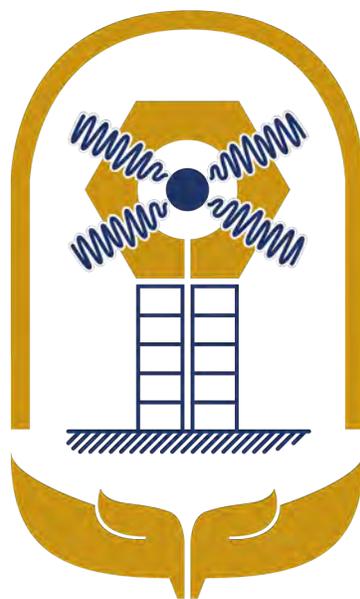


# Congreso de Ingeniería y sociedad

## Memorias

Del 9 al 11  
de marzo  
de 2022



**Congreso de Ingeniería  
y sociedad**  
**Memorias**

# DIRECTORIO

Dr. José de Jesús Williams

**Rector**

Dr. José Ángel Méndez Gamboa

**Director**

Dra. Maritza de Coss Gómez

**Secretario Académico**

M. I. A. José Humberto Osorio Rodríguez

**Secretario Administrativo**

Dr. Osvaldo Carvente Muñoz

**Jefe de la Unidad de Posgrado  
e Investigación**

Inés Riech

Nicolás Zaragoza

Roger Mendez

Bassam Alí

**Comité Asesor de Investigación**

# MENSAJE DE BIENVENIDA

El Congreso Ingeniería y Sociedad se organizó en la Universidad Autónoma de Yucatán en el marco del centenario de su creación y el 85° aniversario de la fundación de la Facultad de Ingeniería. Se llevó a cabo del 9 al 11 de marzo de 2022 con el objetivo de brindar un foro para la difusión de los avances en ingeniería, fomentar el intercambio de experiencias, la consolidación de grupos colegiados de investigación con participación nacional e internacional y la formación de jóvenes investigadores. Las actividades se realizaron en formato híbrido, presencial y virtual.

Se presentaron en total 59 ponencias orales distribuidas en las siguientes áreas de la ingeniería: Ambiental (12), Construcción (8), Energías Renovables (14), Estructuras (7), Física (11) y Mecatrónica (7). Por cada una de estas temáticas, se presentó una Conferencia Magistral a cargo de un especialista del área. Asimismo, reconociendo la importancia de los egresados en las diferentes áreas en que se desarrollan, 6 de nuestros egresados tuvieron un espacio en el congreso para compartir sus experiencias profesionales a la comunidad. Se dedicó una sección especial a la discusión de problemas regionales relacionados con la ingeniería. Para ello se invitaron a 5 representantes de empresas y gobierno del estado, los cuales impartieron pláticas para dar a conocer sus problemáticas y crear la sinergia entre gobierno, empresa y academia en la búsqueda de soluciones.

En el marco del congreso se impartieron 5 talleres, donde se registraron 119 participantes. De estos talleres, 4 se realizaron en modalidad presencial y 1 virtual. Los trabajos presentados en las ponencias orales contaron con autores adscritos a las siguientes instituciones:

Universidad Autónoma de Yucatán  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados, CINVESTAV  
Hochschule RheinMain, Wiesbaden, Alemania  
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM  
Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera  
Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile, Chile  
Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, UASLP  
Universidad Veracruzana Región Coatzacoalcos  
Instituto Tecnológico de La Laguna, Coahuila  
Universidad Autónoma de Campeche  
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
Universidad Tecnológica Metropolitana  
Instituto Politécnico Nacional  
Universidad Iberoamericana Puebla  
The University of Western Ontario, Canadá  
Universidad de Guanajuato  
Instituto Tecnológico Superior de Calkini  
Tecnológico Nacional de México, Campus Progreso  
Department of Physics and Engineering, Westmont College, CA, USA.

# COMITÉ ORGANIZADOR



**Oswaldo Carvente, Nicolás  
Zaragoza, Inés Riech, Basam Alí,  
y Roger Mendez**

# EQUIPO DE APOYO



**Adrián Rodríguez, Álvaro Acosta, Roger Pech, Osvaldo Carvente, Flor Romero, Nicolás Zaragoza, Inés Riech, Basam Alí, y Roger Mendez**

# REPRESENTANTES DE AGRUPACIONES ESTUDIANTILES



**4ta fila: César Chan, Marco López, Miguel Novelo, Elías Garrido. 3era fila: Gerado Jimenez, Zahí Córdoba, Ricardo Burgos, Rafael Raules, Aaron Gutiérrez. 2da fila: Joel Francisco, Efraín Hoil, Iván Salazar, David Cuevas, Jennifer, César Cerón. 1era fila: Carlos Cámara, Flor Romero, Felipe Pereira, y Roger Pech.**

# CONTENIDO

<b>CONFERENCIAS MAGISTRALES</b>	<b>1</b>
<b>SESIÓN DE EGRESADOS</b>	<b>8</b>
<b>PROBLEMAS REGIONALES</b>	<b>15</b>
<b>PONENCIAS ORALES</b>	<b>17</b>
<b>TALLERES</b>	<b>139</b>
<b>EVENTO CULTURAL</b>	<b>145</b>
<b>GALERÍA</b>	<b>147</b>



# CONFERENCIAS MAGISTRALES

# CONFERENCIA MAGISTRAL CONSTRUCCIÓN



**Dr. Danny Lobos**

**“Experiencias académicas internacionales. Desde pregrado al Master BIM”**

## **Semblanza**

PhD de la Bauhaus de Alemania, PostDoc Bauhaus y PostDoc UC/UBB, Arquitecto, ex profesor PUC Chile. Asesor de Gobierno en temas BIM y BPS. Investigador Fondecyt, tiene 10 publicaciones indexadas WOS-Scopus. Es actualmente: académico UTEM, creador Magister BIM y Diplomado BIM Avanzado, creador de las empresas BIM EXPERT y BIM Chile, Master BIM AEC. Fundador del Colectivo Bauhaus100. Past President Comité BIM Colegio de Arquitectos de Chile y del IBPSA Chile.

# CONFERENCIA MAGISTRAL AMBIENTAL



**Dra. Pilar Tello Espinoza**

## “Análisis de la situación del manejo de residuos en México”

### Semblanza

La doctora Pilar Tello Espinoza, es ingeniera Ambiental con maestría y doctorado en Ingeniería ambiental en la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, especialista en Manejo de residuos. Cuenta con 30 años de experiencia en manejo de residuos sólidos urbanos, especiales y peligrosos. Dirige proyectos de nacionales e internacionales en materia de Análisis de información regional, como la Evaluación regional de residuos de América latina y el caribe realizada con el BID y OPS ; ha elaborado el Informe de 7 países de agua y saneamiento de establecimientos de salud de la OPS, también a dirigido proyectos de gestión e innovación tecnológica en residuos sólidos urbanos y de manejo especial, ha participado en la elaboración de leyes, reglamentos y otros instrumentos legales en materia de residuos a nivel de América Latina y el Caribe. Ha publicado 7 capítulos de libros además de artículos para revistas y congresos. Ha recibido varios premios y reconocimientos internacionales por su destacada trayectoria en el campo de los residuos. Actualmente es miembro del Environmental determinants of health Technical advisory Group (Grupo de Asesores técnicos en Determinantes ambientales de la salud) (TAG) de la Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS, Gerente General de HP Asesoría ambiental SA de CV, y presidente en la Fundación 2IA.

# CONFERENCIA MAGISTRAL

## MECATRÓNICA



**Dra. Farah I. Corona-Strauss**

### “Engineering meets Neuroscience”

#### Semblanza

Nació en la Ciudad de México. Estudió ingeniería biomédica en la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, maestría en ciencias en la Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, y doctorado en Medicina Teórica en la Universidad del Sarre, Alemania.

Fué ingeniera de desarrollo en Innovamédica S.A. de C.V. de 2002 a 2004. En la misma empresa se desempeñó como jefa del Departamento de Ingeniería de 2004 a 2006. De 2002 a 2006 también fue docente del Programa de Ingeniería Biomédica de la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México. De 2006 a 2010, fué gerente de ingeniería en el Centro de Investigación en Trastornos de la Comunicación Médica en la Universidad Hospital del Sarre.

Co-inventora de patentes internacionales y autora de múltiples publicaciones internacionales de investigación científica. Participa también como investigadora en el programa de ingeniería biomédica de la Universidad de Ciencias Aplicadas del Sarre. Desde 2007 es jefa del Minds-can Lab en la Systems Neuroscience & Neurotechnology Unit-SNNU (Unidad de Neurociencia y Neurotecnología de Sistemas) en Homburg / Saarbruecken, Alemania. Sus áreas de interés incluyen el procesamiento y la percepción auditiva, potenciales evocados, así como la creación de prototipos de dispositivos de neurodiagnóstico.

# CONFERENCIA MAGISTRAL

## ESTRUCTURAS



**Dr. Armador Terán Gilmore**

### **“La Necesidad de un Ejercicio Humanista de la Ingeniería: El caso del Diseño Sismorresistente”**

#### **Semblanza**

Obtuvo el grado de licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), y los grados de Maestro y Doctor en Ingeniería en las Universidades de Texas en Austin y California en Berkeley, respectivamente. Ha sido profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma Metropolitana desde 1989, y profesor invitado en varios posgrados nacionales e internacionales. Ha formado parte de 3 mesas directivas de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (1999-2002, 2004-2005, 2020-2021) y de 2 mesas directivas de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (2003-2004, 2009-2010). Fue jefe del Área de Estructuras (1997-1999) y, posteriormente, del Área de Desarrollo Tecnológico y Sustentabilidad en Ingeniería Civil (2010-2015) de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Ha sido autor de más de 250 publicaciones en el ámbito de la ingeniería estructural; dictado más de 300 presentaciones, conferencias, pláticas y cursos en México y el extranjero. Ha formado parte de varios comités técnicos, incluido el responsable de elaborar las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo vigentes en la Ciudad de México. Ha asesorado a varios despachos de cálculo estructural en proyectos de rehabilitación sísmica; el uso de sistemas de control; y el diseño y revisión del proyecto estructural de varios edificios de gran altura construidos en la Ciudad de México. Sus principales áreas de investigación y desarrollo son la evaluación y rehabilitación sísmica, los sistemas pasivos de control de la respuesta sísmica, el análisis dinámico no lineal de sistemas estructurales, y el planteamiento de metodologías basadas en desempeño

# CONFERENCIA MAGISTRAL

## FÍSICA



**Dr. Frank Zimmermann**

Chair of the American Physical Society's Division of the  
Physics of Beams (APS DPB)

## **“Battling the clouds: an introduction of the electron cloud effects in circular colliders”**

### **Semblanza**

Frank Zimmermann has been author and co-author of a textbook, an accelerator handbook, and more than 500 articles in journals or conference proceedings.

Frank has a leading role in enforcing the Mexican-CERN collaboration in accelerator physics, which the UADY is a partner institution.

SINCE 1999, HE HAS CONTRIBUTED TO THE DESIGN OF DIFFERENT PARTICLES ACCELERATORS, LHC, SPS, CLIC, ETC, IN 2011, CO-PROPOSED A CIRCULAR HIGGS FACTORY.

He is a Senior scientist in the CERN Beams (BE) Department and, since 2014. He is the deputy leader of the Future Circular Collider study.

Also, He is the Lead Editor of the journal Physical Review Accelerators and Beams since 2007. Presently, he is the Chair of the American Physical Society's Division of the Physics of Beams (APSDPB).

HE WORKED AT SLAC (1993-98) AND AT DESY (1990-93).

# CONFERENCIA MAGISTRAL

## ENERGÍAS RENOVABLES



**M. en C. Odón de Buen Rodríguez**

Director General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

**“Buenas prácticas y tecnología, las claves para la eficiencia energética.”**

### **Semblanza**

Es Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad Nacional Autónoma de México y tiene Maestría en Energía y Recursos por la Universidad de California en Berkeley.

Su experiencia laboral incluye haber colaborado para el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la Comisión Federal de Electricidad y el Laboratorio Lawrence de Berkeley.

De 1995 a 2003 fue Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía de México (CONAE).

De 2003 hasta finales de 2012 fue consultor para organismos nacionales e internacionales en temas de ahorro de energía y energías renovables en México y Centro y Sud-América.

Fue miembro fundador de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), de la Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación (AEAEE) y de la Red por la Transición Energética, además de haber sido miembro del consejo de CLASP, una organización no gubernamental dedicada a la promoción de normas y etiquetado de eficiencia energética de equipos.

De 2014 a 2020 fue miembro del Consejo de la Asamblea de la Comisión Electrotécnica Internacional. Actualmente es Director General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.



# SESIÓN DE EGRESADOS

# SESIÓN DE EGRESADOS

## ESTRUCTURAS



**MI Emmanuel Solís Alcocer**

**“Experiencias en el diseño estructural de un edificio de seis niveles: del aula a la práctica profesional”**

### **Resumen curricular**

Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma de Yucatán (2010). Maestro en Ingeniería (opción en Estructuras) por la Universidad Autónoma de Yucatán (2014). Profesor de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán desde el 2014. Mas de 10 años de experiencia en el diseño de estructuras de concreto reforzado, acero y mampostería.

# SESIÓN DE EGRESADOS

## FÍSICA



**Dr. Eduardo Flores Cuevas**

### **“Nanomateriales para la generación de energía utilizando luz y calor”**

#### **Resumen curricular**

Eduardo Flores Cuevas, estudió la licenciatura en Ingeniería Física en la Universidad Autónoma de Yucatán, México, su maestría en Energías y Combustibles para el Futuro y su doctorado en Física de Materiales los realizó en la Universidad Autónoma de Madrid, España. El Dr. Eduardo es Investigador del Sistema Nacional de Investigadores con la distinción del nivel 1 y actualmente su investigación se enfoca en la búsqueda de materiales de interés para la conversión y acumulación de energía. Como resultado de estas investigaciones, ha podido participar en la publicación de 35 artículos en revistas internacionales alcanzando más de 750 citas y un índice  $h=15$ . Adicionalmente, me ha involucrado en actividades docentes y de formación de recursos humanos tanto a nivel de licenciatura y maestría.

# SESIÓN DE EGRESADOS

## ENERGÍAS RENOVABLES



**Dr. Óscar May Tzuc**

### “Entendiendo las energías renovables desde la inteligencia artificial”

#### Resumen curricular

El Dr. Oscar de Jesús May Tzuc es profesor investigador de tiempo completo adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche. Ingeniero Físico de formación, adquirió el grado de Doctorado en Ingeniería con especialidad en Energías Renovables por parte de la Universidad Autónoma de Yucatán en 2020. Desde enero de 2021 forma parte del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), como investigador Nivel I. Es autor de autor de 22 artículos de investigación JCR y capítulos de libros publicados en editoriales de prestigio como Elsevier, Springer y American Institute of Physics. También es revisor internacional de trabajos de investigación para revistas de alto factor de impacto como Measurement, Journal of Cleaner Production, Applied Thermal Engineering, Nuclear Engineering and Technology, entre otros. Entre sus principales líneas de investigación se encuentran: inteligencia artificial aplicada, modelación y optimización de procesos energéticos, estudios de eficiencia energética en edificaciones y aplicaciones de calor solar de proceso industrial. Actualmente forma de proyectos financiados para la producción de alimentos marinos y desalación de agua mediante tecnología solar así como la evaluación de biomateriales para confort térmico.

# SESIÓN DE EGRESADOS

## CONSTRUCCIÓN



**Dr. Carlos Arturo Osorio Sandoval**

### **“Digitalizando información de seguridad en la construcción para su uso en herramientas BIM”**

#### **Resumen curricular**

Carlos Arturo Osorio Sandoval es ingeniero civil egresado de la UADY en 2012. Realizó la maestría en ingeniería opción construcción en la misma institución en el periodo 2013-2015 con la tesis titulada “Determinación del impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda”. Carlos obtuvo el doctorado en ingeniería civil en la Universidad de Nottingham, Reino Unido, en 2020 con la tesis titulada “BIM-based construction simulation modelling”. Posteriormente, se desempeñó como investigador asociado en la facultad de ingeniería mecánica, aeroespacial y civil de la Universidad de Manchester con el proyecto “BIM Safety Risk Library for Construction”, acreedor al premio Software de Seguridad del año en los Construction Computing Awards 2021. Al mismo tiempo, fue investigador asociado en la Alliance Manchester Business School en el proyecto “Development of a software tool to analyse & improve safety culture in high-risk working environments”. Actualmente se desempeña como profesor-investigador en el departamento de ingeniería civil de la Universidad de Nottingham en Reino Unido. La investigación de Carlos se enfoca en el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías de la información para resolver problemas comunes de administración de la construcción. Sus intereses incluyen building information modelling, simulación, tecnologías de videojuegos y realidad mixta.

# SESIÓN DE EGRESADOS

## AMBIENTAL



**Dra. Ileana Cerón Palma**

### “Mi experiencia profesional en Ingeniería Ambiental”

#### Resumen curricular

Socio fundador de la empresa inedit que ha liderado la certificación de edificios, barrios y espacios públicos sustentables a través de indicadores locales y/o certificaciones internacionales. Ha sido consultora para la implementación de laboratorios de innovación en diversas Ciudades de Latinoamérica. Fue responsable del área de proyectos y gestión urbana del IMPLAN Mérida donde tuvo a su cargo proyectos de movilidad urbana, gestión de espacios públicos así como iniciativas de cooperación internacional con ONU-Hábitat y la Unión Europea.

Asesora a los gobiernos regionales, así como a corporaciones multinacionales sobre estrategia de sostenibilidad e implementación de la innovación en sus proyectos.

#### Áreas de Investigación:

- Desarrollo Sostenible
- Integrado Economía circular
- Eco-Arquitectura, Diseño Urbano,
- Planificación Urbana y Comunitaria
- Planeación estratégica
- Gestión de proyectos sostenibles
- Calidad Ambiental Interior
- Eficiencia Energética

#### Publicaciones en revistas:

- Habitat international
- Journal of urban technology
- Land use policy
- Journal of the science of food and agricultura

#### Proyectos en curso:

Monitoreo del desempeño ambiental de viviendas ecocasa. GIZ-SHF-KWF  
Desarrollo de aplicación para residuos RAE. PNUD-GIZ  
Estrategia nodos productivos. IDEA. Gobierno del Estado de Guanajuato.

# SESIÓN DE EGRESADOS

## MECATRÓNICA



**Dr. Juan José Espadas Escalante**

**“Experimentación virtual en el desarrollo del producto: ingeniería asistida por computadora”**

### **Resumen curricular**

Ingeniero en Mecatrónica, orgullosamente egresado de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), México, maestro en Ciencias en Materiales Poliméricos por el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) y doctor en Mecánica de Sólidos por la Universidad de Uppsala, Suecia. Su trayectoria profesional comenzó con la docencia a nivel medio superior, en la UADY, donde impartió asignaturas de matemáticas. Como ingeniero, su carrera comienza en la industria automotriz donde trabajó como ingeniero de desarrollo realizando simulaciones para la compañía Ford de México, en la Ciudad de México. Posteriormente fue consultor realizando actividades similares para la industria automotriz en Suecia y actualmente se desempeña en investigación y desarrollo de producto realizando simulaciones para el desarrollo de transmisiones para vehículos eléctricos en Scania, también en Suecia. Como investigador, también ha publicado artículos científicos en revistas especializadas en temas de mecánica estructural y computacional en donde ha tenido el privilegio de colaborar y publicar con instituciones como la NASA.



# PROBLEMAS REGIONALES

## **Energki Robotics**

**Ing. Luis Melchor Baeza**

**Plata**

## **Grupo Porcícola Mexicano**

**Ing. Gerardo Villanueva Basulto**

## **SEFOET (Secretaría de Fomento Económico y Trabajo)**

**Ing. Raúl Humberto Guillermo**

**Dimas**

## **Cerveceria Yucateca**

**Ing. Francisco Santos Castro**

## **Constructora Proser**

**Lic. Alejandra Ancona Bates**

**Directora General de la**

**Empresa Proser**

# PONENCIAS ORALES

AULA MAGNA  
ING. JOAQUIN ANCONA ALBERTOS  
RAMPA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIAS

**Ponencias Orales**

**AMBIENTAL**

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

## 9 – 11 de marzo de 2022

### Mérida, Yucatán, México.

## Preparación de resúmenes para el Congreso de Ingeniería y sociedad, 2022

### RESUMEN

## La aplicación de un triple tratamiento Fenton incrementa la remoción de contaminantes persistentes y reduce la toxicidad de lixiviados del relleno sanitario de Mérida, Yucatán

Ana M. Escalante-Mañé<sup>1</sup>, Roger I. Méndez\_Novelo<sup>1</sup>, Germán Giacomán-Vallejos<sup>1</sup>, y Carlos A. Puch Hau<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. mmagne21@yahoo.com.mx

<sup>2</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México

Los lixiviados de los rellenos sanitarios son una mezcla compleja de contaminantes recalcitrantes y altamente tóxicos que constituyen un riesgo de contaminación para los cuerpos de agua y el suelo cuando no se aplica un tratamiento adecuado. En la Península de Yucatán se encuentra uno de los acuíferos kársticos más extensos del planeta el cual es amenazado por los lixiviados que se generan y acumulan en las lagunas de evaporación del relleno sanitario de la ciudad de Mérida. Por ello, es necesario aplicar un tratamiento costo-efectivo que reduzca el volumen y peligrosidad de estas aguas residuales (Escalante-Mañé *et al.* 2021). Entre las diferentes alternativas de tratamiento, el proceso Fenton es particularmente adecuado para lixiviados con índices de biodegradabilidad inferiores a 0.02. Sin embargo, la mineralización incompleta puede dar origen a subproductos de la oxidación que pueden ser más tóxicos que los compuestos originales (Dantas *et al.* 2020). Una estrategia para incrementar la eficiencia del proceso Fenton es la adición de los reactivos en múltiples etapas. Se presentan los resultados de la aplicación de un tratamiento Fenton en tres etapas a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida. La eficiencia del tratamiento fue evaluada en términos de variables fisicoquímicas, concentraciones de metales, toxicidad aguda en *Daphnia magna* e identificación de compuestos orgánicos. La formación de los lodos producidos por etapa del tratamiento y un análisis económico preliminar fueron también incluidos.

**Objetivos:** Incrementar la remoción de contaminantes persistentes a través de un tratamiento Fenton en tres etapas y evaluar la eficiencia de la detoxificación utilizando al crustáceo de agua dulce *Daphnia magna*.

**Metodología:** Se aplicaron tres etapas consecutivas del proceso Fenton a los lixiviados de relleno sanitario colectados en las lagunas de evaporación. El volumen de lodo generado por etapa fue medido después de 60 minutos de sedimentación. La caracterización fisicoquímica se realizó de acuerdo con los métodos estándar

para el examen de agua y aguas residuales. La determinación de los metales se realizó mediante la técnica de espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado inductivamente. La identificación de compuestos orgánicos se efectuó mediante cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas. Las pruebas de toxicidad aguda en *Daphnia magna* para la determinación de la concentración efectiva media se efectuó de acuerdo con las instrucciones del fabricante del kit comercial.

**Resultados:** Según sus características fisicoquímicas como bajo índice de biodegradabilidad, color oscuro y alta concentración de nitrógeno amoniacal, el lixiviado crudo correspondió a un lixiviado estabilizado. Las tres etapas sucesivas de la oxidación Fenton redujeron gradualmente la carga orgánica: después de la primera etapa, la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) se redujo un 76%. Este porcentaje de remoción coincide por lo reportado por San Pedro *et al.* (2015) con una sola etapa de tratamiento. La segunda y la tercera etapa de tratamiento aportaron un 9% y 4% de remoción, respectivamente. Desde la perspectiva económica, las tres etapas aplicadas del tratamiento Fenton no implicaron triplicar el costo del proceso. El consumo de reactivos incrementó únicamente un 40% debido a que está en función de la DQO residual, al disminuir esta última un 76% en la primera etapa de tratamiento, la cantidad de reactivos requeridos para la segunda y tercera etapa fue sustancialmente menor. Con respecto a la generación de lodos, que es también un factor que encarece el proceso, se encontró que los lodos generados en la segunda y tercera etapa fueron de 3% y 2.5%, respectivamente. Comparado con el 40% que se produce en la primera etapa este incremento representó un 5.5% adicional.

Los metales como aluminio, arsénico, cromo, níquel y zinc y los compuestos orgánicos se redujeron de forma sustancial en el efluente tratado. La toxicidad aguda en *Daphnia magna* se redujo un 64%

**Conclusiones:** La aplicación tratamiento Fenton en tres etapas redujo las concentraciones de contaminantes persistentes y toxicidad. La reducción del 88% de la DQO, 64% en toxicidad aguda, así como la reducción de la concentración de metales y compuestos orgánicos en el efluente tratado apuntan que la aplicación del tratamiento Fenton puede ser una estrategia efectiva para reducir la peligrosidad del lixiviado del relleno sanitario contribuyendo así a la protección del acuífero y la salud pública.

**Reconocimientos:** Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACyT-México) por la beca (713025) a Ana M. Escalante-Mañé

## Referencias

- Dantas, E.R.; Silva, E.J.; Lopes, W.S.; do Nascimento, M.R.; Leite, V.D.; de Sousa, J.T.; Environ. Technol. 2020, 41, 2637.
- Escalante-Mañé, A.M.; Hernández-Nuñez, E.; Méndez-Novelo, R.I.; Giacomán-Vallejos G.; González-Sánchez, A.A.; Quintanilla-Mena, M.A.; Puch-Hau, C.; Bull. Environ.Contam. Toxicol. 2021, 1
- San Pedro-Cedillo, L.; Méndez-Novelo, R.I.; Rojas-Valencia, M.N.; Barceló-Quintal, M; Castillo-Borges, E. Sauri-Riancho, M.R.; Marrufo-Gómez, J.M.; Rev. Mex. Ing. Quím. 2015, 14, 745.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

## 9 – 11 de marzo de 2022

### Mérida, Yucatán, México.

## Efectos del cambio climático en balance hídrico en el acuífero noroeste de Yucatán

Beatriz González<sup>1</sup>, Roger Pacheco Castro<sup>1</sup> y Paulo Salles Afonso de Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Sisal Yucatán 97835, México. [bgonzalezr@iingen.unam.mx](mailto:bgonzalezr@iingen.unam.mx)

### RESUMEN

El Estado de Yucatán posee un acuífero kárstico cuya recarga depende únicamente de la precipitación. Su naturaleza kárstica hace que el acuífero sea altamente vulnerable a la contaminación, intrusión salina y a las extracciones. La importancia de estudiar el balance hídrico en el noroeste del acuífero de Yucatán radica en el hecho de que la cantidad de agua dulce es limitada y es la única fuente de agua para la población y el turismo. El crecimiento antropogénico, el turismo, así como el cambio climático, pueden acabar con este recurso. En consecuencia, se desea determinar los efectos del cambio climático sobre el balance del agua dulce en el noroeste del acuífero de Yucatán. El área de estudio es la parte noroeste del acuífero de Yucatán comprendida entre Sisal-Hunucmá-Sierra Papacal-Chuburná Puerto. Posee un acuífero libre excepto en la costa donde se encuentra confinado por una capa que se le conoce localmente como caliche.

El objetivo general es determinar los efectos del cambio climático sobre el balance hídrico en el noroeste del acuífero de Yucatán en el área comprendida entre Sisal-Hunucmá-Sierra Papacal-Chuburná Puerto. Mediante un modelo computacional usando SEAWAT, para modelar la recarga, flujo y transporte en el acuífero de Yucatán en el área de estudio. Se discretizó el área con una malla de 99 columnas y 89 renglones de 500 x 500 m y 27 capas donde el ancho de la primera capa depende de la topografía, la penúltima es de 13 m, la última de 20 m y las intermedias de 1 m.

Actualmente se está calibrando y validando el modelo numérico en condiciones actuales y que servirán como punto de comparación para los escenarios de cambio climático. Se utilizarán escenarios de cambio climático para los años 2040 y 2100 para simular las condiciones de frontera del modelo y determinar los efectos del cambio climático en el balance hídrico.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**EFFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA  
EN LA DISIPACIÓN DE PLAGUICIDAS EN LA BIOMEZCLA DE UNA  
CAMA BIOLÓGICA**

**Edgar A. Córdova Méndez<sup>1</sup>, Virgilio R. Góngora Echeverría, y  
Carmen Ponce-Caballero<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. garym\_1288@yahoo.com.mx

**RESUMEN**

El uso de plaguicidas en la agricultura genera como consecuencia efluentes derivados de su empleo y de la limpieza del equipo empleado para su aplicación. Tales efluentes pueden contaminar corrientes de aguas superficiales y subterráneas al no ser dispuestos adecuadamente. Ante esta necesidad surgió la tecnología de camas biológicas para la disposición y degradación de estos contaminantes. Estas son empleadas en zonas de cultivo, comúnmente instaladas a la intemperie, lo que las hace vulnerables a estragos del clima como anegación por lluvia, falta de humedad, e intenso calor o frío.

De esta forma, se planteó como objetivo evaluar el efecto de la variación de temperatura y humedad sobre la disipación de plaguicidas en la biomezcla de una cama biológica a nivel microcosmos. Para tal propósito se realizó un experimento de dos etapas, donde primero se evaluó una cinética de disipación de cinco plaguicidas a condiciones consideradas ideales y en la segunda etapa se sometió la biomezcla a diferentes condiciones de humedad y temperatura.

Las unidades experimentales fueron recipientes de vidrio con 2.24 g de biomezcla (rastroy de maíz y suelo agrícola 50:50 v:v) a las que se les agregó una solución de plaguicidas (carbofurán, atrazina, 2,4-D, diazinón, glifosato); en la segunda etapa la humedad se ajustó a 20, 40, 60, 80 y 100 % de su capacidad de retención de agua y se sometieron a temperaturas de 5, 15, 25, 35 y 45 °C.

A partir de los resultados de la primera etapa se ajustó la duración de la segunda a 18 días, se cuantificó el grado de disipación de los plaguicidas y se determinó por medio de análisis estadístico que la influencia principal sobre la disipación es la temperatura ( $P < 0.05$ ). Los análisis indicaron que no existen efectos significativos como consecuencia del nivel de humedad ( $P > 0.05$ ).

Los autores agradecen al CONACyT por el financiamiento para la realización de este estudio y al personal del laboratorio de Ing. Ambiental de la FIUADY.

## Referencias

- Antonious, G.F. (2012). On-farm bioremediation of dimethazone and trifluralin residues in runoff water from an agricultural field. *J Environ Sci Heal B*, 47, 608–621.
- Karanasios, E.; Karpouzas, D.E.; Tsiropoulos, N.G. 2012. Key parameters and practices controlling pesticide degradation efficiency of biobed substrates. *J Environ Sci Heal B*, 47, 589–598.
- Castillo, M.d.P., Torstensson, L., Stenström, J. (2008). Biobeds for environmental protection from pesticide use: A review. *“Journal of Agricultural and Food Chemistry”* 56, 6206–6219.
- Castrejón-Godínez, M. L.; Sánchez-Salinas, E.; Ortiz-Hernández, M.L. (2008). Crecimiento de bacterias aisladas de suelos agrícolas sobre plaguicidas organofosforados como sustrato. En *Memorias de la Red de Ciencias Ambientales, Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. Catálogo de Plaguicidas, Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST), México. 2004.*
- de Wilde, T.; Spanoghe, P.; Debaer, C.; Ryckeboer, J.; Springael, D.; Jaeken, P. (2007). Overview of on-farm bioremediation systems to reduce the occurrence of point source contamination. *“Pest Management Science”*, 63, 111–128
- Fogg, P.; Boxall, A.B.A.; Walker, A. (2001) Biobeds: the development and evaluation of a biological system for the disposal of pesticide waste and washings. “Ministry of Agriculture Fisheries and Food Project: PL0543”. UK: Cranfield Centre for EcoChemistry.
- García-Calvo, E.; Fernández-Alba, A.R.; Rodríguez, R. (1998). Alternativas técnicas para la eliminación de plaguicidas en el medio ambiente. En *IV Seminario Internacional sobre Residuos de Plaguicidas, Instituto de Estudios Almerienses, Valverde-García, A. (Ed.). Almería, España. Pág. 141-155.*

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**Estudio del impacto sobre el agua subterránea por las descargas de aguas residuales porcícolas (con y sin tratamiento) utilizadas como agua de riego agrícola**

**Germán Giácoman Vallejos<sup>1</sup>, Carlos Quintal Franco<sup>1</sup>, Maricela IX-Chel Vega de Lille<sup>1</sup>, Roger Iván Méndez Novelo<sup>1</sup> y Carmen Ponce Caballero<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. [giacomana@correo.uady.mx](mailto:giacomana@correo.uady.mx)

## RESUMEN

### Antecedentes

La alta demanda a nivel internacional del consumo de carne de cerdo ha convertido al sector porcícola en uno de los de mayor crecimiento en el mundo. A nivel mundial México se encuentra entre uno de los 20 mayores productores de carne de cerdo. A nivel Latinoamericano Brasil ocupa el primer lugar seguido de México en el segundo lugar. A partir del año 2012, México ha registrado una tasa de crecimiento anual de 3.1% en la producción de cerdo, produciendo 1,441,850 ton y 1,600,444 ton en el año 2017 y 2019 respectivamente (SAGARPA, 2017). La producción en México está concentrada en unos pocos estados, siendo los mayores productores los Estados de: Jalisco (342,104 ton), Sonora (308,105 ton), Puebla (171,350 ton), Yucatán (147,064 ton) Veracruz (142,060 ton) y Guanajuato (123,921 ton), los cuales concentran el 77.14 % de la producción nacional (SIAP, 2020).

En este contexto, este proyecto de investigación tiene como objetivo realizar la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las granjas del sector porcícola en los estados de Sonora, Jalisco y Yucatán, con el fin de obtener información que permita emitir recomendaciones en base al diagnóstico realizado en cada PTAR para la mejora de los procesos de tratamiento de las efluentes porcícolas, así como estudiar el impacto en la calidad del agua en el acuífero que puede ser ocasionado por el reúso del agua tratada para riego agrícola.

## Metodología

En la primera etapa del proyecto se planteó establecer el estado del arte en materia del tratamiento del agua residual de este sector productivo en base a encuestas e información que se está recabando de los mismos porcicultores y realizando visitas de inspección.

## Resultados

En la figura 1 se presenta los resultados obtenidos de una muestra de 251 granja en función al tipo de producción y donde se observa que existe una predominancia de granjas mega y medianas. En lo referente al tipo de procesos de tratamiento instalados en las granjas se puede mencionar que la mayoría de las granjas tienen instalados un sistema combinado de tratamiento primario y secundarios, consistente en un separador de sólidos gruesos y un biodigestor anaerobio.



Figura 1. Clasificación de las granjas según el tipo de producción y según el tipo de procesos de tratamientos instalados en ellas.

## Conclusiones

El 42% de las granjas porcicola registradas ante CONAGUA cuentan con un sistema de tratamiento consistente en un tratamiento primario y un tratamiento secundario biológico generalmente un biodigestor anaerobio. No cuenta con procesos de remoción de nutrientes.

## Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el FONDO SECTORIAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO SOBRE EL AGUA (CONAGUA-CONACYT) Proyecto: 309980.

## Referencias

SAGARPA (2017). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). Informe sobre la situación de los recursos genéticos pecuarios (RGP) de México.  
SIAP (2020) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Panorama Agroalimentario 2020 Edición, 2020.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**INESTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE BIO-H<sub>2</sub> DE RESIDUOS ALIMENTICIOS ASOCIADO A CAMBIOS EN LA COMUNIDAD MICROBIANA**

**Canto-Robertos Manuel<sup>1\*</sup>, Quintal-Franco Carlos<sup>1</sup>, Ponce-Caballero Carmen<sup>1</sup>, Vega-De Lille Marisela<sup>1</sup>, Moreno-Andrade Iván<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.

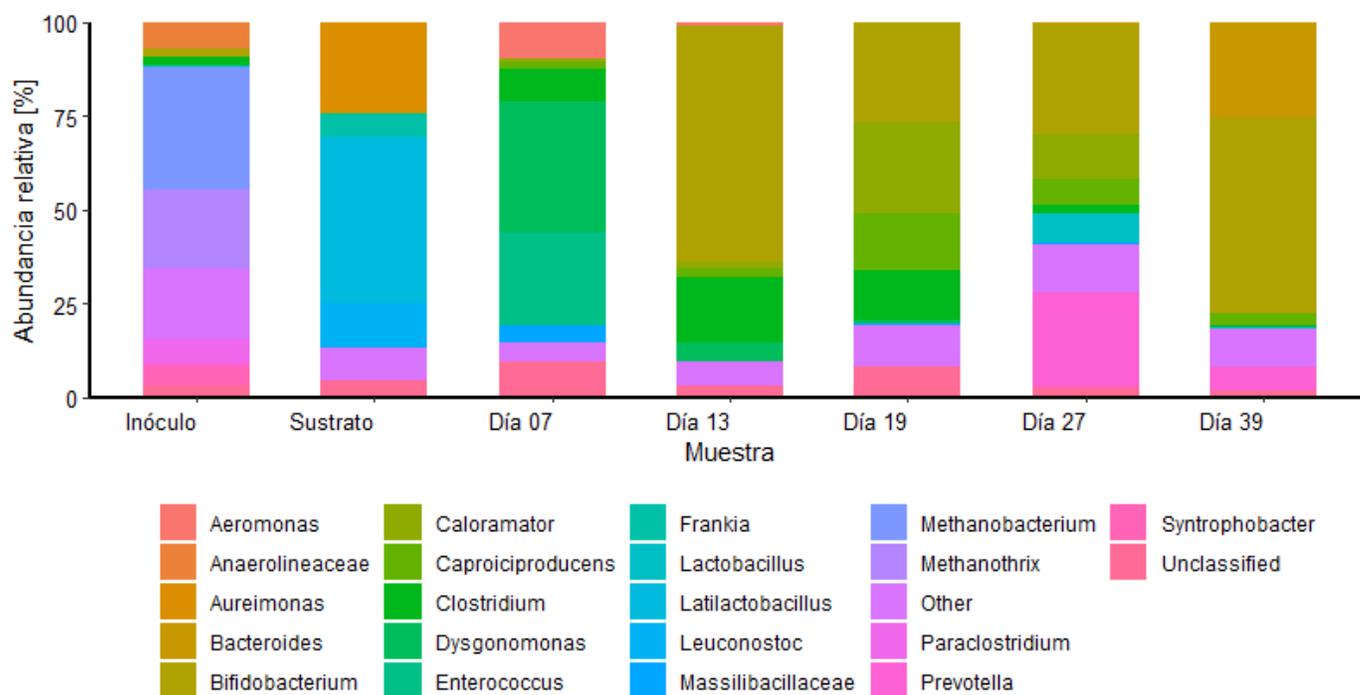
(E-mail: \*kanto.manuel@gmail.com; carlos.quintal@correo.uady.mx)

<sup>2</sup> Unidad Académica Juriquilla, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Querétaro, México (E-mail: imorenoa@iingen.unam.mx).

