la misma frecuencia, pero en diferentes modalidades, comúnmente para el caso de 30 MHz. De manera general, si dos QCM con resonadores fabricados en la misma frecuencia: uno en modo fundamental y otro en  $N$  sobretono; y con la misma masa adicional  $\Delta m$  en sus electrodos, entonces se cumple la relación que muestra la Ecuación 3.

$$\Delta f_1 = N \cdot \Delta f_N \quad (3)$$

Dicho de otra manera; QCMs con la misma frecuencia nominal, el sensor con resonador en modo fundamental es más sensible en un factor de  $N$  con respecto a su homólogo en modo de  $N$  sobretono. Desafortunadamente para los fabricantes es muy difícil y poco costoso fabricar exclusivamente resonadores de cuarzo en modo fundamental; pues entre más alta sea la frecuencia, más delgado es el espesor del cristal en un factor de  $N$  como lo muestran las dos relaciones en la Ecuación 4.

$$l_1 = \frac{v_o}{2f_1}, \quad l_N = \frac{l_1}{N} \quad (4)$$

Donde  $f_1$  es la frecuencia fundamental del resonador,  $v_o$  es la velocidad de propagación de onda y  $l_N$  es el espesor del cristal de cuarzo.

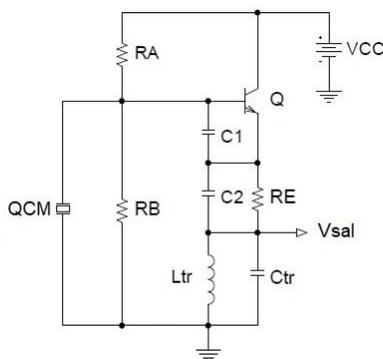
## Circuito Oscilador para Altas Frecuencias

Muchos circuitos osciladores se han presentado en la literatura tanto de baja como de alta frecuencia que emplean resonadores de cuarzo. Se pueden encontrar osciladores empleando compuertas lógicas, filtros, amplificadores operacionales, arreglo de transistores, combinaciones de estos y demás; donde la mayoría de ellos se han diseñado con un único propósito: ser señales de reloj para los sistemas digitales (Atmel Corporation 2004).

La situación cambia cuando el circuito oscilador forma parte de un sensor lo que implica un diseño y consideraciones técnicas más rigurosos.

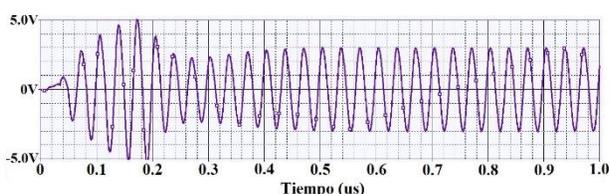
Factores como ruido e interferencia de cualquier naturaleza, afecta significativamente el desempeño del oscilador. El circuito de la Figura 1 muestra el oscilador empleado en este trabajo.

Las características de este oscilador son: un buen ancho de banda para altas frecuencias, configuración de seguidor de emisor por lo que su ganancia en voltaje es aproximadamente 1, una impedancia de entrada muy alta de tal manera que la demanda de carga para el QCM es muy pequeña, la impedancia de salida es muy baja lo que permite que prácticamente toda la carga del oscilador pase integra a la siguiente etapa del sistema.

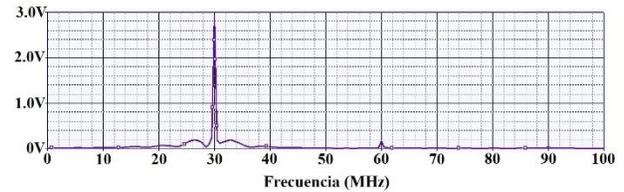


**Figura 1** Circuito oscilador para QCM de alta frecuencia  
Fuente: Elaboración Propia

El circuito se puede ajustar para oscilar en una frecuencia específica entre 4 MHz y 100 MHz. Todas estas características hacen que este oscilador sea útil para los propósitos de este trabajo. En el Gráfico 1 se muestra una simulación en PSpice para un resonador de 30 MHz en modalidad de 3er sobretono notándose claramente los estados transitorio y permanente de la señal en el dominio del tiempo. El Gráfico 2 ilustra el espectro en frecuencia de la simulación en PSpice de la señal en el tiempo que genera el oscilador; siendo poco notoria la presencia de los armónicos de la señal con respecto a la frecuencia principal.



