

Volumen 4, Número 12 — Julio — Septiembre -2017

ISSN 2410-356X

Revista de Ciencias

Naturales y Agropecuarias

ECORFAN®

Indización



ECORFAN-Bolivia

- Latindex
- Research Gate
- Hispana
- Universia
- Google Scholar
- REBID
- Mendeley

ECORFAN-Bolivia

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Regional

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC

Director de la Revista

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Relaciones Institucionales

TREJO-RAMOS, Iván. BsC

Edición de Logística

SERRUDO GONZALES- Javier. BsC

Diseñador de Edición

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Volumen 4, Número 12, de Julio a Septiembre 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. ISSN-2410-356X. Responsables de la última actualización de éste número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2017.

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

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

Consejo Editorial

YAN-TSAI, Jeng. PhD
Tamkang University, Taiwan

MIRANDA-TORRADO, Fernando. PhD
Universidad de Santiago de Compostela, Spain

PALACIO, Juan. PhD
University of St. Gallen, Switzerland

GUZMÁN-SALA, Andrés. PhD
Université de Perpignan, France

VARGAS-HERNÁNDEZ, José. PhD
Keele University, England

HIRA, Anil. PhD
SimonFraserUniversity, Canada

VILLASANTE, Sebastian. PhD
Royal Swedish Academy of Sciences, Sweden

PACHECO-BONROSTRO, Joaquín. PhD
Universidad de Burgos, Spain

Consejo Arbitral

GGO. PhD

Universidad Autónoma Metropolitana, México

MCDM. PhD

Universidad Autónoma Metropolitana, México

KCA. BsC

Universidad Panamericana, México

UNAB. MsC

Universidad Politécnica de Puebla, México

LBMT. MsC

Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México

FDS. MsC

Corporativo Universitario México, México

DLLHMA. PhD

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México

CRCC. PhD

Universidad Autónoma de Tlaxcala, México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Ciencias Naturales y Agropecuarias

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

Como primer artículo presentamos, *Techado de Andador con Paneles Solares en la Universidad Politécnica De Tulancingo*, por FLORES-GARCIA, Francisco Armando, COYOTL-MIXCOATL, Felipe, ELIZALDE-CANALES, Francisca Angélica, CASTILLO-MIMILA, Diego Fernando, con adscripción en la Universidad Politécnica de Tulancingo, como Segundo artículo presentamos, *Generación de Electricidad a Base de Fotosíntesis*, por MATA-GONZÁLEZ, María Goretti, DIMAS-RESÉNDIZ, Alejandra, MACHUCA-PULIDO, Lluvia Alejandra y MEDINA-JUÁREZ, María Soledad, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Querétaro, como tercer artículo presentamos, *Obtención de peroxidasas a partir de un residuo industrial de soya para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil*, por MIRANDA-MANDUJANO, Erika Viviana¹, MOELLER-CHÁVEZ, Gabriela E², BUITRÓN Germán³ y GARZÓN-ZUÑIGA, Marco A⁴, con adscripción en ¹Universidad Autónoma de Guadalajara, ²Universidad Politécnica del Estado de Morelos., ³Universidad Nacional Autónoma de México. Blvd. Juriquilla 3001, 76230 Querétaro, QRO., México., ⁴Instituto Politécnico Nacional, como cuarto artículo tenemos, *Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono*, por SALDÍVAR-ESPARZA, Santiago, CABRERA-ROBLES, José Salvador, RETA-HERNÁNDEZ, Manuel, con adscripción en la Universidad Autónoma de Zacatecas, como quinto artículo presentamos *Ahorro de Energía en la Implementación de Sistemas de Refrigeración con Múltiples Temperaturas de Evaporación*, por ROMÁN-AGUILAR, Raúl, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, PÉREZ-GARCÍA, Alfonso, MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ, Edgar Azael, con adscripción en la Escuela Superior de Apan de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, como sexto artículo presentamos, *Laboratorios Virtuales: el uso de simuladores dentro de las aulas como alternativa sustentable*, por MIJARES-ALMANZA, Sergio, AYALA-SANCHEZ, Marcela, SAN MIGUEL-IZA, Sandray como último artículo presentamos, *Analizador ambiental y de radiación solar por celdas fotovoltaicas*, por, MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica, FLORES-CERVANTES, Arturo, RODRÍGUEZ-LEMUS, Ruben, VIVANCO-LÓPEZ, José Edgardo.

Contenido

Artículo	Pag.
Techado de Andador con Paneles Solares en la Universidad Politécnica De Tulancingo FLORES-GARCIA, Francisco Armando, COYOTL-MIXCOATL, Felipe, ELIZALDE-CANALES, Francisca Angélica, CASTILLO-MIMILA, Diego Fernando	1-4
Generación de Electricidad a Base de Fotosíntesis MATA-GONZÁLEZ, María Goretti, DIMAS-RESÉNDIZ, Alejandra, MACHUCA-PULIDO, Lluvia Alejandra y MEDINA-JUÁREZ, María Soledad	5-11
Obtención de peroxidasas a partir de un residuo industrial de soya para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil MIRANDA-MANDUJANO, Erika Viviana, MOELLER-CHÁVEZ, Gabriela E, BUITRÓN Germán y GARZÓN-ZUÑIGA, Marco A	12-21
Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono SALDÍVAR-ESPARZA, Santiago, CABRERA-ROBLES, José Salvador, RETA-HERNÁNDEZ, Manuel	22-34
Ahorro de Energía en la Implementación de Sistemas de Refrigeración con Múltiples Temperaturas de Evaporación ROMÁN-AGUILAR, Raúl, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, PÉREZ-GARCÍA, Alfonso, MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ, Edgar Azael	35-42
Laboratorios Virtuales: El uso de simuladores dentro de las aulas como alternativa sustentable MIJARES-ALMANZA, Sergio, AYALA-SANCHEZ, Marcela, SAN MIGUEL-IZA, Sandra	43-49
Analizador ambiental y de radiación solar por celdas fotovoltaicas MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica , FLORES-CERVANTES, Arturo, RODRÍGUEZ-LEMUS, Ruben, VIVANCO-LÓPEZ, José Edgardo	50-56