**Introducción.** La producción biológica de hidrógeno (Bio-H<sub>2</sub>) mediante fermentación oscura ha sido propuesta, por su versatilidad, como la forma más viable de utilizar sustratos complejos como los residuos alimenticios (RA). Desafortunadamente, el proceso puede ser afectado por cambios en la comunidad microbiana, ya que los microorganismos productores de H<sub>2</sub> podrían ser desplazados por bacterias homoacetogénicas, bacterias reductoras de sulfato, fermentadores propiónicos y bacterias del ácido láctico (LAB). La acción de ciertos microorganismos aún no queda del todo comprendida, ya que se ha reportado que la presencia de LAB pueden ser beneficiosas o perjudiciales para el desarrollo del proceso. El objetivo de este trabajo fue analizar la diversidad microbiana durante de la producción de biohidrógeno por fermentación oscura de residuos alimenticios para correlacionarla con las causas de inestabilidad al interior de un reactor.

**Metodología.** Muestras de biomasa fueron extraídas del residuo alimenticio, inóculo y del contenido de un reactor biológico anaerobio secuencial (ASBR), utilizado para la producción de H<sub>2</sub> por fermentación oscura. Las muestras fueron centrifugadas a 3500 rpm durante 15 min, para después remover el sobrenadante. La biomasa fue congelada y almacenada a -4 °C. El ADN fue extraído de acuerdo con las instrucciones del kit comercial PowerSoil® DNA. El análisis del ADN fue realizado por RTL Genomics (Lubbock, EUA). Las secuencias del gen 16S ARN fueron procesadas en R (versión 4.1) usando la paquetería DADA2 (versión 1.20.0) de acuerdo con la guía descrita por Callahan *et al* (2016). Se verificó la calidad de las lecturas directas (“forward reads”) e inversas (“reverse reads”) con el propósito de obtener lecturas con una media de calificación Q > 30. La asignación taxonómica de las variantes de secuencia de amplicones (ASV, por sus siglas en inglés) fue comparada con la base Genome Taxonomy Database (GTDB, edición 06-RS202, 27/04/2021).

**Resultados y Discusión.** A partir del día 15 de operación de la unidad ASBR, se observó un decaimiento de  $H_2$ , llegando a estabilizar con un bajo rendimiento de 1.29-3.18 mL· $H_2$ /g·SV hasta el final del experimento. La caracterización de la comunidad microbiana de la unidad ASBR se muestra en la Figura 1. Microorganismos productores de  $H_2$ , como *Clostridium*, *Prevotella*, *Caloramator* y *Bacteroides* fueron desplazados por LAB como *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* y *Enterococcus*. Esto resultó en el cambio de una fermentación acético/butírico a una fermentación de ácido láctico. La presencia de LAB en el sustrato posiblemente haya promovido el cambio de comunidad microbiana al desplazar a las productoras de  $H_2$ . Posiblemente las condiciones operativas promovieron el aumento de *Bifidobacterium*, género de LAB de mayor presencia al interior del reactor.



**Figura 1.** Abundancias relativas de la comunidad microbiana a nivel de género.

**Conclusiones.** Se observó una disminución constante en el rendimiento y composición de  $H_2$  en el biogás a largo plazo dentro en el sistema ASBR- $H_2$ . Los resultados del análisis de la comunidad microbiana mostraron que microorganismos productores de hidrógeno como *Clostridium*, *Prevotella*, *Caloramator* y *Bacteroides* fueron desplazados por *Bifidobacterium*. Esto resultó en la inhibición del reactor al desplazar a los productores de hidrógeno, quienes fueron limitados en la obtención de nutrientes.

**Agradecimientos.** Este proyecto es financiado por DGAPA-UNAM a través del proyecto PAPIIT IN102722. Manuel Canto agradece a CONACYT por la beca con CVU 572680.

### Referencias.

Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J. A., & Holmes, S. P. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature Methods*, 13(7), 581–583. <https://doi.org/10.1038/nmeth.3869>

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## EFECTO DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN LA TEMPERATURA SUPERFICIAL EN LA ZONA METROPOLITANA DE MÉRIDA, YUCATÁN

Marisela I. Vega De Lille, Juan M. Ortiz Cahun, Germán Giacomán-Vallejos, Carlos A. Quintal-Franco

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. marisela.vega@correo.uady.mx

### RESUMEN

En la última década, la Zona Metropolitana de Mérida (ZMM), Yucatán, ha experimentado un crecimiento urbano acelerado, lo cual es considerado como uno de los factores principales que originan el fenómeno de Isla de calor Urbana (ICU); fenómeno ambiental que ocurre cuando la temperatura de un área urbana es más alta que la percibida en sus alrededores. Como efecto de la urbanización, se originan cambios en la cobertura de suelo al pasar de áreas verdes a suelo urbanizado, conformado este último por planchas de concreto cuya exposición solar genera la acumulación de calor, limitando asimismo su disipación durante la noche.

Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la ICU en la ZMM analizando la Temperatura Superficial (TS) en comparación con el Municipio de Hunucmá (área rural), en el periodo 2005-2020. Para alcanzar dicho objetivo se procesaron imágenes satelitales, considerando los meses más calurosos del año (marzo-mayo), de los satélites Landsat 7 (L7) y Landsat 8 (L8) (Tabla 1), obtenidas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), empleando el programa QGIS. De esta manera se obtuvieron la capa de configuración urbana (CU) (Ahmed et al, 2013) y la capa de TS del periodo especificado (USG, 2016).

**Tabla 1.** Imágenes analizadas

Fechas	26/04/2005 (L7)	08/04/2010 (L7)	14/04/2015 (L8)	26/03/2020 (L8)
--------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Los resultados obtenidos de la capa de CU evidenciaron un incremento en el periodo estudiado del 21.69% y del 19.92% del área total urbanizada para la ZMM y Hunucmá, respectivamente; correspondiendo el máximo aumento en ambas zonas al periodo 2010-2015. Por otro lado, la superficie de suelos naturales (vegetación + suelo desnudo) tuvo una reducción del 24.47% para la ZMM y del 20.40% para Hunucmá con respecto al área total. Es importante mencionar que la reducción de suelos naturales en el Municipio de Hunucmá se da casi en su totalidad para el suelo desnudo, a diferencia de la ZMM, que sufre deforestación junto con disminución de suelo desnudo.

Con respecto a la TS, en el periodo comprendido entre 2005-2020 se observó un aumento de 6.41°C para la ZMM (Tabla 2); siendo el periodo 2010-2015 el de mayor incremento (3.78°C), coincidiendo con la máxima expansión de la mancha urbana. Por otro lado, para el Municipio de Hunucmá, considerando el periodo 2005-2020, existió un aumento de 6.37°C. Sin embargo, fue en particular del año 2015 a 2020 donde se observó un alza exponencial de 5.95°C (Tabla 2).

**Tabla 2.** TS (°C) promedio para la ZMM y el Municipio de Hunucmá e IICU (°C)

<b>Año</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>ZMM</b>	30.74 ± 1.05	30.16 ± 1.21	33.94 ± 1.31	37.15 ± 1.40
<b>Hunucmá</b>	30.17 ± 0.93	29.04 ± 0.92	30.59 ± 0.88	36.54 ± 1.08
<b>IICU</b>	0.57	1.11	3.35	0.61

Finalmente, la presencia del fenómeno de ICU en la ZMM se confirmó a través del índice de ICU (IICU), calculado a partir de la diferencia entre la TS de la ZMM y el Municipio de Hunucmá. Para cada uno de los años estudiados se obtuvieron IICU positivos, siendo el año 2015 el que presentó el valor máximo igual a 3.35°C (Tabla 2). Cabe destacar que, a pesar de ser menor el IICU obtenido en 2020 con respecto a 2015, la disminución observada no se debió a una reducción de la TS en la ZMM, sino al aumento exponencial de la TS en Hunucmá. Lo anterior puede deberse, entre otros factores, a la cercanía de Hunucmá con la ZMM (~27 km) y supondría que la extensión de los efectos de ICU en la ZMM han alcanzado al Municipio de Hunucmá, con las consecuencias en el confort térmico de sus habitantes que esto conlleva.

## Referencias

- Ahmed, B., Kamruzzaman, M. D., Zhu, X., Shahinoor Rahman, M. D., & Choi, K. (2013). Simulating land cover changes and their impacts on land surface temperature in dhaka, bangladesh. *Remote Sensing*, 5(11), 5969–5998. <https://doi.org/10.3390/rs5115969>
- Department of the Interior U.S. Geological Survey. (2016). *Landsat 8 Data Users Handbook*. Nasa, 8(June), 97. <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>

# Congreso de Ingeniería y Sociedad 9 – 11 de marzo de 2022 Mérida, Yucatán, México.

## BRIQUETADORA PARA RESIDUOS MADEREROS DE UNA COMUNIDAD

Liliana San Pedro-Cedillo<sup>1</sup>, Manuel Flota-Bañuelos<sup>1</sup>, Roger Méndez-Novelo<sup>1</sup>, Marisela Vega-De Lille<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. liliana.cedillo@correo.uady.mx

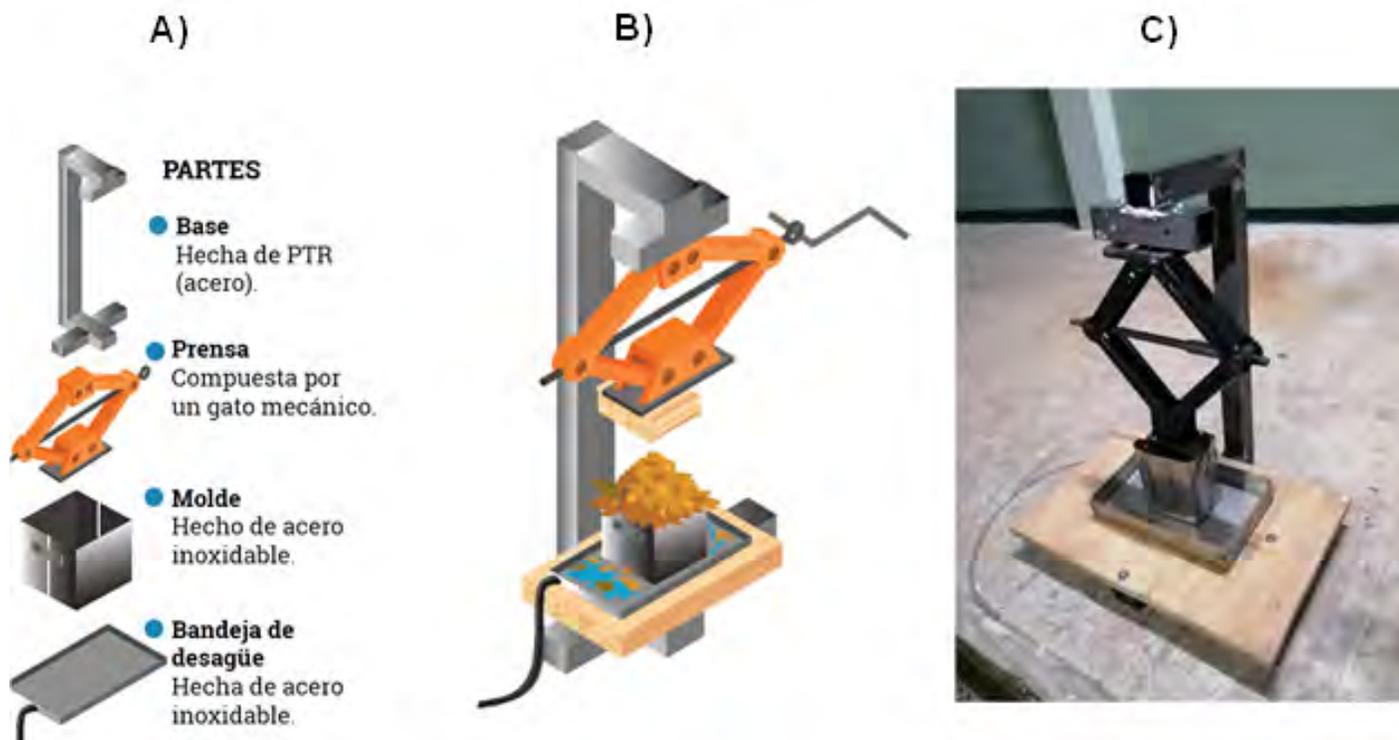
### RESUMEN

Yaxunáh es un poblado perteneciente al municipio de Yaxcabá en el estado de Yucatán, con una población aproximada de 617 habitantes (INEGI, 2010). Una de las principales características de este lugar son sus artesanías. 80% de sus pobladores se dedican a esta actividad económica. Los talleres de artesanías de madera generan residuos como aserrín y retazos de madera. La briquetadora es una compactadora especial, que genera biomasa sólida con alto poder calorífico y bajo contenido de cenizas. El objetivo del presente trabajo fue diseñar y construir una briquetadora para la densificación de los residuos de aserrín para su utilización como combustible.

**Metodología.** Se diseñó (basado en el análisis del ciclo de vida) un prototipo compacto proponiendo un uso familiar para el dispositivo; asimismo, los materiales propuestos son comunes. Una vez construido el prototipo se llevaron a cabo pruebas de trabajo (fabricación de briquetas) y evaluación del material densificado. Se diseñó e implementó un taller de introducción de la briquetadora para los habitantes.

**Resultados.** En la comunidad de Yaxunah, se destinarán las briquetas para un uso casero, por lo que no se requiere una briquetadora de gran tamaño. La estructura del prototipo se divide en 4 partes: base, prensa, molde y bandeja de desagüe. En la Figura 1 se muestran el diseño de la briquetadora y el prototipo construido. Se realizaron tres pruebas de operación y se fue mejorando el prototipo hasta que fuera funcional, se utilizó aserrín mojado y triturado (se disminuyó el tamaño de partícula original) para así obtener material de textura más fina. De igual forma se agregó aserrín en polvo y maicena para obtener una mezcla más homogénea. Una vez formadas las briquetas se dejaron secar y se realizó la prueba de friabilidad.

Con el prototipo funcionando correctamente, se acudió a la comunidad de Yaxunah, en el municipio de Yaxcabá, Yucatán, con el propósito de introducirlo a los pobladores. Se emplearon las dinámicas diseñadas para el ejercicio de transferencia tecnológica. Sin embargo, por el alcance del trabajo, no fue posible llegar a ese nivel (se alcanzó solo la introducción del prototipo y su operación). Asimismo, se realizó una pequeña encuesta para la retroalimentación del prototipo.



**Figura 1.** Diseño y construcción de la briquetadora: A) Partes componentes, B) diseño propuesto, C) prototipo construido.

**Conclusiones.** Se concluye que la implementación de una briquetadora en la comunidad de Yaxunah es viable, debido a que existe el material disponible para la realización de las briquetas. La visita a la comunidad resultó en una interacción positiva con el sistema propuesto y se pudieron tomar en cuenta aspectos en los que no se habían pensado. Las encuestas brindaron información sobre el aprovechamiento de la humedad del Chaka, el cual es un árbol que se utiliza como materia prima para las artesanías y que por su resina tiene un grado de humedad alto. Después del análisis del ciclo de vida, se determinó que para un concepto cradle to cradle (cuna a cuna: reciclaje) se debe eliminar la pintura en el prototipo.

**Reconocimientos.** Se agradece la participación de los estudiantes de la Lic. en Energías Renovables de la FIU-ADY, A. N. Castillo Camelo, D. Izquierdo Guzmán, V. Ouf, M. Sánchez Quintero y C.D. Zapata Barceló, en el desarrollo de este trabajo, así como al técnico Sergio Canché Pacab.

**Referencias:**

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010) Principales resultados por localidad 2010. Consultado el 17 de julio de 2021 en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/?ps=herramientas>

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## LA RESILIENCIA ECOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO A LAS INUNDACIONES PROVOCADAS POR EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS.

Cesar Canul-Macario<sup>1,3</sup>, Roger Pacheco-Castro<sup>2,3</sup>, Roger González-Herrera<sup>1</sup>, Miguel Villasuso-Pino<sup>4</sup>, Paulo Salles<sup>2,3</sup>, Ismael Sanchez y Pinto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. cesar.canul@correo.uady.mx

<sup>2</sup>Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup>Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera. www.lanresc.mx

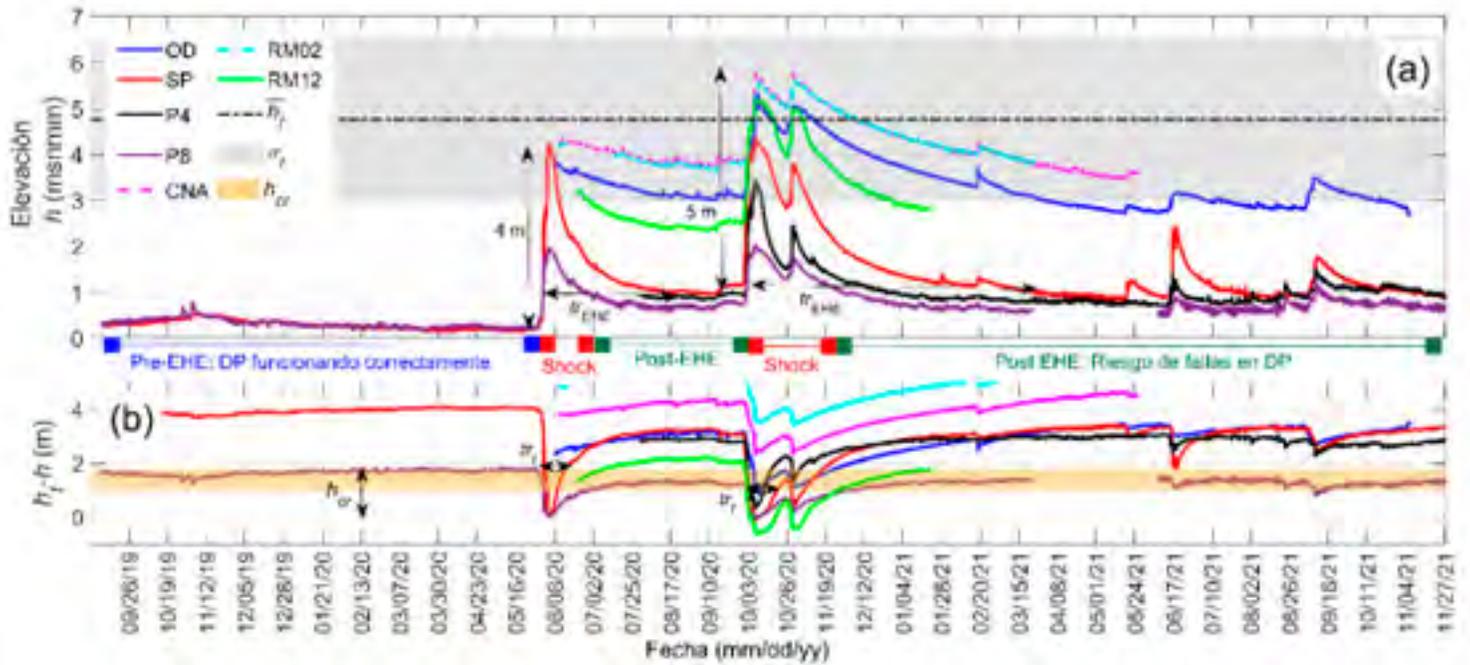
<sup>4</sup>Odiser Empresarial SA de CV - Geohidrología e Hidráulica Costera, IC,

### RESUMEN

La gestión del drenaje pluvial (DP) en zonas urbanas emplazadas en acuíferos cársticos, depende de sus particularidades hidrogeológicas. Generalmente, en estos ecosistemas la escorrentía superficial es inexistente y la infraestructura de drenaje (pozos) es altamente eficiente (Zhou, 2007). Sin embargo, este paradigma puede verse cuestionado cuando el nivel freático subyacente se eleva abruptamente durante un evento hidrometeorológico extremo (EHE), como ocurrió en la ciudad de Mérida, Yucatán (MID) durante el año 2020. La *resiliencia ecológica* ofrece un enfoque novedoso para analizar estos eventos, midiendo la capacidad de adaptación y aprendizaje en un socioecosistema mediante (a) la forma de persistencia, (b) el modo en que absorbe los estresores y (c) los umbrales de tolerancia mediante el *análisis de trayectorias* (Folke, 2006; Holling, 1973). Este enfoque es útil para desarrollar elementos técnicos relacionados con el manejo de los recursos naturales. Por lo tanto, se puede evaluar si el enfoque tradicional del DP en MID es adecuado, o se podrían desarrollar estrategias de adaptación a estos EHE's.

Se compararon las elevaciones del nivel freático del acuífero ( $h$ ) y del terreno ( $h_t \pm \sigma_t$ ) durante dos EHE (Cristóbal y Gamma-Delta en 2020), considerando los registros de EHE's de hasta 30 años anteriores. Se realizó un análisis de trayectorias de las series de tiempo de carga piezométrica en siete sitios de monitoreo en MID durante EHE's ocurridos en 2020. Se calculó un umbral del comportamiento crítico hidráulico ( $h_{cr}$ ) utilizando 79 registros de pruebas de inyección en pozos pluviales. Con esta información se estimaron los tiempos de resiliencia para inundaciones ( $tr_f$ ) y EHE's ( $tr_{EHE}$ ). La Figura 1 sugiere que (a) los sistemas de DP serán inutilizados durante al

menos 12 días frente a EHE's en la etapa de *Shock*; y en una etapa *Post-EHE*, (b) se alcanzan niveles piezométricos que hacen que las zonas urbanas sean más vulnerables a inundaciones y a fallas en los DP debido a su proximidad con el agua subterránea, hasta por 156 días. El análisis de trayectorias también revela que los EHE's ocurridos en 2020 son más adversos que los ocurridos en años anteriores.



**Figura 1.** Análisis de trayectorias en MID. (a) Nivel piezométrico en el acuífero ( $h$ ); las líneas discontinuas son zonas sin inundación. (b) Comparativa de  $h_t - h$  vs  $h_{cr}$ ; valores negativos muestran inundación y  $h_{cr} \leq 1.8 \text{ m}$  representan riesgos de fallas en el DP

De manera preliminar, se concluye que los DP tradicionales utilizados en la Cd. de Mérida, en conjunto con las medidas estructurales (ingeniería) no pueden prevenir los daños causados por un EHE durante la etapa de Shock. Sin embargo, durante una etapa Post-EHE es factible combinar medidas estructurales para proteger a la población a inundaciones. Las medidas no estructurales (políticas y estrategias) resaltan como estrategias de prevención frente a EHE's.

### Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Nacional del Agua y al Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera por el apoyo y financiamiento brindado en esta investigación.

### Referencias

Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>

Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>

Zhou, W. (2007). Drainage and flooding in karst terranes. *Environmental Geology*, 51(6), 963–973. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0365-3>

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**ESTIMACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y DEL ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO DE LA ISLA DE BARRERA DE SISAL, YUCATÁN**

**José Medina-Rosado<sup>1</sup>, Roger González-Herrera<sup>2</sup>, Roger Pacheco-Castro<sup>1</sup>, César Canul-Macario<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. JMedinaR@iingen.unam.mx

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. roger.gonzalez@correo.uady.mx

## RESUMEN

Actualmente el abastecimiento de agua dulce en las poblaciones costeras de Yucatán depende del acuífero regional y se realiza mediante pozos ubicados a distancias de hasta 10 km de la línea de costa. De continuar las tendencias de aumento del nivel medio del mar, la salinización del acuífero regional obligará a que en el año 2040 los pozos de abastecimiento para la costa de Yucatán se ubiquen a distancias tierra adentro mayores a los 20 km (Canul-Macario, 2020). Los acuíferos de las islas de barrera son una fuente alternativa para el abastecimiento de agua dulce ya que se encuentran separados del acuífero regional de calizas por un delgado estrato impermeable conocido localmente como caliche (Perry *et al.*, 2003). Debido a lo anterior, surge la necesidad de comprender la hidrogeología de estos acuíferos. El objetivo del presente trabajo fue estimar la conductividad hidráulica y el almacenamiento del acuífero de la isla de barrera de Sisal, Yucatán. Para lograr dicho objetivo, se utilizaron mediciones de los niveles del mar y del agua subterránea, así como ensayos de campo y modelos matemáticos.

La conductividad hidráulica se estimó mediante el modelo de Bouwer & Rice (1976), el cual fue alimentado con datos obtenidos de ensayos de campo *slug test*, realizados en dos pozos. El almacenamiento se calculó utilizando el modelo de respuesta a la marea en el nivel del agua subterránea, desarrollado por Ferris (1952). Los datos necesarios para el cálculo de del almacenamiento del acuífero se obtuvieron de una campaña de mediciones del nivel del mar y del nivel del agua subterránea en dos pozos.

Los valores estimados de la conductividad hidráulica se encontraron en un rango de 1.8 a 2.2 m/d y una media de 2.0 m/d. El almacenamiento obtenido se encontró entre 0.02 y 0.08 con una media de 0.04. Adicionalmente, la amplitud de las oscilaciones del nivel del agua subterránea inducidas por la marea astronómica indicó que el acuífero es de tipo libre.

En conclusión, las propiedades hidráulicas del acuífero estudiado difieren de las del acuífero cárstico en la zona e indican la presencia de material fino o la cementación de la isla de barrera. Por otra parte, al ser éste un acuífero libre se demuestra que es independiente del acuífero regional, por lo que está sujeto a condiciones diferentes de intrusión salina. Esto refuerza la idea de que los acuíferos de las islas de barrera son posibles fuentes de agua dulce. Sin embargo, se requieren estudios de hidrodinámica e hidrogeoquímica que se complementen con los obtenidos en el presente trabajo.

**RECONOCIMIENTOS:** Al Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros del Instituto de Ingeniería de la UNAM y al CONACYT.

## **REFERENCIAS**

Bouwer, H., & Rice, R. C. (1976). A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resources Research*, 12(3), 423–428. <https://doi.org/10.1029/WR012i003p00423>

Canul-Macario, C. (2020). *Dinámica de la Interfase Salina del Acuífero de la Costa Noroeste de Yucatán y Escenarios Frente al Incremento del Nivel Medio del Mar* (Tesis de doctorado no publicada). Universidad Nacional Autónoma de México.

Ferris, J. G. (1952). Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility. *International Union of Geodesy and Geophysics*, 2, 148–155.

Perry, E., Velázquez, G., & Socky, R. (2003). Hydrogeology of the Yucatan Peninsula. In A. Gómez, M. Allen, S. Fedick, J. Jiménez (Eds.), *The Lowland Maya Area: Three Millenia at the Human Wildland Interface* (pp. 115-138). Food Products Press. New York, USA.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**PROBLEMAS HIDROGEOLÓGICOS EN LA CIUDAD DE MÉRIDA,  
YUC., ASOCIADOS A LLUVIAS EXTREMAS**

**Rafael Casares Salazar<sup>1</sup> y Javier de Jesús Canto Ríos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. rafael.casares@correo.uady.mx

## RESUMEN

El acuífero de la ciudad de Mérida es la principal fuente de agua dulce para el suministro a la población, y a su vez es el cuerpo receptor de las aguas residuales y pluviales. Está sujeto a procesos naturales de recarga debido a la precipitación pluvial (lluvia), y de descarga por evapotranspiración y flujo subterráneo hacia la costa, donde alimenta a los cuerpos costeros y descarga en el mar. Las lluvias se presentan de junio a octubre. El subsuelo está constituido por rocas calizas de tipo cárstico. Esta investigación surge con el interés de comprender los efectos de las lluvias en el nivel freático al norte de la ciudad de Mérida, pues en los últimos años han ocurrido precipitaciones intensas y de larga duración como consecuencia posible del cambio climático, mismas que han ocasionado problemas de inundación en zonas residenciales y estacionamientos subterráneos, incluyendo la ruptura de estructuras de concreto reforzado en el paso deprimido por acción del empuje hidrostático al ascender el nivel freático. Las mediciones del nivel freático en los períodos entre lluvias permiten observar la descarga natural del acuífero. Para esto se instaló un sensor electrónico de presión (data logger) marca Hobo, modelo U20L-04, en un pozo profundo ubicado en terrenos de la Facultad de Ingeniería de la UADY (FIUADY) al norte de la ciudad de Mérida, desde el 11 de julio de 2019. A la fecha, 28 de enero de 2022, ya se cuenta con un registro continuo de la variación del nivel freático con duración de dos años y medio, con una frecuencia de mediciones de media hora. La presión que se obtiene con este tipo de sensores es la absoluta, por lo que se requiere contar con otro sensor que registre la presión atmosférica, es decir, que funcione como barómetro para realizar la compensación (resta simple). Este barómetro se resguardó dentro de las instalaciones de la FIUADY para protegerlo de las variaciones extremas de la temperatura pues afectan su funcionamiento. Los datos de la lluvia se obtuvieron de una Estación Meteorológica Automática (EMA) ubicada en la misma FIUADY, asignada al Laboratorio de Hidráulica e Hidrología.

El registro de lluvias incluye los fenómenos extremos ocurridos en el año 2020 que causaron serias inundaciones en centros habitacionales y estacionamientos subterráneos al norte de la ciudad, lo cual era insospechable. El año 2020 fue un año completamente atípico, pues por primera vez en la historia, en lo que se tiene conocimiento, se juntaron dos eventos de lluvias de larga duración al principio de la temporada de lluvias (junio, con las tormentas tropicales Amanda y Cristóbal), seguido de otros dos eventos casi al final de esa temporada (octubre, con la tormenta Gamma y el huracán Delta). Las inundaciones se debieron a la elevación del nivel

freático por lo que el acuífero rebosó, así como lo hace un depósito de volumen limitado. Con las tormentas Amanda y Cristóbal en junio de 2020, el nivel freático ascendió 4.19 m en 7 días. Este nivel descendió 2.44 m de manera natural en los siguientes 4 meses hasta que llegaron las lluvias de Gamma y Delta en octubre del mismo año, con lo que el nivel ascendió 3.18 m en 6 días. Desde aquel momento hasta la temporada de secas del 2021, el nivel de agua descendió 3.52 m pero no recuperó el nivel de estiaje del año inmediato anterior (2020), por lo que se estableció un nuevo nivel base del agua subterránea, quedando a 1.41 m por encima de las condiciones previas. El 5 de septiembre de 2021 se observó otro evento de lluvias intensas que elevó el nivel freático 1.25 m en 2 días. Comparando el nivel de agua del 28 de enero de 2022 (fecha en la que se ha realizado la última medición del nivel freático) con respecto al nivel del agua del 20 de mayo de 2021 (al final de la temporada de estiaje de ese año) se observa un descenso del nivel freático de 0.30 cm, y la tendencia muestra que el nivel descenderá aún más hasta que termine la temporada de estiaje del presente año 2022, en el mes de mayo. Esta es una observación alentadora, porque muestra que el nivel base del freático descenderá en el año 2022 con respecto al del año 2021 (Tabla 1).

**Tabla 1.** Principales niveles del agua subterránea en el pozo de la FIUADY.

Fecha	Nivel de agua (m), referencia arbitraria	Aumento (+) o disminución (-) del nivel de agua (m)	Observaciones
22-may-2020	1.95		Nivel de estiaje 2020
5-jun-2020	6.14	4.19	Pico de Amanda y Cristóbal
1-oct-2020	3.70	-2.44	Inicia de Gamma y Delta
7-oct-2020	6.88	3.18	Pico de Gamma y Delta
20-may-2021	3.36	-3.52	Nivel de estiaje 2021
5-sep-2021	3.45		Inicia evento de lluvia
7-sep-2021	4.70	1.25	Pico del evento de lluvia
28-ene-2022	3.06	-1.64	Ultima medición del sensor

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**EL USUMACINTA COMO DREN DEL ACUÍFERO DE LA REGIÓN  
“LOS RÍOS” EN EL ESTADO DE TABASCO**

**Roger González-Herrera\*, Iván Cámara-Yamá, Ismael Sánchez y  
Pinto, Javier Canto Ríos**

Cuerpo Académico de Hidráulica e Hidrología. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán,  
México.

\*roger.gonzalez@correo.uady.mx

## RESUMEN

El tema de la interacción del agua superficial con el agua subterránea ha recibido mucha atención como pieza clave de investigación ya que incrementa el entendimiento del ciclo hidrológico en una región (Lin et al., 2018; Barthel y Banzhaf, 2016; Levy y Xu, 2012). En lugar de estudiar cada una de estas fuentes de agua de manera separada, el entender su interacción da una mejor idea de las respuestas tanto a la dinámica natural como al cambio global (Saha et al., 2017; Fleckenstein et al., 2010).

El entender el ciclo hidrológico no es solamente estudiar los receptores del recurso como el agua superficial, el agua subterránea y la atmósfera, sino también se requiere estudiar los intercambios de un receptor a otro. La interfase entre el agua subterránea y el agua superficial ocurre cuando el nivel freático (el límite superior de la zona saturada de un acuífero libre) intersecta la superficie del terreno. En otras palabras, la interfase agua subterránea- agua superficial ocurre en las corrientes de los ríos, lagos, humedales y océanos. Las descargas ocurren debajo del nivel superficial del agua y prácticamente no se ve más que en los manantiales que son descargas puntuales. Como sea el caso, se sabe que la descarga ocurre porque el agua superficial es una manifestación de la descarga del agua subterránea. La interfase puede involucrar flujos de agua en ambas direcciones; es decir, los cuerpos de agua superficiales pueden ganar así como perder agua proveniente del acuífero.

Debido a la evidente predominancia de los flujos superficiales en el Estado de Tabasco, las investigaciones realizadas centran su atención en los ríos y lagos como objetos de estudio, relegando a la hidrología subterránea a un segundo plano. Se conoce poco acerca de la dinámica que presenta el agua subterránea de la región. Para contribuir al entendimiento de la hidrodinámica regional de la zona de Los Ríos, Tabasco, México, se llevó a cabo el presente. El objetivo fue determinar la naturaleza actual de la interacción del agua subterránea con el agua superficial con énfasis en la cuantificación del flujo de agua subterránea con base en información histórica.

La relación del acuífero con el sistema hidrológico suprayacente se determinó analizando las diferencias de potenciales hidráulicos entre escenarios anuales consecutivos y comparando el resultado con la localización de los ríos y lagos circundantes. El análisis de los datos piezométricos indica que los gradientes hidráulicos varían en un rango de valores muy amplio sugiriendo altas tasas de recarga hacia los cuerpos de agua superficiales, incrementando el caudal de las corrientes significativamente. Debido al comportamiento piezométrico en las márgenes del Río Usumacinta, se concluye que el agua subterránea recarga los cuerpos de agua superficiales en la zona.

Se logró delimitar las zonas de recarga y descarga de aguas subterráneas utilizando una red de flujo. La estimación de los caudales de ingreso y egreso se realizó empleando una simplificación de la Ley de Darcy.

**Agradecimientos:** A la Subgerencia Técnica de la Dirección Local de CONAGUA, en Villahermosa, Tabasco, la cual brindó los datos piezométricos históricos de la zona, así como antecedentes de sus estudios hidrogeológicos.

### Referencias

- Barthel R., Banzhaf S. 2016. Groundwater and surface water interaction at the regional-scale – A review with focus on regional integrated models. *Water Resources Research*. 30: 1 – 32. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-1163-z>
- Fleckenstein J.H., Krause S., Hannah D.M., Boano F. 2010. Groundwater-surface water interaction: New methods and models to improve understanding of processes and dynamics. *Advances in Water Resources*. 33(11): 1291-1295. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.09.011>
- Levy J., Xu Y. 2012. Review: Groundwater management and groundwater/surface-water interaction in the context of South African water policy. *Hydrogeology Journal*. 20: 205-226. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0776-4>
- Lin J., Ma R., Hu Y., Sun Z., Wang Y., McCarter C.P.R. 2018. Groundwater sustainability and groundwater/surface-water interaction in arid Dunhuang Basin, northwest China. *Hydrogeology Journal*. 26: 1559–1572. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1743-0>
- Saha G.C., Li J., Thring R.W., Hirshfield F., Paul S.S. 2017. Temporal dynamics of groundwater-surface water interaction under the effects of climate change: A case study in the Kiskatinaw River Watershed, Canada. *Journal of Hydrology*. 551: 440-452. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.008>.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DE CITRICOS**

<sup>1</sup>Christina Nülle, Gabriela <sup>2</sup>Cool Padilla, <sup>2</sup>Jesus Escalante Euán,  
<sup>3</sup>Jorge Santos Flores

<sup>1</sup>Hochschule RheinMain, Wiesbaden, Alemania, m.christina.nulle@alumnos.uady.mx

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México, a12013316@alumnos.uady.mx

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México, a12013316@alumnos.uady.mx

<sup>3</sup>Facultad de Veterinaria, Universidad Autónoma de Yucatán, México, sflores@correo.uady.mx

## RESUMEN

La economía circular es un nuevo modelo económico que sustituye el modelo tradicional de la economía lineal. El problema del modelo lineal es que considera a los recursos como ilimitados y tiene efectos negativos al medio ambiente. La idea del nuevo modelo circular es evitar el desperdicio de los recursos limitados para que sean disponibles en el futuro también y alcanzar una economía más sostenible.

El presente estudio es motivado por interés personal en temas actuales e importantes en México, especialmente en la región de Yucatán. Además, trata del tema de la sustentabilidad y en mejorar la calidad del sector citrícola y crear más valor para ese sector.

### Metodología

Nuestro enfoque abordará la modelación de la producción primaria bajo las condiciones y ecosistema de la zona de estudio bajo el paradigma de simulación de dinámica de sistemas.

### Resultados

Los productos resultantes fueron el diagrama causal y el modelo de Forrester. Esta etapa fue fundamental para definir los escenarios y la simulación de escenarios mediante el software Netlogo®.

La propuesta, identifica la importancia de la sustentabilidad en el uso de materias primas, la tierra y la energía para mantener los recursos naturales y al mismo tiempo mantener la citricultura rentable. Los resultados son alentadores ya que prevé que es necesario mantener un equilibrio entre reciclar y renovar. Finalmente, la investigación sugiere encontrar el equilibrio para aprovechar de forma sostenible la citricultura.

## Conclusiones

La modelación ha sido uno de los ejes importantes de la investigación. Ha permitido identificar los procesos clave en el marco de las 6R, señalando los eslabones críticos de la cadena de valor.

La investigación propuso una valoración comparativa entre dos paradigmas de producción. El modelo configura la relación entre 2 tipos de usuarios de los recursos naturales, los que reciclan y los que desperdician. Finalmente, se identificaron los indicadores de desempeño clave del eslabón de producción primaria de la cadena de valor de cítricos, considerando la economía circular y que estimule la permanencia en el futuro, sin limitar el crecimiento económico de la citricultura.

## Referencias

1. Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). An analysis on sustainable supply chain for circular economy. *Procedia Manufacturing*, 33, 477–484. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059>
2. Castro, R. (2020). Curso introducción a la economía circular. La economía circular como un marco integrador [video]. Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=KjsOgHR3gMc&t=155s>
3. Moreno, I. (2016). Análisis de la red de valor de cítricos en el municipio de Oxkutzcab Yucatán. Maestra en Gestión de del desarrollo rural. La dirección de centros regionales universitarios de la universidad autónoma Chapingo.
4. Thiele, J. C. (2014). R marries NetLogo: introduction to the RNetLogo package. *Journal of Statistical Software*, 58, 1-41.