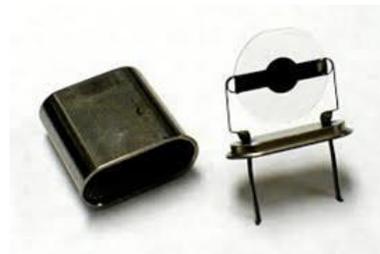
**Gráfico 1** Simulación en PSpice de la señal en el dominio del tiempo para un resonador de 30 MHz en modo de 3er sobretono  
Fuente: Elaboración Propia



**Gráfico 2** Simulación en PSpice del espectro en frecuencia de la señal del oscilador para un resonador de 30 MHz en modo de 3er sobretono  
Fuente: Elaboración Propia

## Implementación de Sensores QCM para Altas Frecuencias

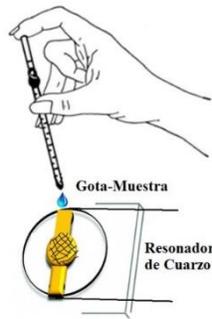
Un sensor QCM se implementa a partir de un resonador de cuarzo cuya protección metálica, que proviene de fábrica, se retira cuidadosamente dejando expuesto el cristal y los electrodos adjuntos. En este trabajo se han empleado resonadores del tipo HC49U con corte del cristal AT debido a disponibilidad, su excelente y constante comportamiento ante variaciones de temperatura, así como su bajo costo (International Crystal Manufacturing 2004); como lo muestra la Figura 2.



**Figura 2** Resonador de cuarzo del tipo HC49U sin su protección de fábrica  
Fuente: Elaboración Propia

Después de la remoción de su protección, el cristal pasa por un proceso de limpieza de algunos minutos a través de acetona y exposición en una cámara de Ultravioleta-Ozono para remover cualquier impureza que haya estado presente en la superficie de sus electrodos. Posterior a este proceso; el resonador está listo para el depósito, sobre sus electrodos, de una delgada película hecha con un material que es químicamente sensible al componente volátil a detectar.

El depósito es hecho a través del método de *casting* que básicamente consiste en fijar el QCM, tomar con una pipeta graduada, una pequeña muestra de la solución hecha para la película sensible y depositar en el centro de ambos electrodos la gota-muestra del material, como lo ilustra la Figura 3.



**Figura 3** Implementación de un QCM por medio del método de casting

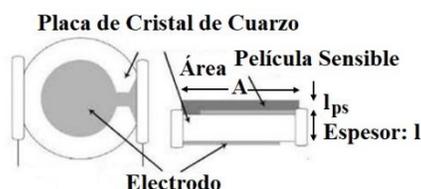
Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizado el depósito de la película, se toma un tiempo de espera para el secado del material colocando los sensores dentro de una cámara desecadora a una temperatura de 25°C y 10% de humedad constantes. Posterior al proceso de secado, el sensor QCM está listo para la etapa de prueba.

Un parámetro muy crítico para un QCM es el espesor de la película sensible depositada, como lo muestra la Figura 4. Poder hacer una medición directa del espesor sobre el dispositivo es muy complicado. Por lo tanto, es por medio de la ecuación de Sauerbrey, a través de una manipulación algebraica, que se puede estimar este parámetro de manera indirecta como lo muestra la Ecuación 5.

$$l_{ps(N)} = \frac{N \cdot \Delta f_N \sqrt{\rho_q \mu_q}}{2 \rho_{ps} f_N^2} \quad (5)$$

Donde  $l_{ps(N)}$  es el espesor estimado de la película sensible,  $\rho_{ps}$  es la densidad del material de la película y los demás parámetros ya se mencionaron en la sección 1.