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Techado de Andador con Paneles Solares en la Universidad Politécnica De Tulancingo

FLORES-GARCIA, Francisco Armando†*, COYOTL-MIXCOATL, Felipe, ELIZALDE-CANALES, Francisca Angélica, CASTILLO-MIMILA, Diego Fernando

Universidad Politecnica de Tulancingo

Recibido 15 de Mayo, 2017; Aceptado 04 de Julio, 2017

Resumen

En el ser humano, una exposición prolongada a la radiación UV solar puede producir efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunitario. Los niveles de radiación UV registrados durante 5 años en el campus de la universidad Politécnica de Tulancingo presentan una media de 12 IUUV con picos hasta de 15 IUUV a las 14 horas. Este trabajo propone el techado de andadores con paneles solares que producirán 20,000 KWh. para abastecer del 50% de la electricidad que consume la universidad, Colocados estos, sobre una estructura metálica en los andadores que conectan los edificios del campus. Beneficio social: Se protege de la radiación solar extrema a toda la comunidad universitaria que transita de edificio a edificio. Beneficio ecológico: Al generar energía eléctrica por medios fotovoltaicos se disminuyen las emisiones de CO₂. Para la vida útil de este proyecto se dejan de emitir 2,700 toneladas de CO₂. Beneficio económico: El sistema fotovoltaico se interconectara con la red eléctrica. Obteniendo ahorros e incentivos por utilización de energías renovables.

Techado, Andador, Paneles, Solares

Abstract

In humans, prolonged exposure to solar UV radiation may result in acute and chronic health effects on the skin, eyes and immune system. The levels of UV radiation recorded during the last 5 years on the university campus of the polytechnic university of Tulancingo have an average of 12 IUUV with peaks of up to 15 IUUV at 14 hours. This work proposes walkway roofing with solar panels that will produce 20,000 kWh. To supply 50% of the electricity consumed by the university, these panels are placed on a metallic structure along the walkways that connect the campus buildings. Social benefit: the roofing will decrease extreme solar radiation exposure of those traversing the university campus. Ecological benefit: when generating electricity using photovoltaic technology, CO₂ emissions decline. For the life of this project, CO₂ emissions will be reduced by as much as 2,700 tons. Economic benefit: as part of the electrical grid, the photovoltaic system will generate savings and provide incentives for use of renewable energy.

Roofing, Walkway, Panels, Solar

Citacion: FLORES-GARCIA, Francisco Armando, COYOTL-MIXCOATL, Felipe, ELIZALDE-CANALES, Francisca Angélica, CASTILLO-MIMILA, Diego Fernando. Techado de Andador con Paneles Solares en la Universidad Politécnica De Tulancingo. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017, 4-12: 1-4.

* Correspondencia del Autor (Correo Electrónico: francisco.flores@upt.edu.mx)

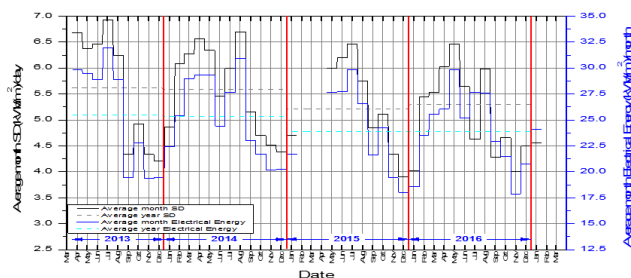
†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Para las energías renovables es muy importante buscar sitios en donde se reciba la mayor cantidad de radiación solar, pues esto es un referente para la obtención de energía. La radiación solar es un beneficio para generar energía fotovoltaica, pero es un daño a la salud por su componente de radiación UV, por lo que, detener el paso de la radiación utilizando módulos fotovoltaicos para que esa radiación no solo no afecte a nuestra salud, sino que sirva para generar energía eléctrica renovable, es su principal contenido innovador: detener la radiación y generar energía eléctrica.

Potencial Energetico

En las instalaciones de la Universidad Politécnica de Tulancingo, el potencial solar promedio. Registrado durante los últimos 5 años por el laboratorio de energías renovables es de 5.6 kWh/m² mostrado en la Grafica 1, en ella se observa la medición del día solar promedio en el campus y la energía mensual promedio, de los últimos 5 años. Por lo que, se demuestra que esta región es un lugar altamente benéfico para la instalación de un sistema fotovoltaico.

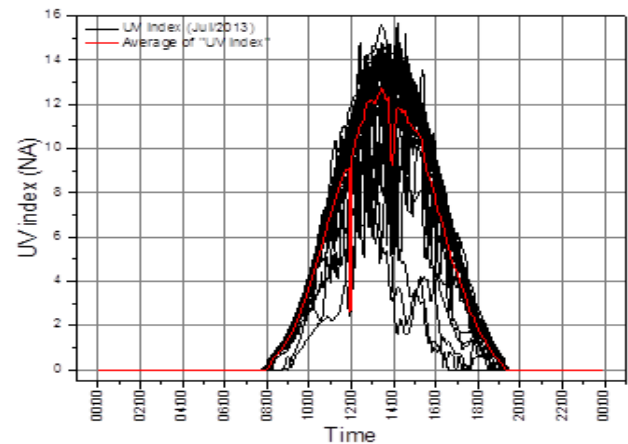


Grafica. 1 Día solar promedio diario por mes y Energía promedio mensual producida por m² de módulo fotovoltaico (sin pérdidas)

Fuente: Elaboración propia

Riesgo de radiación UV

En el campus de la Universidad Politécnica de Tulancingo las distancias entre edificios son mayores a 200 metros. Los niveles de radiación registrados en la Universidad presentan una media de 12 IUUV con picos hasta de 15 IUUV a las 14 horas. Como se muestra en la Grafica 2.