**Ponencias Orales**

**CONSTRUCCIÓN**

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022

Mérida, Yucatán, México.

## MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA LIQUIDEZ Y EL COSTO FINANCIERO DE OBRAS PÚBLICAS

José A. González-Fajardo<sup>1</sup>, Erick J. Heftye-Cué<sup>1</sup>, y Jesús N. Zaragoza-Grifé<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. antonio.gonzalez@correo.uady.mx

### RESUMEN

La industria de la construcción opera en ambientes altamente competitivos que induce a los contratistas a utilizar márgenes de utilidad muy reducidos en las licitaciones de obras públicas. Esto afecta la liquidez y el costo financiero de las obras que puede poner en un riesgo todavía mayor los márgenes reducidos. Es un consenso común que la gestión del flujo de efectivo y la liquidez, así como la estimación precisa del costo de financiamiento, son elementos clave para la supervivencia de los contratistas y el éxito de sus proyectos.

Existen diversos factores que afectan tanto la liquidez como el costo financiero de los proyectos de construcción, tales como el anticipo, la frecuencia de cobro y pago, los atrasos en los pagos, el programa de obra, los créditos convenidos con proveedores, etc. Una manera de analizar el efecto conjunto de estos factores es el pronóstico del flujo de efectivo.

Para pronosticar el flujo de efectivo, se han desarrollado diversos modelos. Los modelos presentan la desventaja de que el usuario tendría que aprender a programar, capturar los recursos, aplicar las condiciones para que puedan ser movidos en el tiempo, diseñar una rutina para el flujo de efectivo y realizar al análisis de financiamiento, lo que resulta complicado para un usuario común.

En el ámbito local este problema se acentúa, porque la mayoría de las empresas constructoras abordan la planeación de obras de manera superficial. En la Facultad de Ingeniería de la UADY se desarrolló un modelo llamado “sistema integral para la planeación y control de proyectos de construcción” para responder a las necesidades del escenario común que enfrentan las empresas constructoras de la región. Con estas ideas, en este estudio se plantea un modelo de análisis fundamentado en el método de flujo de efectivo, para evaluar con eficacia el impacto de un conjunto de factores que influyen en el costo financiero de las obras públicas.

Para iniciar se realizó una investigación de campo que consistió en obtener los factores que afectan el costo financiero de los contratos de obra pública. Mediante la revisión de la literatura se identificó los factores más importantes y luego se acudió a cuatro dependencias del sector público para obtener información de sus condiciones contractuales y de pago que se llamaron “factores convenidos”. También se acudió con los contratistas que trabajan para dichas dependencias, con objeto de obtener los periodos de estimación y cobro reales a los

que se ven sujetos, así como los tipos de créditos que obtienen con proveedores y la banca, a los que se les llamó “factores reales”. Para obtener esta información se utilizó una entrevista guiada.

Los resultados de campo ya procesados permitieron contar con la información necesaria para aplicar el modelo de análisis propuesto a una obra de edificación real en diferentes situaciones o casos, y de esta manera poder evaluar el impacto de los grupos de factores más importantes. Se diseñaron cinco casos de análisis que combinaron los factores convenientemente.

El modelo de análisis propuesto se probó en un edificio real, con alto grado de complejidad, para determinar el costo financiero para los cinco casos. De esta obra se consiguió el presupuesto y el programa que, junto con los factores, son los insumos de entrada indispensables. El programa y el presupuesto de obra se integraron asignando los recursos del presupuesto a las actividades del programa.

No es posible realizar estas operaciones sin el apoyo de software para la gestión de proyectos de construcción debido a la gran cantidad de información proveniente de los presupuestos y programas. Para facilitar la realización de los análisis que se proponen en este estudio se contó con un software desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la UADY para fines académicos y disponible desde 2015. Esta herramienta, conocida como “Profin”, es capaz de: a) facilitar la elaboración de un programa de obra mediante una red de actividades; b) extraer automáticamente la información de los recursos de los presupuestos de obra elaborados en softwares comerciales de diferentes desarrolladores; c) facilitar la asignación de los recursos de los presupuestos a las actividades del programa de obra.

A continuación, se elaboró el cálculo del flujo de efectivo de la ejecución de la obra, que integra por un lado el programa de egresos, que incluye programas de pagos (nómina, materiales, maquinaria y subcontratos), información de créditos otorgados por proveedores, y un programa de gastos de indirectos; y por el otro lado, un programa de ingresos, que tiene como base las condiciones contractuales tales como anticipos, periodos de revisión y pago de estimaciones. Toda esta información constituye los factores convenidos y reales cuyo impacto será evaluado, y es indispensable para realizar las tareas y análisis que plantea el procedimiento del modelo de análisis propuesto.

Una vez hecho esto, el cálculo del financiamiento de la obra es sencillo; sólo se requiere contar con la tasa activa que cobran las instituciones financieras. Esta tasa se aplica en los meses (o periodos) en donde el flujo de efectivo resultó negativo, es decir, cuando el acumulado de egresos es mayor al acumulado de ingresos.

Con los resultados de las cinco corridas financieras planteadas en la metodología se construyó una tabla para comparar el efecto en el financiamiento de la combinación de los diversos factores reales y convenidos. También se elaboró una gráfica de liquidez para cada una de las cinco combinaciones.

La metodología permitió reflejar las diferentes condiciones contractuales tales como anticipos, tiempos de estimación y de pago, el programa de obra real, así como los créditos con proveedores, en el cálculo del costo financiero del proyecto. Sin embargo, con la metodología y herramienta propuesta también se podría analizar el impacto de otros factores que no se estudiaron en esta investigación, tales como el impacto de los atrasos en los pagos por parte del cliente y el uso de diferentes programas de obra. El modelo de análisis propuesto y su herramienta pueden facilitar el análisis de riesgos al permitir variar con facilidad los factores, tanto internos como externos, que afectan el financiamiento de proyectos que son muy dependientes de su flujo de efectivo.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

## 9 – 11 de marzo de 2022

### Mérida, Yucatán, México.

## UN LEGADO DEL SABER MAYA PREHISPÁNICO A LA INGENIERÍA

**Carlos E. Zetina Moguel<sup>1</sup>, Ismael A. Sánchez y Pinto<sup>1</sup>, Elizabeth Vázquez Borges<sup>1</sup>, y Mauricio Gamboa Marrufo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. [zmoguel@correo.uady.mx](mailto:zmoguel@correo.uady.mx)

### RESUMEN

Los Mayas pueden ser vistos como un conjunto de etnias con una larga historia en Mesoamérica. Los adelantos tecnológicos de los Mayas precolombinos manifiestos en el uso de materiales y métodos constructivos hicieron posibles ciudades planificadas con orientación astronómica, edificios de grandes proporciones, largos caminos y desarrollaron sistemas hidráulicos que les permitió hacer frente a las sequías e inundaciones. El objetivo de este trabajo es explorar algunos de estos adelantos tecnológicos (o saberes), particularmente los que de alguna manera se relacionan con áreas de Ingeniería. Se abordan la bóveda Maya, la elaboración de la cal (óxido de calcio), el uso de morteros y materiales cementantes y las obras hidráulicas de las inmediaciones de Uxmal. La Metodología consistió en una revisión bibliográfica y dos experiencias de campo. Resultados: Con respecto a la bóveda Maya resalta la evolución del nivel técnico que con el tiempo permitió soluciones constructivas y estructurales muy avanzadas y formas cada vez más perfeccionadas. Uno de los factores clave para entender la evolución temporal y las distintas variantes regionales de la bóveda es la forma de las dovelas. El arte del corte de la piedra, así como el uso de diferentes tipos de dovelas en la geografía Maya mesoamericana, sugieren avances tecnológicos basados en una construcción de conocimiento comparable al mito de Newton y la manzana. En 2013 se elaboró un horno de cal en las cercanías de Chichén Itzá. La construcción de estos hornos con tecnología prehispánica tiene componentes mágicos, pero requiere de un gran conocimiento de las condiciones meteorológicas, de las maderas que se usan como leña y de las piedras que servirán para la elaboración de cal. La transformación de las piedras calizas a cal viva (óxido de calcio), requiere una temperatura de aproximadamente 1000 grados Centígrados. Los hornos Mayas de cal a cielo abierto requieren un ambiente atmosférico sin la presencia de vientos, la leña o combustible es distinta de la que se usa para la preparación de alimentos y aprovecha resinas de maderas que cuándo alcanzan la temperatura necesaria desprenden energía; y las piedras utilizadas en la elaboración de cal son cuidadosamente seleccionadas con criterios de densidad y en la experiencia relatada, el aspecto visual. El uso de morteros y materiales cementantes se aborda desde un documento publicado en la revista de la Facultad de Ingeniería (FIUADY) y se hace un resumen de las propiedades químicas y mecánicas de estos materiales. El estudio expone la composición química de cementantes Mayas, el promedio de contenido de sílice de 4.56% con rango de 3.83%; contenido de aluminio promedio de 3.04% y rango de 2.64%; contenido de calcio promedio de 31.34% con rango de 18.95%; contenido de hierro promedio de 2.82% con rango de 1.22%. La resistencia a compresión promedio en especímenes de morteros Mayas resultó de 9.2 MPa (93 kg/cm<sup>2</sup>) que resulta 53% del correspondiente al espécimen hecho con cemento

Portland. Y con respecto a las obras hidráulicas se tomó como referencia un documento publicado en el boletín académico de la Facultad de Ingeniería (FIUADY) en el cual se describe y se hacen cálculos sobre un sistema hidráulico prehispánico que incluye aguadas, buctes y chultunes. Las mediciones en aguadas muestran que con precipitaciones del orden de **865 mm** durante la temporada de lluvias las aguadas permanecieron secas durante cinco meses, sin embargo, se sugiere que un sistema basado en aguadas-buctés-chultunes es mucho más eficiente. Se concluye que la tecnología Maya prehispánica alcanzó un gran desarrollo y que en la actualidad debe ser un referente para las prácticas de ingeniería sustentable.

## Referencias

- Alvarado S. (2013) Manejo hidráulico durante el clásico tardío en Cancun, Peten, Guatemala. *Contributions in New World Archaeology* 5: 125-149.
- Chiari G., R. Giustetto, J. Druzik, E. Doehne, G. Ricchiardi. 2008. Pre-columbian nanotechnology: reconciling the mysteries of the Maya blue pigment. *Appl.Phys.*A90,3-7.
- Folan, W. J. El Sacbé Coba-Ixil: un camino maya del pasado *Nueva Antropología*, vol. II, núm. 6, julio, 1977, pp. 31-42 Asociación Nueva Antropología A.C. Distrito Federal, México
- Gallegos-Gómora M.J. y R. Armijo-Torres. 2017. Comalcalco la ciudad Maya de ladrillos: descubriendo su pasado y la conservación de su futuro. *RA monográfico* 2017, pag. 128 | 147 ISSN 1724-9686 (print) | ISSN 2465-2377 (online).
- Ramírez de Alba, H.; Vera Noguez, R.; Mejía López, M. 2010. Materiales cementantes y concretos en las antiguas culturas americanas *Ingeniería*, vol. 14, núm. 1, enero-abril, 2010, pp. 67-74 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México.
- Sánchez y Pinto I.A. y Huchim-Herrera J. 1990. El sistema hidráulico prehispánico de Uxmal. *Boletín Académico de la Facultad de Ingeniería*. No 13. Pág 35-44.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## MARCO DE REFERENCIA PARA ESTANDARIZAR LOS PROCESOS DE GESTIÓN BIM EN MÉXICO.

Francisco J. Rodríguez<sup>1</sup>, Sergio O. Álvarez<sup>1</sup>, José H. Loría<sup>1</sup>, Danny Lobos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. ing.javier.rodriguez.gamboa@gmail.com

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile.

### RESUMEN

Desde hace algunos años, la industria de la construcción se ha dado a la tarea de buscar alternativas para mejorar sus niveles de productividad, reducir el tiempo de ejecución de los proyectos, evitar sobrecostos durante todo el ciclo de vida de los mismos; incluyendo las fases de operación y mantenimiento, así como garantizar la calidad y seguridad de las edificaciones; y ha encontrado en BIM una alternativa ante estos problemas. La falta de normas nacionales para el uso de BIM, dificulta que se alcance el potencial BIM en México. De tal forma, que se encontró en la serie ISO-19650, una fuerte base para formular un marco de referencia de normas BIM para el país. Esta investigación busca medir el nivel de compatibilidad de la industria de la construcción mexicana, con las normas relacionadas a la adquisición, uso y gestión de la información en proyectos de edificación, comprendidas en la serie ISO-19650, con el fin de adaptarlas al contexto nacional y dar paso a su adopción en el país.

#### Metodología

El proceso para la recolección, ordenamiento y análisis de la información para la presente investigación se realiza en varias etapas, las cuales quedan definidas en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Procedimiento general para la recolección de la información.

<p>1- Analizar a profundidad la norma ISO 19650, con el fin de identificar las características de los proyectos de construcción y de sus participantes, contempladas en cumplimiento de esta.</p> <p>a) Traducir los distintos acrónimos y tecnicismos en la norma en el idioma inglés</p> <p>b) Analizar a profundidad los principios de la norma ISO 19650</p> <p>2- Determinar el nivel de compatibilidad de los procesos de gestión de la información BIM llevados a cabo en los proyectos de edificación y transporte que se realizan en México, con las normas comprendidas en la serie ISO 19650</p> <p>a) Desarrollo de instrumento para recolección de información (Cuestionario I)</p> <p>b) Selección de expertos</p> <p>c) Recolección de datos</p> <p>d) Análisis y evaluación de resultados</p> <p>3- Proponer consideraciones para la correcta aplicación de las normas incluidas en la serie ISO 19650, en el contexto de la industria de la construcción mexicana, a través del Marco de Referencia.</p> <p>a) Desarrollo del Marco de Referencia</p>
--

## Resultados

En México el 50% gente que decide implementar BIM lo hace por iniciativa propia y con el fin de hacerse de los beneficios de implementar esta metodología, la otra mitad lo hace porque un cliente se lo solicita. El 80% de estas personas no cuentan en un inicio con estándares propios dentro de sus empresas para implementar de manera correcta BIM, lo que hace que al final desistan en la implementación. Los usos BIM que más se utilizan en el país son aquellos relacionados al diseño. Se aconseja en un inicio y a falta de normas BIM nacionales, el uso de las normas internacionales ISO 19,650 como base para la creación de un marco de referencia que facilite la implementación.

Entre los temas a tomar en cuenta al momento de formular este marco de referencia se encuentran los siguientes: Selección del equipo de trabajo (capital humano), entorno común de datos del proyecto, perfil del coordinador BIM, entregables dentro de una licitación, estándares BIM, niveles de detalle, características de los modelos, plan de ejecución BIM, procesos de calidad, usos BIM, entre otros. Cada uno de estos temas se encuentra relacionado con las distintas actividades que propone la norma ISO 19,650 para la correcta gestión de la información.

## Conclusiones

BIM tiene el potencial de ofrecer considerables beneficios a la industria de la construcción mexicana (Embajada del Reino Unido, 2015). “Al momento de desarrollar un plan de implementación BIM siempre se debe buscar estandarizar las políticas generales de la gestión de la información durante en el ciclo de vida de los proyectos” (Alreshidi, et al. 2014). La creación de estándares nacionales influye en fuerte medida a impulsar la adopción de BIM en el sector público de un país (Teo & Cheng. 2011). De tal manera, que para impulsar la implementación de BIM en México, se aconseja crear las condiciones favorables en el sector público y privado para el uso y manejo de la metodología; esto a través de la creación de normas y estándares relacionados al manejo y entrega de la información durante el ciclo de vida de las edificaciones.

Son varios puntos importantes para tener en cuenta para la creación de un marco de referencia que ayude a estandarizar estos procesos:

- Enfocar los objetivos a la adaptación de la normatividad vigente.
- Desarrollo de estándares nacionales que posibiliten el uso homogéneo de BIM.
- Creación de normas neutrales relacionadas a la interoperabilidad.
- Desarrollo de bases técnicas para la construcción sostenible.

## Referencias

- Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2014). Exploring the Need for a BIM Governance Model: UK Construction Practitioners' Perceptions. In *Computing in Civil and Building Engineering (2014)* (pp. 151-158).
- Embajada del Reino Unido (2015) Estrategia de BIM para México (recomendaciones para el desarrollo de la estrategia). Ciudad de México.
- Teo A, Cheng T. (2011) “Strategy for implementing BIM solution in Singapore”.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**ANÁLISIS DEL USO DE EQUIPOS ALTERNOS Y SU EFECTO SOBRE  
LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EMPLEADA EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE TECHOS DE VIVIENDAS EN YUCATÁN**

**Gilberto A. Corona Suárez<sup>1</sup> y Roberto A. Vázquez Álvarez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Profesor de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. csuarez@correo.uady.mx

<sup>2</sup>Estudiante graduado del programa de Maestría en Ingeniería – Opción Construcción, FIUADY.

## RESUMEN

El uso de equipos y herramientas es un tema relevante en la construcción debido a que una selección adecuada de estos podría mejorar el desempeño en la realización de los trabajos. Estudios previos realizados en diversos países han reportado este recurso como uno de los factores que determina la productividad en los proyectos de construcción. Sin embargo, no se encontraron estudios que hayan cuantificado el efecto que tiene este recurso sobre el desempeño de los proyectos de construcción. La principal contribución de esta investigación fue determinar cuantitativamente el impacto de las herramientas y equipos sobre la duración de las actividades de construcción. Esto fue viable gracias a que se aprovechó la capacidad de experimentación que proporciona la técnica de simulación de eventos discretos para estimar el desempeño (tiempo de ejecución y cantidad de recurso de mano de obra) que resultaría cuando las actividades se realizan con el uso de equipos alternativos. Por ejemplo, se pudo estimar cuál sería el tiempo de ejecución de las actividades que forman parte de la construcción del techo de una vivienda asumiendo el uso de herramientas totalmente manuales, así como cuando se realizaran con equipos mecánicos tales como un camión-bomba para el colado de concreto. Determinar dicho tiempo de ejecución mediante mediciones físicas no sería viable, ya que durante la realización de estas actividades no es posible aislar el efecto de uno solo de los diversos factores que influyen, como el uso de equipos alternativos en este caso.

Empleando las técnicas de simulación de eventos discretos se construyeron modelos con los cuales se simuló diferentes escenarios sobre el uso de alternativas de equipos en la realización de las tareas de construcción del techo de una vivienda. En el primer escenario se asumió el uso de únicamente herramientas y equipos rudimentarios (p.ej.: cubetas para acarrear agregados, pala para mezclar materiales), por lo que resultó con la mayor duración en la ejecución del techo y se consideró como referencia para evaluar el desempeño obtenido con los otros escenarios simulados. Una siguiente etapa incluyó diferentes escenarios, con los cuales se estimó la duración asumiendo, en cada uno de éstos, el uso de un equipo alternativo que propiciara la ejecución más eficiente de las tareas (p.ej.: revolvedora para mezclar materiales; carretilla para acarrear). En estos escenarios, el uso de carretilla para acarreo de materiales y de equipo de bombeo de concreto premezclado generó las ma-

yores reducciones (20.87 y 36.79% respectivamente) con relación a la duración del primer escenario. En otra etapa de escenarios, se asumió el uso simultáneo de equipos con el potencial de reducir la duración o mejorar la seguridad laboral de la operación, resultando en duraciones 40.73% y 31.55% respectivamente menores a la del primer escenario. Con este análisis, fue posible cuantificar el potencial de las herramientas y equipos en la mejora del desempeño en actividades de construcción.

**Reconocimientos:** Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar la beca a Roberto A. Vázquez Álvarez para estudiar el programa de Maestría en Ingeniería – Opción Construcción, el cual forma parte del Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNCP).

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN EN PYMES CONSTRUCTORAS

Raquel A. Xacur Chac<sup>1</sup>, José H. Loría Arcila<sup>1</sup>, José A. González Fajardo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. ami\_xacur@hotmail.com

### RESUMEN

Es necesario administrar correctamente a los equipos de trabajo de las diferentes especialidades en las empresas constructoras. Según Emmitt y Gorse (2006) es necesario lograr una comunicación eficaz entre los participantes del equipo de proyecto, pues de otra manera no les será posible alcanzar sus objetivos.

El objetivo de esta investigación fue identificar cuáles son las condiciones en la gestión de la información que se generan durante la etapa de la ejecución de proyectos de construcción. Se dirigió en específico a PYMES de la construcción enfocadas al desarrollo de vivienda residencial. Se procuró determinar las condiciones más frecuentes y las problemáticas, identificando su efecto en el desempeño de las constructoras a fin de realizar una propuesta de mejora en el sistema de gestión de la información.

Se optó por realizar un estudio de tipo cualitativo, en el cual se recolectará información para describir las variables involucradas en el fenómeno y no la repercusión de éstas, mediante la comprensión de las percepciones de las personas. El estudio también es descriptivo, ya que sirve para identificar y registrar, de manera sistemática, los elementos que conforman un fenómeno, un proceso o un sistema.

La investigación se dividió en 4 etapas. En la primera, se diseñó y aplicó un cuestionario a diez empresas constructoras del ramo en la región, a fin de obtener datos generales y poder elegir a dos de ellas para ser analizadas con mayor profundidad.

La segunda etapa consistió en la aplicación de una encuesta a las dos empresas seleccionadas para conocer cómo gestionan la información en sus principales procesos como son: la gestión de cambios, la gestión de presupuestos de obra, la gestión de información aplicando la metodología BIM, la gestión ante situaciones imprevistas y la gestión de adicionales en los proyectos.

La tercera etapa fue una serie de visitas a los sitios de obra y a las oficinas centrales de cada una de las empresas seleccionadas; para ello se elaboró una cédula de registro de las observaciones directas. Se registró los procesos de obra y administrativos observados, describiéndolos y anotando recomendaciones en caso de ser pertinentes.

Finalmente, en la cuarta etapa se realizaron entrevistas estructuradas a los principales responsables de las áreas de construcción, proyectos, costos y presupuestos, control de obra y de administración central.

La finalidad fue obtener y registrar las opiniones y experiencias de estas partes interesadas en cuanto a la gestión de información en su empresa. Algunas de las preguntas claves fueron las siguientes:

- ¿En su empresa existe planeación antes de iniciar con un proyecto?
- ¿Cuál es su participación en esta etapa en caso de existir?
- ¿Qué tipo de información necesita antes de iniciar un proyecto?
- ¿Quiénes son los responsables de proporcionarla?
- ¿Cuáles cree que puedan clasificarse como buenas prácticas en su empresa para administrar la información que se genera en su área?
- ¿Cuáles cree que puedan clasificarse como malas prácticas en su empresa para administrar la información que se genera en su área?
- ¿Considera que existe un correcto flujo de información entre el área de construcción y de proyectos?

Al analizar las respuestas de los cuestionarios, encuestas y observaciones directas, se detectó una serie de situaciones que son más comunes que ocurran al administrar la información y los documentos, en la obra, en la oficina y en la transferencia de datos. En la Tabla 1 se resumen los resultados.

Situación	Empresa A	Empresa B
<b>Retrasos por información incorrecta</b>	Se realizan cambios y adaptaciones durante la construcción, generando retrasos.	Se tienen retrasos en las entregas, por adecuaciones que solicitan los clientes.
<b>Exceso de comunicación informal</b>	La comunicación entre personal de obra y los socios de la empresa es, en su mayoría, informal.	La comunicación informal genera conflictos para mantener información documentada, ordenada y en tiempo.
<b>Falta de estandarización</b>	Se aplica la metodología BIM para mejorar sus procesos, sin embargo, primeramente, necesitan estandarizar procesos internos.	Los procesos internos de la empresa ya fluyen con facilidad, pues han adaptado la gestión la información con el aprendizaje del cierre de sus etapas.
<b>Sobrecostos por información incorrecta</b>	Para presupuestar comienzan a trabajar con planos que no están terminados o presentan ajustes durante la construcción.	En general, sus sobrecostos se manifiestan por la falta de actualización en planos cuando el cliente pide un cambio.
<b>Defectos en la construcción por información incorrecta</b>	La supervisión de obra ha detectado que residentes de obra no toman en cuenta ciertas recomendaciones y proporcionan otras indicaciones a obreros.	Personal de garantías expresa que al realizar levantamientos de las quejas de los clientes se encuentra con casos dónde no se respeta lo que está en los planos.

Se ha logrado recopilar toda la información de las cuatro etapas de esta investigación, misma que está siendo analizada para permitir a las empresas en mejora continua, relacionar las respuestas de las entrevistas con las buenas y malas prácticas.

Como conclusión, se puede recomendar a las PYMES constructoras que elaboren estándares y un análisis de sus procedimientos internos de trabajo, así como utilizar registros de las tareas críticas y flujogramas donde se pueda ubicar fácilmente la interacción que tienen las diferentes áreas departamentales de la organización. Es decir, trabajar con la logística, con aplicar sinergia en los procesos y formatos internos que utiliza cada departamento, y también se recomienda utilizar un sistema que les permita documentar sus experiencias, tanto de obra como de situaciones imprevistas en las oficinas centrales.

### **Referencias**

Emmitt, S., & Gorse, C. (2006). *Communication in Construction Teams*. USA: Taylor y Francis.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**MARCO DE REFERENCIA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
DE EDIFICIOS SUSTENTABLES EN MÉXICO A PARTIR DE SISTEMAS  
NACIONALES E INTERNACIONALES DE EVALUACIÓN**

**Rosy A. Arcila Novelo<sup>1</sup>, Sergio O. Álvarez Romero<sup>1</sup>, Gilberto A.  
Corona Suárez<sup>1</sup> y José D. Morales Ramírez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. [rosy.arcila@correo.uady.mx](mailto:rosy.arcila@correo.uady.mx)

<sup>2</sup>Departamento de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México,

## RESUMEN

La construcción es la actividad menos sostenible del planeta. Las economías emergentes como México se encuentran en diferentes momentos del proceso de incorporación al mercado de la edificación sostenible, pues las estrategias a nivel macro para perseguir la sostenibilidad son débiles a nivel proyecto, donde los tomadores de decisiones no cuentan con las herramientas para concretar los objetivos en sus proyectos. Los profesionales que pretenden construir de forma sostenible encuentran dificultades tanto al guiarse de la normatividad nacional (que es poco conocida) como de los sistemas internacionales, como LEED (que no responde adecuadamente a las condiciones locales, requiere una elevada especialización, utiliza lenguaje complejo, etc.). Ante esto, la investigación realizada tuvo como objetivo desarrollar un marco de referencia para el diseño y construcción de edificios sustentables en México, con base en los criterios evaluados por la norma NMX-164 y los sistemas internacionales LEED y BREEAM, desglosando acciones para las etapas de planeación, diseño y construcción. Adicionalmente, la investigación identificó las problemáticas a nivel socioeconómico que no son abordadas por la norma mexicana ni los 2 sistemas internacionales, con el fin de ofrecer un balance entre los 3 pilares de la sostenibilidad ante el desbalance actual que da un peso significativamente mayor al ámbito ambiental en la evaluación de la sostenibilidad.

**Metodología:** Para la resolución del problema de la carencia de un marco de referencia para diseñadores y constructores de edificios sustentables en México, se realizó una investigación aplicada de tipo evaluativo con enfoque mixto. Las etapas de la metodología se describen en la Figura 1.



**Figura 1.** Etapas de la metodología

**Resultados:** uno de los resultados de la investigación fue la obtención de una serie de criterios, propuestos y sustentados por diseñadores, constructores y clientes, para promover la sostenibilidad socioeconómica de los proyectos de construcción en México. Los criterios fueron, además, clasificados según su importancia para alcanzar la sostenibilidad y la factibilidad de su aplicación en el contexto mexicano y vinculados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se identificó que el despojo de tierras a pobladores originarios o rurales para elaborar proyectos “sostenibles” es una práctica relativamente habitual en la etapa de planeación y contraria a la sostenibilidad social. En la etapa de diseño, especificar materiales de buena calidad y durabilidad, independientemente del nivel socioeconómico del usuario, fue considerado el criterio más relevante. En la etapa de construcción, prevenir y corregir las posibles afectaciones al medio ambiente (principio precautorio), fue considerado el criterio más importante, ante la consciencia de que las afectaciones a los recursos naturales afectan en mayor medida a la población económicamente vulnerable.

El otro producto de la investigación fue un marco de referencia elaborado en la plataforma Power Bi de Microsoft, conteniendo acciones desglosadas por etapa y participante, para cada uno de los criterios de sostenibilidad contenidos en la norma mexicana NMX-164 y los sistemas LEED y BREEAM para las etapas de planeación, diseño y construcción de edificios pequeños y medianos en México. El marco de referencia podrá ser utilizado por diseñadores, constructores y clientes para orientar la toma de decisiones sostenibles en sus proyectos.

**Conclusiones:** del trabajo desarrollado se puede concluir que los profesionistas de las áreas de arquitectura e ingeniería pueden contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo sostenible, pues el resultado de sus decisiones impacta más allá de los límites del proyecto. Por otro lado, la certificación de edificios es aún una práctica poco común, que debe promoverse creando capacidades entre los involucrados. Un análisis crítico de las normas permitió identificar aciertos y debilidades, que deben ser subsanadas en el futuro próximo para tener mejores edificios y ciudades.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**SUPERVISIÓN DE TRABES DE CONCRETO REFORZADO**

**Selene Aimée Audeves-Pérez<sup>1</sup>, Alejandro Carbajal-Fuentes<sup>1</sup>, Rómel Gilberto Solís-Carcaño<sup>1</sup>, Sergio Omar Álvarez-Romero<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. selene.audeves@correo.uady.mx

**RESUMEN**

La industria de la construcción es altamente competitiva, lo cual obliga a las empresas constructoras a eficientizar sus procesos a fin de mejorar los parámetros de costo, tiempo, calidad, seguridad y sustentabilidad de un proyecto. Se han realizado investigaciones acerca de cómo la calidad de un proyecto influye de manera significativa en aspectos de durabilidad de los elementos constructivos, donde las estructuras de concreto reforzado (trabes, columnas, zapatas, losas, etc.) emergen como las que más impactan de manera negativamente. Si no se hace una correcta vigilancia a fin de que se cumpla con las especificaciones y normatividad aplicable en los procesos constructivos de los componentes de la edificación se pueden tener fallas estructurales, retrasos por retrabajos, costos no contemplados, disminución de tiempo de vida, etc. Esta investigación tiene por objetivo determinar los principales errores y omisiones en la supervisión de elementos de concreto reforzado (trabes), donde los supervisores son los encargados de asegurar la calidad con respecto a lo plasmado en los planos y especificaciones y lo hecho físicamente en la realidad.

Para poder cumplir con el objetivo de la investigación, se llevaron a cabo las siguientes actividades dentro de una metodología establecida:

- Se realizaron listas de verificación con los principales conceptos a inspeccionar por parte del supervisor en la ejecución del proyecto, las cuales se basaron en estándares internacionales y normativa local y federal. Estas listas se dividieron en 4 etapas: documentos del proyecto, actividades preliminares, almacenado de los materiales, y mezcla y colocación.
- Se hicieron las gestiones necesarias con encargados de los proyectos de edificación (que contaran con trabes de concreto reforzado), a fin de poder obtener los permisos de acceso al sitio de ejecución, así como documentos de diseño y especificaciones de los proyectos.
- Se visitaron 11 proyectos de construcción de 9 diferentes empresas de las cuales se tomó información de 20 trabes, y utilizando las listas de verificación, interacción con los supervisores, tomas fotográficas y videos, se comprobó si los conceptos previamente estipulados cumplían o no, y con esto determinar los principales errores y omisiones.

Con toda la información recabada se realizaron tablas de frecuencia, gráficas y se definieron rangos para determinar el “desempeño” en cuanto al número de conceptos cumplidos en cada uno de los proyectos, y supervisores estudiados. También, se detectaron los principales errores y omisiones los cuales se dividieron en las 4 etapas mencionadas anteriormente.

En cuanto a la *documentación del proyecto* los principales errores y omisiones fueron: no especificar información acerca de las cimbras a utilizar, falta de información de los recubrimientos y poca información acerca de las propiedades del concreto, relación agua-cemento, aditivos, etc. Ningún proyecto obtuvo más del 70% (desempeño aceptable) de conceptos cumplidos.

El *almacenamiento de los materiales* obtuvo pocos errores debido a que la mayoría de los elementos fueron hechos con concreto premezclado. Los principales errores fueron no cuidar la superficie en donde se almacena el acero, no se verificó que el acero se encuentre con óxido y tampoco que las maderas para la cimbra de los elementos se encuentren en buen estado. 4 proyectos lograron un resultado mayor al 70% (desempeño aceptable) de elementos cumplidos.

La etapa más crítica de las cuatro fue la de *actividades preliminares*, debido a que se encontraron el mayor número de errores u omisiones siendo los principales el poco recubrimiento del acero de refuerzo y soportes para el acero, dobleces inadecuados y pasos de instalaciones que no cumplen con la normativa. Solo 2 proyectos lograron un resultado mayor al 70% (desempeño aceptable) de conceptos cumplidos.

La *mezcla y colocación del concreto* obtuvo resultados regulares, ya que en su mayoría fueron trabes coladas con concreto premezclado, lo cual hizo que los conceptos a verificar disminuyeran, sin embargo, esto no lo exentó de errores y los principales fueron: no se verifican dimensiones y elevaciones, no hay monitoreo del estado de las cimbras al momento del colado, nula metodología en el vibrado del concreto y falta de la realización de pruebas de laboratorio del concreto utilizado. Solo un proyecto logró 71% de conceptos cumplidos (desempeño aceptable). Con esta investigación se pone de manifiesto la falta de cuidado en la supervisión de la calidad de las trabes de concreto reforzado, la cual puede ocasionar fallas en dichos elementos, quizás no instantáneamente, pero si en un tiempo más corto que para el que fue diseñado.

**Reconocimiento:** Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo para la realización de la presente investigación.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**MEJORAMIENTO DEL CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL POR MEDIO DE UN SISTEMA PASIVO**

**Sergio Omar Álvarez Romero<sup>1</sup>, Darany Domínguez Nolasco<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. aromero@correo.uady.mx

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. darany.dn@gmail.com

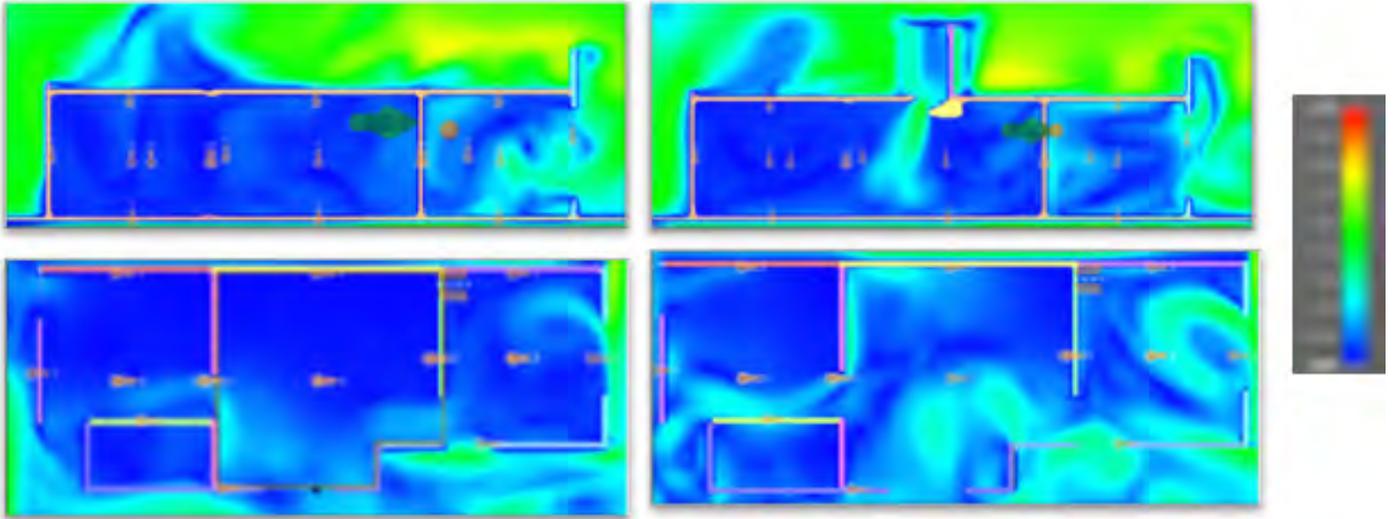
## RESUMEN

El confort térmico es una necesidad fundamental que debería ser considerada dentro del diseño y construcción de la vivienda digna, sin embargo, para ciudades con un clima como el de la ciudad de Mérida, Yucatán, es difícil garantizar el confort térmico en las construcciones, sobre todo en la vivienda de interés social; ya que normalmente carece de un diseño adecuado que ayude a lograr estas condiciones de confort mínimas. Como consecuencia de esta situación y aunado al rápido crecimiento de la población, se ha generado un abuso y sobrecarga de los recursos energéticos que generan una mayor cantidad de emisiones de CO<sup>2</sup>, como resultado del uso de dispositivos eléctricos de enfriamiento.

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, proponer un sistema pasivo e integrado en la vivienda de interés social, como elemento auxiliar para la mejora del confort térmico de ésta. Para lo cual se requirió responder, ¿Cuál es el diseño, ubicación, materiales y orientación para lograr el funcionamiento adecuado de este elemento sistema pasivo bajo las condiciones dadas de una vivienda de interés social?, y si ¿El elemento enfriador pasivo logra mejorar el confort térmico dentro de una vivienda de interés social?

Se recurrió a un diseño de investigación de tipo experimental, en la cual, se eligió un caso de estudio representativo de la vivienda de interés social de la región y se establecieron los criterios a evaluar en relación con el confort térmico.

Se elaboró un modelo de simulación de las condiciones térmicas reales, que se tomó como modelo de control y a partir de éste utilizando simulaciones computacionales de dinámica de fluidos (CFD) como se muestra en la figura 1, se experimentó con diferentes configuraciones del sistema pasivo y se observó y analizó el comportamiento de las variables dependientes.



**Figura 1** Simulaciones CFD. A la izquierda vista en alzado y planta del flujo de aire interior de la vivienda sin la chimenea. A la derecha vista en alzado y planta del flujo de aire que circula dentro de la vivienda con el prototipo de chimenea.

Como resultado se obtuvo un método de diseño y prueba de sistema pasivo de enfriamiento, y para el caso de estudio, una propuesta de un sistema pasivo para mejora del confort térmico de la vivienda analizada (ver Figura 2), es decir el modelo que arrojó la tasa más alta de viento circulante dentro de la vivienda.