**Figura 4** Vista de la implementación y parámetros de un QCM

Fuente: Elaboración Propia

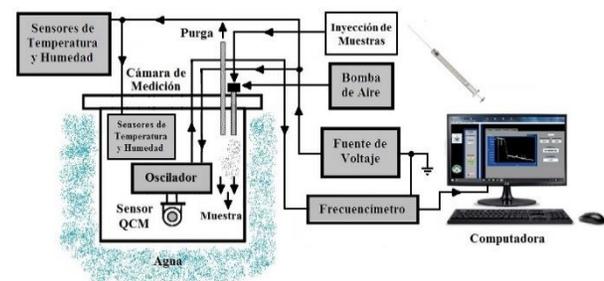
Es de tomarse en consideración, que la cantidad del material depositado para la película sensible es crítica, pues un exceso hará que el QCM no pueda oscilar y no cumplir su propósito.

Dado el caso, es posible en su mayoría, poder remover la película y realizar un proceso de limpieza como se describió en esta sección, con el riesgo de quebrarse el cristal y en definitiva ya no servir el dispositivo.

Adjunto a lo anterior, las cantidades de material sensible depositadas para los QCMs de bajas frecuencias no son las adecuadas para los de alta frecuencia; por un lado, los cristales de los resonadores en modo fundamental son más pequeños y más delgados; y por el otro, el hecho de que un QCM oscile en su modo fundamental no significa que pueda oscilar para todos sus demás sobretonos. En definitiva, los tratamientos pueden ser semejantes en unos aspectos, pero totalmente diferentes en otros.

### Arreglo y Desarrollo Experimental

El arreglo experimental para este estudio se muestra en la Figura 5. El sensor QCM es colocado dentro de una cámara hermética de teflón inmersa en un baño térmico para mantener las condiciones de humedad y temperatura constantes.



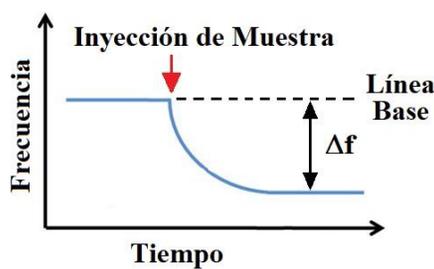
**Figura 5** Arreglo experimental para el estudio del desempeño de sensores QCM de altas frecuencias

Fuente: Elaboración Propia

El desarrollo experimental se lleva a cabo con 6 resonadores de cuarzo del tipo HC49U de 30 MHz: 3 en modo fundamental y 3 en modo de 3er sobretono. El componente volátil a detectar es *etanol* y el material que se emplea para la película sensible es una solución de *etil-celulosa* con *cloroformo*. La selección de la etil-celulosa es debido a que presenta una muy buena afinidad química al etanol para el proceso de adsorción de sus moléculas. La solución presenta una concentración de 2 mg/ml, un nivel bajo debido a que un exceso de material hará que el QCM no pueda oscilar.

La primera prueba que se realiza a los sensores, es la estimación del espesor de la película  $l_{ps(N)}$  a través de la Ecuación 5. Una vez removidas las protecciones de los resonadores, se mide la frecuencia del dispositivo antes y después del depósito de la película, la diferencia de estas mediciones proporciona el valor para  $\Delta f_N$ . Mediante el método de *casting* y lo más cercano posible al centro de los electrodos de los 6 resonadores, se hace el depósito de una gota de 0.2µl de la solución para la película y se espera un tiempo de alrededor de 1 hora para que seque totalmente la solución.

La segunda prueba es la detección del componente volátil. Una vez que el sensor alcanza una línea base estable en su frecuencia resonante, se hace la inyección de la muestra del componente. Inmediatamente, la muestra se evapora y sus moléculas empiezan a tener contacto con la película sensible; un proceso de adsorción de las moléculas se lleva a cabo, lo que incrementa la masa en los electrodos del cristal y un decremento en su frecuencia resonante se ve reflejado. El Gráfico 3 ilustra la descripción anterior y muestra la respuesta típica de los sensores QCM. El carácter exponencial de la respuesta da una idea de cómo es el proceso de adsorción; posterior a este, una nueva línea base aparece indicando que ha terminado la adsorción. El proceso anterior se repite de manera consecutiva por lo menos tres veces para observar que tan lineal es el comportamiento de las respuestas de estos sensores.