Grafica. 2 Perfiles de índice UV en el mes de julio del 2013 (mes máximo histórico de radiación solar en el periodo Abril 2013 – Enero 2017)

Fuente: Elaboración propia

Dichos niveles registrados sobrepasan lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Tabla 1. La recomendación de protección más apropiada para estos niveles de radiación es permanecer protegido en un lugar con sombra.



Tabla 1 Sistema de protección solar recomendado por la OMS

Fuente: OMS

Propuesta

Se propone la construcción de un techado con paneles solares fotovoltaicos sobre los andadores que conectan los edificios de la Universidad. Con el cual, protegemos de la radiación solar a la comunidad universitaria y se genera energía eléctrica de fuentes renovables. En la Figura 1. Se muestra el acomodo preliminar.

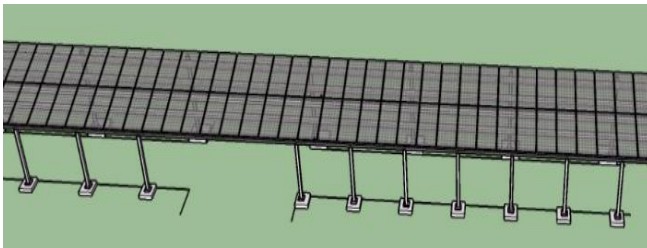


Figura 1 Diseño del Techado de andador con paneles solares

Fuente: Elaboracion propia

El consumo promedio mensual de energía eléctrica en la Universidad es de 40,000 KWh. Como se muestra en la Grafica 3. Se pretende techar los andadores que permitan orientar perfectamente hacia el sur los paneles solares. Techando un andador, el cual se muestra en la figura 2, se cubren 840 m² de paneles solares. Colocando 430 módulos fotovoltaicos proponiendo sean: TSM-320 de 320 W, con marco de aluminio anodizado y conectores MC4, 72 Células policristalinas, Trina Solar.

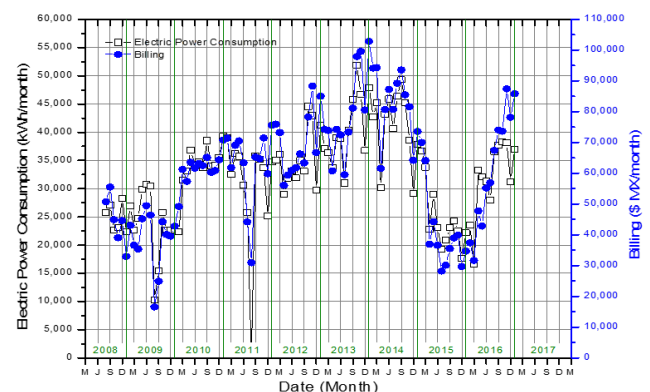
Considerando el día solar de 5.6 horas en promedio, como se muestra en la grafica 1. Se genera una producción energética mensual de 20,000 KWh, considerando una eficiencia del 85 % de los módulos fotovoltaicos, podremos otorgar el 50 % del consumo energético requerido por la Universidad. El factor de emisión para el cálculo de emisiones indirectas por consumo de electricidad para el periodo 2017, cuando el proveedor sea Comisión Federal de Electricidad, es de 0.454 toneladas de CO₂ / MWh.

Considerando 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico, se obtiene un ahorro de 2,700 Toneladas de CO₂.



Figura 2 Vista aérea del campus universitario, en donde se señala con una línea azul el andador a techar

Fuente: Google Gear



Grafica 3 Consumo mensual y facturación pagada a CFE en la Universidad Politécnica de Tulancingo

Fuente: Elaboracion propia

La energía que consumimos de la red, se da principalmente los días de actividad escolar, de lunes a viernes, este sistema genera energía todos los días, entregando la que se genere el fin de semana y los días de vacaciones a la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Resultados

Beneficio social: Se protege de la radiación solar extrema a toda la comunidad universitaria que transita de edificio a edificio.

Beneficio ecológico: Tomando en cuenta el factor de emisión, se dejan de emitir 2,700 toneladas de CO₂.

Beneficio económico: El sistema fotovoltaico se interconectara con la red eléctrica. Reduciendo la facturación en un 50%. Obteniendo ahorros e incentivos por utilización de energías renovables.

Conclusiones

El proyecto fue presentado ante el Instituto Hidalguense de la Infraestructura Física Educativa (INHIFE), se pretende sea replicado en otras instituciones, de esta manera, el proyecto se convierte en un modelo de construcción sustentable. Se buscará una certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) afin de demostrar su eficiencia energética y sostenibilidad. Se esta trabajando en el rediseño del techado, pretendiendo realizar una inclinación ajustable a las temporadas del año, para optimizar su eficiencia.

También se esta trabajando en el desarrollo de un algoritmo criptográfico para la seguridad en la transmisión de los datos que genera el sistema, para ofrecer mayor confiabilidad en la transmisión inalabrica.

Referencias

Diario Oficial de la Federación de México, (LGEEPA) (el 13 de mayo de 2016) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

CAMACHO-IXTA, Ixchel, BOJORQUEZ-MORALES, Gonzalo y FABELA-BLAS, Claudia. (2016) Propuesta de materiales de construcción alternativos para casa-habitación de construcción en serie. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 2-6: 22-26.