<b>Sistema Pasivo Propuesto (mejora en circulación de viento interior de la vivienda: 81.62%)</b>	
ALTURA	1.5m
BASE	1.40 x .80 x 1.10
ORIENTACION DE CHIMENEA DE VIENTO	ESTE
ORIENTACION DE CHIMENEA SOLAR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	15°
ASCD INFERIOR	45°
ASCD SUPERIOR	40°
UBICACIÓN	CENTRO
REJILLAS FRONTALES	NO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO
UBICACIÓN	ATRÁS - IZQUIERDA
HABITACIÓN	H3

**Figura 2** Diseño del sistema pasivo propuesto

**Ponencias Orales**

**ENERGÍAS  
RENOVABLES**

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE UN ARREGLO DE CONCEN-  
TRADORES DE CANAL PARABÓLICO INCORPORANDO TÉCNICAS  
PASIVAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA SU IMPLEMENTA-  
CIÓN EN UNA INDUSTRIA LÁCTEA MEXICANA**

**A.J. Cetina-Quiñones<sup>1</sup>, A. Bassam<sup>2</sup>, J.G. Carrillo<sup>3</sup>, I. Pérez-Quinta-  
na<sup>2</sup> y Luis J. Ricalde<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Posgrado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias no contami-  
nantes, Mérida, Yucatán, México, armando.cetina7@gmail.com.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias no contaminantes, Mérida,  
Yucatán, México.

<sup>3</sup>Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43, No. 130, Chuburná de Hidal-  
go, Mérida, 97205, Yucatán, México.

## RESUMEN

El sector industrial representa el segundo mayor consumidor de energía en México, las aplicaciones de calor industrial constituyen un mercado promisorio para las energías renovables por su potencial para mitigar la emisión de contaminantes atmosféricos. Dentro de estas, la energía solar es una de ellas, ya que es una fuente de energía limpia y una alternativa adecuada para enfrentar los problemas relacionados con el cambio climático, así como la creciente demanda de energía. La tecnología termosolar más utilizada es el Concentrador Solar de Canal Parabólico (CCP) ya que se puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones como procesos de desalinización, cocina solar, calefacción, sistemas de refrigeración y principalmente para la generación de calor industrial. No obstante, debido a que estos sistemas operan a altas temperaturas, es necesario aprovechar la máxima cantidad de calor y minimizar las pérdidas de la superficie del receptor, ya que esto conduce a una disminución de la eficiencia térmica del sistema. Bajo este contexto, este estudio de investigación presenta la evaluación numérica de la implementación de cuatro categorías diferentes de técnicas pasivas de transferencia de calor en un arreglo de CCPs para obtener la combinación óptima a través de un estudio tecno-económico para la generación de calor de proceso aplicado a la industria láctea mexicana. Este análisis considera diferentes zonas climáticas que fueron elegidas en base a la relevancia industrial y sus respectivas regiones geográficas. De igual manera, el estudio contempla un enfoque exergético y ambiental como herramientas de análisis para la adecuada evaluación del sistema térmico que permite el desempeño del sistema y ayuda a la mejor toma de decisiones para la implementación de este tipo de tecnología solar térmica en la industria láctea mexicana.

*Palabras clave: energía solar térmica, proceso de calor industrial, proceso de optimización*

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## CONTROL NO LINEAL PARA INVERSOR FOTOVOLTAICO TRIFÁSICO

**Bernardo Fernández<sup>1</sup>, Manuel Flota Bañuelos<sup>1</sup>, Luis Ricalde<sup>1</sup> y Ali  
Basam<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Berfn.65@gmail.com

### RESUMEN

Una de las energías renovables más populares alrededor del mundo es la energía solar fotovoltaica. Gracias a avances tecnológicos, mejoras en la disponibilidad, así como incrementos en los costos a los consumidores de energía eléctrica centralizada, la instalación de paneles fotovoltaicos caseros es la forma de producción de energía fotovoltaica con más rápido crecimiento. Sin embargo, la corriente directa producida por los paneles fotovoltaicos debe ser transformada a corriente alterna para ser utilizada. Esta transformación utiliza inversores compuestos principalmente por conmutadores cuya acción puede resultar en la introducción de armónicos a la red eléctrica, por lo que el aumento en la cantidad de inversores fotovoltaicos para producción distribuida conectados a la red es un tema de interés. La presencia de armónicos en la red eléctrica tiene diversos efectos negativos, desde reducción en la eficiencia del aprovechamiento de la energía hasta daño a equipos sensibles conectados a la red.

Mejoras en el control de los inversores pueden ayudar a reducir la presencia de armónicos en la red. Es común encontrar filtros pasivos en los inversores usados para eliminar rizos en la corriente ocasionados por la conmutación. Los filtros tipo LCL son considerados los mejores para esta función, pero tienen la desventaja de dificultar el control del inversor, el cual ya es complicado debido a su estructura discontinua. El objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología de control para un inversor trifásico con filtro LCL capaz de eliminar los armónicos inyectados en la red. Adicionalmente desarrollar un modo de funcionamiento de filtro activo que aproveche el hardware del inversor cuando el arreglo fotovoltaico no esté en funcionamiento.

Para alcanzar los objetivos se desarrolló un sistema consistente de un inversor trifásico con filtro LCL, un control por modos deslizantes y un observador que utiliza la técnica de inmersión e invarianza (I&I) estas técnicas fueron seleccionadas debido a su robustez y velocidad de convergencia. Una de las dificultades que presenta el filtro LCL es que estos tienen una frecuencia de resonancia que debe ser atenuada. Con este propósito se sintonizó el filtro a las frecuencias deseadas y se calculó el valor de una resistencia de amortiguamiento para eliminar la frecuencia de resonancia.

Con los valores de los inductores y capacitores del filtro determinados se procedió a modelar el sistema en forma de espacio de estados. Este modelo matemático del sistema es en el que posteriormente se basaron el controlador y el observador. El control por modos deslizantes es un tipo de control discontinuo que consiste en determinar una superficie matemática conocida como superficie de deslizamiento sobre la cual se fuerza al sistema a evolucionar a través de la conmutación de dos ecuaciones de control. En este caso se utilizó la técnica de control equivalente la cual deriva una función continua equivalente al grupo de funciones discontinuas.

Con la finalidad de reducir la cantidad de sensores necesarios para el funcionamiento del controlador se implementó un observador I&I capaz de estimar los valores de corriente en los inductores del filtro LCL utilizando las lecturas de tensión en los capacitores del mismo. De esta manera se elimina la necesidad de sensores de corriente que son más susceptibles a ruido y se incrementa la robustez general del sistema.

Las referencias del sistema se obtienen en un marco de referencia síncrono utilizando la transformada DQ para separar las componentes en fase y en cuadratura con la red de las mediciones de corriente de las cargas no lineales. Es necesario eliminar la fundamental de las referencias de las cargas por lo que se utiliza un filtro pasa altas en la señal que contiene las componentes en fase con la red. En este punto también se determina el cambio de modo de operación del sistema estableciendo un umbral que al cruzarse cambiara la referencia enviada al controlador y con esto se consigue el cambio de modo. La referencia utilizada para el modo inversor es la de la corriente pico, la cual se suma a las componentes en fase con la red antes de la transformada DQ inversa para obtener las referencias.

El sistema se implementó en MATLAB Simulink para ponerse a prueba. Estas pruebas consistieron en aplicar cargas no lineales al sistema y cambiarlas de forma abrupta para probar la velocidad de respuesta del sistema. Las pruebas se llevaron a cabo en tanto en modo inversor como en modo filtro activo y con cargas balanceadas y desbalanceadas.

Para todos los casos el sistema fue capaz de mantener la distorsión armónica total en el punto de acoplamiento común por debajo del 5% recomendado por el estándar de la IEEE.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**ANÁLISIS TÉRMICO DE UNA CHIMENEA SOLAR PARA CLIMA CALIDO: USANDO BALANCE DE ENERGIA GLOBAL**

**Miguel Jimenez-Xaman<sup>1</sup>, Pedro Cruz-Alcantar<sup>1</sup>, Martin Rodriguez-Vazquez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Coordinación Académica Región Altiplano, UASLP. Matehuala, San Luis Potosí, C.P. 78700, S.L.P.

<sup>2</sup> Universidad Veracruzana Región Coatzacoalcos, Facultad de Ingeniería, Veracruz, México.

Correo: miguel.xaman@uaslp.mx, mxaman10@gmail.com

## RESUMEN

La gran demanda energética es debido al empleo de equipos de acondicionamiento al interior en edificaciones (departamentos, escuelas, hospitales, etc.) de modo que tener unos de estos equipos para ventilación es caro debido al costo de mantenimiento y el consumo de energía eléctrica. También debido a la pandemia por Covid-19 y con la variante del virus, es necesario tener los espacios habitables con una ventilación eficaz y que permita tener la renovación del aire al interior de cualquier tipo de edificación.

La Chimenea Solar (CH-S) tiene como función principal remover un volumen de aire en un recinto, con el propósito de ventilar la vivienda para mejorar la calidad del aire, o bien, con el adicional propósito de generar condiciones de confort.

El diseño e implementación de este tipo de sistemas ha marcado toda una pauta en la investigación ya que aún sigue siendo un tema de interés debido a la sinergia que presenta, en el diseño y funcionamiento. En este trabajo se realiza un análisis térmico comparativo de los elementos de una CH-S, con el fin de emplear materiales con propiedades ópticas y termo-físicas, que contribuyan al desempeño óptimo de este tipo de sistema. En este estudio la CH-S tiene una cubierta acrílica y una placa de aluminio (Configuración Acrílico-Aluminio, CAA), considerando una altura de 2 m. El sistema es evaluado con las condiciones climáticas del día más cálido de la ciudad de Mérida Yucatán. Para observar la aportación de usar otros materiales poco convencionales, los resultados se compararon con resultados de una chimenea solar convencional (cubierta de vidrio y una placa metálica-negra). En la Tabla 1 se presentan la temperatura de cada elemento en un periodo de 7:00 a 17:00 hrs. La máxima y mínima diferencia porcentual entre los dos sistemas es de 2.83 % y 0.03 % para la temperatura del fluido ( $T_f$ ) y temperatura de la placa ( $T_w$ ) para un intervalo de tiempo de 9:00 am y 10:00 am, respectivamente. También en la Tabla 2 se muestran la comparación de los parámetros que evidencian la renovación del aire por medio de la CH-S, mostrando una máxima diferencia porcentual de 19.76 % a las 7:00 am para la eficiencia térmica. Se concluye que la configuración CAA presenta resultados satisfactorios en el aspecto que permite la

renovación del aire para las horas con mayor radiación solar, en comparación a la CH-S convencional, debido a que la cubierta acrílica disminuye las pérdidas convectivas.

Tabla 1. Comparación de la Temperatura (°C) de las componentes CH-S (cubierta, fluido, placa metálica, respectivamente) para la configuración CAA y la CH-S tradicional.

Hr	Ta-CAA	Tf-CAA	Tw-CAA	Tg	Tf	Tw
07:00	25.13	26.66	30.78	25.04	26.80	30.70
08:00	31.50	31.57	51.06	31.59	32.10	51.18
09:00	34.28	33.86	58.08	34.80 (1.5)	34.85 (2.83)	58.40
10:00	39.26	37.75	65.96	39.43	38.49	65.98 (0.03)
11:00	42.26	39.78	70.02	42.47	40.60	70.33
12:00	44.57	41.43	71.74	44.83	42.33	72.15 (0.57)
13:00	47.20	42.69	72.79	47.58	43.86	73.18
14:00	46.96	43.12	70.02	47.31	44.18	70.41
15:00	45.85	43.76	62.06	46.07	44.54	62.38
16:00	41.42	41.49	51.02	41.47 (0.11)	41.90	51.08
17:00	37.43	38.40	42.52	37.38	38.55 (0.38)	42.45

Tabla 2. Comparación del Cambio de aire por hora ACH, flujo másico (m) y la eficiencia térmica ( $\eta$ ) para la configuración CAA y la CH-S tradicional.

Hr	ACH-CAA	m-CAA	$\eta$ -CAA	ACH	m	$\eta$
07:00	0.77	0.01	14.04	0.73	0.01	11.72 (19.76)
08:00	1.69	0.02	30.55	1.67	0.02	29.48
09:00	1.87	0.02	31.31	1.82	0.02	30.34 (3.19)
10:00	1.97	0.03	32.20	1.94	0.03	30.86
11:00	2.02	0.03	33.53	2.00 (0.90)	0.03 (0.90)	31.58
12:00	2.02	0.03	34.00	2.00	0.03	31.97
13:00	2.03	0.03	35.05	1.99	0.03	33.33
14:00	1.91	0.03	34.45	1.87	0.02	32.79
15:00	1.59	0.02	31.30	1.56	0.02	29.87
16:00	1.19	0.02	24.59	1.15	0.02	23.41
17:00	0.79	0.01	15.57	0.74 (5.86)	0.01 (5.86)	13.81

**Reconocimientos:** El autor Miguel Jimenez-Xaman, agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

### Bibliografía

Ong K.,Chow C.,“Performance of solar chimney”,Solar Energy, Vol.74,págs.1-17, 2003

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## RECURSO EÓLICO URBANO EN MERIDA, YUCATÁN, POTENCIAL DISPONIBLE Y PROPUESTAS PARA SU APROVECHAMIENTO

Rafael A. Clemente-Celis, E. Ernesto Ordóñez-López<sup>1</sup>, Luis  
J. Ricalde-Castellanos y Ricardo J. Peón-Escalante

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. eduardo.ordonez@correo.  
uady.mx

### RESUMEN

En la actual transición energética hacia fuentes de energía renovable, la participación de la energía eólica se ha dado prácticamente por medio de proyectos eólicos de producción de electricidad a escala comercial, siendo casi nula la participación de proyectos de pequeña escala para auto abasto o generación distribuida, principalmente en el ambiente urbano.

Siendo en las grandes ciudades en donde se consume la mayor parte de la energía eléctrica, la generación de energía renovable sería un valor agregado para un uso más sustentable de este territorio. En este trabajo se analizó el entorno urbano de la ciudad de Mérida, Yucatán. Se identificó un conjunto de tres zonas representativas del entorno urbano y se estimó el recurso eólico local con base en las características del recurso eólico en una zona de referencia.

Se analizaron estas zonas representativas en función del número de posibles usuarios, los impactos por sombreado y el espaciamiento. Se identificaron problemáticas asociadas a las instalaciones y se formularon propuestas para minimizarlas. Se estimó la producción energética y la viabilidad económica de los sistemas eólicos, fotovoltaicos e híbridos de pequeña escala, tomando en cuenta los costos de inversión y las tarifas eléctricas. Se encontró que la gran mayoría de aerogeneradores de pequeña escala disponibles actualmente no son aptos para el recurso eólico urbano y que es necesario realizar una adecuación de su área de barrido.

#### **Estimación del recurso eólico en el ambiente urbano**

En este trabajo se analizó el entorno urbano de la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Se identificó un conjunto de tres zonas que, por sus características en relación con el relieve, son representativas del entorno urbano de la ciudad. Se obtuvieron sus parámetros locales de rugosidad del terreno y desplazamiento del plano cero para poder estimar el recurso eólico local con base en las características del recurso eólico en una zona de referencia dentro de la ciudad obtenidas mediante mediciones de la velocidad y dirección del viento a diferentes alturas por medio de SODAR (sonic detection and ranging) y anemómetros ultrasónicos. El perfil vertical de la veloci-

dad del viento obtenido indica que el inicio de la subcapa inercial de la región se encuentra entre 45 y 65 m de altura. Se observó que el recurso eólico es aprovechable a baja altura para sistemas eólicos en la zona urbana.

Utilizando la herramienta Google Earth se obtuvieron datos del relieve de la zona de interés para obtener los parámetros de desplazamiento del plano cero y rugosidad para la aplicación de metodologías morfométricas para la extrapolación espacial del recurso eólico a las diferentes zonas representativas. Se pudo obtener una correlación aceptable entre el análisis morfométrico y los valores experimentales obtenidos a través de las velocidades de viento a diferentes alturas obtenidas con el SODAR.

### **Turbinas de pequeña escala**

Con la información del relieve, los datos del viento recolectados en una zona de referencia fueron extrapolados utilizando herramientas computacionales, y se estimó el potencial y altura necesaria para las diferentes zonas representativas de la ciudad. Se analizó la viabilidad de utilizar dos sistemas eólicos diseñados para ambientes urbanos, uno de eje horizontal y uno de eje vertical, y se corroboró su producción real con la teórica. Se realizaron recomendaciones para el diseño de un sistema eólico urbano que pudiera mejorar su desempeño en comparación con los sistemas disponibles comercialmente.

### **Aspecto social y económico**

Se analizaron casos de las posibles problemáticas sociales debido a la instalación de un sistema eólico en zona urbana, como lo es el sombreado parpadeante y el bloqueo por sombra a celdas solares. En las zonas de referencia se determinó la disponibilidad y distribución geográfica de los potenciales usuarios. Se encontró que el sombreado de las turbinas no presentaría una afectación potencial a las celdas de los sistemas circundantes, pero si pudiera afectar en cierta medida la comodidad de los vecinos.

### **Conclusiones**

La descentralización de la generación de energía eléctrica a partir del viento es importante en el aspecto económico, como en lo social. Sistemas de menor escala podrían traer consigo empleos a personas con actividad empresarial (de la misma forma que ha sucedido con los sistemas fotovoltaicos), por lo que se espera que, en un futuro con la disponibilidad de equipos adecuados, se puedan implementar exitosamente sistemas eólicos en la zona urbana.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## IMPACTO DEL DISEÑO DEL SOPORTE DE LAS ASPAS EN EL COEFICIENTE DE POTENCIA DE TURBINAS EÓLICAS DE EJE VERTICAL

Elías Tejero Aguilar<sup>1,2</sup>, María Milagrosa Pérez Sánchez<sup>1</sup>,  
Braulio José Cruz-Jiménez<sup>1</sup>, Mauricio A. Escalante Sobe-  
ranis<sup>1</sup>, Mauricio Gamboa-Marrufo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

<sup>2</sup>a20215010@alumnos.uady.mx

### RESUMEN

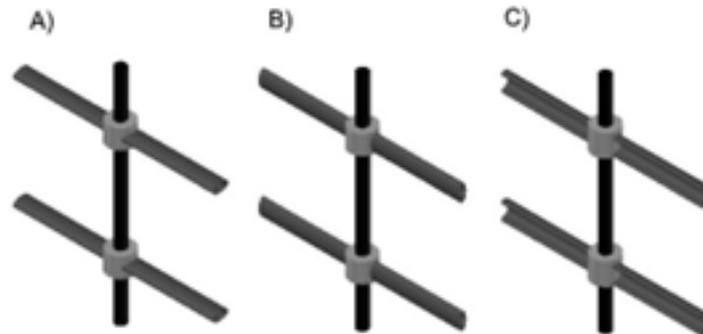
Debido a que las Turbinas Eólicas de Eje Vertical (VAWT por sus siglas en inglés) han presentado un eficiente desempeño a bajas velocidades de viento, éstas tienen un reducido costo de mantenimiento y eliminan la necesidad de un sistema de orientación con respecto a la dirección del viento a diferencia de las Turbinas Eólicas de Eje Horizontal (HAWT por sus siglas en inglés) (Paraschivoiu, 2002). Su instalación se ha vuelto muy atractiva dentro del contexto urbano y su aplicación en las redes inteligentes o ciudades inteligentes, tanto de manera autónoma, como integradas con otras fuentes de captación de energía. Sin embargo, aún no logran competir con las HAWT ya que al comparar la eficiencia energética producida por ambos tipos de turbinas, las VAWT siguen estando por debajo de las HAWT (Bracco et al., 2018) (Lu, 2020).

#### OBJETIVO

Con el objetivo de analizar un mayor aprovechamiento aerodinámico que permita comenzar la rotación de la turbina a bajas velocidades de viento sin la necesidad de un dispositivo de arranque se están desarrollando tres perfiles de brazos para que conecten las aspas con el eje de rotación y se evaluará el incremento en la curva de potencia de la Turbina Eólica generado por cada perfil en comparación con los prototipos experimentales probados en la literatura.

## METODOLOGÍA

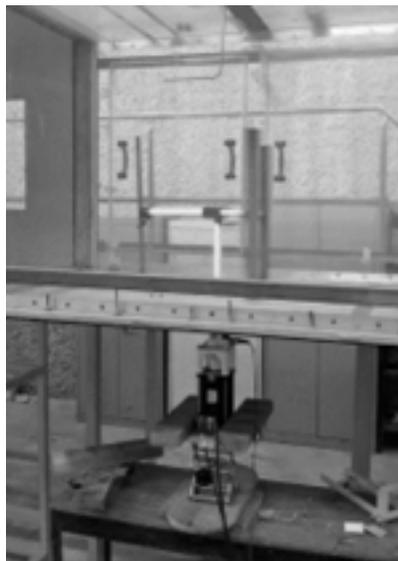
Como primer paso para la elaboración de este trabajo de tesis, se determinaron los perfiles a utilizar para los brazos de soporte, tomando en cuenta las fuerzas y velocidades de viento que tendrá que soportar el aerogenerador, el número de aspas del sistema y sus dimensiones. Posteriormente se seleccionaron los tres perfiles mostrados en la Figura 1 que se probarán a velocidades de viento de entre 3 y 12 m/s.



**Figura 1.** Perfiles seleccionados para experimentación. A) Perfil elíptico horizontal, B) Perfil elíptico vertical, C) Perfil semitubular

El diseño del VAWT permite que los soportes sean desmontables con la finalidad de poder probar diferentes perfiles aerodinámicos, tanto en la realización de esta investigación, como en trabajos posteriores y poder analizar el sistema en conjunto con las aspas y el eje rotativo. Este diseño también permite el ensamblaje de diferentes perfiles de aspas y ángulos de ataque.

Para el proceso experimental se desarrolló un sistema de control y adquisición de datos compuesto por un servo motor SMH110D-0157-30AAK-4HKC, un servo controlador CD620-AA-000 y una tarjeta de control adicional para regular la velocidad rotacional del aerogenerador conectados a un sensor de par Futek modelo TRS605, los cuales se muestran en la Figura 2. El sistema permite girar el rotor a revoluciones constantes y al ser sometido a una velocidad de viento regulada mediante el túnel de viento se puede traducir en un momento que impide la rotación del sistema. Estas fuerzas de momento se registran mediante el sensor de par y posteriormente son analizadas para generar la curva de potencia del aerogenerador y su desempeño dentro del rango de velocidades de viento seleccionadas.



**Figura 2.** Sistema de control y adquisición de datos en túnel de viento

## **CONCLUSIÓN Y RESULTADOS**

Este procedimiento se realizará con cada uno de los perfiles seleccionados y se comparará la eficiencia de cada uno de ellos para posteriormente elegir el perfil con un mayor desempeño aerodinámico y resistencia a mayores velocidades de viento. Sin embargo, basándose en estudios encontrados en la literatura se puede considerar que el perfil con una mejor resistencia estructural y un mayor desempeño aerodinámico es el perfil elíptico horizontal mostrado en la Figura 1; por otro lado, el perfil semitubular se estima que pueda generar una mayor resistencia al viento y esto ayudaría a generar un empuje extra para la rotación del aerogenerador.

## **REFERENCIAS**

- Bracco, S., Delfino, F., Ferro, G., Pagnini, L., Robba, M., & Rossi, M. (2018). Energy planning of sustainable districts: Towards the exploitation of small size intermittent renewables in urban areas. *Applied Energy*, 228(March), 2288–2297. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.074>
- Lu, W. (2020). Aerodynamic modelling of vertical axis wind turbine struts using the lifting line method CACTUS.
- Paraschivoiu, I. (2002). *Wind Turbine Design: With Emphasis on Darrieus Concept*. In Presses Internationales Polytechnique.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## Técnicas aerodinámicas para mitigar las pérdidas tridimensionales en el coeficiente de potencia en aerogeneradores de eje vertical

Gerardo Madrigal Avalos<sup>1,2</sup>, Roberto Quintal Palomo<sup>1</sup>,  
Eduardo Ernesto Ordóñez López<sup>1</sup>, Mauricio Alberto Escalante Soberanis<sup>1</sup>, y Mauricio Gamboa Marrufo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. 2A20215011@alumnos.uady.mx

### RESUMEN

Los Aerogeneradores de Eje Vertical (AEVs) tienen gran popularidad por su relativo bajo mantenimiento, una arquitectura operativa simple y principalmente por su funcionamiento omnidireccional; sin embargo, el elemento que determina la energía que un AEV será capaz de generar se encuentra en las características aerodinámicas de las palas. Un fenómeno muy crítico que ocurre en las palas de tipo aerodinámico es el desprendimiento de vórtices de punta, también conocido como efecto tridimensional que impacta directamente en la potencia que es capaz de generar el aerogenerador. Para mitigar este fenómeno, reducir las pérdidas en las puntas de las palas e incrementar el rendimiento de un AEV, han surgido muchos estudios numéricos con técnicas de control de flujo pasivo. Algunas técnicas contemplan la adición de estructuras en las puntas, mientras que otras modifican la forma de la pala para ejercer un mejor control de flujo; en todos los casos, existe una carencia de estudios experimentales que consideren los efectos de las pérdidas tridimensionales en puntas de palas y permitan evaluar su comportamiento en condiciones reales.

El objetivo general de esta investigación es seleccionar y evaluar experimentalmente 3 técnicas pasivas de control de desprendimiento de vórtices de punta en palas de un aerogenerador de eje vertical Darrieus tipo H que mitiguen los efectos tridimensionales. Para tal efecto se requiere analizar diferentes técnicas de control de flujo pasivo que mitiguen los vórtices de punta y determinar cuáles son las más adecuadas para ser evaluadas experimentalmente, determinar la instrumentación y el método de adquisición de datos necesarios para el proceso experimental, fabricar un AEV de palas rectas intercambiables con control de flujo pasivo y determinar que técnica evaluada ofrece un mejor coeficiente de potencia con respecto a un modelo base.

Las técnicas aerodinámicas de control de flujo fueron seleccionadas de diferentes autores con base en los resultados numéricos que obtuvieron (Tabla 1) y el punto operativo del modelo de AEV diseñado para operar a una velocidad de punta (TSR del inglés Tip Speed Ratio) baja.

**Tabla 1. Técnicas pasivas de control de flujo seleccionadas.**

Técnica pasiva	Principal ventaja	Incremento de CP
<b>Sierra en el borde de ataque</b> (Wang et al., 2018)	Suprime la separación del flujo	12% a 2m/s
<b>Protuberancia del borde de ataque</b> (Yan, Y. et al., 2021)	Retrasa la entrada en pérdida dinámica	Bajo TSR
<b>Medios porosos</b> (Zamani et al., 2021)	Mejora el coeficiente de torque	

El proceso de experimentación se realizó en un túnel de viento con un área de trabajo de sección transversal de  $1\text{m}^2$  en la que se instaló el modelo. El sistema para la de obtención del par dinámico generado por el AEV consistió en un servomotor y un servo accionador (controlado en intervalos de  $1\text{ rpm}$  por una tarjeta electrónica fabricada por el autor) acoplado mecánicamente a un medidor de par FUTEK modelo TRS605, el cual a su vez se acopló mecánicamente al eje central del AEV. La posición acimutal fue registrada con un sensor óptico tipo herradura en la posición  $0^\circ$  y en conjunto con la medición de par, los datos fueron recolectados con una tarjeta Arduino DUE a una resolución de  $12\text{ bits}$  (para la señal de par) y una frecuencia de muestreo de  $1\text{ kHz}$ .

El modelo de AEV bi-pala fue analizado con el software Qblade utilizando el perfil aerodinámico NACA0018 impreso en 3D con  $120\text{ mm}$  de longitud de cuerda,  $250\text{ mm}$  de radio y  $400\text{ mm}$  de longitud de pala, resultando en una solidez alta de  $0.48$ . Dicha característica le permite al AEV arrancar a baja velocidad de viento y un punto de operación nominal a TSR bajo.

Los datos obtenidos en simulación indican un coeficiente de potencia máximo de  $0.34$  a un TSR de  $2.11$  y velocidad de viento de  $3\text{ m/s}$  para las dimensiones del modelo, sin considerar pérdidas de punta. Por lo tanto, se esperan resultados experimentales menores, pero en comparación con el modelo de referencia operado en las mismas condiciones, permitirá verificar si la técnica de control de flujo en las puntas es efectiva, no tiene influencia o tiene un impacto negativo en la generación de potencia.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## DISEÑO DE UN MODELO DE DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO CON ENFOQUE EN ENERGÍAS RENOVABLES Y SUSTENTABILIDAD PARA COMUNIDADES RURALES

<sup>1</sup>Gallegos Machado Jesús Andrés<sup>1</sup>, María Luisa López Segura<sup>2</sup>, Amina El Mekaoui<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de posgrado, Instituto Tecnológico de La Laguna, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Col. Centro. C.P. 27000. Torreón, Coah. México. andresgallegos1991@icloud.com

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de La Laguna, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Col. Centro. C.P. 27000. Torreón, Coah. México.

<sup>3</sup>Catedrática CONACYT, Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, Unidad de Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Yucatán, Calle 61 Núm. 525 por 64 y 66, Barrio de Santiago, Centro.97000 Mérida, Yucatán. Tel. (999) 965 4825 Ext.51, Cel.: 005219994117214

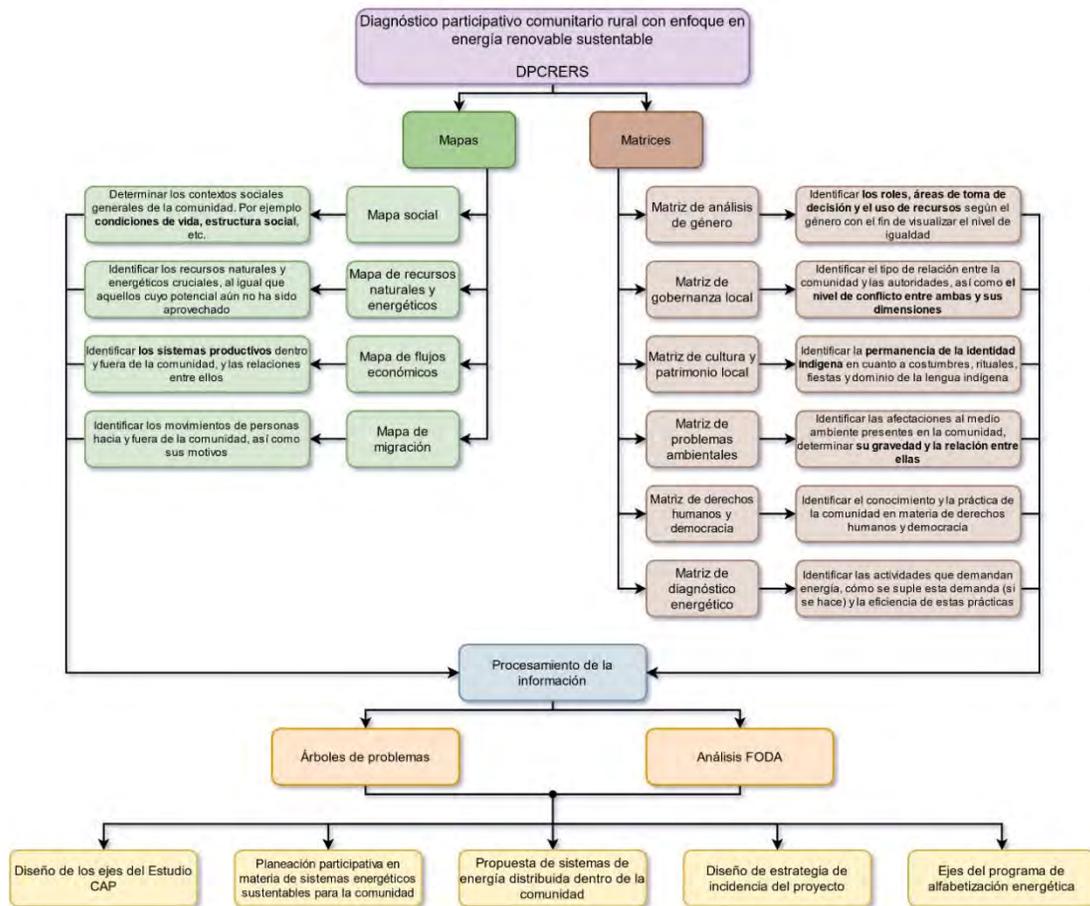
**Palabras clave:** Diagnostico comunitario, Comunidades rurales, Desarrollo sostenible.

### RESUMEN

En México se contaba con 126,014,024 habitantes en el 2020 de acuerdo con los datos del INEGI. (REF). En el 2018 el CONEVAL reporta una población de 61.1 millones (48.8%) con un ingreso inferior a la línea de pobreza por ingresos y 21 millones (16.8%) tienen ingresos por debajo de la línea de extrema pobreza, existen más de 52 millones de personas en pobreza y más de 9 millones (7.4%) en pobreza extrema. La pobreza extrema y moderada en áreas rurales es de 55.3% y en las áreas urbanas 37.6% existiendo una diferencia considerable en sus porcentajes de población.

Históricamente, un número significativo de proyectos de energías renovables en zonas rurales han fracasado debido a los conflictos comunitarios constantes generadas por su existencia. El problema es que estos proyectos basan su sustentabilidad sólo en el uso racional de los recursos del medio ambiente y olvidan el resto de las dimensiones del concepto de sustentabilidad planteadas por la ONU en su Agenda 2030. No basta con que un proyecto sea económico y ambientalmente factible, hace falta que sea deseado y entendido por la sociedad.

En este proyecto busca diseñar un Modelo para un Diagnóstico Comunitario Rural Participativo con enfoque Energético como se muestra en la Figura 1, que permita el desarrollo sostenible de las comunidades y disminuir las desigualdades sociales, conservar el medioambiente y promover la economía rural productiva.



**Figura 1.** Modelo para un Diagnóstico Comunitario Rural Participativo con enfoque Energético.

El resultado de este proyecto pretende asimismo que la definición del modelo y sus matrices sociales, ambientales, económicas y de recursos naturales, permitan desarrollar tecnologías que ayuden a atender otras comunidades rurales del país y prosperar en sus condiciones de vida.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## REPRODUCCIÓN DEL MODELO DE LA IEC-61400-12-1 PARA LA OBTENCIÓN DE LA CURVA DE POTENCIA DE UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA

Linda Guadalupe Canché Cab<sup>1</sup>, Luis Josue Ricalde Castellanos<sup>1</sup>, y Mauricio Alberto Escalante Soberanis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. mauricio.escalante@correo.uady.mx

### RESUMEN

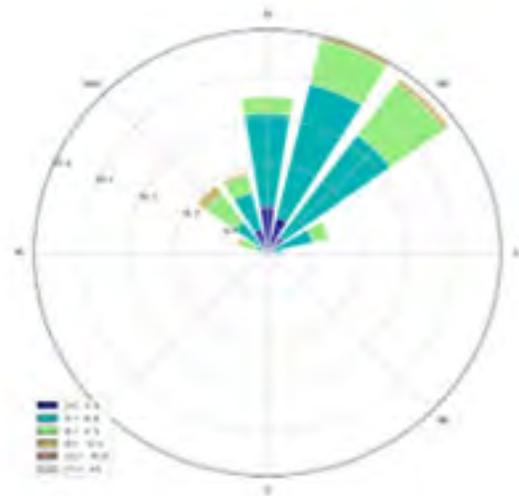
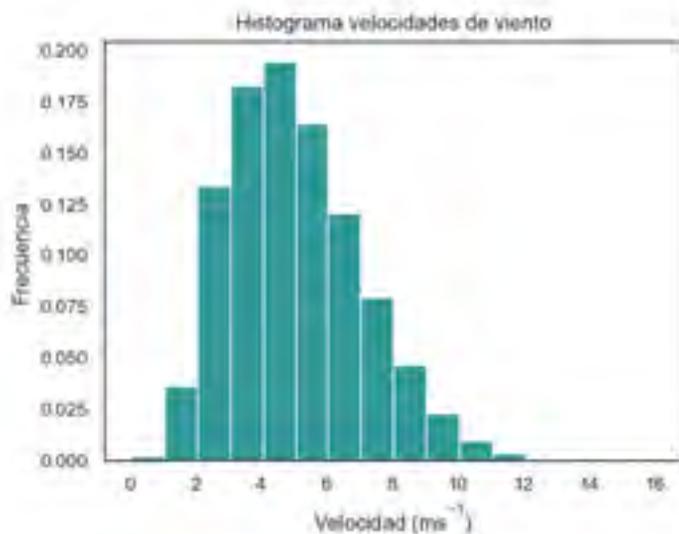
La curva de potencia de una turbina eólica de eje horizontal permite relacionar la velocidad del viento que pasa por la turbina con la potencia generada, y se emplean por los operadores para estimar la generación de energía eólica.

Las curvas de potencia de las turbinas eólicas son calibradas por los fabricantes según los requisitos de la International Electrotechnical Commission (IEC), sin embargo, estos modelos no toman en cuenta la variabilidad de las condiciones locales, los desgastes de la turbina o la dinámica del viento, lo que se traduce en una incongruencia en la generación de energía pronosticada.

La motivación de este trabajo es resaltar la importancia de la influencia del viento en la potencia de salida real de un generador eólico.

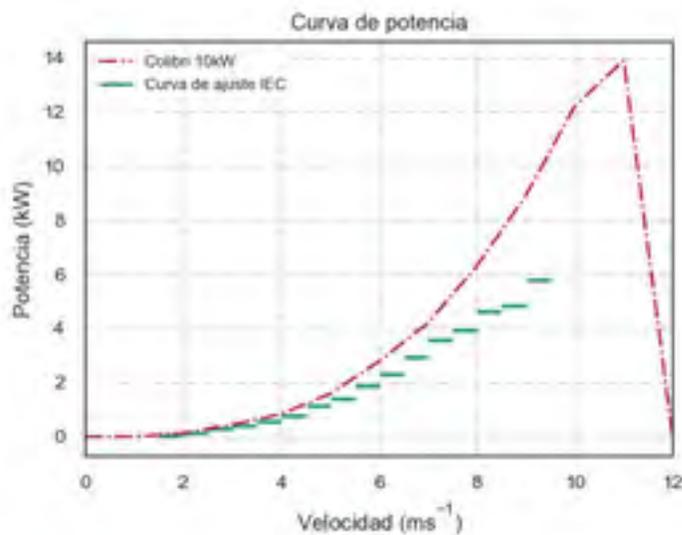
Actualmente existe una gran variedad de métodos paramétricos y no paramétricos para calcular la potencia de salida de los aerogeneradores. El objetivo de este trabajo es modelar la curva de potencia con datos reales medidos de velocidad de viento y potencia de salida a alta frecuencia de la turbina eólica Colibrí de 10 kW ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería, UADY durante el período de una semana a través del método paramétrico basado en el modelo de la norma IEC-61400-12-1 y comparar esta con la proporcionada con el fabricante.

En la Figura 1 se presenta el histograma de frecuencias de la velocidad de viento a 40 metros de altura y la rosa de los vientos, ambas medidas a una resolución de un segundo. Observamos que los vientos dominantes para esa locación fue de dirección nor-noreste, con velocidades sobresalientes entre los 4 y 6  $ms^{-1}$ .