**Gráfico 3** Respuesta típica de un sensor QCM  
Fuente: Elaboración Propia

La prueba culmina con la inyección de aire seco dentro de la cámara de medición para remover todo rastro del componente volátil y regresar al sensor a sus condiciones iniciales. El oscilador está conectado a un frecuencímetro de alta resolución capaz de detectar variaciones de hasta 1 Hz y una interface de usuario gráfica (GUI) muestra y registra el comportamiento del sensor durante las pruebas.

**Obtención y Discusión de Resultados**

Los resultados obtenidos en las mediciones de las frecuencias de los dispositivos antes y después del depósito de la película sensible se muestran en la Tabla 1.

Modo de Operación	Frecuencia sin Película (MHz)	Frecuencia con Película (MHz)	Δf (kHz)	$l_{ps}$ (µm)
Fundamental	29.99238	29.93750	54.88	0.24
Fundamental	29.99233	29.96501	27.32	0.12
Fundamental	29.99220	29.91513	77.07	0.33
3er Sobretono	29.99981	29.99001	9.81	0.13
3er Sobretono	29.99973	29.98154	17.67	0.23
3er Sobretono	30.00000	29.99216	7.84	0.10

**Tabla 1** Caracterización de los QCM de 30 MHz antes y después del depósito de la película sensible  
Fuente: Elaboración Propia

El objetivo de estimar cada uno de los espesores es determinar que par de sensores (fundamental y sobretono) tienen sus valores del espesor  $l_{ps(N)}$  lo más cercano posible y ver el cumplimiento que establece la Ecuación 3. La Tabla 2 muestra los pares de estos sensores que cumplen el criterio.

Modo de Operación	Frecuencia sin Película (MHz)	Frecuencia con Película (MHz)	Δf (kHz)	$l_{ps}$ (µm)
Fundamental	29.99233	29.96501	27.32	0.12
3er Sobretono	29.99981	29.99001	9.81	0.13
Fundamental	29.99238	29.93750	54.88	0.24
3er Sobretono	29.99973	29.98154	17.67	0.23

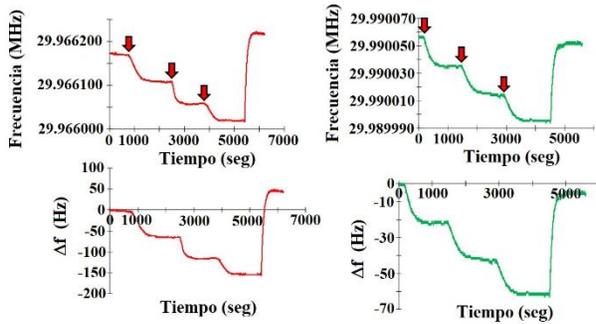
**Tabla 2** Pares de sensores QCM con espesores de película sensible aproximados  
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la Ecuación 5, el valor para  $\Delta f_1/\Delta f_3 = 3$  y la Tabla 3 muestra el comparativo.

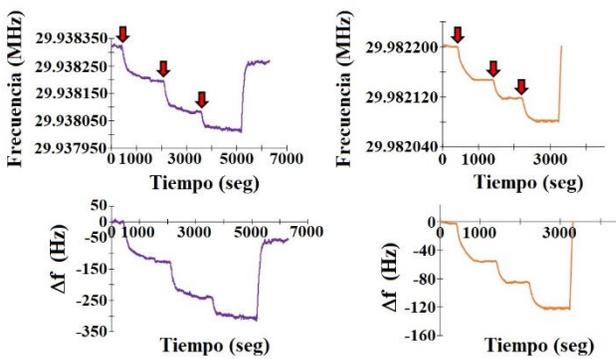
Modo de Operación	$l_{ps}$ (µm)	Δf (kHz)	$\frac{\Delta f_1}{\Delta f_3}$	$\frac{\Delta f_1}{\Delta f_3}$ Normalizado
Fundamental	0.12	27.32	2.78	3.02
3er Sobretono	0.13	9.81		
Fundamental	0.24	54.88	3.10	2.98
3er Sobretono	0.23	18.19		