Organización Mundial de la Salud (OMS) en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP) (2003) Índice UV Solar Mundial: Guía Práctica,, ISBN 92 4 359007 3.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, Fernando, TIZAPATZI-SÁNCHEZ, Pedro, GONZÁLES-MAZANILLA, Fernando Osvaldo y PINTOR-TUXPAN-Ángel. (2016) Impacto Ambiental en la Implementación de Paneles Solares Fotovoltaicos en el ITSSMT. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 2-4: 12-18.

Rojas, J. C. (2011). Atlas Agroclimático de la República Mexicana. Departamento de Geografía, UNAM. Ultima consulta 10 de julio. Comisión reguladora de energía (04 de mayo del 2016). Modelo de contrato de interconexión, Garmendia, Salvador, Crespo, Garmendia, (2005) Evaluación del Impacto Ambiental Madrid: Editorial Pearson Prentice Hall.

TORRES-SÁNCHEZ, Merced, RAMÍREZ-DE ALBA, Horacio y VERA-NOGUEZ, Raúl. (2016) Propuesta de centro de conservación y educación ambiental mazahua. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 2-6: 13-21.

Ulloa Godínez, H., García Guadalupe, M., Pérez, A., Meulenert Peña, Á., & Ávila Ramírez, D. (2011). Clima y radiación solar en las grandes ciudades: Zona Metropolitana de Guadalajara (Estado de Jalisco, México).

Generación de Electricidad a Base de Fotosíntesis

MATA-GONZÁLEZ, María Goretti †, DIMAS-RESÉNDIZ, Alejandra, MACHUCA-PULIDO, Lluvia Alejandra y MEDINA-JUÁREZ, María Soledad

*Universidad Tecnológica de Querétaro, División Ambiental. Av. Pie de la Cuesta No. 2501 Col. Unidad Nacional
Tel. (442)2096100 Ext. 2510*

Recibido Abril 11, 2017; Aceptado Agosto 03, 2017

Resumen

El descubrimiento de nuevas fuentes alternativas de energía y los avances tecnológicos, han permitido a la sociedad crear sistemas para hacer eficiente el consumo energético, es por eso que a partir de esa necesidad hemos desarrollado una maceta inteligente cuyo objetivo es la generación de electricidad a base de fotosíntesis que permita cargar un dispositivo móvil (teléfono móvil). Para plantear el prototipo se realizaron pruebas con distintas variables para tener una selección más amplia, se propusieron distintos tipos de suelo, y se sometieron a distintas pruebas las plantas que utilizamos, esto con el fin de buscar el confort de la planta y el beneficio energético. Se añadieron un ánodo y cátodo para captar los electrones que libera la planta al hacer su rizo deposición. A partir de la investigación se busca que las personas conozcan nuevas fuentes alternativas de energía limpia y se opte por hacer uso de ellas, tomando en cuenta no solo los beneficios económicos que conlleva el ahorro sino también como contribución al ambiente mediante la generación de oxígeno y espacios verdes que son sinónimo de vida. En resumen se trata de comprobar la eficiencia de las plantas para generar electricidad.

Electricidad, Fotosíntesis, Eficiencia, Fuentes alternativas

Abstract

The discovery of new alternative sources of energy and the technological advances, have allowed to the society create systems to do efficient the energetic consumption, that's why from this need have developed an intelligent flowerpot whose aim is the generation of electricity to base of photosynthesis that allow to load a mobile device (mobile telephone) To pose the prototype made proofs with distinct variables to have a wider selection, proposed distinct types of floor, and subjected to distinct proofs the plants that use, this with the end to look for the comfort of the plant and the energetic profit. They added an anode and cathode to attract the electrons that frees the plant when doing his rizodeposición. From the investigation looks for that the people know new alternative sources of clean energy and opt for doing use of them, taking in account no only the economic profits that comports the saving but also like contribution to the environment by means of the generation of oxygen and green spaces that are synonymous of life. In summary treats to check the efficiency of the plants to generate electricity.

Electricity, Photosynthesis, Efficiency, alternative Source

Citación: MATA-GONZÁLEZ, María Goretti, DIMAS-RESÉNDIZ, Alejandra, MACHUCA-PULIDO, Lluvia Alejandra y MEDINA-JUÁREZ, María Soledad. Generación de Electricidad a Base de Fotosíntesis. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017, 4-12:5-11.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La investigación se realizó con el interés de conocer nuevas formas de obtener energía limpia, que esté al alcance de todos, y principalmente que no genere residuos, además que provea de otros beneficios ambientales y sociales. Esto nos permite identificar nuevas formas de generación de energía limpia, así como la investigación de energías alternativas, que se conviertan en sustentables. Sistemas nuevos, que no requieran inversiones grandes para poder aportar a una forma de consumo energético responsable con el medio ambiente y apoyar a la economía de las familias.

Como plus para la investigación se realizaron unas series de entrevistas para de alguna manera demostrar la viabilidad del proyecto, estas entrevistas se realizaron a una pequeña muestra no probabilística en una zona rural donde se sabe mucha gente tiene plantas que son el recurso principal, este plus fue parte de una metodología para ver las necesidades y el área de aprovechamiento en zonas rurales, por otra parte se propone que el proyecto se implemente en la Universidad Tecnológica de Querétaro como acción para tener una universidad sustentable.

Fotosíntesis tipo C3

Se le llaman así debido a que el bióxido de carbono se incorpora en un carbono-3, lo que permite que las estomas permanezcan abiertas durante el día, es por eso que la fotosíntesis se lleva a cabo a través de la hoja, es más eficiente que la fotosíntesis C4 Y CAM en condiciones frías y con una luz normal, ya que requiere menos enzimas y no requiere que la anatomía de la planta sea especializada. Y este tipo de fotosíntesis es realizada por la mayoría de plantas.