**Figura 1** (a) Histograma de frecuencia para las velocidades de viento a 40 metros de altura y (b) rosa de los vientos ambas con una resolución de medición de 1s. En el histograma de frecuencia, se destacan velocidades de vientos entre los 4 y 6  $\text{ms}^{-1}$ , mientras que los vientos provenientes de la dirección nor-noreste predominaron

Para estimar la curva de potencia, como describe la IEC-61400-12-1, se aplicó el método de bins, donde se segmentó la potencia de salida de la turbina en función de la velocidad de viento incidente en un rango de 1 a 11  $\text{ms}^{-1}$  en rangos de 0.5  $\text{ms}^{-1}$ , y se calcularon los valores promedios cada 10 minutos de velocidad de viento y potencia. El resultado se muestra en la Figura 2, podemos notar que la curva estimada difiere con la curva del fabricante. Las velocidades medidas alcanzan el punto máximo de la curva de potencia a los 9  $\text{ms}^{-1}$ , lo que significa que se está produciendo menos de la potencia nominal.



**Figura 2.** Curva de potencia con el método de la IEC (líneas verdes) y la curva de potencia de la turbina eólica Colibrí 10kW.

Estos resultados sugieren que la curva de potencia del fabricante no representa correctamente el potencial eólico del sitio debido principalmente a que esta es un modelo ideal de operación, bajo condiciones muy específicas de temperatura, humedad y en condiciones de baja turbulencia; por lo que es importante la implementación de técnicas de corrección para curvas de potencia que se asemejen a las condiciones reales de operación para cada sitio.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## ANALISIS DEL PANORAMA ACTUAL Y FUTURO DEL CONFORT TÉRMICO EN EDIFICACIONES EN MEXICO, BASADO EN GRADOS HORAS DIAS MEDIANTE UNA METODOLOGÍA COMPUTACIONAL A TRAVÉS DE PYTHON

M. Jiménez Torres<sup>1\*</sup>, O. May Tzuc<sup>2</sup>, L. Ricalde Castellanos<sup>3</sup>, M. Flota-Bañuelos<sup>3</sup>, A Bassam<sup>3</sup>, M. Castillo Tellez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de posgrado, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias no contaminantes, Mérida, Yucatán, México. [mario.jimenez@alumnos.uady.mx](mailto:mario.jimenez@alumnos.uady.mx)

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campus V, Av Humberto Lanz, Col. Ex Hacienda Kalá, C.P. 24085, San Francisco de Campeche, Campeche, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias no contaminantes, Mérida, Yucatán, México

Palabras clave: Cooling degree hours, confort térmico, Tratamiento de datos.

### RESUMEN

El sector edificaciones es de los principales consumidores de energía a nivel mundial. La prospectiva del incremento de la temperatura ambiente debido a los efectos del cambio climático prevé un aumento significativo en la energía requerida para el enfriamiento de espacios. Técnicas como los Cooling Degree Hours (CDH), son una opción en la predicción de escenarios. Así mismo, para el procesamiento de extensas bases de datos y cálculos computacionales se tienen herramientas que permiten la ejecución de algoritmos mediante servidores en línea. En el presente trabajo a través de los CDH se analiza la tendencia de las horas de refrigeración de los 2,430 municipios bajo las diversas condiciones climáticas predominantes en la República Mexicana. La base de datos se colectó a través del software Meteonorm bajo el escenario actual y futuro considerando una proyección de altas emisiones (RCP 8.5) definido por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. A partir de los cálculos del CDH se realizó un tratamiento estadístico que permitió identificar el aumento de las horas de climatización requeridas para lograr parámetros de confort térmico con un parámetro operativo de 26 °C. Para la realización de estos análisis, se recurrió a Python, que es un programa de código abierto el cual se complementó con Colab (Colaboratory), que permite programar y ejecutar a través de un navegador de internet. En la Figura 1, se observa que más del 50 % de la República Mexicana requiere de altos niveles de climatización. En el escenario 2050-RCP8.5, tiene un incremento superior al 20 % respecto al comportamiento actual en el país. Dentro del rango de horas se observa que el requerimiento de climatización es entre las 11 y las 16 horas despuntando en la época de verano.

Este trabajo ofrece un panorama nacional del requerimiento de climatización bajo diversos escenarios climáticos con el cual se analizan diversos patrones operacionales desde un punto de vista térmico en edificaciones. De igual manera, se presenta una metodología computacional a través de software libre y librerías especializadas la cual permite un procesamiento de bases de datos extensas sin requerir un alto uso de memoria computacional.

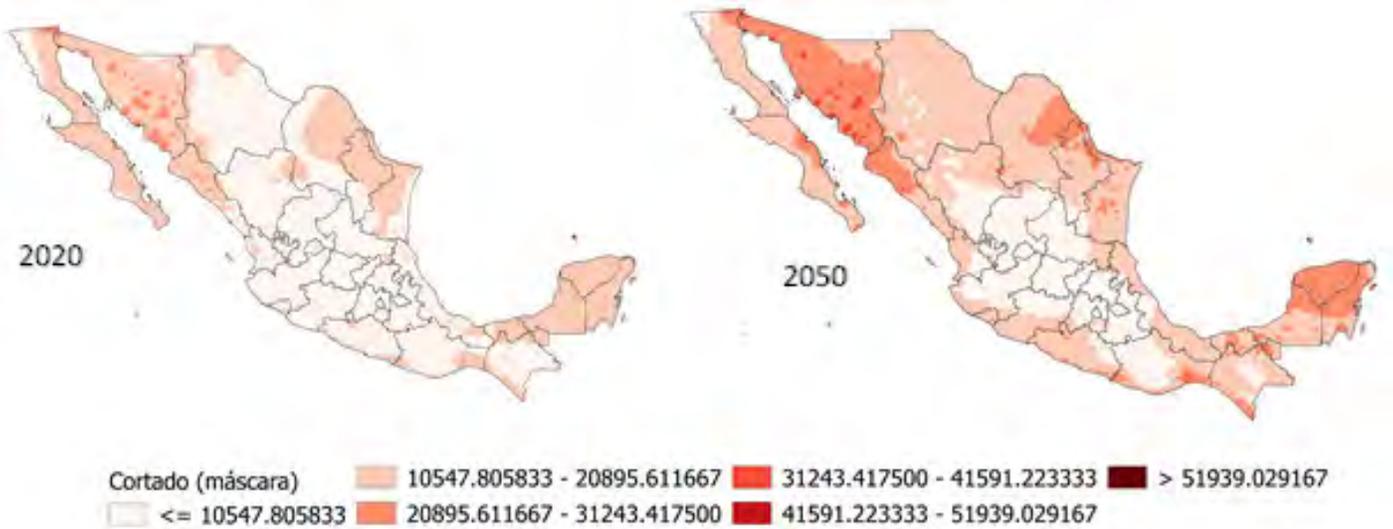


Figura 1. Comportamiento espacial de las CDH en México

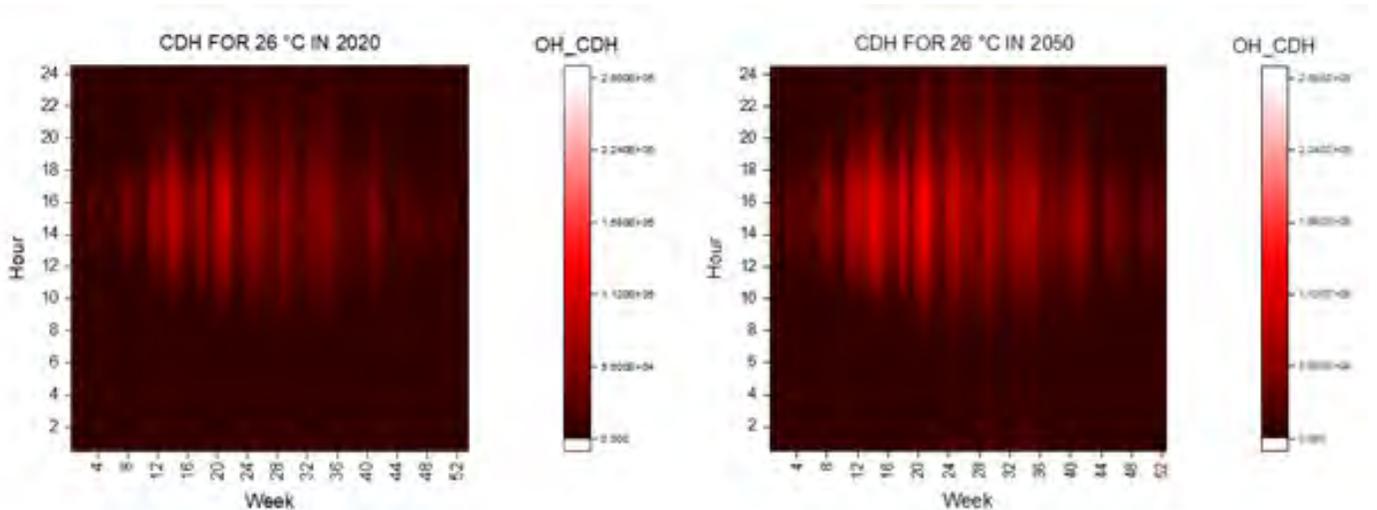


Figura 2. Comportamiento horario de los CDH en México

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## EVALUACIÓN EXPERIMENTAL EN CONDICIONES DE CLIMA TROPICAL DE UN SECADOR SOLAR DE TIPO INDIRECTO CON VENTILACIÓN FORZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁTANO

M. Moheño Barrueta<sup>1\*</sup>, L. Rojas Blanco<sup>1</sup>, E. Ramírez Morales<sup>1</sup>, G. Pérez Hernández<sup>1</sup>, A. Bassam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Avenida Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, 86040 Villahermosa, Tabasco, México; moises.moheño@ujat.mx

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias No Contaminantes S/N, Periférico Norte Apartado Postal 150 Cordemex, C.P. 97310 Mérida, Yucatán, México.

**Palabras clave:** Sureste de México; Convección forzada; Plátano; Instrumentación

### RESUMEN

En la actualidad es importante la implementación de estrategias para estimular el uso de fuentes renovables de energía para el crecimiento económico de las diferentes regiones del país, dando solución a los problemas de remediación ambiental y para mejorar los procesos utilizados en el sector agrícola.

Debido a la biodiversidad agrícola de la región tropical sur-sureste de México, en años recientes se ha analizado el potencial práctico de utilizar tecnología termo solar secado de diversos productos con valor comercial prometedor para el sur-sureste de México.

En la región del sureste mexicano, tenemos el cultivo del plátano, producto altamente comercializado a nivel nacional e internacional, y que puede ampliar su potencial económico, si se diversifica su procesamiento post-cosecha y se aprovecha al máximo su producción.

El presente trabajo muestra el diseño, construcción, instrumentación y evaluación de un secador solar tipo indirecto con convección forzada destinado para el secado de Plátano. La instrumentación del sistema contempló sensores de temperatura y humedad para conocer los efectos internos del secador, así como la medición de variables ambientales que tiene impacto significativo en la capacidad de secado. El sistema fue evaluado bajo las condiciones de clima tropical del sureste mexicano durante los meses de marzo-mayo 2019, variando el voltaje de operación del ventilador que genera la convección forzada. Los resultados mostraron que las mejores condiciones de secado del plátano se obtienen al operar el sistema con un voltaje de 9 V, obteniendo una velocidad de secado promedio es de 0.36 g/min.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**PESOS SINÁPTICOS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES  
PARA ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD: CASO DE FACHADA DE  
EDIFICIO DE DOBLE PIEL PARA VENTILACIÓN NATURAL**

Rasikh Tariq<sup>1,\*</sup>, Carlos Miguel Jiménez Xaman<sup>2</sup>, A. Bas-  
sam<sup>1</sup>, Luis J. Ricalde<sup>1</sup>, y O. Carvente<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias No Contaminantes por Anillo Periférico Norte, Apdo. Postal 150, Cordemex, Mérida 97203, Yucatán, México.

<sup>2</sup>Coordinación Académica Región Huasteca Sur, UASLP. Km. 5 Carretera Tamazunchale-San Martín C.P. 79960 Tamazunchale, S.L.P.

\*Dirección de correo electrónico: rasikhtariq@gmail.com; rasikhtariq@alumnos.uady.mx.

## RESUMEN

World Green Building Council ha señalado que los edificios ecológicos pueden mejorar la vida de miles de millones y ayudar a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. Un diseño mejor y sostenible de los edificios también puede evitar el síndrome del edificio enfermo que resulta de la mala calidad interior causada por una ventilación inadecuada, fluctuaciones de temperatura y niveles de humedad inadecuados. El papel de los edificios también se ha vuelto más significativo en la pandemia de COVID-19, especialmente cuando las últimas investigaciones han correlacionado la asociación de las tasas de infección de COVID-19 con el diseño de ventilación deficiente de los edificios.

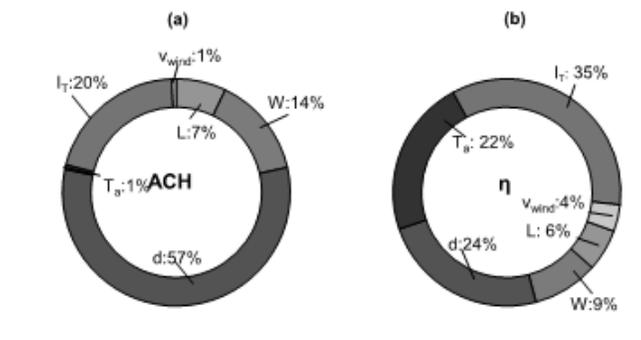
Se desea lograr altas tasas de ventilación en los edificios de la era moderna. La tecnología de fachada de doble piel, especialmente el uso de la chimenea solar puede llevar alrededor del 50 % de la carga energética del edificio mientras funciona mediante el uso exclusivo de la radiación solar entrante y también puede proporcionar tasas de ventilación adecuadas sin costo alguno. La chimenea solar integrada en el edificio tiene muchas variables que pueden influir en su rendimiento, especialmente la tasa de ventilación expresada en número de cambios de aire por hora ( $ACH$ ) y la eficiencia energética ( $\eta$ ). Estas variables se pueden agrupar en dos categorías (a) parámetros geométricos como la altura ( $L$ ) y la amplitud ( $W$ ) y la distancia desde el acristalamiento hasta la pared interior ( $d$ ), y (b) condiciones climáticas como la temperatura ambiente ( $T_a$ ), la radiación solar ( $I_T$ ) y la velocidad del viento ( $V_{wind}$ ).

El objetivo de este trabajo es comprender la importancia de cada una de estas variables en el desempeño de las chimeneas solares. Se logra mediante la aplicación de un modelo de red neuronal artificial (RNA) para predecir la salida del sistema. RNA multiplica el peso sináptico con cada variable normalizada, agrega un número de

sesgo y lo pasa a la capa de salida. Los valores de peso y sesgo se optimizan utilizando el algoritmo de Levenberg-Marquardt en la fase de entrenamiento. Garson propuso usar estos pesos como un índice de sensibilidad a los indicadores de rendimiento previstos.

Los resultados (Figura 1) han mostrado que la variable más sensible para la eficiencia energética es la radiación solar entrante. Tiene sentido porque a medida que aumente la radiación solar, la placa absorbente recibirá más radiación y, en consecuencia, emitirá más radiación, lo que aumentaría aún más la temperatura del fluido de trabajo. Este aumento crearía la diferencia de presión en la doble piel con respecto al interior del edificio y aumentaría la eficiencia energética. La variable menos sensible es la velocidad del viento que solo influye en el coeficiente de transferencia de calor por convección de la piel exterior (acristalamiento).

Se concluye que, basado en el peso sináptico del modelo de red neuronal artificial, la radiación solar es el parámetro más sensible y la velocidad del viento es el parámetro menos sensible para la eficiencia energética de la fachada del edificio con ventilación natural de doble piel.



**Reconocimientos:** El autor, Rasikh Tariq, agradece el apoyo financiero de CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) para realizar un Doctorado en Ingeniería opción Energías Renovables en la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán con el CVU: 949314, beca no: 784785, y programa: becas nacionales.

**Bibliografía:** Rasikh Tariq, C.E. Torres-Aguilar, J. Xamán, I. Zavala-Guillén, A. Bassam, Luis J. Ricalde, O. Carvente, “Digital twin models for optimization and global projection of building-integrated solar chimney”, Building and Environment, 2022.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## Seguidor de punto de máxima potencia para cambios rápidos de irradiación basado en análisis de transitorios.

Roberto I. Rico-Camacho<sup>1</sup>, y Eduardo E. Ordoñez-López<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. a14015458@alumnos.uady.mx

### RESUMEN

El aumento de en los precios de los combustibles tradicionales convierten a los proyectos de energías renovables en empresas económicamente viables. Además, la energía solar se encuentra distribuida abundantemente en todo el territorio nacional (Villasuso Pino et al., 2011). Por ello, mejorar la eficiencia de los sistemas que la aprovechan es de gran importancia.

Los paneles fotovoltaicos sometidos a irradiación uniforme poseen un punto de máxima potencia (MPP) en la curva característica potencia vs. voltaje (Ram et al., 2020). Por ello, es deseable que las celdas operen siempre en dicho MPP para aprovechar la máxima potencia disponible de los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, la ubicación del MPP varía dependiendo de factores externos como la irradiación y la temperatura del panel. Se han desarrollado algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) a fin acercar el punto de operación de los sistemas a su punto óptimo de funcionamiento (Ali et al., 2020).

Una de las técnicas de MPPT más comúnmente utilizadas y reportadas en la literatura se denomina perturbar y observar (P&O). Ésta consiste en un algoritmo relativamente simple que no requiere conocimiento previo de las características del generador PV o la medición de la radiación y la temperatura de la celda. Aunado a esto, el algoritmo se puede implementar fácilmente en sistemas digitales sencillos (Motahhir et al., 2020). Como su nombre lo indica, consiste en introducir perturbaciones intencionalmente, y observar los cambios de potencia producidos. Primero, el voltaje en la celda se aumenta o disminuye una pequeña cantidad denominada "step-size". Enseguida, la potencia que produce la celda se compara con la que se produjo en el estado previo del sistema. Si la potencia aumentó, entonces el algoritmo continúa perturbando al sistema en la misma dirección, y en caso contrario lo hará en el sentido opuesto.

El P&O tradicional tiene dos limitaciones que han sido ampliamente reportadas en la literatura (Escobar et al., 2017). En primer lugar, depende de perturbar el punto de operación del sistema constantemente por lo que genera oscilaciones constantes alrededor del MPP. Este problema reduce su eficiencia cuando el sistema está sometido a una irradiación que casi no cambia a lo largo del tiempo. En segundo lugar, el algoritmo se confunde bajo condiciones de cambios rápidos de irradiación y comienza a alejar al sistema del MPP cuando busca

repetidamente en la dirección incorrecta. Esta problemática se denomina en la literatura como *drift* y es de particular importancia si el sistema opera en zonas con mucha nubosidad (Killi & Samanta, 2015).

En el presente trabajo se propone diseñar, construir y evaluar un algoritmo basado en el algoritmo de P&O que obtenga más información con cada perturbación del punto de operación. A fin de obtener más información acerca de diferentes puntos de operación del panel, se plantea realizar mediciones adicionales durante la etapa transitoria entre cada estado estacionario. Específicamente, en el punto de máximo sobretiro que ocurre inmediatamente después de la perturbación introducida por el MPPT. Al comparar las diferenciales de potencia entre los tres puntos de medición, el algoritmo propuesto es capaz de identificar si perturbó al sistema en la dirección correcta o no para evitar el *drift*. Aunado a esto, el algoritmo puede determinar si el punto de operación actual está más allá del MPP y perturbar en la dirección contraria. En consecuencia, la oscilación en estado estacionario se ve reducida a únicamente una perturbación alrededor del MPP en contraste con las tres perturbaciones realizadas por el P&O tradicional.

Con el propósito de evaluar la efectividad del algoritmo propuesto, se desarrolló una plataforma de control de paneles solares que permite cambiar su punto de operación de acuerdo con un algoritmo de MPPT programado en un microcontrolador F28069M. De forma paralela, se creó una plataforma que opera en conjunto con un emulador de paneles Chroma 62000H-S para simular la salida de un panel fotovoltaico de características específicas que se ve sometido a los perfiles de irradiación definidos por el estándar EN505030 (CENELEC, 2010). Fue necesario además que esta plataforma realice las mediciones necesarias para calcular la eficiencia de los algoritmos de MPPT de acuerdo con la definición del estándar.

Resultados de simulaciones y experimentales comprobaron que el algoritmo eliminó el problema del drift y redujo considerablemente las oscilaciones en estado estacionario. La eficiencia global alcanzada por el algoritmo propuesto fue de 99.74% y la del P&O tradicional fue de 97.4%. Aunado a esto, la simplicidad y baja carga computacional del algoritmo propuesto facilitarán su adopción en sistemas diseñados para operar con el P&O.

**Reconocimiento:** El primer autor agradece al CONACYT por la beca doctoral No. 713240

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## Desarrollo de un banco de pruebas de fatiga para aspas de pequeños aerogeneradores

Roberto Eduardo Quintal Palomo<sup>1</sup>, Manuel Israel Flota Bañuelos<sup>1</sup>, y Genaro Antonio Soberanis Monforte<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. roberto.quintal@correo.uady.mx, manuel.flota@correo.uady.mx

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Metropolitana, México. genaro.soberanis@utmetropolitana.edu.mx

### RESUMEN

El diseño de pequeños aerogeneradores es complicado debido a algunas diferencias que presentan con respecto a sus contrapartes más grandes. Entre las más importantes encontramos:

- Fuerzas centrífugas. La velocidad punta de aspa  $\omega R$ , es relativamente independiente del tamaño del aerogenerador [1]:  $\omega$  es la velocidad angular de las aspas y  $R$  es el radio de la punta. Esto es, las fuerzas centrífugas que dependen de  $\omega^2 R$ , aumentan cuando el tamaño del aerogenerador disminuye.
- Guiñado libre. La mayoría de los aerogeneradores pequeños poseen cola que funciona como mecanismo de guiñado pasivo. Esto puede llevar a fuerzas giroscópicas altas cuando  $\omega$  aumenta al disminuir el tamaño del aerogenerador.
- Protección de sobre velocidad. Los frenos son normalmente demasiado caros para aerogeneradores pequeños y el enrollado o plegado (furling en inglés) es utilizado en su lugar. El plegado puede inducir fuerzas giroscópicas grandes.
- Posicionamiento. Los aerogeneradores pequeños se sitúan cerca de sus cargas eléctricas y podrían experimentar altos niveles de turbulencia debido a la altura de torre, proximidad con edificios y árboles, etc.

Debido a todas estas consideraciones es necesario hacer un estudio detallado de la resistencia de las aspas.

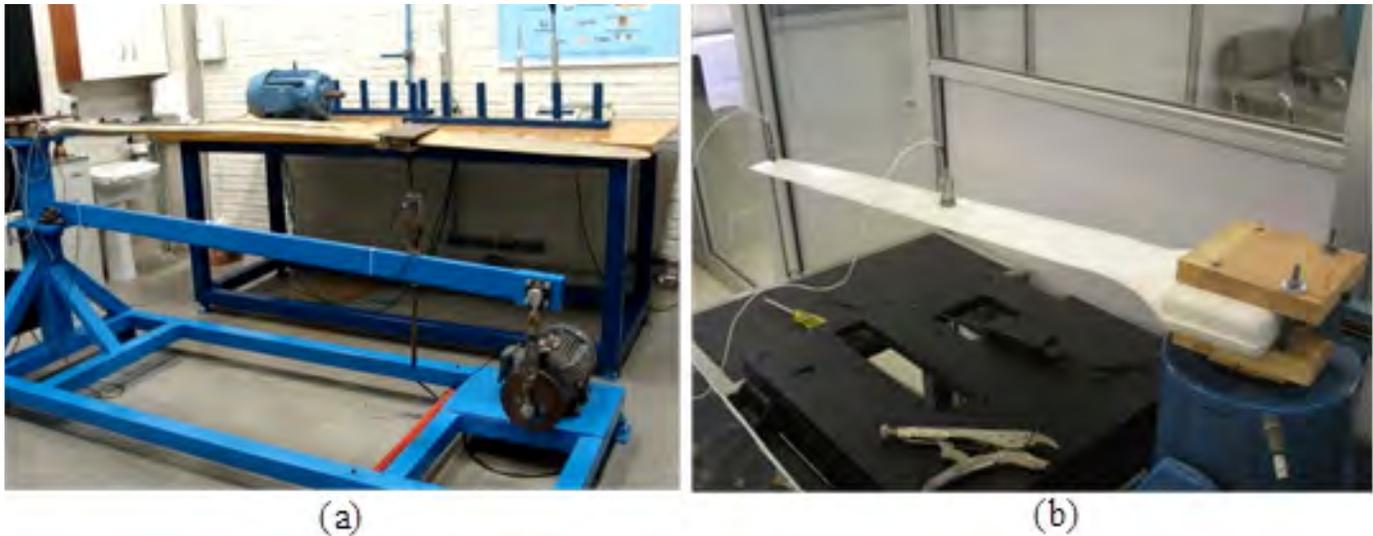
#### Objetivo

En este trabajo se diseñó un banco de pruebas de fatiga para aspas de pequeños aerogeneradores.

#### Metodología

Desde 1994 la comisión electrotécnica internacional (IEC por sus siglas en inglés) organizó un grupo de trabajo para estandarizar las pruebas de aspas a escala completa de aerogeneradores [2]. En 2001 se publica el estándar y se actualiza en 2014 [3]. El estándar [4] define aerogeneradores pequeños a los que tienen un área de barrido del rotor menor a  $200 \text{ m}^2$  que corresponde alrededor de menos de 50 kW.

Debido a estos estándares internacionales los fabricantes de aspas y los laboratorios nacionales de investigación han puesto especial atención en el diseño de los bancos de pruebas de aspas [5]. Para aspas pequeñas existe poca literatura que indique como debe diseñarse un banco de pruebas. En la Figura 1 se muestran dos ejemplos.



**Figura 1.** Banco de pruebas de aspas a) Brasil (tomado de [6])  
b) México (tomado de [7])

## Resultados

Se diseñó un banco de pruebas para aspas de pequeños aerogeneradores que será implementado en laboratorio de sistemas dinámicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán.

## Conclusiones

Después de un extensivo análisis de la literatura se optó por utilizar un actuador hidráulico para la aplicación de las cargas cíclicas sobre el aspa tal y como utilizan en las pruebas de aspas de aerogeneradores de gran escala [5].

## Referencias

- [1] E. Hau, *Windkraftanlagen*: Springer, 2000.
- [2] D. R. V. van Delft, "IEC-TC88-WG8 Testing of rotor blades," in *IEA Joint Action Wind Turbine Fatigue 4th Symposium*, 1996, pp. 91–95.
- [3] IEC 61400-23, "Wind Turbines- Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades." International Electrotechnical Commission, Geneva, 2014.
- [4] IEC 61400-2, "Wind turbines- Part 2: Small wind turbines." International Electrotechnical Commission, Geneva, 2013.
- [5] C. Hede Linde, "DTU creates a new way of testing wind turbine blades," 2018. <https://windenergy.dtu.dk/english/news/2018/12/dtu-creates-a-new-way-of-testing-wind-turbine-blades?id=3792ada4-cb1e-46e4-9812-916df9438f12> (accessed Jan. 07, 2022).
- [6] J. A. V. Alé, G. Da Silva Simioni, and J. G. A. Chagas Filho, "Procedures laboratory for small wind turbines testing," in *European Wind Energy Conference and Exhibition 2010, EWEC 2010*, 2010, no. April, pp. 4211–4218.
- [7] A. Palacios Méndez, "Análisis Dinámico de la Pala de un Aerogenerador," Instituto Politécnico Nacional, 2006.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## INDUSTRIA LÁCTEA EN MÉXICO: UN ENFOQUE DE OPTIMIZACIÓN CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES SOLARES COMO FUENTE DE CALOR DE PROCESO

Víctor Cardoso-Fernández<sup>1</sup>, Bassam Ali<sup>1</sup>, Oscar de Jesús May Tzuc<sup>2</sup>, Luis Josué Ricalde Castellanos<sup>1</sup>, Ignacio Vicente Pérez Quintana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. a12214906@alumnos.uady.mx

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, México.

### RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla una metodología computacional para el estudio de un campo de colectores solares de placa plana capaces de suministrar calor solar al proceso industrial de pasteurización láctea. Se propone un tanque intercambiador de calor para aprovechar la energía térmica proveniente de los colectores solares; además, se considera un calentador auxiliar en caso de que el calor solar no satisfaga por completo la demanda industrial. El análisis se realiza para los tipos de clima templado, árido, seco y tropical, contemplando también cuatro escenarios de combustible para el calentador auxiliar: diésel, combustóleo, gas natural y gas LP. Las variables de diseño consideradas para la experimentación numérica son el área ocupada por el campo solar, el volumen del tanque intercambiador de calor, el combustible para el calentador auxiliar y el tipo de clima.

Considerando las ecuaciones gobernantes de la tecnología solar, las características térmicas del proceso industrial y las condiciones climáticas de la región bajo análisis, se crea una base de datos a partir de los resultados numéricos obtenidos al modificar numéricamente los parámetros de diseño. Esta base de datos es utilizada para entrenar un modelo sustituto de inteligencia artificial basado en redes neuronales artificiales; las neuronas en la capa de entrada son los cuatro parámetros de diseño, mientras que las neuronas en la capa de salida son los indicadores económico-ambientales: valor presente neto, costo total del ciclo de vida y la reducción en la emisión de dióxido de carbono.

Finalmente, se lleva a cabo un proceso de optimización multiobjetivo sobre el modelo de inteligencia artificial a través del algoritmo de enjambre de partículas, algoritmo genético y algoritmo de optimización de ballenas, para la obtención de los diagramas de Pareto asociados a las variables de salida del modelo sustituto. Los

resultados muestran que las cuatro regiones climáticas presentan factibilidad económico-ambiental cuando se emplea diésel como combustible para el calentador auxiliar, siendo el clima templado de Jalisco el más adecuado para la implementación de esta tecnología solar. La metodología computacional desarrollada puede ser empleada para analizar la factibilidad económico-ambiental que resulta de implementar distintos tipos de tecnología solar al proceso industrial de interés.

El autor Víctor Cardoso Fernández (CVU:1006703) agradece al CONACYT por el apoyo económico brindado para adquirir el grado de Doctor en Ingeniería en la Universidad Autónoma de Yucatán, bajo el número de beca 808252.

**Ponencias Orales**

**ESTRUCTURAS**

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

## 9 – 11 de marzo de 2022

### Mérida, Yucatán, México.

## MODELOS DE PROBABILIDAD E INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Carlos E. Zetina Moguel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. [zmoguelo@correo.uady.mx](mailto:zmoguelo@correo.uady.mx)

### RESUMEN

La investigación en el ámbito de la educación universitaria tiene como motivo la formación técnica, profesional, humanística y orientada a la construcción de conocimiento. El objetivo de esta investigación es analizar el uso de algunos modelos probabilísticos en la búsqueda de soluciones técnicas ante problemas de ingeniería que entrañan una carga considerable de incertidumbre. Se analizan dos casos: el primero relacionado a los cambios en el nivel freático (datos del cuerpo académico de Hidrología) de la ciudad de Mérida y el segundo caso trata sobre la resistencia a la compresión axial de pilas de mampostería (datos de los laboratorios de la FIUADY). En el primer caso el análisis se hace mediante la modelación estocástica de eventos extremos. Se estimaron los parámetros de los modelos de funciones de distribución de probabilidad para valores extremos, y se hicieron pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling). Los modelos utilizados para el estudio de la compresión axial fueron las distribuciones probabilísticas Laplace, Loglogística, Normal y Lognormal. Los parámetros de las distribuciones probabilísticas se estimaron con el método de máxima verosimilitud, las pruebas de bondad de ajuste fueron Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling; el criterio de selección del modelo más adecuado se basó en el Criterio de Información Bayesiano y en el Criterio de Aikake. En ambos casos se usaron R-Project y Statgraphics y se corroboró con cálculos en EXCEL. Los resultados del análisis de los cambios en el nivel freático indicaron que el modelo que presenta el mejor ajuste es el LogGamma con parámetros  $\alpha = 3.5547995$  y  $\beta = 6.5128622$ . Los incrementos en la carga hidráulica calculados con este modelo y para períodos de retorno de 25, 50 y 75 años son de 3.13 m, 3.63 m y 3.94 m respectivamente. Los problemas de inundación del paso deprimido de la ciudad de Mérida y los estacionamientos de los edificios que requieren estructuras de soporte y estacionamientos que puedan ser afectados por incrementos del nivel freático tratado como un factor de riesgo que tiene soluciones técnicas, lo mismo ocurre con la resistencia a la compresión de materiales calcáreos altamente heterogéneos, el desarrollo de soluciones tecnológicas deberían incorporar los modelos probabilísticos aplicados a la ingeniería con el objeto de hacerle las soluciones más eficientes reconociendo las limitaciones de los cálculos “exactos” en presencia de heterogeneidad e incertidumbre.

### Agradecimientos

Al laboratorio de estructuras y al Dr. Jorge Luis Varela Rivera y el cuerpo académico de hidrología, a Ismael y Roger, de la FIUADY, por haberme facilitado los datos que se usan en los cursos de Probabilidad y Estadística de la FIUADY.

## Referencias

- Burnham, K. P.; Anderson, D. R. (2004), «Multimodel inference: understanding AIC and BIC in Model Selection», *Sociological Methods and Research* 33: 261-304.
- González-Espadas J.A. 2017. Propuesta de diseño para estructuras de mampostería confinada. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- Delignette-Muller M.L. and Dutang C. (2015), *fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions*. *Journal of Statistical Software*, 64(4), 1-34.
- Dymiotis, C. & Gutleiderer, B.M. 2002, "Allowing for uncertainties in the modelling of masonry compressive strength", *Construction and Building Materials*, vol. 16, no. 8, pp. 443-452. Doi:10.1016/S0950-0618(02)00108-3
- Gencturk, B., Hossain, K., & Lahourpour, S. (2016). Life cycle sustainability assessment of RC buildings in seismic regions. *Engineering Structures*, 110, 347-362. doi: 10.1016/j.engstruct.2015.11.037
- Kotz, S., Kozubowski, T.J., Podgórski, K. & SpringerLink (Online service) 2001, *The Laplace Distribution and Generalizations: A Revisit with Applications to Communications, Economics, Engineering, and Finance*, Birkhäuser Boston, Boston, MA. doi: 10.1007/978-1-4612-0173-1
- Ricci V. (2005). "Fitting Distributions with R." Contributed documentation available on CRAN, URL <http://CRAN.R-project.org/doc/contrib/Ricci-distributions-en.pdf>.
- Rota, M., Penna, A., & Magenes, G. (2010). A methodology for deriving analytical fragility curves for masonry buildings based on stochastic nonlinear analyses. *Engineering Structures*, 32(5), 1312-1323. doi: 10.1016/j.engstruct.2010.01.009
- Zimmermann, T., Strauss, A., & Bergmeister, K. (2012). Structural behavior of low- and normal-strength interface mortar of masonry. *Materials and Structures*, 45(6), 829-839. doi:10.1617/s11527-011-9801-2

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**OBTENCIÓN DE COEFICIENTES DE PRESIÓN AERODINÁMICA EN  
UNA TENSO ESTRUCTURA EN UN TÚNEL DE VIENTO**

**Edgar R. Toledo-Morales<sup>1</sup>, Mauricio Gamboa-Marrufo<sup>1</sup>**

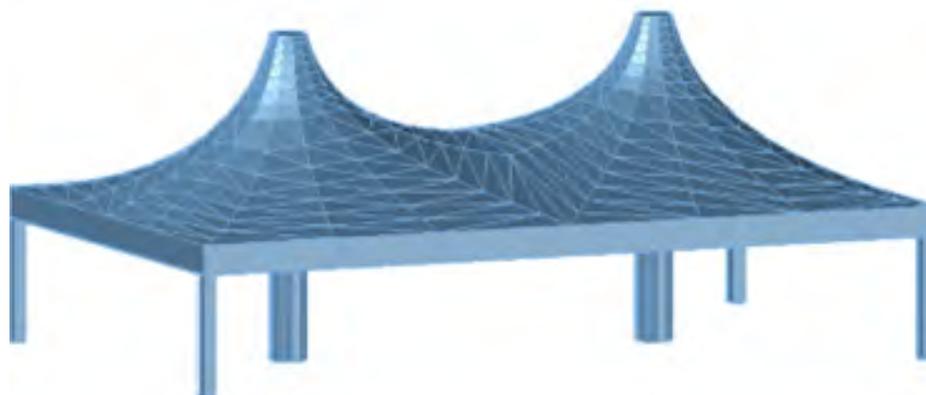
<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. mauricio.gamboa@correo.uady.mx

## RESUMEN

Las tenso estructuras son estructuras sujetas a esfuerzos de tensión principalmente en las membranas y cables, y compresión en las columnas y mástiles que conforman el sistema. Típicamente tienen aplicaciones en exteriores, tanto de refugio como de fachada, por lo que están sujetos a cargas ambientales: lluvia, nieve, viento. Si bien, existen cargas gravitacionales, estas no son las que gobiernan el diseño, por lo que es necesario obtener coeficientes de presión adecuados a la geometría de estudio para realizar un análisis de viento correcto.

Sin embargo, los manuales y códigos de diseño ofrecen coeficientes de presión para estructuras con geometrías convencionales. Al tener geometrías irregulares y abarcar claros grandes, las tenso estructuras no forman parte de las estructuras comprendidas dentro de estos manuales, por lo que se requiere realizar estudios en túnel de viento para conocer las presiones actuantes en este tipo de estructuras y ampliar la gama de estructuras contenidas en los códigos de diseño y disminuir las estructuras sobrediseñadas debido a consideraciones conservadoras y factores de seguridad altos que los diseñadores toman para amortiguar la incertidumbre debido a la falta de información al respecto.

En este trabajo se obtuvieron de manera experimental en un túnel de viento los coeficientes de presión netos en la superficie de una tensoestructura de dos mástiles con dos conos de revolución (Figura 1) sometida a la acción del viento en tres direcciones:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ .



**Figura 1.** Tenso estructura dos mástiles

A través de un programa de dibujo asistido por computadora (CAD) se modeló la tenso estructura con el fin de darle un volumen y obtener el modelo físico por medio de impresión en 3D. Se determinó la escala del modelo cumpliendo con lo recomendado en la literatura en cuanto al coeficiente de bloqueo de la sección transversal de la cámara de ensayos del túnel de viento. En la superficie del modelo se consideraron orificios que alojarían los sensores de presión que servirían para medir la presión actuante de tal manera que se abarcara la mayor área posible.

Para la superficie superior del modelo, para las tres direcciones del viento, se esperaban valores de presión en la cara de barlovento, mientras que en la cara de sotavento se esperaban succiones. Los resultados experimentales arrojaron los resultados esperados. De igual manera, para la superficie inferior, se esperaban, en su mayoría, presiones negativas (succiones) debido a la geometría de la tenso estructura.