**Tabla 3** Comparativo entre QCMs de 30 MHz en modo fundamental y de 3er sobretono  
Fuente: Elaboración Propia

Para la prueba del compuesto volátil se emplea una serie de 3 inyecciones de 5 µl de etanol. Los Gráficos 4 y 5 muestran las respuestas obtenidas para los dos pares de sensores QCM de la Tabla 3. Las flechas rojas muestran el instante de la inyección acumulativa de la muestra de 5µl de etanol.

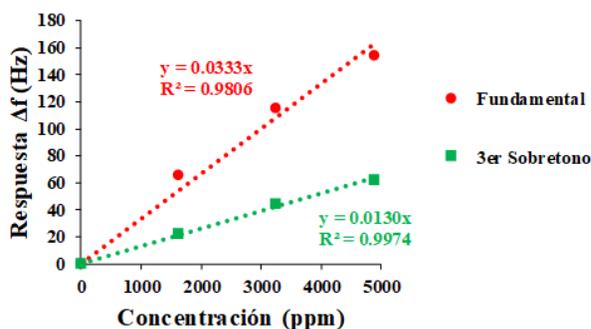


**Gráfico 4** Respuesta de los sensores QCM de 30 MHz de espesor aproximadamente 0.12 μm ante una serie de 3 muestras de etanol de 5μl cada una. Lado izquierdo en fundamental, lado derecho en 3er sobretono  
Fuente: Elaboración Propia

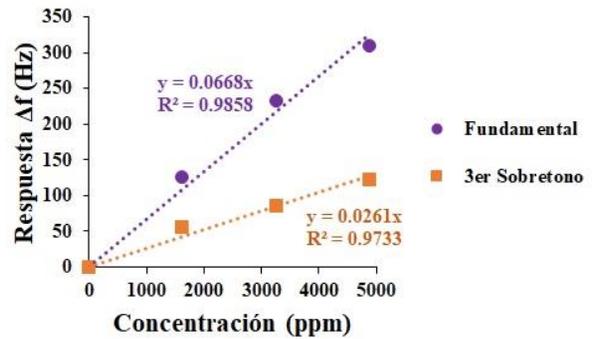


**Gráfico 5** Respuesta de los sensores QCM de 30 MHz de espesor aproximadamente 0.24 μm ante una serie de 3 muestras de etanol de 5μl cada una. Lado izquierdo en fundamental, lado derecho en 3er sobretono  
Fuente: Elaboración Propia

Los Gráficos 6 y 7 muestran las curvas de correlación de ajuste lineal para los puntos de dispersión de cada línea base conforme a las respuestas de los Gráficos 4 y 5 en función de la concentración de etanol (ppm) de cada muestra de 5μl de etanol acumulativa. Los cocientes entre las pendientes de ambos ajustes lineales  $y_1/y_3 = 0.0333/0.0130 \approx 2.56$  para el primer par y  $y_1/y_3 = 0.0668/0.0261 \approx 2.56$  para el segundo par marcan una tendencia hacia el valor 3, como lo establece la Ecuación 5.



**Gráfico 6** Curvas de correlación de ajuste lineal para las respuestas de los QCM de espesor aproximadamente 0.13 μm en función de la concentración de etanol de las muestras  
Fuente: Elaboración Propia



**Gráfico 7** Curvas de correlación de ajuste lineal para las respuestas de los QCM de espesor aproximadamente 0.24 μm en función de la concentración de etanol de las muestras  
Fuente: Elaboración Propia

Otra observación que es interesante marcar, es la comparación entre los espesores de ambos grupos.

$$\frac{l_{ps(2do\ Grupo)}}{l_{ps(1er\ Grupo)}} = \frac{0.24\mu m}{0.12\mu m} = 2 \tag{6}$$