Se lleva a cabo mediante dos etapas: la lumínica, en la que se utiliza la energía de la luz para sintetizar ATP y NADPH, y la fijadora de carbono, que utiliza los productos de la primera etapa para la producción de azúcares.

Factibilidad

Las plantas son indiscutiblemente pioneros de la energía solar, han estado sometidos a millones de años de evolución, todas ellas hacen uso del sol para generar su propio alimento, operan con una eficiencia cercana al 100%, lo que se traduce que por cada fotón de luz capturada se produce el mismo número de electrones.

Si ponemos en una balanza la eficiencia de las plantas, con la de una celda fotovoltaica cuya eficiencia oscila entre 14 y 18 %, se puede decir que hemos tenido el mejor sistema de captación de energía, sin embargo durante la fotosíntesis las plantas utilizan esa energía liberada para generar Azúcares que las plantas usan para impulsar su crecimiento.

Estos electrones en forma de azúcares son depositados en rizo depósitos como consecuencia de la rizo deposición, ahí son almacenados como hidrocarburos que por descomposición orgánica, microorganismos descomponen estas cadenas formadas por carbonos que al haber una separación molecular hay una liberación de energía que puede ser captada. Es claro que para esta etapa la eficiencia de generación ha bajado sin embargo no deja de ser una generación 100% limpia.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto se siguió un ciclo evolutivo con el fin de que los resultados de cada etapa nos acerquen al objetivo principal.

La primera etapa consiste en la experimentación, aquí se realizan pruebas con cuatro plantas diferentes esto para tener variables a elegir en cuanto a generación de Electricidad, las plantas a utilizar fueron Aloe barbadensis (Sábila), Sansevieria trifasciata (Lengua de Tigre), Pelargonium citrosum (Citronela) y Gazania x hybrida (Gazania), las mediciones se muestran en la sección de resultados. Se tomaron mediciones a diferentes horas del día, para conocer el comportamiento de la planta. Los resultados se documentaban en una bitácora y las mediciones se hacían con un Multímetro.

Las conexiones que se realizaron para obtener la energía fueron la colocación de un ánodo y un cátodo en la rizosfera de la planta para que el diámetro donde se lleva acabo la rizodeposición se reduzca y la expansión de electrones sea menor de esa manera la captación de energía será mayor.

A la par se realizaron otras actividades como fue el diseño de un sistema electrónico para el almacenamiento de la energía y un modulo “maceta” para que el prototipo cumpla con la estética deseada. Posterior a eso se realizo un análisis de los resultados de voltaje obtenidos durante la experimentación, esto nos permitio saber cual era la planta con mayor eficiencia, siendo esta la Gazania x hybrida (Gazania).

Para hacer eficiente la generación de energía se diseñaron unas celdas de tierra donde se habilito una conexión en serie-paralelo para activar voltaje y corriente. Cuando ya estuvo el modulo se instalaron dos plantas de Gazania x hybrida (Gazania) con las conexiones correspondientes, las celdas de tierra y el modulo para almacenaje, de primera instancia el circuito se daño por la humedad, para corregir esto se aislo en un tubo de PVC y caucho para evitar que la humedad traspasara y dañara el circuito.

Se monitoreo su funcionamiento durante un par de semanas para reconocer que estaba listo el prototipo.

Resultados

A continuación se muestran las tablas donde se puede ver los resultados obtenidos en el monitoreo de las diferentes plantas utilizadas. Las cuales se usan como decoración dentro del hogar. Los resultados son de la experimentación realizada con las 4 variables.

Planta 1	Sábila	
Fecha	Hora	Voltaje
06/03/2017	09:00 a.m.	0.63v
06/03/2017	09:00 p.m.	0.63v
06/03/2017	09:00 p.m.	0.51v
07/03/2017	09:00 a.m.	0.44v
07/03/2017	03:00 p.m.	0.33v
07/03/2017	09:00 p.m.	0.43v
08/03/2017	09:00 a.m.	0.53v
08/03/2017	03:00 p.m.	0.62v
08/03/2017	09:00 p.m.	0.80v
09/03/2017	09:00 a.m.	0.78v
09/03/2017	03:00 p.m.	0.67v
09/03/2017	09:00 p.m.	0.68v
10/03/2017	09:00 a.m.	0.70v
10/03/2017	03:00 p.m.	0.52v
10/03/2017	09:00 p.m.	0.61v
11/03/2017	09:00 a.m.	0.43v
11/03/2017	03:00 p.m.	0.44v
11/03/2017	09:00 p.m.	0.74v

Tabla 1 Experimentación con Aloe barbadensis (Sábila)

En esta tabla podemos ver la eficiencia en voltaje de nuestra primera planta de estudio, a diferentes horas de monitoreo y en diferentes días.



Figura 1

Fuente: <http://www.toptel.com/index.php?start=8>

La sábila es una planta que se encuentra presente en muchos hogares. Para esta experimentación se utilizó esta planta debido a su capacidad hídrica. De acuerdo con los resultados de la primera planta pudimos observar que el valor del voltaje estaba dentro de los 0.40v y hasta los 0.80v. Enseguida tenemos a la lengua de tigre, que es muy conocida por su deslumbrante decoración.