En la Tabla 1 se presentan los máximos coeficientes de presión superiores ( $C_{ps}$ ), de presión inferiores ( $C_{pi}$ ) y de presión neta ( $C_{pn}$ ) obtenidos para las tres direcciones de estudio.

**Tabla 1.** Coeficientes de presión experimentales

Dirección	$C_{ps}$			$C_{pi}$			$C_{pn}$		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
Presión	0.39	1.03	0.30	0.08	0.43	0.05	0.74	1.57	0.70
Succión	-1.10	-1.03	-0.67	-0.45	-1.30	-0.48	-0.79	-1.06	-0.61

**Reconocimientos:** Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar sus estudios de posgrado del segundo autor.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## RESISTENCIA DE LOSAS DE VIGUETA Y BOVEDILLA

Joel Moreno-Herrera<sup>1</sup>, Jorge Varela-Rivera<sup>1</sup>, Luis Fernández-Baqueiro<sup>1</sup>, Jesús Moo-Lugo<sup>1</sup> y Jesús Carballo-Cimé<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. joel.moreno@correo.uady.mx

### RESUMEN

Las losas de vigueta y bovedilla son el sistema de losa más utilizado en vivienda en el sureste de México. Esta losa está compuesta de viguetas, bovedillas y un firme de concreto. El diseño estructural de este sistema de losa se debe realizar mediante el uso de tablas proporcionadas por los fabricantes de viguetas y bovedillas. Dichas tablas de diseño deben fundamentarse en resultados de ensayos experimentales y modelos analíticos que representen el comportamiento de este tipo de losas.

En este trabajo, se ensayaron en el laboratorio siete losas construidas con viguetas y bovedillas fabricadas por la empresa MAPSA. Las variables de estudio fueron el tipo de vigueta, la altura de la bovedilla, el espesor del firme de compresión ( $t$ ) y la longitud de la losa ( $L$ ); el espesor de losa ( $h$ ) se estudió de forma implícita. En el firme de compresión se colocó malla electrosoldada 6-6/10-10 y se utilizó concreto premezclado con una resistencia a compresión ( $f'c$ ) de 200 kg/cm<sup>2</sup>. El ensaye de las losas se realizó utilizando un sistema de carga en tres puntos. Se midieron las cargas mediante una celda de carga y los desplazamientos al centro del claro mediante potenciómetros lineales. En la Figura 1 se presentan las curvas carga – desplazamiento de las losas ensayadas.

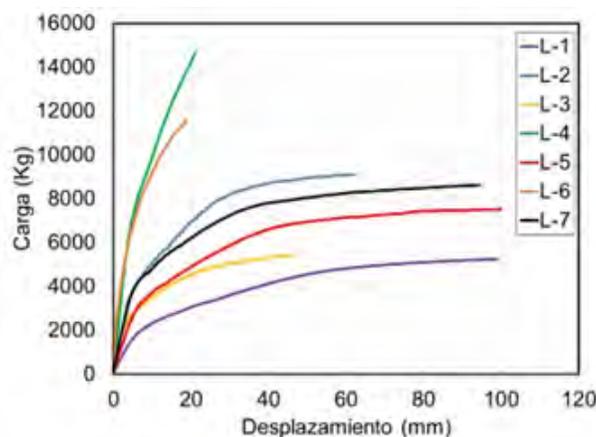


Figura 1. Curvas carga - desplazamiento de las losas de vigueta y bovedilla.

Adicionalmente, se desarrolló un modelo analítico para determinar la resistencia de agrietamiento de las losas. Dicho modelo toma en cuenta las pérdidas de resistencia instantáneas y a largo plazo del acero de presfuerzo. También se consideran los valores promedio de la resistencia a compresión, resistencia a tensión y módulo de elasticidad del concreto, así como la resistencia a tensión del acero de presfuerzo obtenidos de ensayos. En la Tabla 1 se comparan las cargas de agrietamiento experimentales ( $P_{cr-e}$ ) y analíticas ( $P_{cr-a}$ ) de las losas estudiadas. Se observó que, en general, con el modelo analítico desarrollado se predice adecuadamente la resistencia de agrietamiento de losas de vigueta y bovedilla. Con el modelo analítico calibrado se pueden desarrollar tablas de diseño que consideren las variables que influyen en la resistencia de las losas. Dichas variables están asociadas con los materiales y los procesos de fabricación de los componentes de las losas.

Tabla 1. Cargas de agrietamiento experimentales y analíticas

Losa	Vigueta	Bovedilla	$t$ (cm)	$L$ (cm)	$P_{cr-e}$ (kg)	$P_{cr-a}$ (kg)	$\frac{P_{cr-a}}{P_{cr-e}}$
1	V12-5	15x25x56	3	500	1775	1948.71	1.10
2	V12-5	15x25x56	3	300	3563	4259.31	1.20
3	V12-3	15x25x56	3	300	2362	2374.94	1.01
4	V20-6	30x25x56	5	400	7372	9346.08	1.27
5	V12-5	20x25x56	3	500	3018	3516.94	1.17
6	V20-6	30x25x56	3	400	6019	8126.43	1.35
7	V12-5	20x25x56	5	500	3903	4143.80	1.06
						Promedio	1.16
						C.V.	0.10

**Reconocimientos:** Se agradece a la empresa MAPSA por el financiamiento de este trabajo. Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas otorgadas para realizar sus estudios de posgrado del cuarto y quinto autor.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## MODELOS NO LINEALES PARA MUROS CONFINADOS DE CCA CON COMPORTAMIENTO DOMINADO POR CORTANTE

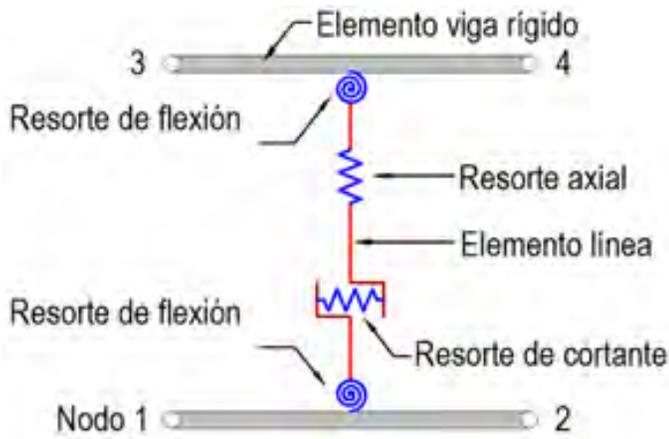
Jorge Varela-Rivera<sup>1</sup>, Luis Fernández-Baqueiro<sup>1</sup>, Joel Moreno-Herrera<sup>1</sup>, René Tolosa-Becerra<sup>1</sup> e Itzel Vega-Juárez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. vrivera@correo.uady.mx

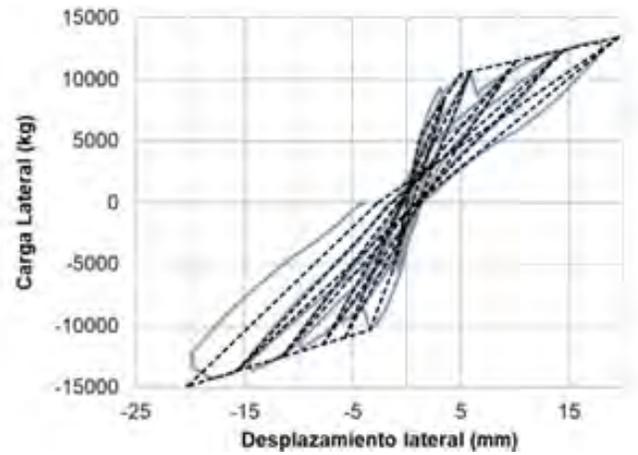
### RESUMEN

La filosofía de diseño sísmico actual permite que las estructuras incursionen en el rango de comportamiento no lineal bajo sismos severos. Los análisis no lineales se realizan utilizando programas comerciales o de investigación en los cuales se requiere definir modelos analíticos que representen el comportamiento de los elementos que conforman la estructura. Este comportamiento puede estar dominado por flexión o cortante. Los modelos no lineales deben calibrarse utilizando resultados de ensayos experimentales. Las estructuras a base de muros de mampostería confinada de concreto celular de autoclave (CCA) se están construyendo en zonas de alta intensidad sísmica del país por lo que es importante contar con modelos no lineales para estudiar su comportamiento bajo sismos severos.

En este trabajo se evaluaron modelos analíticos no lineales para tres muros confinados de CCA con comportamiento dominado por cortante. En la primera parte, se propusieron modelos de histéresis idealizados carga – desplazamiento lateral para cada muro con base en resultados experimentales. Los modelos se dividieron en una parte ascendente, una descendente y una de recarga. Se consideraron cambios de rigidez en las tres partes de los modelos de acuerdo con los resultados experimentales. En la segunda parte, se analizaron modelos analíticos con no linealidad concentrada. En estos modelos, un elemento muro está formado por un elemento línea, dos elementos viga rígidos, dos resortes no lineales de flexión, un resorte no lineal de cortante y un resorte axial lineal (Figura 1). La formulación no lineal de los resortes se considera mediante matrices de flexibilidad por flexión y cortante. En la tercera parte, los modelos analíticos se implementaron en el programa de análisis no lineal CANNY 2010 mediante análisis no lineales estáticos. Finalmente, se compararon los modelos de histéresis analíticos carga – desplazamiento lateral obtenidos con el programa con los modelos de histéresis idealizados experimentales correspondientes. En la Figura 2 se presenta la comparación para un muro estudiado, con línea continua se presenta el modelo idealizado experimental y con línea discontinua el modelo analítico obtenido con el programa.



**Figura 1.** Modelo analítico (elemento muro)



**Figura 2.** Comparación de modelos de histéresis carga – desplazamiento lateral

Se concluye que con los modelos de histéresis analíticos implementados se representa correctamente la parte ascendente inicial y la parte ascendente de recarga; sin embargo, se sobreestima la parte descendente. Lo anterior se debe a limitaciones en el modelo de histéresis seleccionado en el programa CANNY. Con base en la evaluación de los modelos analíticos, se recomienda utilizar modelos analíticos con no linealidad concentrada ya que son fácil de analizar e implementar.

**Reconocimientos:** El cuarto y quinto autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas otorgadas para realizar sus estudios de posgrado.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## ANÁLISIS SÍSMICO DE MUROS NO ESTRUCTURALES

**Luis Enrique Fernández Baqueiro<sup>1</sup>, Jorge Luis Varela Rivera<sup>1</sup>, Joel Alberto Moreno Herrera<sup>1</sup> y Leandro Rogelio Suaste Carrillo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. [luis.fernandez@correo.uady.mx](mailto:luis.fernandez@correo.uady.mx)

### RESUMEN

Los muros que conforman una edificación pueden ser estructurales o no estructurales. Los muros no estructurales son aquellos que no forman parte de la estructura principal que resiste las cargas. Esto es, los muros no estructurales no proporcionan rigidez, ni resistencia lateral a la estructura. Para lograr esto, los muros no estructurales se construyen intencionalmente separados de los marcos estructurales. En la mayoría de los edificios, los elementos no estructurales representan un gran porcentaje del capital total de la inversión. Se reconoce que el daño en elementos no estructurales puede afectar seriamente la funcionalidad de un edificio y resultar en importantes pérdidas económicas directas e indirectas. Los daños en los muros no estructurales pueden ser causados por acciones sísmicas y eólicas, entre otras. Estas acciones varían con el tiempo, por lo que se requiere analizar la respuesta dinámica de los muros no estructurales.

Diversos factores influyen en la respuesta dinámica de un elemento no estructural, tales como el movimiento del suelo, la respuesta dinámica del edificio, la ubicación del elemento en el edificio, las características del elemento no estructural, el número de puntos de conexión, el tipo de junta, la separación entre el muro y el marco, el espesor de la junta, entre otros. El objetivo de este trabajo de investigación fue proponer una metodología para el análisis sísmico de muros no estructurales, a partir de códigos de diseño internacionales.

En este trabajo de investigación se analizaron códigos de diseño de México, Estados Unidos y Europa. Los principales códigos considerados en este trabajo fueron:

- México. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC Sismo).
- Estados Unidos. Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y otras Estructuras de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Building and Other Structures).
- Europa. Eurocódigo 0: Bases de Diseño Estructural (EC 0) y Eurocódigo 8: Diseño de Estructuras ante Acciones Sísmicas (EC 8).

Se identificaron los pasos comunes en el diseño sísmico de muros no estructurales de los códigos analizados. Se realizó un análisis comparativo sobre diversos aspectos de los códigos tales como su organización, alcance, estados límite, criterios de diseño, clasificación de las estructuras, combinaciones de carga, revisión de distorsiones y separación entre muros no estructurales y marcos, entre otros. Se obtuvieron los factores de amplifi-

cación de la aceleración del elemento no estructural, que es la relación entre la aceleración del elemento no estructural y la aceleración del suelo, con base en los tres códigos de diseño considerados.

Se concluyó que el diseño de muros no estructurales se puede realizar por medio de un análisis dinámico modal (método dinámico) o utilizando ecuaciones simplificadas que son válidas sólo para casos particulares (método simplificado). El tipo de análisis determina la precisión de las aceleraciones calculadas para el entrepiso donde se apoya el muro no estructural. Los pasos de la metodología de diseño se enlistan a continuación y son válidos para muros no estructurales de mampostería o de concreto reforzado.

- Definir la clasificación de la estructura.
- Construir el espectro de diseño del edificio.
- Definir las combinaciones de carga.
- Determinar la distorsión permisible de cada entrepiso.
- Ejecutar el análisis estructural (según clasificación de la estructura y zona sísmica).
- Ejecutar análisis dinámico modal (opcional).
- Revisar la distorsión máxima de cada entrepiso.
- Calcular las fuerzas sobre los elementos no estructurales.

Adicionalmente, se concluyó que los factores de amplificación de las aceleraciones sobre muros no estructurales obtenidos con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo son mayores que los factores de amplificación obtenidos con las especificaciones de la ASCE y del Eurocódigo 8.

**Reconocimientos:** Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de Maestría en Ingeniería del cuarto autor.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## DETERMINACIÓN ANALÍTICA DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE TRABES DE CONCRETO REFORZADO CON CORROSIÓN

Néstor Vega-Juarez<sup>1</sup>, Benito Aké-Cruz<sup>1</sup>, Gabriel Varela-Gamboa<sup>1</sup>, Joel Moreno-Herrera<sup>1</sup>, Jorge Varela-Rivera<sup>1</sup> y Pedro Castro-Borges<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. A1314865@alumnos.uady.mx

<sup>2</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida.

### RESUMEN

Los marcos de concreto reforzado (CR) son uno de los sistemas estructurales más utilizados en la construcción de edificaciones. Los marcos están formados principalmente por columnas y trabes de CR. Uno de los principales problemas que afectan el desempeño y tiempo de vida de elementos de CR es el deterioro debido a la corrosión en el acero de refuerzo (AR). La corrosión genera cambios en la estructura del AR, modificando sus propiedades tanto físicas como mecánicas. Los cambios en las propiedades del AR modifican el comportamiento estructural de dichos elementos de CR. Por otro lado, la resistencia es uno de los parámetros utilizados para evaluar el comportamiento de elementos de CR. La resistencia puede estar asociada con un comportamiento por flexión, flexo-compresión y cortante, entre otros. La resistencia a flexión de elementos de CR ha sido ampliamente estudiada y puede ser determinada mediante modelos basados en la teoría de flexión. Sin embargo, en dichos modelos no se consideran los cambios en las propiedades del AR afectado por la corrosión. En este trabajo se propone un modelo analítico para determinar la resistencia a flexión de trabes de CR con corrosión.

Se determinó analíticamente la resistencia a flexión de 15 trabes de CR reportadas en la literatura, utilizando la teoría de la flexión; tres de las trabes sin corrosión y 12 con corrosión. Se consideraron los modelos constitutivos de Kent y Park (1998) y Rodríguez y Botero (1997) para el concreto y el AR, respectivamente. En trabes con corrosión, se modificó el modelo de Rodríguez y Botero con los resultados obtenidos por Wenjun et al. (2013). Adicionalmente, se consideró la reducción de la sección transversal de trabes que presentaron desprendimiento del recubrimiento.

En la Tabla 1 se presenta el momento de fluencia experimental ( $M_{y-e}$ ), el momento de fluencia analítico obtenido con el modelo propuesto ( $M_{y-a}$ ), la relación  $M_{y-a} / M_{y-e}$ , la resistencia última experimental de las trabes ( $M_{u-e}$ ), la resistencia analítica obtenida con el modelo propuesto ( $M_{u-a}$ ) y la relación  $M_{u-a} / M_{u-e}$ . Con base en los resultados obtenidos se observa que la relación entre la resistencia a la fluencia analítica entre experimental varió entre 0.98 y 1.06. Por otro lado, la relación entre la resistencia última analítica y experimental varió entre 0.97 y 1.12. Se concluye que la resistencia de fluencia y última se predicen adecuadamente con

los modelos propuestos. Se deben considerar los cambios en la geometría de la trabe, las reducciones en la cantidad de AR y los cambios en la curva esfuerzo-deformación del acero con corrosión para determinar la resistencia flexión de trabes con corrosión.

**Tabla 1.** Comparación entre las resistencias experimentales y analíticas de las trabes (Resistencia en  $KN*m$ ).

Trabe	My-e	My-a	My-a/My-e	Mu-e	Mu-a	Mu-a/Mu-e
B2CL2-1	26.13	27.69	1.06	35.15	35.48	1.01
B2CL2-2	20.90	22.32	1.07	29.21	29.46	1.01
T-111	N/D	---	---	15.10	15.30	1.01
T-112	N/D	---	---	15.70	15.30	0.97
T-113	N/D	---	---	10.10	11.36	1.12
T-114	N/D	---	---	10.50	11.05	1.05
T-115	N/D	---	---	11.60	12.61	1.09
T-116	N/D	---	---	8.60	8.53	0.99
T-121	N/D	---	---	36.10	37.20	1.03
T-122	N/D	---	---	38.30	37.20	0.97
T-126	N/D	---	---	29.00	29.30	1.01
T4-N	14.46	15.02	1.04	20.87	19.85	0.95
T8-C	13.42	13.37	1.00	18.40	17.88	0.97
T12-N	25.75	25.73	1.00	31.87	31.89	1.00
T16-C	25.72	25.23	0.98	31.10	31.23	1.00
<b>Promedio:</b>			1.02	<b>Promedio:</b>		1.01
<b>C.V.</b>			0.04%	<b>C.V.</b>		0.05%

N/D: No disponible.

**Reconocimientos:** Los primeros tres autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas otorgadas para realizar sus estudios de posgrado.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## INTERACCIÓN FLUIDO-ESTRUCTURA POR DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES

Ricardo Maldonado-Ríos<sup>1</sup> y Mauricio Gamboa-Marrufo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. mauricio.gamboa@correo.uady.mx

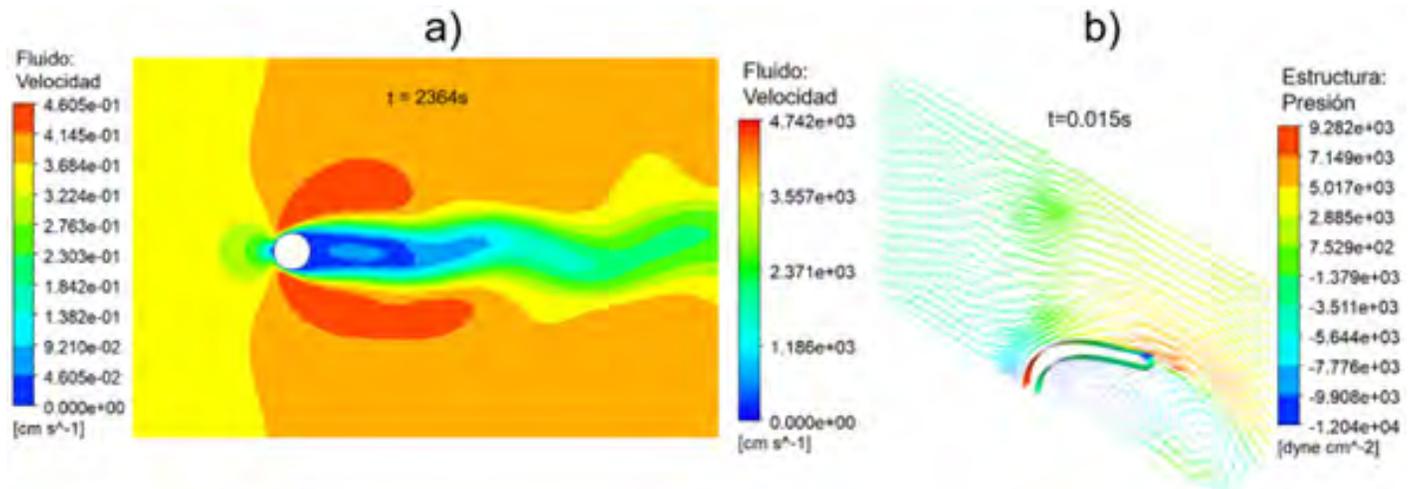
### RESUMEN

La flexibilidad de las estructuras conduce a un problema que poco se ha estudiado en estructuras civiles: la interacción fluido estructura (o FSI, por sus siglas en inglés). Este fenómeno es relevante cuando las deformaciones de la estructura, debido a un fluido, modifican el comportamiento del mismo fluido. Debido a esta reciprocidad de efectos, la FSI ha sido abordada en diferentes campos científicos: desde el comportamiento del flujo en venas y aortas, hasta el comportamiento de paracaídas con aplicaciones aeronáuticas. Es por ello, que este trabajo de investigación surge de la necesidad de establecer metodologías acorde al estado del arte de las ciencias física y computacional aplicadas en ingeniería aeronáutica y civil para el comportamiento estructural de elementos flexibles.

Para el estudio de la FSI existen dos principales enfoques: el primero consiste en pruebas experimentales en túnel de viento o ductos con agua, mientras que el segundo se refiere a la simulación del fenómeno por dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés). Con esta última herramienta, este trabajo presenta el origen de las fuerzas que provocan que se generen las deformaciones en estructuras, así como la metodología para la simulación de la FSI en sólidos flexibles. Por lo anterior, se realizó un estudio de CFD a un cilindro rígido de 22mm de diámetro sometido a flujo de agua con velocidad de 0.0035m/s correspondiente a un número de Reynolds  $Re=77$  y, así mismo, se simuló la FSI de una vara vertical flexible de 10cm de longitud, empotrada en su base, compuesta por un material hiperelástico e inmersa en un flujo de aire con velocidad de 20m/s. La FSI se realizó a través de un método particionado iterativo de dos vías, donde en cada paso de tiempo se calcularon las presiones del fluido y las deformaciones de la estructura. Ambos análisis se efectuaron con modelo de turbulencia  $\kappa-\omega$  de dos ecuaciones. Las simulaciones se ejecutaron en el software comercial ANSYS con diferentes módulos: *Fluent* para resolver las ecuaciones del fluido (CFD); *Mechanical* para realizar el análisis estructural del sólido y, para el intercambio de fuerzas y desplazamientos se integra la interfaz *Coupling*.

El flujo alrededor del cilindro comenzó a tener variaciones importantes a partir de los 1600s donde se inició la consecución de los vórtices de Von Karman que se separaron a los 2200s de simulación con una frecuencia de 0.025Hz y número de Strouhal  $St=0.157$  (Figura 1a). Los resultados concernientes a la vara vertical flexible se presentan en la Figura 1b, donde se presentan las velocidades del flujo de manera vectorial al final de la simulación, así como el campo de presiones resultante en la estructura deformada por el flujo. Se observa que

la velocidad aumentó hasta 47m/s en la punta de la estructura; aunado a ello, se generó un gran vórtice por detrás de la estructura donde se presentó recirculación del aire.



**Figura 1.** a) Velocidades alrededor de cilindro rígido. b) Vectores de velocidades de flujo y presiones en estructura hiperelástica.

Se concluye que las fuerzas de flujo dependen de la geometría de la estructura; mientras que las deformaciones de la estructura dependen de su rigidez y propiedades del material. Para el cilindro, las fuerzas alternantes denotaron la región de separación de flujo al tener succiones desde una quinta parte del diámetro con relación al cilindro en dirección del flujo. Respecto a la vara hiperelástica, la estabilidad de la simulación de la FSI se ve sensiblemente afectada por diferentes factores: relación de densidades entre sólido y fluido, velocidad de flujo, discretización de dominios fluido y paso de tiempo de simulación.

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca nacional otorgada para realizar estudios de posgrado con CVU 686218 correspondiente al primer autor.

**Ponencias Orales**

**FÍSICA**

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA  
MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA**

**Aranzia Pool Bacelis, José Antonio Lizarraga Urzaiz, José  
María Moguel Pérez, Luis Martín Castillo Ek, Paola Jannet  
Pérez Escalante, y Victor Efraim Ehuan Colli**

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México.  
A18014868@alumnos.uady.mx

## RESUMEN

La disponibilidad del agua apta para consumo humano es un problema actual y complejo, en el cual, intervienen una serie de factores que van más allá del incremento poblacional; que demanda cada vez más este recurso e impide llevar a cabo actividades sociales y económicas. Comúnmente, sólo se hace uso de aquella agua que se obtiene con mayor facilidad, aunque, sin el conocimiento sobre el uso con repercusiones en la salud de las personas.

Así que, la vigilancia del suministro y calidad del agua para consumo humano es una de las actividades prioritarias de la salud pública. La información generada por la vigilancia no hace el cambio, pero el manejo y uso adecuado de esta información, sí puede lograrlo, si se utilizan estrategias de vigilancia, muestreo, análisis, reporte y comunicación de los hallazgos que surgen de ésta. Se hace una zonificación de la red de suministro para poder identificar las zonas de alto riesgo y comunidades vulnerables.

El objetivo del presente prototipo es diseñar y construir un medidor capaz de obtener datos para evaluar la calidad del agua. Para ello, se planteó poder obtener con este prototipo datos de temperatura, turbidez, potencial de Hidrógeno (pH) y Total de Sólidos Disueltos (TDS) de 5 muestras diferentes para posteriormente compararlos con lo establecido en la NOM-127. Las muestras utilizadas fueron recolectadas de pozos de los municipios de Tixkokob, Yaxkukul, además de agua potable al norte de la ciudad de Mérida y finalmente una muestra de agua purificada.

**Tabla 1.** Valores registrados por el dispositivo medidor de calidad de agua.

MUESTRA	SENSORES			
	Temperatura	Turbidez	pH	TDS
1	29.44	4.53	1.53	299
2	29.31	4.53	1.41	318
3	28.19	4.53	1.11	392
4	29.44	3.81	1.53	413
5	28.00	3.87	0.37	64

La Tabla 1 expone los valores registrados por los sensores del dispositivo de monitoreo donde la muestra 1 corresponde al agua del pozo 1 de Yaxkukul; la 2, a la del pozo 2 de Yaxkukul; la 3, a la del pozo de Tixkokob; la 4, a la potable de Mérida; y la 5, a la purificada.

De manera general, las temperaturas fueron similares. Las pequeñas variaciones podrían deberse al medio del cual se rescató (temperatura ambiente) y/o a las TDS, puesto que estos podrían desprender calor por el movimiento del fluido. Las muestras analizadas de los pozos de Yaxkukul son semejantes, aunque sean de pozos distintos. El pozo de Tixkokob presentó el menor grado de acidez, además de ser el más frío y el que registró mayor cantidad de sólidos disueltos (TDS) entre los 3 pozos analizados.

Las mediciones en los pozos (tanto de Yaxkukul como de Tixkokob) fueron similares, posiblemente porque se rescataron con una cubeta y una polea, lo que habrá provocado el desprendimiento de partículas de polvo en el fondo de estos. El agua potable obtuvo el mayor valor del TDS, por la posible presencia de minerales disueltos, que también contribuyó al aumento de pH registrado. También obtuvo el menor valor de turbidez, demostrando ser el agua con mayor transparencia, incluso por encima de la purificada.

El agua purificada mostró tener el menor valor de pH, que era lo esperado, ya que, idealmente, el agua debería tener un resultado del sensor de pH igual a 0, que en la escala utilizada equivale a la neutralidad. Sin embargo, como se trata de agua “purificada”, la cual contiene sal mineral, su resultado en el rubro de pH debería estar encima de 0, indicando mayor alcalinidad. La muestra del pozo 1 de Yaxkukul, así como el agua potable, mostraron ser las más “alcalinas”, ya que su valor de pH fue el mayor.

Finalmente, a partir de la realización del proyecto, se llegó a la conclusión de que el diseño, desarrollo e implementación de un dispositivo de monitoreo es altamente factible para obtener un primer diagnóstico rápido de la calidad del agua que se quiera dar seguimiento; siempre tomando en cuenta el uso de sensores de medición adecuados para la obtención de parámetros críticos. Evidencia de esto último está en los datos recopilados para los diferentes suministros de agua que, siendo lógicos y entendibles, el uso de sensores como el de TDS, muestra cambios que a simple vista podrían ser incongruentes, para lo que, se enfatiza que la calidad del agua en este rubro también se ve afectada por la dureza en los suministros de agua potable de la región.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## PELÍCULAS DE SNS ORTORRÓMBICAS DEPOSITADAS EN BAÑO QUÍMICO PARA APLICACIONES DE CELDAS SOLARES

Carlos Ocampo-Ortega<sup>1</sup>, Inés Riech<sup>1</sup>, Arturo Abelenda<sup>1</sup>,  
Ricardo Mis-Fernández<sup>2</sup>, Patricia Rodríguez-Fragoso<sup>3</sup> y  
Julio Mendoza-Álvarez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ciencia de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, AP 150 Cordemex, 97130 Mérida, México

<sup>2</sup>Departamento de Física Aplicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Carretera Antigua a Progreso, Km 6, AP 73 Cordemex, 97310, Mérida, México

<sup>3</sup>Departamento de Física, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, AP 14-740, 07360, Ciudad de México, México

### RESUMEN

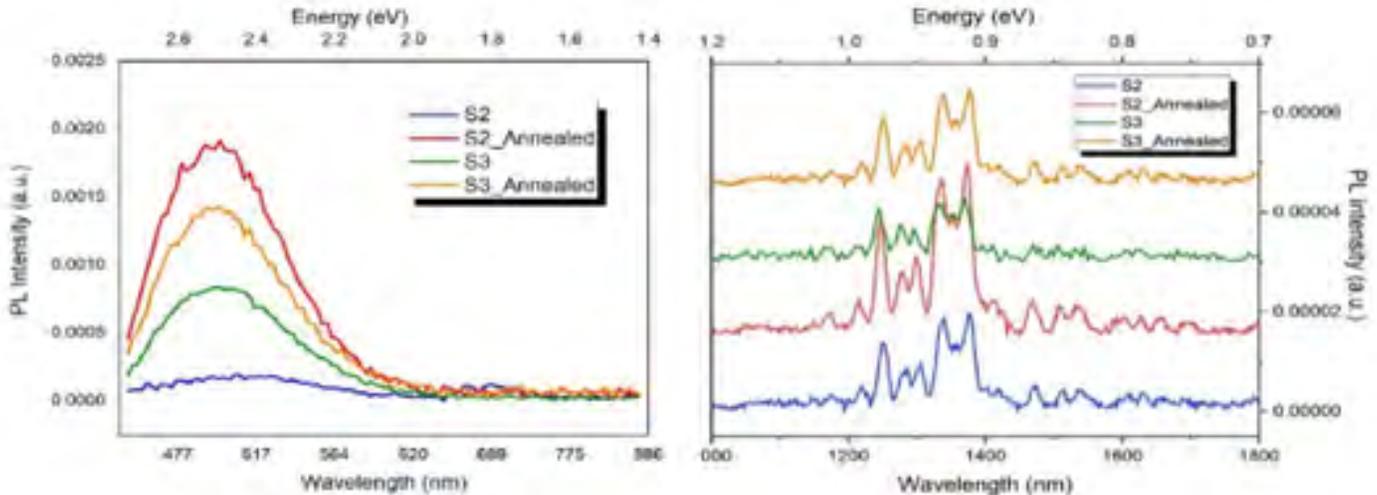
El sulfuro de estaño (SnS) se considera una capa absorbente prometedora para las celdas solares de película fina sin Cd debido a sus excelentes propiedades optoelectrónicas. Además, el SnS es un semiconductor compuesto binario formado por materiales no tóxicos y abundantes en tierra. Su bandgap (1,3-1,4 eV) está en el rango óptimo de 1,3-1,5 eV, y su coeficiente de absorción es apreciablemente alto en la región visible ( $>10^4 \text{ cm}^{-1}$ ). Aunque su eficiencia teórica de conversión de energía ( $\eta$ ) es de casi el 32%, a la par que las celdas solares de silicio cristalino, en la actualidad, el récord de eficiencia de conversión de las celdas solares basadas en SnS es de sólo el 4,63%. Por lo tanto, se requiere una mejor comprensión de las características estructurales, químicas y físicas del SnS para lograr mayores eficiencias.

Las películas delgadas de SnS se han fabricado por diferentes métodos y hasta la fecha, la mejor eficiencia reportada ha sido con el proceso de deposición de capas atómicas (ALD), lento y costoso. La deposición por baño químico (CBD) se ha considerado un método alternativo prometedor por su sencillez, bajo costo y la posibilidad de obtener películas de gran superficie.

Nuestro principal objetivo es estudiar las condiciones en el proceso de crecimiento por CBD de la película delgada de monosulfuro de estaño (SnS) para obtener la mejor calidad de la película y evitar los tratamientos posteriores al crecimiento. Centramos nuestro estudio en aumentar el tiempo de depósito así como el porcentaje de precursor de estaño, lo que nos permitió crecer películas delgadas de SnS monofásicas y ortorrómbicas de 390 nm de espesor en 3.5 horas, cuando los tiempos mayormente reportados de depósito para lograr un espesor óptimo cercano a 400 nm, van de 6 hrs a 40 hrs. Las muestras de SnS se prepararon utilizando el baño químico que contenía 0.564 gr de cloruro de estaño ( $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) como precursor del estaño, 1.697 gr de

citrato de amonio ( $C_6H_{17}N_3O_7$ ) como agente complejante, y 0.617 gr de tiosulfato de sodio ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) como precursor de sodio. Se realizó un tratamiento térmico posterior al crecimiento en todas las muestras para verificar la estabilidad térmica.

El análisis por difracción de rayos X (XRD) reveló estructuras ortorrómbicas. El estudio muestra que a medida que aumenta el tiempo de depósito y la concentración del precursor de Sn en el baño, los picos correspondientes a la fase ortorrómbica de SnS se acentúan, lo que indica una mejora en la calidad cristalina de la muestra. Sin embargo, la mayor disponibilidad de Sn conduce a una formación más significativa de  $SnO_2$  y a un bandgap óptico ligeramente superior, obteniendo valores de bandgap acordes con lo reportado en la literatura para el SnS ortorrómbico. Las imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) muestran que las películas depositadas son homogéneas, formadas por granos pequeños con un tamaño medio de entre 100 nm y 120 nm. La caracterización por fotoluminiscencia (PL) confirmó la presencia de  $SnO_2$  a través de una emisión localizada alrededor de 2.4 eV cuya intensidad aumenta con el tratamiento térmico en aire (ver Figura 1). Se encontraron bandas de emisión de fotoluminiscencia en la región infrarroja, probablemente debido a niveles profundos relacionados con el oxígeno.



**Figura 1.** Espectros de PL para películas de SnS depositadas 20 K y con tratamiento térmico registradas a para (a) el rango visible y (b) el rango infrarrojo.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## SIMULACIONES DE DINAMICA MOLECULAR: ESTRUCTURA DE NANOAGREGADOS DE CANNABIDIOL

Elías A. Cobá-Pacheco<sup>1</sup>, Manuel F. Acevedo-Escalante<sup>2</sup>, y  
Ángel D. Reyes-Figueroa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.  
eliascoba@protonmail.com

<sup>2</sup>Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

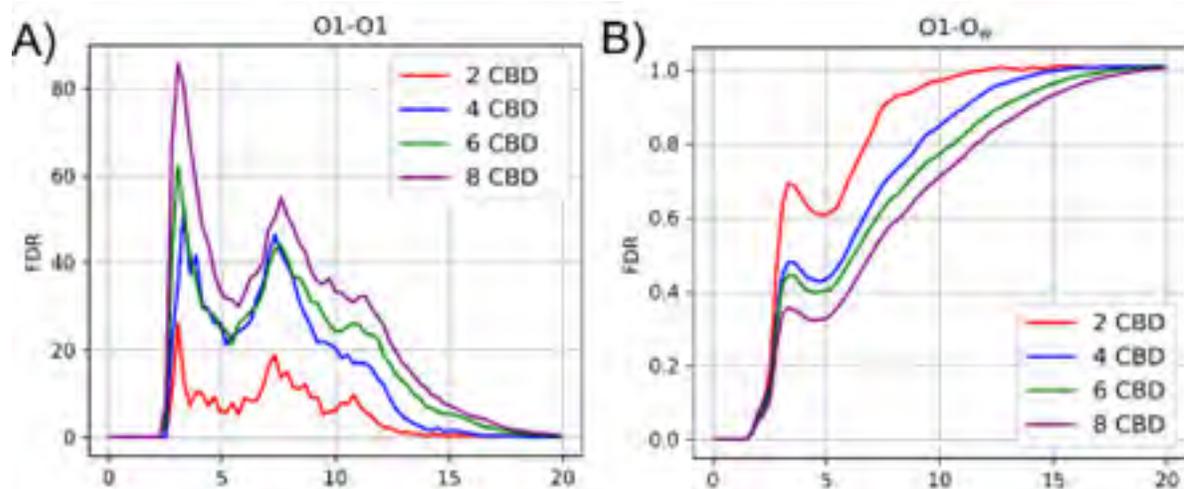
<sup>3</sup>Department of Chemistry, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canadá

### RESUMEN

En los últimos años el Cannabidiol (CBD), un compuesto no psicoactivo derivado de la planta '*Cannabis Sativa*', ha llamado la atención de la comunidad científica debido a una posible amplia gama de aplicaciones médicas, relacionadas con propiedades analgésicas y anticonvulsivas. Estudios previos con Xenón y CBD han sugerido que los cúmulos pueden cumplir una función diferente a su acción individual, en el caso del CBD, inhibiendo la agregación de péptidos A $\beta$  amiloides (Chrobak, W., et al., 2021) los cuales se vinculan con enfermedades como el Parkinson y el Alzheimer, a pesar de ello la estructura de los agregados de CBD continúa sin ser caracterizada.