Y esta proporción también se ve reflejada si se comparan las pendientes de las curvas de correlación entre los correspondientes modos.

$$\frac{y_{fund(2do\ Grupo)}}{y_{fund(1er\ Grupo)}} = \frac{0.0668}{0.0333} = 2 \tag{7}$$

$$\frac{y_{3er\ St(2do\ Grupo)}}{y_{3er\ St(1er\ Grupo)}} = \frac{0.0261}{0.0130} = 2 \tag{8}$$

El comportamiento Δf de los sensores QCM es directamente proporcional al espesor de la película sensible  $l_{ps}$ . Las variaciones entre los resultados teóricos y experimentales en el desempeño de los QCM se ven afectados por factores como la humedad y la temperatura; ambos factores tienden a disminuir tanto el cambio en la frecuencia Δf<sub>N</sub> como el tiempo de respuesta. Cualitativamente, las respuestas generadas por los QCM en modo de sobretono presentan menos fluctuaciones.

**Agradecimientos**

Se agradecen las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo de investigación a la Universidad Tecnológica de Puebla (UTP).

## Conclusiones

Se puede establecer cuantitativamente una relación para el desempeño entre las respuestas de los sensores QCM en la modalidad de fundamental y sobretono (Ecuaciones 2, 3, 5, 6, 7 y 8). Es muy importante tener un circuito oscilador de altas prestaciones en su diseño y desempeño pues si no cumple estas características, se verá reflejado un bajo desempeño de los QCM, principalmente por el rango de frecuencias que maneja y el ruido inherente al sistema completo.

La técnica de casting para la implementación de los QCM no es tan sofisticada, pero después de realizar varios depósitos se puede depurar y mejorarla. Los resultados obtenidos para la caracterización de los QCM antes y después del depósito de la película sensible dan muestra que no están muy lejos de los resultados esperados analíticamente.

Los resultados experimentales confirman que las respuestas obtenidas por los sensores ante la exposición de la serie de muestras acumulativas de etanol poseen un comportamiento lineal. Los parámetros de las curvas de correlación confirman que los QCM de mismas frecuencias en modo fundamental son 3 veces más sensibles que aquellos en modo de 3er sobretono. También es un hecho que si se desea aumentar la sensibilidad de los sensores se requieren resonadores en la modalidad de sobretonos. Finalmente se pudo comparar que los QCM de 30 MHz presentan una mayor respuesta ante el etanol con respecto a un QCM de 12 MHz en las mismas condiciones de prueba.

## Trabajo a futuro

Siguiendo esta misma línea de trabajo, se está ya contemplando el análisis y desarrollo experimental para emplear resonadores de 40 MHz y 50 MHz en 3er sobretono y ver que rasgos experimentales se pueden obtener. También se está contemplando implementar un arreglo de sensores QCM y ver su desempeño como un conjunto.

## Referencias

Abdulrahman Alassi, Mohieddine Benammar, Dan Brett (2017). Quartz Crystal Microbalance Electronic Interfacing Systems: A Review. *Sensors* 2017 17 2799.

Arnau A. (2004). Piezoelectric Transducers and Applications. Universidad Politécnica de Valencia, Spain. Springer-Verlag Berlin. J. W. Gardner, P. N. Bartlett (1999). *Electronic Noses*, (1ª ed.). New York, USA: Bookcraft.

Atmel Corporation (2004). Analyzing The Behavior of an Oscillator and Ensuring Good Start-Up. Atmel 80C51 MCU's. Application Note.

Günter Sauerbrey (1959). Use of vibrating quartz for thin film weighing and microweighing. *Zeitschrift Fuer Physik*, 155, 206.

International Crystal Manufacturing (2004). Crystal Oscillator and Filter Products. Resistance Weld Crystal HC49U 13.

J. W. Gardner, P. N. Bartlett (1994). A Brief History of Electronic Noses, *Sensors and Actuators B*, 18, 210-211.

J. W. Gardner, P. N. Bartlett (1999). *Electronic Noses*, (1ª ed.). New York, USA: Bookcraft.

Lisa A. Theisen, Stephen J. Martin (2004). A Model for the Quartz Crystal Microbalance Frequency Response to Wetting Characteristics of Corrugated Surfaces. *Anal. Chem.* 76, 796-804.