Planta 2	Lengua de Tigre	
Fecha	Hora	Voltaje
06/03/2017	09:00 a.m.	0.43v
06/03/2017	09:00 p.m.	0.33v
06/03/2017	09:00 p.m.	0.21v
07/03/2017	09:00 a.m.	0.44v
07/03/2017	03:00 p.m.	0.43v
07/03/2017	09:00 p.m.	0.33v
08/03/2017	09:00 a.m.	0.53v
08/03/2017	03:00 p.m.	0.42v
08/03/2017	09:00 p.m.	0.50v
09/03/2017	09:00 a.m.	0.48v
09/03/2017	03:00 p.m.	0.47v
09/03/2017	09:00 p.m.	0.38v
10/03/2017	09:00 a.m.	0.40v
10/03/2017	03:00 p.m.	0.52v
10/03/2017	09:00 p.m.	0.31v
11/03/2017	09:00 a.m.	0.43v
11/03/2017	03:00 p.m.	0.44v
11/03/2017	09:00 p.m.	0.44v

Tabla 2 Experimentación con *Sansevieria trifasciata* (Lengua de Tigre)

En esta tabla se muestra que no es una planta muy eficiente, por lo que dedujimos que esto es debido a su alto consumo de agua.



Figura 2

Fuente: <http://unacasasana.blogspot.mx/2012/09/planta-purificadora-3-lengua-de-tigre.html>

La lengua de tigre forma parte de la lista de las plantas con más poder de purificación del aire de nuestros hogares y oficinas, siendo una de las de más fácil mantenimiento. Poner esta planta en nuestra casa puede reducir el formaldehído, compuesto orgánico volátil perjudicial para la salud. A continuación los resultados de la citronela. Como podemos observar la planta muestra resultados altos en cuanto a voltaje, por ende son mejores que los obtenidos en la de lengua de tigre.

Planta 3		
Fecha	Hora	Voltaje
06/03/2017	09:00 a.m.	0.73v
06/03/2017	09:00 p.m.	0.73v
06/03/2017	09:00 p.m.	0.71v
07/03/2017	09:00 a.m.	0.74v
07/03/2017	03:00 p.m.	0.73v
07/03/2017	09:00 p.m.	0.73v
08/03/2017	09:00 a.m.	0.73v
08/03/2017	03:00 p.m.	0.72v
08/03/2017	09:00 p.m.	0.70v
09/03/2017	09:00 a.m.	0.68v
09/03/2017	03:00 p.m.	0.67v
09/03/2017	09:00 p.m.	0.68v
10/03/2017	09:00 a.m.	0.70v
10/03/2017	03:00 p.m.	0.72v
10/03/2017	09:00 p.m.	0.71v
11/03/2017	09:00 a.m.	0.73v
11/03/2017	03:00 p.m.	0.74v
11/03/2017	09:00 p.m.	0.74v

Tabla 3. Experimentación con *Pelargonium citrosum* (Citronela)



Figura 3

Fuente: Anonimo2017 <https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-repulsivo-del-mosquito-de-la-planta-de-la-citronela-image434380592>

MATA-GONZÁLEZ, María Goretti, DIMAS-RESÉNDIZ, Alejandra, MACHUCA-PULIDO, Lluvia Alejandra y MEDINA-JUÁREZ, María Soledad. Generación de Electricidad a Base de Fotosíntesis. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017.

Esta planta es usada en los hogares por su aceite que es repelente de mosquitos además de su agradable aroma. Para este punto de la investigación se observa que la Citronela tiene potencial de generación. A continuación los resultados de la Gazania

Como se puede observar esta planta ha sido la que mayor rendimiento ha mostrado, por lo que fue seleccionada para la realización de las pruebas correspondientes.

Planta 4	Gazania	
Fecha	Hora	Voltaje
06/03/2017	09:00 a.m.	0.81v
06/03/2017	09:00 p.m.	0.83v
06/03/2017	09:00 p.m.	0.83v
07/03/2017	09:00 a. m.	0.89v
07/03/2017	03:00 p.m.	0.80v
07/03/2017	09:00 p.m.	0.90v
08/03/2017	09:00 a. m	0.92v
08/03/2017	03:00 p. m.	0.84v
08/03/2017	09:00 p.m.	0.81v
09/03/2017	09:00 a.m.	0.81v
09/03/2017	03:00. P.m.	0.79v
09/03/2017	09:00 p.m.	0.78v
10/03/2017	9:00 a. m.	0.95v
10/03/2017	03:00 p.m.	0.91v
10/03/2017	09:00 p.m.	0.85v
11/03/2017	09:00 a.m.	0.93v
11/03/2017	03:00 p.m.	0.93v
11/03/2017	09:00 p.m.	0.92v

Tabla 4 Experimentación con Gazania x hybrida (Gazania)



Figura 4

Fuente: <http://indiahomewardening.blogspot.mx/2014/05/collecting-seeds-gazania.html>

Son perfectos para jardines caseros debido a su bajo mantenimiento y flores brillantes. Se pueden plantar en contenedores o en el suelo como macizos o límites. Además de tener una vista agradable por sus colores brillantes y flores vistosas. Debido a los resultados la planta a trabajar fue la Gazania x hybrida (Gazania).

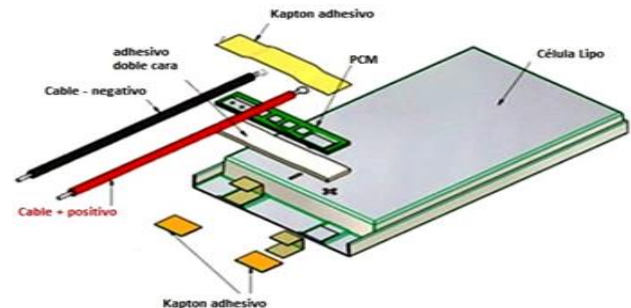


Figura 5

Fuente: Anonimo2017 <http://bateriasdelitio.net/?p=54>

Para el circuito de carga se usó una pila de litio de 3.7 volts a 1 A. y una placa de configuraciones para cargar un dispositivo. Como resultado general nuestro prototipo dio para una carga de un celular móvil, dando como valores un voltaje máximo de 9.56 volts y 0.9 A.