Mediante el programa GROMACS 2019.5 se simuló durante 250 ns sistemas con 2, 4, 6 y 8 CBDs en agua, utilizando el campo de fuerza GROMOS54a7 del repositorio ATB con un modelado para todos los átomos y el modelo SPC/E para el agua. Se utilizaron condiciones de temperatura de 310 K y una presión de 1 bar con asistencia del baróstato Parrinello-Rahman y el termostato Nosé-Hoover, habiendo previamente equilibrado el sistema en un proceso de ensembles NVT-NPT y una etapa de enfriamiento. Todos los análisis se realizan durante los últimos 20 ns de simulación y la caracterización estructural de los agregados se realiza mediante Funciones de Distribución Radial (FDR) con el software MDAnalysis.

Se encontró que una característica estructural del agregado es la presencia de pares de oxígenos cercanos según un primer máximo de la FDR entre átomos O1 (Figura 1A), a distancias entre 3.06 y 3.33 Å, estos podrían describir formación de puentes de hidrógenos. Se encontró que conforme aumenta el número de moléculas algunas regiones de estas quedan completamente deshidratadas y se producen exclusiones debido a la geometría irregular del agregado, la normalización de la densidad del agua ocurre a una distancia de 20 Å (Figura 1B).



**Figura 1.** A) FDR entre oxígenos O1 en el CBB, B) FDR entre oxígenos O1 en el CBD y oxígenos en el agua.

La energía de interacción promedio para un CBD en un clúster según el número de moléculas es:  $-68.7 \pm 1$  kJ/mol (4 CBDs),  $-82.2 \pm 11.4$  (6 CBDs) y  $-93.1 \pm 13.1$  kJ/mol (8 CBDs). La energía tiene valores negativos, principalmente debido a las aportaciones de tipo Van Der Waals, indicando que cada uno de los CBD experimenta una fuerza atractiva hacia el clúster, y dicha fuerza incrementa con el número de moléculas.

Se plantea la continuidad de este estudio mediante la simulación de estos sistemas a diferentes condiciones de temperatura y concentración de iones, analizando también el tiempo de vida de los puentes de hidrógeno, permitiendo así obtener más información sobre la estabilidad de los nanoagregados de CBD.

Nota: Este trabajo se llevó a cabo con el apoyo del grupo de investigación Cha'akTu'un TS&TL Group y la Universidad Iberoamericana de Puebla, proveyendo acceso a los equipos de cómputo de alto rendimiento Ghidorah y Mothra.

## REFERENCIAS

Chrobak, W., Pacut, D. W., Blomgren, F., Rodin, A., Swenson, J., & Ermilova, I. (2021). Component of Cannabis, Cannabidiol, as a Possible Drug against the Cytotoxicity of A $\beta$ (31–35) and A $\beta$ (25–35) Peptides: An Investigation by Molecular Dynamics and Well-Tempered Metadynamics Simulations. *ACS Chemical Neuroscience*, 12(4), 660–674. <https://doi.org/10.1021/acchemneuro.0c00692>

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**ANÁLISIS DEL USO DE CADENAS DE ESPÍN EN CAMPOS MAGNÉTICOS PARA EL TRASLADO DE INFORMACIÓN CUÁNTICA**

**Alfonso N. Castillo González, y Guillermo Cordou-  
rier-Maruri**

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. guillermo.cordourier@correo.uady.mx.

**RESUMEN**

La creciente necesidad de recursos computacionales y las limitaciones que presentan los sistemas de información clásica, basados en los semiconductores, nos hacen optar por el análisis de nuevos paradigmas de sistemas de codificación y procesamiento de información; la computación cuántica<sup>1</sup>. En una computadora cuántica, la unidad de información se conoce como qubit (bit cuántico) y es codificada en una entidad cuántica, que puede ser el espín de un electrón, la polarización del fotón, o el estado energético de un átomo en un pozo, entre otras posibles implementaciones físicas<sup>1</sup>. En el presente trabajo consideraremos el uso de espines de electrones embebidos en puntos cuánticos para la codificación de qubits<sup>2</sup>. Es esta una propuesta prometedora en el contexto del estado sólido.

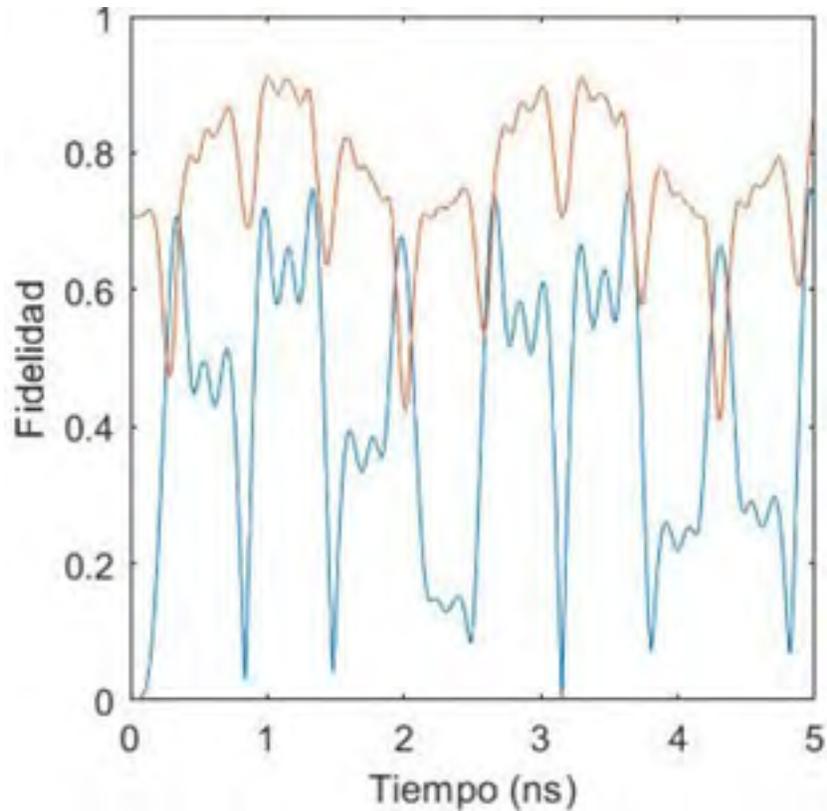
Sin embargo, para asegurar la escalabilidad de una implementación física de computadora cuántica, se debe asegurar el traslado de información entre qubits estáticos, que serán considerados como los registros de la información. Se ha demostrado que es posible utilizar unas cadenas de espines, para trasladar información de un extremo a otro de la cadena<sup>2</sup>. Sin embargo, el control requerido para el proceso es demandante debido a los pequeños tiempos de interacción en la cadena. En este trabajo mostramos cómo la utilización de un campo magnético externo no homogéneo y dependiente del tiempo, puede ayudar a disminuir el nivel de control.

El modelo estudiado consiste en N espines estáticos interactuantes a través de una interacción de homogénea de Heisenberg a primeros vecinos. La información cuántica es retenida en el primer espín, que inicialmente no está en contacto con el segundo espín por la colocación de una barrera de potencial.

Cuando la barrera es eliminada, la interacción entre los espines hace que la información cuántica se traslade al otro extremo de la cadena. El sistema está inmerso en un campo magnético no homogéneo dependiente del tiempo. El hamiltoniano que describe la dinámica del modelo es:

$$H = J \sum_{i=1}^{N-1} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_{i+1} + \sum_{i=1}^N \vec{B}_i \cdot \vec{S}_i$$

En términos de una constante de acoplamiento ( $J$ ), los vectores espín y el campo magnético actuando en el  $i$ -ésimo espín. Con este hamiltoniano podemos obtener el operador evolución temporal y con ello el estado del sistema en cualquier instante. Se calculó la fidelidad de la información transferida y la correlación cuántica (llamada concurrencia) entre los extremos de la cadena, para cadenas de  $N=3$ , hasta  $N=8$ . Los resultados muestran que tanto la fidelidad como la concurrencia presentan un comportamiento oscilatorio, lo que nos indica que la información se traslada a través de una onda de espín. La adición del campo magnético produce un efecto de resonancia que puede incrementar la estabilidad de la fidelidad en el traslado de información cuántica, como se nota en la figura 1.



**Figura 1.** Fidelidad entre el estado inicial del primer espín y el estado del último espín con respecto al tiempo, para una cadena de 6 espines. La línea azul corresponde a un estado clásico inicial (no superpuesto) del primer espín. La línea roja describe el caso de un estado cuántico (superpuesto) del primer espín.

#### Referencias:

1. Nielsen, A. & Chuang, I. (2000) Quantum computation and quantum information. Cambridge: Cambridge University Press
2. Antonio, B., Bayat, A., Kumar, S., Pepper, M., & Bose, S. (2015). PRL, 115(21).

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**UN MODELO SIMPLE PARA ESTUDIAR LOS EFECTOS DEL TRATAMIENTO DE ACTIVACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE DEFECTOS DE LAS CELDAS SOLARES DE CADMIO – TELURO**

**H. Guillermo<sup>a</sup>, I. Rimmaudo<sup>b</sup>, I. Riech<sup>a</sup>, A. Abelenda<sup>a</sup>, A. López-Sánchez<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, AP 150 Cordemex, 97310, Mérida, México. Contacto: hagpmetal@hotmail.com

<sup>b</sup>Departamento de Física Aplicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Carretera Antigua a Progreso, Km 6, AP 73 Cordemex, 97310, Mérida, México

## RESUMEN

La eficiencia de una celda solar de película delgada se ve afectada por la presencia de defectos, los cuales originan diversos niveles de energía que generalmente se encuentran dentro de la banda prohibida del semiconductor absorbente. El CdTe (cadmio – telurio) nativo tiene muchos defectos intrínsecos, que ocasionan una eficiencia muy baja (<6%), por lo que es necesario realizar un tratamiento con cloro (clorinado). La estructura de defectos resultante depende en gran medida de los parámetros de crecimiento y de clorinado al fabricar la celda, lo que dificulta el estudio experimental de los mismos.

Este trabajo presenta un modelo de software SCAPS basado en perfiles de concentración de defectos para la capa absorbente de CdTe en una celda solar de sulfuro de cadmio / cadmio – telurio (CdS/CdTe). El modelo consiste en una estructura simple que utiliza una capa para el absorbente de CdTe y en total tres capas para toda la celda, más los contactos eléctricos. La característica principal del mismo consiste en la asignación de niveles de defecto representativos para cada uno de los 3 fenómenos (dopaje, recombinación y compensación) que afectan la concentración de portadores libres de carga. Estos fenómenos están estrechamente relacionados con los procesos de depósito y clorinado, que se llevan a cabo durante la fabricación de la celda. Dicha configuración fue implementada en el software de simulación SCAPS. Para validar el modelo, se llevaron a cabo ajustes de simulaciones a mediciones de densidad de corriente vs voltaje (JV) bajo oscuridad e iluminación para celdas solares CdS/CdTe tratadas con una solución de cloruro de cadmio (CdCl<sub>2</sub>) o tratamiento en seco con gas freón (CHClF<sub>2</sub>). Se utilizaron 3 celdas para cada tratamiento con diferentes eficiencias (media, baja y muy baja), las cuales fueron elaboradas en el CINVESTAV, unidad Mérida. Durante el ajuste se variaron los parámetros correspondientes a los niveles de defecto, así como otros parámetros relacionados con los procesos de crecimiento y clorinado (ancho de la capa de CdS, resistencia eléctrica en serie, resistencia eléctrica en paralelo y función de trabajo del contacto posterior). Para evaluar el ajuste entre curvas simuladas y medidas,

se compararon los parámetros fotovoltaicos ( $V_{oc}$ ,  $J_{sc}$ , FF y eficiencia), la suma de Chi-cuadrado normalizada ( $\chi^2$ ), el factor de idealidad (A), la corriente de saturación ( $J_0$ ) y las resistencias totales en serie y paralelo.

Los resultados obtenidos para las diferentes estructuras fueron:

*Celdas de Eficiencia media.* Las similitudes entre las curvas J-V, así como entre los parámetros estudiados para la celda tratada con  $CdCl_2$ , indican una aproximación bastante buena a las mediciones, tanto en condiciones de luz como de oscuridad. Los perfiles de defecto sugieren un clorinado efectivo con baja compensación por donores. Para la celda con tratamiento por  $CHClF_2$ , los parámetros también indicaron un buen ajuste en general, pero los perfiles sugieren un tratamiento más invasivo como resultado de un clorinado no completamente optimizado.

*Celdas de Baja eficiencia.* La correspondencia de las curvas JV bajo iluminación para la celda tratada con  $CdCl_2$  no es tan buena como en el caso de eficiencia media. Esto podría indicar la presencia de efectos no contemplados por el modelo, aunque no afectan demasiado la precisión. Los perfiles de defecto indican que el tratamiento con  $CdCl_2$  fue insuficiente para reducir la concentración de defectos profundos y aumentar el dopado en esta celda. Para la celda tratada con  $CHClF_2$ , los parámetros de PV reflejan un mejor ajuste a las mediciones. Los perfiles correspondientes sugieren que el  $CHClF_2$  produce menos dopaje tipo p y reducción de defectos profundos que el  $CdCl_2$ , pero también menos compensación por parte de los donores, lo que podría explicar las eficiencias similares.

*Celdas de Muy baja eficiencia.* Para la celda tratada con  $CdCl_2$ , los parámetros simulados resultaron lejanos a los medidos. Es probable que esta celda presente factores que no pueden representarse como niveles de defectos y, por lo tanto, están más allá del alcance del modelo de simulación. Por ello, los perfiles de defectos para esta celda no son fiables para hacer una interpretación acertada. Sin embargo, el comportamiento de los mismos es coherente con una eficiencia muy baja. Para la celda clorinada con  $CHClF_2$ , se obtuvo una correspondencia mucho mejor entre simulaciones y mediciones. Los perfiles de defectos apuntan a un clorinado excesivo en este caso.

Las conclusiones del trabajo fueron que, para celdas con eficiencia similar, el modelo mostró que las concentraciones de defectos variaron significativamente con el tipo de tratamiento con cloro, lo que coincide con los hallazgos experimentales informados en la literatura. Para todas las celdas tratadas con  $CHClF_2$ , las simulaciones de SCAPS resultaron en un buen ajuste con las mediciones JV. Por el contrario, para las celdas de muy baja eficiencia tratadas con  $CdCl_2$ , los factores adicionales que no están incluidos en las simulaciones parecen tener un impacto significativo. Por la coherencia en los resultados, concluimos que el modelo puede ser utilizado para estudiar las relaciones entre los perfiles de defectos y los parámetros de depósito y clorinado de forma rápida y sencilla.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MADERA TRANSPARENTE OBTENIDA DE ÁRBOLES TROPICALES CON APLICACIONES EN VENTANAS EFICIENTES**

**Itzel T. Polanco-Ortiz, Milenis Acosta-Díaz**

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. a11003568@alumnos.uady.mx

**RESUMEN**

En México, los usuarios en localidades de clima cálido consumen hasta un 50% de su consumo eléctrico en climatización de los edificios para lograr un confort térmico. El confort térmico en un edificio se logra ya sea con equipos eléctricos o con un buen diseño bioclimático, éste se puede abordar desde la planta arquitectónica, la envolvente del edificio y las ventanas, éstas últimas responsables de gran parte de las ganancias y pérdidas térmicas.

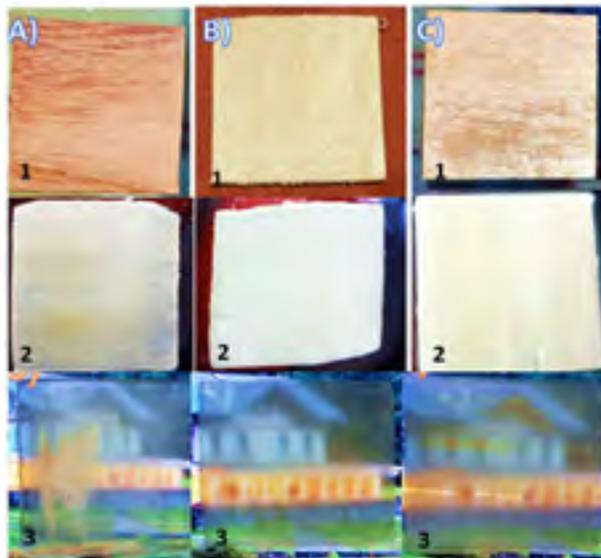
Existen infinitas posibilidades y combinaciones para lograr que una ventana sea eficiente energéticamente hablando, sin embargo, los costos se elevan y el proceso de producción no siempre es el más sustentable. En el campo de la ciencia de materiales, ha surgido un nuevo material que promete complementar o incluso sustituir a un vidrio doméstico para evitar las transferencias térmicas indeseadas: la madera transparente. La madera transparente consiste en madera despigmentada y rellena con polímeros; puede ser usada en ventanas, vanos, tragaluces e incluso como elemento decorativo, gracias a sus buenas propiedades ópticas y características estructurales. Incluso, existen algunas investigaciones han estudiado su posible uso en celdas solares. Actualmente su estudio se limita a un reducido grupo de especies de árboles de latitudes al norte. El resultado de las características finales de la madera transparente varía mucho dependiendo de la madera utilizada en su fabricación, por lo cual, es importante seleccionar una madera de baja densidad y porosa.

El objetivo principal del estudio que se está realizando es fabricar la madera transparente con buena transmitancia de luz visible y reducir la transmitancia del espectro infrarrojo (relacionado al calor) por debajo de la de un vidrio doméstico, optando por seleccionar especies fáciles de conseguir en la región de la Península de Yucatán. De esta manera, sería la primera vez que se utilizan especies regionales para fabricar este nuevo material.

La metodología que se diseñó para la selección de las maderas, aparte de tener densidades específicas, consistió en delimitar las especies en tres categorías: **M1**, **M2** y **M3**, maderas de fácil acceso en la región, maderas de árboles con importancia/simbolismo cultural y maderas de árboles de rápido crecimiento y propagación, respectivamente. Se creó una base de datos de árboles viables para que futuras investigaciones puedan ser llevadas a cabo. De esta base de datos, se seleccionó uno por categoría. Por medio de una solución ácida y un

proceso de calor, se logró extraer la lignina (pigmento) de muestras de madera de diferentes grosores, dejando únicamente la celulosa presente en las fibras. Para rellenarla, se seleccionó un polímero adecuado donde la madera se sumerge y se infiltra al vacío. El resultado obtenido es una pieza brillante, transparente y rígida.

El producto final muestra resultados visuales transparentes, aunque su transmitancia varía según el tipo de madera y según el grosor estudiado. La madera que presentó más facilidad para trabajar y que tiene resultados más homogéneos es la madera de *Bursera Simarouba*, conocida localmente como “chaká”, por lo cual, se recomienda continuar las experimentaciones con ésta. La investigación, aún en proceso, pretende añadir compuestos a este material obtenido para cambiar el color y reducir aún más el paso del calor. Se puede observar en la Ilustración 1 las maderas usadas en esta investigación en sus tres estados: natural, despigmentada y transparente.



**Ilustración 1.** A) Madera M1. B) Madera M2. C) Madera M3. 1) Madera natural, 2) Madera despigmentada, 3) Madera transparente.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**Contribución Mexicana al Análisis y Comprensión del Fenómeno  
de la Nube de Electrones en el Futuro Colisionador Circular del  
CERN**

**Jaime Eduardo Rocha Muñoz<sup>1</sup>, Ángel Ricardo Vázquez  
Parra<sup>2</sup>, G. H. I. Maury Cuna<sup>1</sup>, Karla Beatriz Cantún Avila<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidad de Guanajuato, Loma del Bosque 103, Col. Lomas del Campestre, C. P. 37150, León, México.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Ave. Industrias no contaminantes S/N. por Anillo periférico Norte, Mérida, México. [karla.cantun@uady.mx](mailto:karla.cantun@uady.mx)

## RESUMEN

Los aceleradores de partículas son instrumentos científicos utilizados en la investigación de frontera en la física de altas energías. Estas máquinas complejas requieren de la participación de científicos e ingenieros expertos en diversas áreas para su diseño, construcción y operación. En cada una de estas etapas, comunidades científicas de diferentes países colaboran en sinergia para lograr cumplir con el objetivo. En el laboratorio de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en francés) se tiene el ambicioso proyecto de la construcción del Futuro Colisionador Circular (FCC), que tiene como propósito responder algunas de las preguntas, aún abiertas, en la Física Fundamental. La Universidad Autónoma de Yucatán en conjunto con la Universidad de Guanajuato han unido esfuerzos para participar activamente tanto en el estudio de diseño, como en el de factibilidad, de la construcción del FCC. Esta contribución está enfocada en el análisis y comprensión del fenómeno de la nube de electrones que se prevee que pueda presentarse en el haz de positrones del FCC. La formación de la nube de electrones es uno de los problemas críticos que se estima pueda influir negativamente en el desempeño del colisionador, ya que puede generar tanto desgaste de las paredes de la cámara del vacío en la que circula el haz de partículas; así como también, la degradación en la calidad del mismo. En este trabajo se presentan resultados preliminares del estudio de la formación de la nube de electrones en ciertas secciones del arco del anillo de positrones del FCC empleando el código de simulación PyELOUD en función de parámetros como la tasa de emisión secundaria y la geometría de la cámara de vacío.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## ESPECTROSCOPIA DE LENTE TÉRMICA

Michel Alonso Isidro Ojeda y Miguel Ángel Zambrano Arjona

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, A. P. 150, Cordemex, Mérida, México.  
michel.isidro15@gmail.com

### RESUMEN

El estudio de la variación en el camino óptico es importante en el diseño de componentes ópticos. El uso de láseres de alta potencia puede inducir dichas variaciones, las cuales podrían afectar notablemente distintos sistemas. Estos láseres pueden tener diferentes perfiles; los campos de temperatura dependen fuertemente de ellos, por lo que es necesario tomarlos en cuenta en arreglos experimentales de alta precisión.

La técnica fototérmica conocida como espectroscopía de lente térmica aprovecha dicha variación del camino óptico para la caracterización de diversos materiales. El efecto de lente térmica se produce cuando una fuente de calor incide sobre algún material. Así, es posible conocer propiedades tanto ópticas como térmicas de algunas muestras. Para realizar dicho experimento, usualmente se utiliza un láser de excitación y uno de prueba. El primero produce el efecto de lente térmica y el segundo se encarga de monitorearlo.

El uso de los modelos adecuados que describen el fenómeno es crucial para la interpretación de los datos. En este trabajo se utiliza y se evalúa el modelo analítico más usado en la literatura para la descripción del efecto de lente térmica. Primero, considerando las condiciones con las cuales se obtuvo dicho modelo, se estudian mezclas binarias de hidrocarburos proponiendo a su vez un modelo empírico que pueda ayudar a entender las interacciones moleculares presentes en dichas mezclas. Y segundo, se explora, teórica y experimentalmente, una de las aproximaciones consideradas, señales pequeñas, para establecer un límite de aplicación, así como las consecuencias de emplearlo en señales mayores al intervalo de utilidad.

**Reconocimientos:** Al Conacyt, Cinvestav, Universidad Estatal de Maringá, Instituto Politécnico Nacional, AMEXCID y la Universidad Autónoma de Yucatán.

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**TRANSICIONES ESTRUCTURALES REVERSIBLES EN MATERIALES MACROSCÓPICOS**

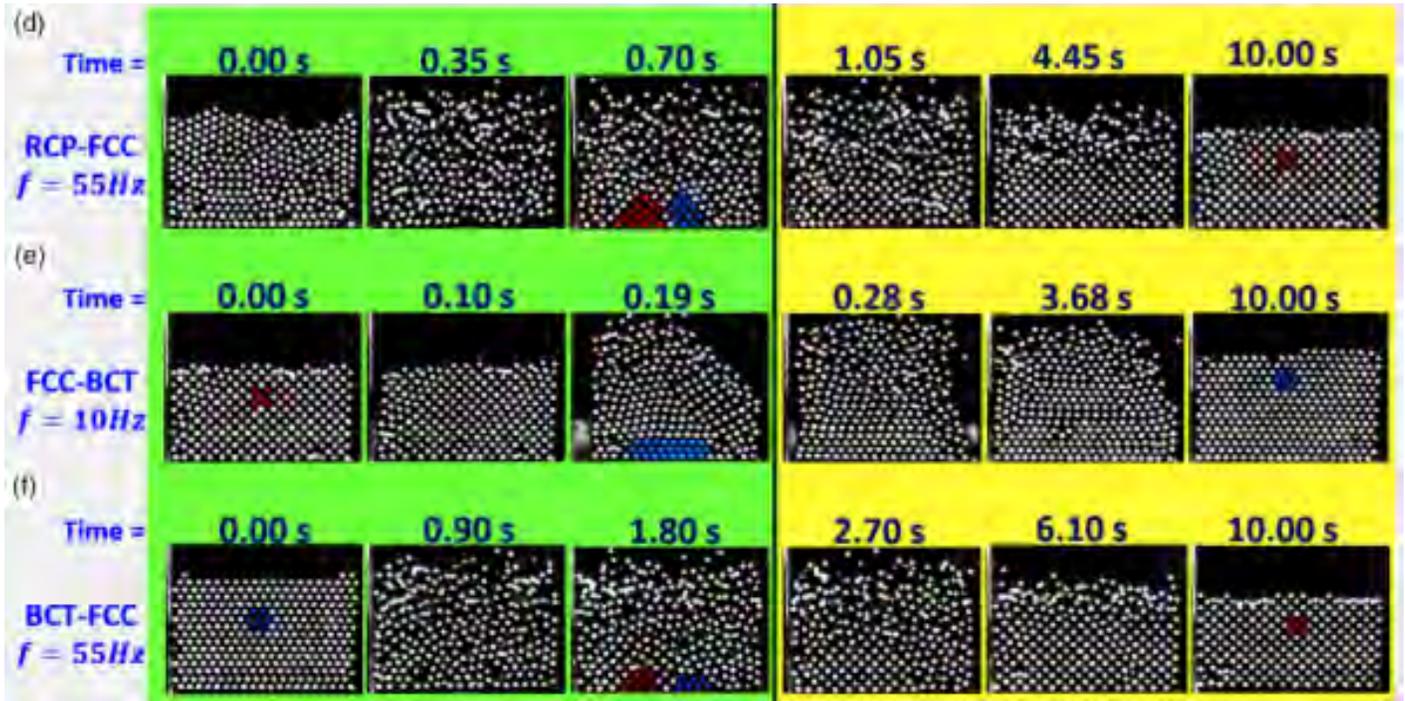
**Oswaldo Carvente-Muñoz**

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. [osvaldo.carvente@uady.mx](mailto:osvaldo.carvente@uady.mx)

**RESUMEN**

Combinando perturbaciones mecánicas externas que promueven esfuerzos cortantes en sistemas confinados de partículas de tamaño milimétrico (materiales macroscópicos), es posible producir cambios estructurales 3D reversibles rápidos, pasando de estructuras cristalinas bct-fcc (body centered cubic – face centered cubic) o fcc-bct. Se demuestra que esfuerzos cortantes unidimensionales (horizontales) promueven la formación de estructuras bct, mientras que esfuerzos cortantes bidimensionales (horizontales y verticales) promueven la formación de estructuras fcc. La caracterización de tales transiciones demuestra que, en analogía con la nucleación heterogénea, un gradiente de temperatura “granular” promueve la formación de dominios cristalinos que compiten en fases polimórficas en las regiones frías. Los resultados obtenidos tienen el potencial de incorporar información en modelos teóricos aplicados al estudio de materiales multifase, y proporcionan un mecanismo novedoso para el desarrollo tecnológico aplicado al auto-ensamble de cristales fonónicos y fotónicos.

Los materiales macroscópicos, comúnmente llamados materiales granulares, ocupan el segundo lugar, justo después del agua, en la escala de utilización por parte del ser humano, de ahí su importancia para entender y predecir su comportamiento ante perturbaciones externas y para optimizar procesos (ahorros energéticos) asociados con su manipulación. Nosotros nos centramos en el proceso de auto-ensamble de tales materiales, dentro de un contenedor en forma de “V”, bajo perturbaciones mecánicas externas controladas. Por medio de una cámara de video de alta resolución temporal, estudiamos la dinámica de las partículas del material que se encuentran más próximas a las paredes del contenedor. Las perturbaciones externas son producidas por un sistema de vibración electromecánico que promueve un proceso tipo enfriamiento, similar a un enfriamiento térmico, donde, por medio de una función periódica, disminuye la amplitud de las vibraciones mientras la frecuencia aumenta. En la figura 1 pueden observarse los fotogramas de las partículas que se captan con la cámara de alta velocidad, durante diferentes tiempos y tipos de transición estructural.



El seguimiento temporal de las partículas de la figura 1 permite determinar las fluctuaciones de las velocidades en las regiones cercana a la base del contenedor y en la parte superior. Los resultados demuestran que en la zona “fría” (región inferior) aparecen regiones cristalinas, mientras que la zona “caliente” (región superior) se comporta como un gas, lo que justifica que la transición de fase es promovida por un gradiente de temperatura. Además, se puede obtener una coexistencia de fases cristalinas, bct y fcc, cuando el esfuerzo cortante vertical aumenta de magnitud hasta alcanzar el valor que promueve la formación de la estructura cristalina fcc.

El ajuste controlado del esfuerzo cortante, aplicado durante un proceso de enfriamiento debido a perturbaciones mecánicas externas, promueve cambios estructurales reversibles en materiales macroscópicos confinados. Debido al corto tiempo que dura la transición, los resultados pueden incorporarse para estudiar el auto ensamblaje reversible de cristales fotónicos o fonónicos.

## Referencias

D. A. Morales-Barrera, G. Rodríguez Gattorno, O. Carvente. Physical Review Letters. 121, 074302 (2018).

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CAPA TRANSPORTADORA DE HUECOS (HTL) PARA CELDAS SOLARES DE  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$**

**Pedro A. Mijangos Alonzo<sup>1</sup>, Inés Riech<sup>1</sup>, Milenis Acosta<sup>1</sup>,  
Reyes Hernández<sup>1</sup>, Osvaldo Vigil<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, AP 150 Cordemex, 97130 Mérida, México México.  
a20215007@alumnos.uady.mx

<sup>2</sup>Escuela Superior de Física y Matemáticas-Instituto Politécnico Nacional (IPN), C.P. 07738, México DF, México

## RESUMEN

Recientemente, para mejorar la eficiencia de las celdas basadas en seleniuro de antimonio ( $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ), se ha probado el uso de una arquitectura n-i-p en donde se usa una capa transportadora de huecos (HTL) y una capa transportadora de electrones (ETL). Se han realizado simulaciones usando al óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) como HTL (Baig, Khattak, Beg, & Soucase, 2019). Los resultados muestran que el  $\text{Cu}_2\text{O}$  es un candidato prometedor para usarse como HTL al mejorar la eficiencia de la celda.

Este trabajo tiene como objetivo obtener una película delgada de  $\text{Cu}_2\text{O}$  con las características adecuadas para ser usado como HTL. Se han obtenido hasta el momento 4 muestras mediante la técnica de rf-sputtering, en las cuales se mantienen los mismos parámetros de presión de depósito (95% argón, 5% oxígeno), tiempo de crecimiento (5 minutos) y distancia al blanco (50 mm). La potencia de depósito fue el parámetro que se varió entre las muestras.

El band-gap reportado en la literatura del  $\text{Cu}_2\text{O}$  se encuentra entre 2.1 y 2.6 eV. En la Tabla 1 se pueden observar los band-gaps obtenidos en nuestras muestras, donde la S21 presentó el band gap con el valor adecuado. Analizando las muestras por Microscopía electrónica de barrido (SEM), se obtuvo el espesor de las muestras, así como también su morfología, donde se observó un crecimiento columnar.

Muestra	Potencia de crecimiento (W)	Band-gap (eV)	Espesor (nm)
S18	100	2.62	275
S19	150	1.73	360
S20	110	2.58	291.25
S21	120	2.28	321.25

**Tabla 1.** Band-gap y espesor de las muestras.

En cuanto a las propiedades ópticas, se observa en la Figura 1 que la transmitancia aumentó cuando se usó menor potencia de depósito en el sistema de rf-sputtering.

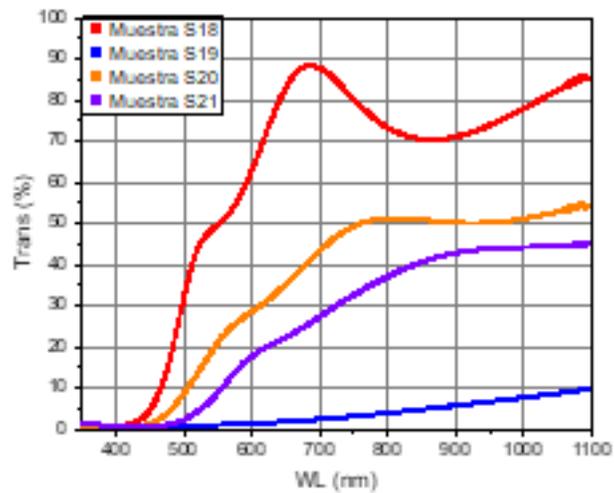


Figura 1. Transmitancia de las muestras.

## Referencias

Baig, F., Khattak, Y. H., Beg, S., & Soucase, B. M. (2019). Numerical analysis of a novel CNT/Cu<sub>2</sub>O/Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/ITO antimony selenide solar cell. *Optik*

Congreso de Ingeniería y Sociedad  
9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

**Evaluación de películas nanoestructuradas sintetizadas mediante Litografía Coloidal para su aplicación como óxido conductor transparente (TCO) en celdas solares**

**A. Borges<sup>1</sup>, J. A. Méndez-Gamboa<sup>1</sup>, R. Hernández Castillo<sup>1</sup>, D. Canto Reyes<sup>1</sup>, M. Acosta<sup>1</sup>, V. Rejón<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. alicia.borges@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Física Aplicada, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, 97310 Mérida, Yucatán, México

## RESUMEN

Los óxidos conductores transparentes (TCOs) deben cumplir con dos importantes características: alta conductividad (resistividades entre  $10^{-4} \Omega\text{cm}$  y  $10^{-6} \Omega\text{cm}$  y óptima transmitancia óptica que debe estar alrededor del 90% de la radiación visible e infrarrojo cercano. Entre los materiales más comunes que se emplean para la elaboración de los TCO está el ITO (óxido de indio dopado con estaño), sin embargo, el ITO es un material escaso por lo que lo hace costoso y difícil de adquirir para emplear en ciertos dispositivos optoelectrónicos. Por esto se han realizado estudios para encontrar alternativas al ITO, como los FTO (Óxido de estaño dopado con flúor) y AZO (Óxido de zinc dopado con aluminio), polímeros conductores, nanotubos de carbono, grafeno y rejillas metálicas.

Estas últimas han sido de mucho interés en los últimos años debido a sus propiedades optoelectrónicas, ya que al tener esos huecos en su estructura permiten conservar sus propiedades eléctricas aprovechando la buena conductividad de los metales sin sacrificar sus propiedades ópticas al permitir el paso de la luz a través de ellas.

Por ello en este trabajo se propuso evaluar las características optoelectrónicas de las películas metálicas nanoestructuradas sintetizadas sobre una plantilla obtenida mediante litografía coloidal para su uso como TCO en celdas solares.

La metodología que se empleó desde las limpiezas de los sustratos que consistió en tres baños ultrasónicos con duración de 10 minutos cada uno dentro de soluciones diferentes; agua destilada con detergente de baja espuma, acetona, y finalmente dentro de alcohol isopropílico. Las nanoesferas de poliestireno (nPS) de 500 nm se prepararon al 50% wt, en una suspensión coloidal con etanol y agua desionizada (1:1, v/v), que se sometió a un sonicado por 10 min para homogeneizar la suspensión. Sobre una máscara de nPS se depositó una película delgada de Ag de 15 nm de espesor utilizando un sistema de sputtering. Se eliminó la máscara de poliestireno con un baño ultrasónico con etanol durante 5 min y después un lavado con agua destilada de 1 min, esto permitió obtener las matrices de nanohuecos de plata. Esta película nanoestructurada de Ag se depositó entre

dos películas delgadas de AZO obtenidas mediante sputtering. Se aplicó la figura de mérito de Haacke (Haacke, 1976) y de flujo fotónico (Méndez, et al., 2016) para comparar el rendimiento de la transmitancia y la resistencia en serie ( $R_s$ ).

Las transmitancias ópticas de la película de Ag nanoestructurada de 15nm mostraron un comportamiento similar a la película de Ag de 7 nm reportada en el trabajo de R.H. Castillo 2020. Mientras que la figura de mérito para esta Ag nanoestructurada fue de  $43.64 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$ , que comparada con la reportada por S. Sutthana (2010) y colaboradores donde obtuvieron como mejor resultado para la multicapa de AZO/Ag/AZO con 8 nm de Ag una figura de mérito de  $6.9 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$ .

Con este trabajo se encontró un aumento en la figura de mérito de Haacke utilizando la técnica de litografía coloidal para TCO de multicapa AZO/Ag nanoestructurado/AZO. Sin embargo, aún tenemos que homogeneizar la máscara de nPS para que se obtengan nanoestructuras con mejores propiedades optoelectrónicas. Se emplearon diferentes técnicas para retirar las máscaras de nPS, la que proporcionó resultados óptimos fue la de baño químico con acetona.

#### Referencias:

- G. Haacke, New figure of merit for transparent conductors, J. Appl. Phys. 47 (1976) 4086e4089, <https://doi.org/10.1063/1.323240>.
- J.A. Mendez-Gamboa, R. Castro-Rodriguez, I.V. Perez-Quintana, R.A. Medina Esquivel, A. Martel-Arbelo, A figure of merit to evaluate transparent conductor oxides for solar cells using photonic flux density, Thin Solid Films 599 (2016) 14e18. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.12.038>.
- R.H. Castillo, F. Pen˜un˜uri, D. Canto-Reyes, A.B. Pool, J.A. Mendez-Gamboa, M. Acosta, Mater. Lett. 260, 126913 (2020)
- S. Sutthana, N. Hongsith, S. Chooapun, AZO/Ag/AZO multilayer films prepared by DC magnetron sputtering for dye-sensitized solar cell application, Curr. Appl. Phys. 10 (2010) 813e816. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2009.09.020>.

**Ponencias Orales**

**MECATRÓNICA**

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DE CITRICOS

<sup>1</sup>Christina Nülle, Gabriela <sup>2</sup>Cool Padilla, <sup>2</sup>Jesus Escalante Euán,  
<sup>3</sup>Jorge Santos Flores

<sup>1</sup>Hochschule RheinMain, Wiesbaden, Alemania, m.christina.nulle@alumnos.uady.mx

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México, a12013316@alumnos.uady.mx

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México, a12013316@alumnos.uady.mx

<sup>3</sup>Facultad de Veterinaria, Universidad Autónoma de Yucatán, México, sflores@correo.uady.mx

### RESUMEN

La economía circular es un nuevo modelo económico que sustituye el modelo tradicional de la economía lineal. El problema del modelo lineal es que considera a los recursos como ilimitados y tiene efectos negativos al medio ambiente. La idea del nuevo modelo circular es evitar el desperdicio de los recursos limitados para que sean disponibles en el futuro también y alcanzar una economía más sostenible.

El presente estudio es motivado por interés personal en temas actuales e importantes en México, especialmente en la región de Yucatán. Además, trata del tema de la sustentabilidad y en mejorar la calidad del sector citrícola y crear más valor para ese sector.