Nakamoto T., Nakamura K., Moriizumi T. Study of Oscillator-Circuit Behavior for QCM Gas Sensor (1996). *IEEE Ultrasonics Symposium*, 351-354.

Pi-Guey Su, Tsao-Yun Chuang (2017). Simple and rapid differentiation of toxic gases using a quartz crystal microbalance sensor array coupled with principal component analysis. *Sensors and Actuators A* 263 1-7.

Severino Muñoz, Takamichi Nakamoto, Toyosaka Moriizumi (1999). Study of transient response of QCM odor/gas sensors coated with calixarene LB films. *T. IEE Japan*, Vol. 119-E, No. 8/9.

Speller Nicholas C., Siraj Noureen, McCarter Kevin S., Vaughan Stephanie (2017). QCM Virtual Sensor Array: Vapor Identification and Molecular Weight Approximation. *Sensor and Actuators B* 246 952-960.

Stehrer B. P., Schwödiauer Bauer S., Graz I.M., Pollheimer P.D., Gruber H.J. (2010). High Frequency QCM based sensor system for sensitive detection of dissolved analytes. *Procedia Engineering* 5 835-837.

# 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<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

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

International Identification of Science – Techonology an Innovation.

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

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

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

ID 3<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3<sup>er</sup> 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 Innovación Sistemática. 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**

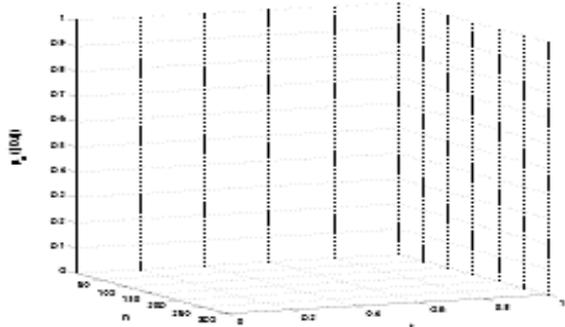
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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 Título secuencial.

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

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

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.

## **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 Innovación Sistemática 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 Innovación Sistemática 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 Taiwan 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-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista de Innovación Sistemática, 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)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

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

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **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**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán. Tel: +2 1 55 6159 2296, +2 1 55 1260 0355, +2 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

## **ECORFAN®**

### **Editor en Jefe**

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

### **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® Taiwan), [sponsorships@ecorfan.org](mailto: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](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

### **Oficinas de Gestión**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

# Revista de Innovación Sistemática

“Implementación de hornos ladrilleros en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, para reducir la huella ecológica”

**REYES-BARRAGÁN, José Luis, CARO-BECERRA, Juan Luis, ROBLES-CASOLCO, Said y RODRÍGUEZ-DÍAZ, Roberto Ademar**

*Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara*

*Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero*

*Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco*

“Una comparación entre el método MOORA y CODAS bajo ambiente de Conjunto Pitagoreano Difuso”

**FLORES-RUVALCABA, Abbi Azalia, PÉREZ-DOMÍNGUEZ, Luis, GARCÍA-VILLALBA, Luz Angélica y ALMERAZ-DURÁN, Sara**

*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*

“La tecnología en la aeronáutica en pro de las energías renovables y de la Bio-Sustentabilidad”

**SANTANA-VÁZQUEZ, Olivia, LÓPEZ-MELENDEZ, J Jesús, ROSALES-OLIVARES, Jorge Enrique y REYNOSO-VILLANUEVA, Miriam**

*Universidad Aeronautica en Querétaro*

“Estudio del comportamiento de sensores de gas basados en resonadores de cristal de cuarzo para altas frecuencias”

**JIMÉNEZ-ARELLANO, Juan Jesús, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino y TORRES-MÉNDEZ, Sergio**

*Universidad Tecnológica de Puebla*

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*

*Instituto Tecnológico de Puebla*