		Gazania	
Fecha	Hora	Voltaje	Amperes
20/03/2017	09:00 a.m.	8.9v	0.9 A
20/03/2017	09:00 p.m.	8.7v	0.9 A
21/03/2017	09:00 p.m.	9.00v	0.9 A
22/03/2017	09:00 a.m.	9.56v	0.9 A
22/03/2017	03:00 p.m.	9.5v	0.9 A
22/03/2017	09:00 p.m.	9.3v	0.9 A
23/03/2017	09:00 a. m	9.56v	0.9 A
23/03/2017	03:00 p.m.	9.56v	0.9 A
23/03/2017	09:00 p.m.	9.47v	0.9 A
24/03/2017	09:00 a.m.	9.55v	0.9 A
24/03/2017	03:00.P.m.	9.49v	0.9 A
24/03/2017	09:00 p.m.	9.56v	0.9 A
25/03/2017	9:00 a. m.	9.56v	0.9 A
25/03/2017	03:00 p.m.	9.54v	0.9 A
25/03/2017	09:00 p.m.	9.55v	0.9 A
26/03/2017	09:00 a.m.	9.54v	0.9 A
26/03/2017	03:00 p.m.	9.56v	0.9 A
26/03/2017	09:00 p.m.	9.56v	0.9 A

Tabla 5 Resultados generales de Gazania x hybrida (Gazania)

MATA-GONZÁLEZ, María Goretti, DIMAS-RESÉNDIZ, Alejandra, MACHUCA-PULIDO, Lluvia Alejandra y MEDINA-JUÁREZ, María Soledad. Generación de Electricidad a Base de Fotosíntesis. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017.



Figura 6 Aalan Tolentino 2017. *experimentación*



Figura 9 Itzel Luna 2017. *Presentación proyecto*



Figura 7 Goretti Mata 2017. *Monitoreo de sistema*



Figura 8 Goretti Mata 2017. *Prototipo funcional.*

Conclusiones

Las plantas son seres realmente sorprendentes, con la investigación y el desarrollo del prototipo lo hemos comprobado, que si bien no se ha encontrado la manera de sacar lo máximo de ellas, sin embargo nuestro objetivo se ha cumplido, la maceta diseñada da para cargar un dispositivo móvil (celular) aunque solo aguante una carga por día, los resultados nos han maravillado, pues el proceso para llegar a estos ha sido complicado, sin embargo una vez que se encontró el camino para su desarrollo las cosas fueron más sencillas.

Para finalizar quedamos satisfechos con los resultados pues pudimos generar un poco más de lo esperado, nuestro producto tuvo la estética que buscábamos, y lo mejor de todo sabemos que esa energía que obtuvimos será aprovechada, a partir de evaluar la eficiencia de las plantas, concluimos que se debe continuar con una investigación más profunda y aportaciones mayores en el desarrollo de un prototipo mejorado y así poder continuar con los avances que se están buscando al rededor del mundo para la generación de energías limpias y espacios verdes.

Agradecimiento

“Realizado con el apoyo de la UTEQ y el Programa de Nuevos Talentos Científicos y Tecnológicos 2017, creado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ)”.

A la M.en CyT Paulina Karely Beltrán Medina, por su asesoría para el desarrollo de este proyecto.

A la M.en E.R Livier Cacho López, por su asesoría en el desarrollo de este proyecto.
A la Alumna María Dolores Juárez Arredondo por su participación Activa para el desarrollo del proyecto.

Referencias

Biología Neil A. Campbell, Jane B. Reece séptima edición Editorial panamericana

http://www.tendencias21.net/Logran-obtener-electricidad-de-las-plantas_a18112.html

<http://bateriasdelitio.net/?p=161>

<http://www.curtisbiologia.com/node/96>

<http://pubs.rsc.org/en/journals/journalissues/ee#!recentarticles&adv>

<http://historiaybiografias.com/fotosintesis/>

<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/fotosintesis/>

<http://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>

<http://essiac.webs.com/apps/blog/show/6040717-kalanchoe-plant-a-antitumoral>

http://www.guiadelemprendedor.com.ar/Aloe_Vera.htm

<http://todocultivos.com/plantasmedicinales/sabilla-aloe-vera/propiedades-caracteristicas-la-sabilla/>

<https://www.hogarmania.com/jardineria/fichas/plantas/201003/lengua-tigre-5153.html>

<http://terranostraterranostra.blogspot.mx/2009/11/geranio-citronela-pelargonium-citrosum.html>

<http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91591/BIO.pdf>

<http://www.redalyc.org/html/540/54012108/>

Obtención de peroxidasas a partir de un residuo industrial de soya para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil

MIRANDA-MANDUJANO, Erika Viviana^{1*}†, MOELLER-CHÁVEZ, Gabriela E², BUITRÓN Germán³ y GARZÓN-ZUÑIGA, Marco A⁴.

¹Universidad Autónoma de Guadalajara Campus Tabasco. Facultad de Ingeniería, Departamento de Gestión y Protección Ambiental. Km. 3.5, Prolongación Paseo Usumacinta, Fracc. El Country, 86039 Villahermosa, Tab.

²Universidad Politécnica del Estado de Morelos (UPEMOR). Departamento de Ingeniería en Tecnologías Ambientales. Blvd. Cuauhnahuac 566, Lomas del Texcal, 62550 Jiutepec, México.

³Laboratorio de Investigación en Procesos Avanzados para el Tratamiento de Aguas, Unidad Académica Juriquilla, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Blvd. Juriquilla 3001, 76230 Querétaro, QRO., México.

⁴Instituto Politécnico Nacional (IPN), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) unidad Durango.