#### Metodología

Nuestro enfoque abordará la modelación de la producción primaria bajo las condiciones y ecosistema de la zona de estudio bajo el paradigma de simulación de dinámica de sistemas.

#### Resultados

Los productos resultantes fueron el diagrama causal y el modelo de Forrester. Esta etapa fue fundamental para definir los escenarios y la simulación de escenarios mediante el software Netlogo®.

La propuesta, identifica la importancia de la sustentabilidad en el uso de materias primas, la tierra y la energía para mantener los recursos naturales y al mismo tiempo mantener la citricultura rentable. Los resultados son alentadores ya que prevé que es necesario mantener un equilibrio entre reciclar y renovar. Finalmente, la investigación sugiere encontrar el equilibrio para aprovechar de forma sostenible la citricultura.

#### Conclusiones

La modelación ha sido uno de los ejes importantes de la investigación. Ha permitido identificar los procesos clave en el marco de las 6R, señalando los eslabones críticos de la cadena de valor.

La investigación propuso una valoración comparativa entre dos paradigmas de producción. El modelo configura la relación entre 2 tipos de usuarios de los recursos naturales, los que reciclan y los que desperdician. Final-

mente, se identificaron los indicadores de desempeño clave del eslabón de producción primaria de la cadena de valor de cítricos, considerando la economía circular y que estimule la permanencia en el futuro, sin limitar el crecimiento económico de la citricultura.

### **Referencias**

1. Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). An analysis on sustainable supply chain for circular economy. *Procedia Manufacturing*, 33, 477–484. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059>
2. Castro, R. (2020). Curso introducción a la economía circular. La economía circular como un marco integrador [video]. Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=KjsOgHR3gMc&t=155s>
3. Moreno, I. (2016). Análisis de la red de valor de cítricos en el municipio de Oxkutzcab Yucatán. Maestra en Gestión de del desarrollo rural. La dirección de centros regionales universitarios de la universidad autónoma Chapingo.
4. Thiele, J. C. (2014). R marries NetLogo: introduction to the RNetLogo package. *Journal of Statistical Software*, 58, 1-41.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

## 9 – 11 de marzo de 2022

### Mérida, Yucatán, México.

## **Implementación de un sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) en una empresa procesadora de miel de abeja.**

**Eduardo May-Osio<sup>1</sup>, Elvia del S. Camaal-Cutz<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche (itescam), México. emay@itescam.edu.mx.

### **RESUMEN**

El sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP, por sus siglas en inglés: Hazard Analysis and Critical Control Points) se reconoce internacionalmente como el mejor método para garantizar la seguridad de los productos y para controlar los riesgos originados por los alimentos.

De acuerdo con Grandjean y Campo (2002) uno de los sistemas exitosos determinante para establecer los cambios que se requieren para dar solución a los aspectos de inocuidad y calidad en el sector alimentario es el HACCP.

La versatilidad del sistema al permitir aplicar sus principios a diversas condiciones que pueden ir desde un proceso industrial hasta uno artesanal, marca otra de las diferencias con los sistemas de aseguramiento de la calidad (Carro y González, 2012).

Una empresa de alimentos que pretenda incursionar y mantenerse en los mercados internacionales deberá seguir el sistema HACCP y sus prerrequisitos en sus procesos de producción y distribución o de lo contrario la competencia internacional lo conducirá a su quiebra. Esto es mucho más doloroso para una empresa que las sanciones legales (Castellanos, L. et al 2004).

El objetivo principal de esta investigación fue implementar un sistema HACCP en el área de procesos. La investigación es tipo mixta; la parte cualitativa realizada con entrevistas al personal encargado y la cuantitativa en la aplicación del sistema HACCP, teniendo un alcance explicativo; al proponer soluciones en base al estudio descriptivo realizado.

Para la identificación de los PCC se utilizó un árbol de decisiones. En cada peligro se contestó a cada pregunta de acuerdo con la secuencia, hasta que se determinó si era o no un PCC.

En la figura 1 se indica los puntos críticos encontrados y en este se incluyen las etapas de filtración PCC1 y envasado PCC2.

Figura 1. Flujoograma del proceso de la miel de abeja.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se concluye con el cumplimiento del principal objetivo de este trabajo y del sistema HACCP, que es identificar, evaluar y controlar los peligros significativos para la seguridad del alimento. A través de estas medidas se pueden reducir los riesgos de contaminación, la presencia de peligros y evitar la contaminación cruzada que se pueda producir al manejar los residuos o por cruce de líneas del producto.

Previamente al implantar el sistema de análisis de peligro y punto crítico de control fue indispensable contar con un programa de prerrequisitos, cuya función esencial es la de controlar determinados tipos de peligros, para reducir en gran medida los Puntos Críticos de Control, en este caso el filtrado y envasado son dos PCC identificados en la línea de producción de miel, se aplicó la medidas preventivas y correctivas necesarias trabajadas en diferentes actividades.

## REFERENCIAS

- Michel Grandjean, B, Sergio Ocampo, D. (Agosto 2002). MANUAL DE BUENAS PRACTICAS PARA LA API-CULTURA. Reipiica, N-129.691, p.1-42. Recuperado de <http://reipiica.ica.int/docs/B3362e/B3362e.pdf>
- Carro Paz, R, Gonzales Gómez, D.. (2005). NORMAS HACCP, SISTEMA DE ANÁLISIS DE RIESGO Y PUNTO CRÍTICO DE CONTROL. Argentina: Nulan. Recuperado de [http://nulan.mdp.edu.ar/1616/1/11\\_normas\\_haccp.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1616/1/11_normas_haccp.pdf)
- Liliana C. Castellanos R.; Luis C. Villamil J.; Jaime R. Romero P. (2004, septiembre 28). Incorporación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control en la legislación alimentaria. Scielo, vol.6, p.1-5. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-00642004000300005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642004000300005)

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## Inteligencia artificial aplicada al sector ovino

Enrique Camacho Pérez<sup>1,2</sup> y Alfonso J. Chay-Canul<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México, enrique.camacho@correo.uady.mx

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Progreso, Yucatán, México,

<sup>3</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

### RESUMEN

El sector ovino no ha sufrido la tecnificación que tienen otros sectores ganaderos. El desconocimiento tecnológico de los ganaderos y las limitaciones económicas del sector han dificultado dicha tecnificación. Este trabajo propone un sistema de estimación del peso de borregos pelibuey utilizando parámetros biométricos obtenidos a través de un sensor Kinect y de redes neuronales artificiales.

Para la realización de este proyecto se registraron y procesaron imágenes de 56 borregos pelibuey, así como también se registraron manualmente los parámetros biométricos, es decir mediciones de longitud de diferentes partes del cuerpo del animal, así como el peso vivo, teniendo un promedio general de  $30 \pm 8$  kg.

Para la adquisición de las imágenes se desarrolló un programa utilizando el lenguaje de programación Python y un sensor Kinect. Este sensor se montó frente a los animales con una separación de aproximadamente 1.5m, para poder capturar la longitud total del cuerpo. El sensor Kinect proporcionó una imagen en formato RGB y una de profundidad (Figura 1). Para el procesamiento de las imágenes de profundidad, fue necesario realizar la calibración de los píxeles para obtener correctamente la información de profundidad en el eje Z, así como las dimensiones en el eje X e Y. Esta calibración fue probada con objetos regulares, asegurando que se obtuvieron las dimensiones correctas. Luego de tomar las imágenes del sensor Kinect y haber sido procesadas, las medidas de los parámetros biométricos se extraen de esas imágenes y para lo cual se implementó una interfaz gráfica usando el módulo OpenCV de Python.

Para la estimación del peso, se probaron diferentes arquitecturas de redes neuronales artificiales (Figura 2), estas arquitecturas se ajustaron variando el número de neuronas en capas ocultas y las funciones de activación. La capa de entrada correspondió a los siete parámetros biométricos obtenidos del sensor Kinect y la capa de salida correspondió a la predicción del peso.

Como resultado de la metodología utilizada se encontró que la estimación de los parámetros biométricos utilizando el sensor Kinect mostraron una buena correlación con las medidas reales correspondientes, los valores obtenidos del coeficiente de correlación de Pearson oscilaron entre 0.88 y 0.93.

La medida para evaluar el desempeño de la red neuronal fue el error cuadrático medio (RMSE) y dado que los puntos de partida en los pesos de las neuronas son valores aleatorios y los datos se dividieron aleatoriamente (70% entrenamiento, 15% validación y 15% evaluación de la red), cada arquitectura se simuló diez veces utilizando el método de validación cruzada. Como consecuencia del proceso anterior la mejor arquitectura de la red neuronal artificial estimó el peso con un RMSE de 0.056. Los resultados de este trabajo sugieren que puede llegar a implementarse esta metodología para control y monitoreo de los ovinos.

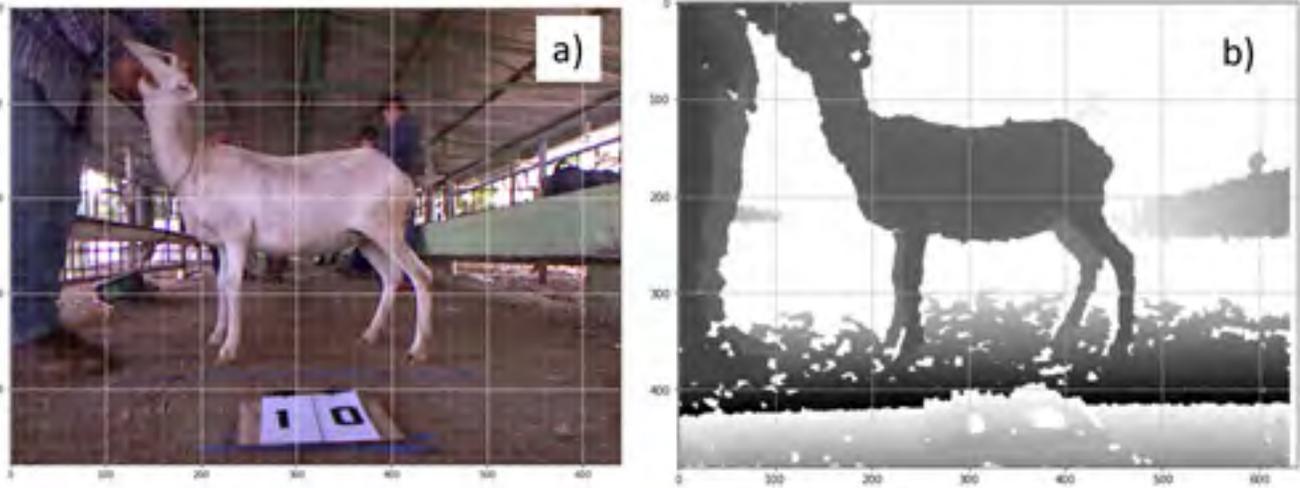


Figura 1. Imágenes del sensor Kinect: a) Imagen RGB y b) Imagen de profundidad

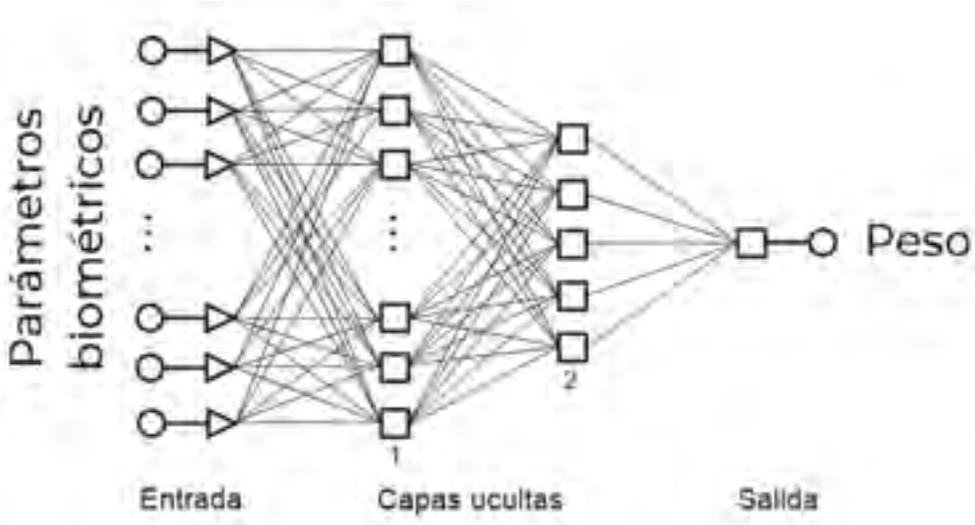


Figura 2. Estructura general de una red neuronal.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## ANÁLISIS ENERGÉTICO EN REDES DE SENSORES CON CIRCUITOS HARVERSTER

Julio Heredia-Lozano<sup>1</sup>, Johan Estrada López<sup>2</sup>, Renán Quijano Cetina<sup>1</sup>, Orlando Palma Marrufo<sup>1</sup>, Alejandro Castillo-Atoche<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. A21215003@alumnos.uady.mx

<sup>2</sup>Department of Physics and Engineering, Westmont College, CA, USA.

### RESUMEN

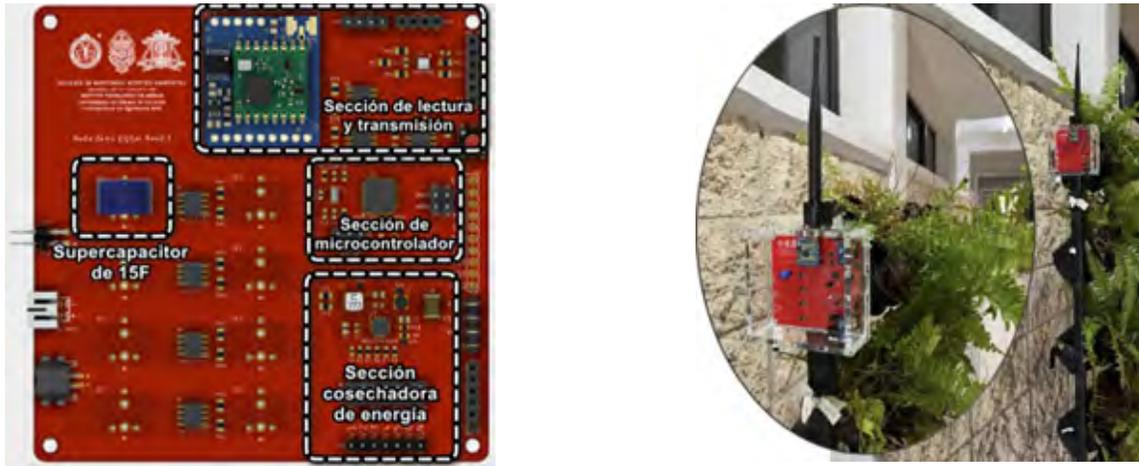
La sustentabilidad energética en dispositivos electrónicos de baja potencia, así como las técnicas cosecha de energía o *energy harvesting*, se han convertido en tópicos de gran interés para la comunidad científica por el hecho de poder energizar dispositivos electrónicos con energía extraída de fuentes renovables como: radiofrecuencias, energía cinética (vibraciones, viento), energía lumínica (solar, incandescente), energía térmica y celdas de combustible microbianas con plantas (CCMP).

En este trabajo se propone un análisis energético en redes de sensores alimentadas con CCMPs. Para ello, un arreglo de plantas *Polypodiophyta* en serie-paralelo matricial de 6 filas y 4 columnas ha sido implementado para energizar un nodo capaz de sensar variables ambientales (Humedad, temperatura, nivel acústico y presión atmosférica), y transmitirlos inalámbricamente a un nodo central para su almacenamiento en la nube.

Con la integración del circuito harvester bq25570, de rango de micro watts ( $\mu\text{W}$ ) a mili watts ( $\text{mW}$ ), se extraerá eficientemente los potenciales del CCMP y así lograr energizar de manera constante un dispositivo nodo sensor basado en el microcontrolador MCU430FR5969 de ultra bajo consumo de potencia.

En la Figura 1a, se puede apreciar el desarrollo de un circuito impreso que integra todas las etapas necesarias para la extracción, adecuación y almacenamiento de la energía, así como el sensado, procesamiento y transmisión de los datos. En la Figura 1b se muestra el sistema en operación con el arreglo CCMP.

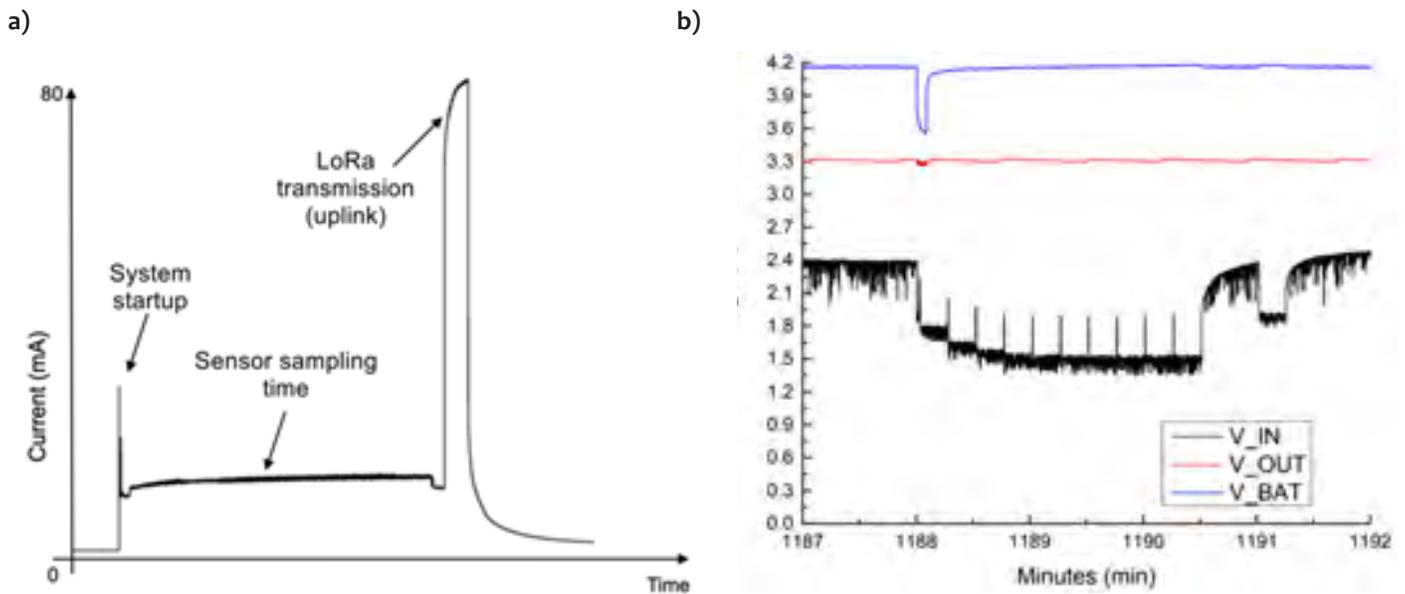
Este arreglo de celdas es capaz de producir un potencial de hasta 3V a circuito abierto, una corriente en corto de 190 mA, y un punto máximo de potencia de aproximadamente 110 mW.



**Figura 1.** Sistema para el monitoreo de variables ambientales: (a) nodo sensor con circuito harvester y arreglo de supercapacitores, (b) integración de CCMP.

Como se observa en la Figura 2a, el sistema del nodo sensor presenta un pico de consumo de corriente de hasta 80 mA durante la fase de transmisión, un consumo promedio de 16 mA en la etapa de sensado y procesamiento, y un promedio de 90  $\mu$ A en modalidad de bajo consumo.

Así mismo en la Figura 2b, el sistema harvester presenta un periodo de recuperación de aproximadamente 4 minutos tras cada transmisión realizada.



**Figura 2.** Análisis energético del sistema: a) consumo del nodo sensor, b) administración de potencia en circuito harvester.

Gracias al bajo consumo del sistema, un supercapacitor de 15F otorgó energía suficiente para hasta 70 transmisiones continuas a través del protocolo LoRaWAN.

La integración de circuitos harvester con nuevas fuentes de energía renovable, está permitiendo el desarrollo e integración de sistemas y aplicaciones de monitoreo en tiempo real, como las redes de sensores inalámbricos, hacia un entorno energéticamente autosostenible.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## Control basado en visión por computadora para un mecanismo de 4 barras

Ricardo Javier Peón Escalante<sup>1</sup>, Roberto Eduardo Quintal Palomo<sup>1</sup>, y Francisco Ramón Peñuñuri Anguiano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. rpeon@correo.uady.mx

### RESUMEN

Es sabido que los sensores mecánicos sufren fallas en ambientes hostiles. Por ello, en esas aplicaciones, el control por visión es una solución adecuada. En este trabajo se propone un nuevo enfoque para el diseño e implementación del sistema de control de velocidad, para una junta de acoplamiento de un mecanismo muy utilizado en diversas aplicaciones [1], el mecanismo de cuatro barras. Para medir la posición de la junta de acoplamiento, un sistema de visión por computadora fue implementado; el sistema de visión le envía al controlador la posición precisa del punto de interés para un amplio rango de velocidades angulares de la manivela. Un control proporcional integral derivativo fue diseñado e implementado en un microprocesador. También se realizó el análisis de estabilidad del sistema controlado con el criterio de estabilidad de Lyapunov. El desempeño del sistema fue validado experimentalmente en un prototipo del mecanismo planar obteniendo un error cuadrático medio de la medición menor a 0.03% y de la regulación de la velocidad del punto de interés menor al 1% para diferentes referencias de velocidad.

#### Objetivo

Utilizar un sistema de visión por computadora para retroalimentar la posición y velocidad de una junta de acoplamiento en un sistema planar de cuatro barras. Todo esto conservando la estabilidad del lazo de control garantizada por el análisis del sistema dinámico y la teoría de Lyapunov.

#### Metodología

Se analizó la cinemática del mecanismo para generar el modelo a controlar similar a la metodología utilizada en [2]. Esto con la finalidad de tener también puntos de comparación entre los resultados teóricos como en [3], [4] y experimentales.

Para la implementación del lazo de control con visión por computadora se utilizó una computadora de una sola placa (SBC por sus siglas en inglés) de bajo costo y de código abierto. La SBC utilizada es una Raspberry Pi con una cámara conectada por USB. El sistema captura 15 cuadros por segundo a una resolución de 320 por 240 píxeles. En la Figura 1 se muestra el diagrama de control en lazo cerrado. Nótese que el sistema cuenta con dos lazos de control, uno interno del servomotor y su variador (lazo de control de corriente) y otro externo donde se involucra la cámara y la tarjeta de procesamiento con la referencia de velocidad deseada.

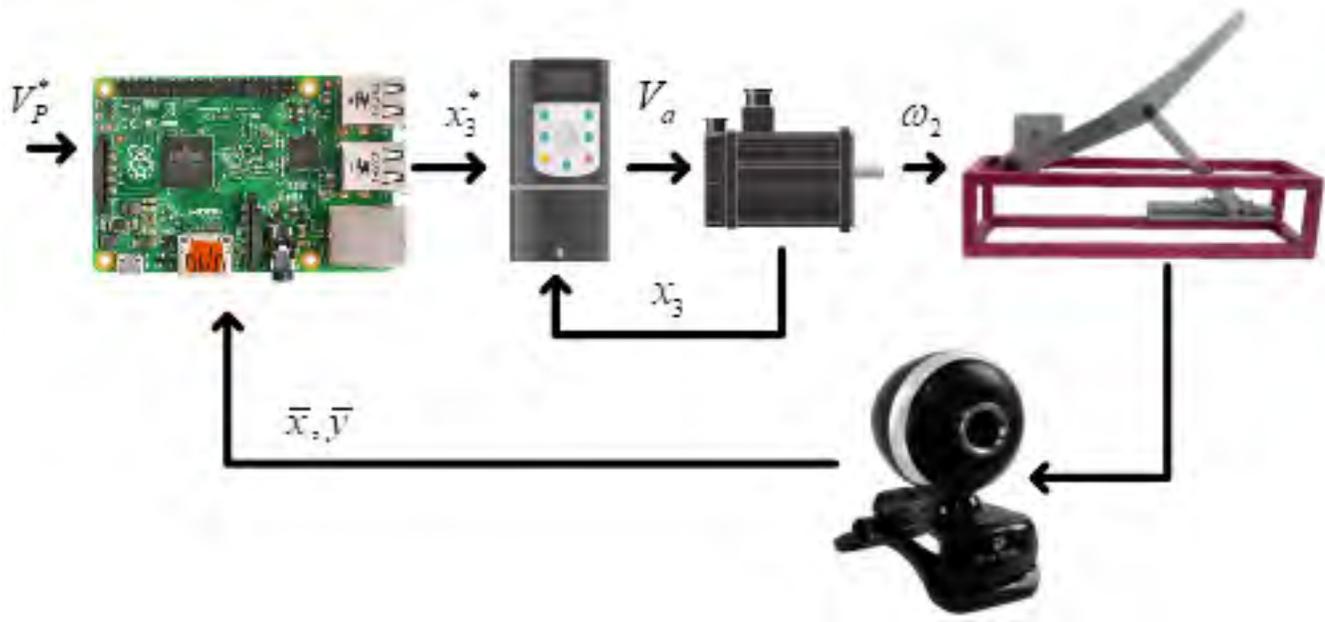


Figura 1 Diagrama del sistema de lazo cerrado de control y sus variables de control

## Resultados

El sistema es capaz de mantener la velocidad de referencia, en dos experimentos, de 0.1 m/s y 0.2 m/s dentro de las restricciones del mecanismo [5], y que corresponden a velocidades angulares en la manivela de 15.65 rpm y 31.32 rpm, dentro del promedio de una aplicación industrial. El error cuadrático medio en estado estacionario del segundo experimento es alrededor de  $4.85 \times 10^{-5}$  m/s.

## Conclusiones

Se propuso e implementó un control con visión por computadora para controlar la velocidad de una junta de acoplamiento de un mecanismo de cuatro barras. Los resultados teóricos (modelo cinemático del mecanismo) y experimentales son muy similares. Los errores cuadráticos medios de las mediciones son menores al 0.03% y de la regulación de la velocidad en el punto de operación es menor al 1%.

## Referencias

- [1] S. B. Matekar and G. R. Gogate, "Optimum synthesis of path generating four-bar mechanisms using differential evolution and a modified error function," *Mech. Mach. Theory*, vol. 52, pp. 158–179, 2012, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2012.01.017.
- [2] R. Peón-Escalante, M. Flota-Bañuelos, L. J. Ricalde, C. Acosta, and G. Solís Perales, "On the coupler point velocity control of variable input speed servo-controlled four-bar mechanism," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 8, no. 11, p. 168781401667835, Nov. 2016, doi: 10.1177/1687814016678356.
- [3] J. E. Holte, T. R. Chase, and A. G. Erdman, "Approximate velocities in mixed exact-approximate position synthesis of planar mechanisms," *J. Mech. Des.*, vol. 123, no. 3, pp. 388–394, 2001.
- [4] G. R. Gogate, "Inverse kinematic and dynamic analysis of planar path generating adjustable mechanism," *Mech. Mach. Theory*, vol. 102, pp. 103–122, 2016.
- [5] R. S. Schaefer and S. N. Kramer, "Selective precision synthesis of planar mechanisms satisfying position and velocity constraints," *Mech. Mach. Theory*, vol. 14, no. 3, pp. 161–170, 1979.

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## Implementación de un clasificador de imágenes con aprendizaje maquina en una tarjeta de desarrollo de bajo costo

David Oswaldo Cauich Che<sup>1</sup>, Roberto Eduardo Quintal Palomo<sup>1</sup>,  
y Ricardo Javier Peón Escalante<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. roberto.quintal@correo.uady.mx,  
rpeon@correo.uady.mx

### RESUMEN

Desde los trabajos seminales de Hinton [1], LeCun [2] y Bengio [3] el aprendizaje máquina ha sido adoptado cada vez más en nuevas y diversas aplicaciones. Una de las aplicaciones más popularizada de una rama del aprendizaje máquina es la clasificación de imágenes con aprendizaje profundo como se demuestra en [4].

Así como se menciona en [5], un problema fundamental de los sensores y sistemas que utilizamos hoy en día es: capturamos muchos más datos de los que usamos. Esto es, los sensores como cámaras de seguridad de alta definición transmiten una gran cantidad de datos (ancho de banda) cuando el algoritmo de compresión nota que la escena cambia de un cuadro a otro por efecto de luces de navidad, por ejemplo.

Esta problemática en la captura de datos que nunca serán usados se une a la problemática del consumo de energía de los dispositivos. Los procesadores y los sensores consumen prácticamente nada de energía, los radios y las pantallas consumen cuantiosas cantidades [6].

#### Objetivo

Probar las capacidades de la tarjeta de bajo costo y bajo consumo Arduino Nano BLE como clasificador de imágenes con aprendizaje maquina basado en redes neuronales convolucionales.

#### Metodología

En el presente trabajo se desarrolla un dispositivo de bajo consumo de potencia basado en la tarjeta de desarrollo Arduino Nano BLE (de las siglas en inglés Bluetooth de baja potencia) con voltaje de alimentación de 3.3 V y una cámara Ov7670 con tecnología de semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS por sus siglas en inglés) y matriz de gráficos de video (VGA por sus siglas en inglés) de 640 por 480 pixeles que funciona también con 3.3 V. Este arreglo es montado en una base especial para tomar imágenes de pequeños objetos con el fin de clasificarlos con una red neuronal convolucional.

Para el experimento se entrenó una red neuronal convolucional con tres clases (clasificaciones), tornillo, tuerca y otros. El entrenamiento fue realizado con ayuda de la plataforma de desarrollo Edge Impulse [7]. Para el en-

trenamiento fue necesario capturar 460 imágenes directamente desde la tarjeta de desarrollo Nano BLE con la cámara CMOS VGA conectada vía serial a una computadora conectada a la plataforma en línea Edge Impulse. En la Figura 1 se muestra el dispositivo que realiza la clasificación de los objetos (tornillo, tuerca u otro) a partir de la imagen capturada.



**Figura 1.** Foto mostrando el tamaño del dispositivo clasificador de objetos

## Resultados

La red neuronal logra una precisión del 99% tomando en cuenta las limitaciones en resolución (96 por 96 píxeles) y la baja calidad de la iluminación de la habitación. En <https://www.youtube.com/watch?v=PrsIxitWm-tY> se muestran los resultados.

## Conclusiones

Tomando en cuenta los recursos limitados del sistema, p. ej. **256KB** de SRAM, **1 MB** de memoria flash, reloj del procesador de **64 MHz** y ARM Cortex M4 de 32 bit con unidad de punto flotante (FPU por sus siglas en inglés), es de destacar el tiempo de respuesta que tiene al clasificar: alrededor de **730 ms** a partir de que toma la foto.

## Referencias

- [1] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "Learning representations by back-propagating errors," *Nature*, vol. 323, no. 6088, pp. 533–536, Oct. 1986, doi: 10.1038/323533a0.
- [2] Y. LeCun et al., "Backpropagation applied to digit recognition," *Neural computation*, vol. 1, no. 4, pp. 541–551, 1989, [Online]. Available: <https://www.ics.uci.edu/~welling/teaching/273ASpring09/lecun-89e.pdf>.
- [3] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324, 1998, doi: 10.1109/5.726791.
- [4] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, May 2015, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1038/nature14539>.
- [5] P. Warden, "Why the Future of Machine Learning is Tiny," Pete Warden's blog, 2018. <https://petewarden.com/2018/06/11/why-the-future-of-machine-learning-is-tiny/> (accessed Feb. 17, 2022).
- [6] L. Arunkumar, "An Introduction to TinyML Machine Learning meets Embedded Systems," *Towards Data Science*, 2020. <https://towardsdatascience.com/an-introduction-to-tinyml-4617f314aa79> (accessed Feb. 17, 2022).
- [7] EDGE IMPULSE, "Advanced ML for every solution," Edge Impulse, 2022. <https://www.edgeimpulse.com/> (accessed Feb. 17, 2022).

# Congreso de Ingeniería y Sociedad

9 – 11 de marzo de 2022  
Mérida, Yucatán, México.

## Enfrentando retos en la práctica profesional, la vinculación de los estudiantes con el mundo laboral

Lifter Omar Ricalde Cab<sup>1</sup>, Teresa Esther Ramírez Ortegón<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México. oricalde@correo.uady.mx; teresa.ramirez@correo.uady.mx

### RESUMEN

La práctica profesional inicia cuando el estudiante de Ingeniería se ingresa por primera vez en el mundo laboral al realizar sus prácticas profesionales. El estudiante incursiona al mundo laboral con la teoría a sus espaldas y el aprendizaje de al menos ocho semestres en la Facultad de Ingeniería.

El motivo de la presente investigación deriva del enfoque del Modelo Educativo de la Universidad Autónoma de Yucatán, el cual establece las prácticas profesionales como: "... el ejercicio guiado y supervisado relacionado con un PE de licenciatura, en el que se permite al estudiantado utilizar las competencias que ha desarrollado y/o desarrollar otras nuevas en un contexto real" (Universidad Autónoma de Yucatán, 2012)

Este conocimiento teórico-práctico se confronta con la realidad y se inicia la vida laboral considerando a las Empresas, Instituciones u Organizaciones como un laboratorio de prácticas que les permite aplicar sus conocimientos en el mundo real.

El objetivo de la presente investigación es identificar los retos. El presente trabajo muestra los resultados de los retos, limitaciones e historias de éxito de los estudiantes de las licenciaturas de Ingeniería Civil, Mecatrónica, Física y en Energías Renovables de los semestres del año 2021. En la Figura No. 1 se muestra la población estudiada.

**Figura 1** Población estudiada de los cuatro programas de ingeniería en los semestres correspondientes al 2021

#### Programa de estudios.

[Más detalles](#)

<span style="color: blue;">●</span> Ingeniería Civil	48
<span style="color: orange;">●</span> Ingeniería Física	24
<span style="color: green;">●</span> Ingeniería Mecatrónica	24
<span style="color: red;">●</span> Ingeniería en Energías Renova...	8



La metodología utilizada para obtener la información fue básicamente la recopilación de la información correspondiente a los puntos mencionados en el párrafo anterior y que se encontraba incluida en los Informes Finales, elaborados por los estudiantes y revisados por los Tutores Interno y Externo. Dicha información nos permitió identificar los factores principales que influyen en el desempeño de los estudiantes, comentando nuevamente que los principales son los retos a los que se enfrentan los estudiantes, las limitaciones y las historias de éxito de algunos de ellos.

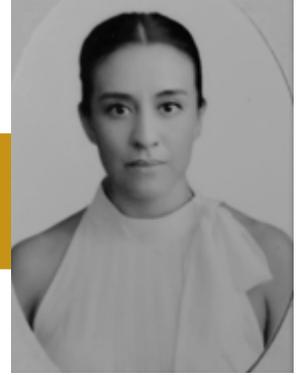
Los resultados obtenidos identifican las diversas problemáticas que se les presentan en el mundo laboral, tales como softwares más avanzados que los estudiados, diferencias entre la teoría y los cálculos que aplican diversas empresas, la elaboración de formatos diversos de acuerdo a diferentes organizaciones, la falta de conocimiento de Normativas específicas y aplicables a diversos campos de la Industria e Infraestructura, el conocimiento de las leyes y reglamentos en los diferentes niveles de gobierno, el reto del trabajo interdisciplinario, la comunicación con clientes y empleados, entre otras.

Esta información resulta sumamente útil en la identificación de las líneas de trabajo para los procesos de mejora continua y para la evaluación de los Planes de Estudio de las cuatro Ingenierías de la Facultad de Ingeniería de la UADY.

A photograph of a laboratory. In the foreground, a computer workstation with a keyboard and mouse sits on a grey countertop. To the right, a large white fume hood with a glass front and a flexible white duct is visible. The background shows white laboratory cabinets and a wooden stool. The image is overlaid with a yellow diagonal shape on the left and a dark blue arrow-shaped banner across the middle containing the text 'TALLERES'.

# TALLERES

**Dra. Andrea Margarita  
Cervantes Álvarez**



**Dr. Héctor Adrián Pacheco  
Martínez**



## **“Análisis de imágenes y velocimetría con paquetería libre”**

### **Descripción**

En el taller se introducen los conceptos básicos para el análisis computacional de videos e imágenes. A partir de estos conceptos se desarrollan rutinas computacionales para el análisis de diversos sistemas físicos. Algunas de las aplicaciones que se muestran durante el desarrollo del taller son: la obtención de las características geométricas de objetos, obtención de trayectorias y velocidades, entre otros.

**Dr. Mauricio Alberto Escalante  
Soberanis**



## **“Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a baja y media tensión basado en optimización financiera”**

### **Descripción**

En el taller se abarcan los aspectos económicos que influyen en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica en las tarifas residencial, comercial y de gran demanda a media tensión. Así mismo, se abordan los detalles sobre los costos involucrados en el desarrollo de los proyectos fotovoltaicos.



**M.I. Mario Antonio Jiménez Torres**

## **“Taller Energy Plus”**

### **Descripción**

La problemática de las envolventes en edificaciones, específicamente en el sector residencial, es el tema que se abarca en este taller. Se muestra la actualidad de México, en cuestión de consumo de energía por sectores y normativa en edificaciones. De manera directa, se analizan las opciones de predicción de variables térmicas y transferencia de calor a lo largo del año, mediante software. Se describe el software Energy Plus, desarrollado por el Departamento de Energía del Gobierno de los Estados Unidos, para modelar una edificación residencial, analizar la transferencia de aire, humedad y calor, incluidos procesos de transferencia de calor en las envolventes del sistema constructivo.

**Dr. Cesar Canul-Macario**



## **“Análisis de escurrimiento superficial en cuencas hidrológicas utilizando sistemas de información geográfica”**

### **Descripción**

Curso diseñado para capacitar a los usuarios el uso de bases de datos hidrológicas disponibles, software de uso libre y la teoría de hidrología superficial para el análisis de cuencas hidrológicas a nivel local y/o regional.



**M. I. Rasikh Tariq**

## **“Algoritmos de toma de decisiones en ingeniería”**

### **Descripción**

La toma de decisiones multicriterio se puede encontrar en cualquier situación de ingeniería, lo cual representa un desafío cuando todas las soluciones propuestas son viables y no dominantes. En tal caso, el análisis computacional suave, especialmente el uso de la toma de decisiones multicriterio puede ser útil para seleccionar entre soluciones no dominantes de un problema de ingeniería. Este taller lleva a los participantes a través de problemas reales de análisis de toma de decisiones multicriterio no dominante utilizando un algoritmo “La técnica de orden de preferencia por similitud con la solución ideal (TOPSIS)” con implementación práctica en el software Microsoft Excel.



# EVENTO CULTURAL

En el marco del Congreso de Ingeniería y Sociedad, contamos con la presencia de la Orquesta de Cámara de nuestra Universidad.

En verdad, fue una noche inolvidable que engalanó el Congreso. Quienes asistieron, en forma virtual y presencial, disfrutaron de los acordes de grandes compositores en una interpretación magistral de nuestra orquesta.



# GALERÍA