Recibido Mayo 03, 2017; Aceptado Agosto 05, 2017

Resumen

Las peroxidasas son enzimas que catalizan la oxidación de un amplio número de compuestos recalcitrantes, las cuales han sido utilizadas en procesos de decoloración y tratamiento de efluentes textiles. El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad catalítica de peroxidasas obtenidas a partir de un residuo industrial de soya para el tratamiento de un efluente textil. Las peroxidasas fueron obtenidas a través de cromatografía de intercambio iónico. Para evaluar y determinar la máxima actividad catalítica durante el proceso de degradación, se evaluó: tiempo de contacto, pH, temperatura, dosis de enzima, dosis de H₂O₂ y concentración de colorante utilizando un diseño factorial 26, logrando eficiencias de decoloración del 70% para agua sintética y del 52% para un efluente textil. Para la determinación y cuantificación de los productos de degradación se utilizó, cromatografía de líquidos de alta precisión. La toxicidad del efluente fue determinada utilizando *Vibrio Fischeri* como bioindicador. Los resultados de esta investigación sugieren que el uso de un residuo industrial de soya es factible para la obtención de enzimas con actividad catalítica, las cuales pueden ser empleadas para el tratamiento de efluentes de la industria textil.

Peroxidasas, tratamiento enzimático, industria textil, decoloración

Abstract

Peroxidases are enzymes that catalyze the oxidation of a large number of recalcitrant compounds, which have been used in decolorization processes, and treatment of textile effluents. The aim of this investigation was to evaluate the catalytic capacity of peroxidasas obtained from an industrial soybean residue for the treatment of a textile effluent. Peroxidasas were obtained using ion exchange chromatography. To evaluate and determine the maximum catalytic activity during the degradation process, parameters such as: contact time, pH, temperature, enzyme dose, peroxide dose and dye concentration were evaluated through a 26 factorial design. Attaining efficiencies of 70% for the decolorization of synthetic water and 52% for a textile effluent. For the determination and quantification of the products of the degradation was used, high-precision liquid chromatography. The toxicity before and after the enzymatic treatment was evaluated using *Vibrio Fischeri* as bioindicator. The results of this research suggested that the use of an industrial soybean residue is viable for obtaining enzymes with catalytic activity, which can be used for the treatment of effluents from the textile industry.

Peroxidasas, enzymatic treatment, textile industry, decolorization

Citación: MIRANDA-MANDUJANO, Erika Viviana, MOELLER-CHÁVEZ, Gabriela E, BUITRÓN Germán y GARZÓN-ZUÑIGA, Marco A. Obtención de peroxidasas a partir de un residuo industrial de soya para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017, 4-12:12-21.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: vmirandam@uagtabasco.edu.mx)

† Investigador contribuyente como primer autor.

Introducción

La importancia del control de la contaminación del agua en los últimos años ha incrementado debido al deterioro ambiental causado por el crecimiento demográfico e industrial, haciendo que cada día cobren mayor importancia los residuos generados en los distintos procesos industriales (Guadarrama *et al.*, 2016). En México, se generan 7.21 km³/año de agua residual proveniente de las ciudades y 6.67 km³/año de agua de otras fuentes, principalmente las descargadas por la industria (SEMARNAT-CONAGUA, 2015).

Los aportes contaminantes de agua y desechos peligrosos del sector industrial están concentrados en un número limitado de actividades entre las que destaca la industria textil. Las aguas residuales de este sector son un problema ambiental debido al volumen y composición de sus efluentes, los cuales son caracterizados por ser típicamente alcalinos, coloreados y con temperaturas elevadas (Srinivasan y Viraraghavan, 2010).

El impacto ambiental que causa este sector es variado pero el color es el primer signo contaminante que se observa en sus aguas residuales, encontrando concentraciones de colorante desde 1 g/L (Kaushik y Malik, 2009) provocando reducción de la transparencia y disminución del oxígeno disuelto, dificultando la función fotosintética y causando cambios en la biota acuática.

Los colorantes de tipo azo son los más consumidos en este sector. Aproximadamente corresponden al 70% de los colorantes empleados actualmente para teñir materiales textiles, de piel, cosméticos y alimentos. Estos colorantes son compuestos químicos caracterizados por la presencia de uno ó más grupos azo ($-N=N-$). Se consideran compuestos xenobióticos y recalcitrantes a los procesos biodegradativos, debido a su alta estabilidad a la luz y al ataque microbiano (Melgoza y Buitrón, 2004).

Se conoce que la cantidad de colorante que se pierde en el efluente depende de la clase de aplicación utilizada variando desde 2 al 50%, siendo descargados a cuerpos receptores sin previo tratamiento (dos Santos *et al.*, 2007).

Existen diferentes métodos físico-químicos y biológicos que pueden ser aplicados para remover colorantes de las aguas residuales industriales. Cada método tiene sus limitaciones técnicas y económicas. Se ha reportado que el uso de un solo proceso no es eficiente para la degradación del color y la mineralización de los compuestos que se forman (García y Buitrón 2012; Verduzco *et al.*, 2016)

Debido a las limitaciones que presentan los procesos convencionales para el tratamiento de compuestos recalcitrantes, en la actualidad los tratamientos enzimáticos suelen ser prometedores para su degradación ya que presentan ventajas por ser altamente selectivos (Kulshrestha y Husain, 2007; Park *et al.*, 2007), su inhibición por sustancias que pueden ser tóxicas para los organismos vivos es menos probable y su costo podría llegar a ser inferior. Por otra parte, requieren bajos tiempos de residencia con respecto a otros tratamientos (Karim *et al.*, 2012), presentando alta estabilidad térmica y química (Boucherit *et al.*, 2013; Neves *et al.*, 2012). A diferencia de los tratamientos biológicos las enzimas son aplicables a una extensa gama de compuestos; actúan en presencia de sustancias tóxicas para los microorganismos; poseen un amplio rango de acción de pH y temperatura; no necesitan aclimatación ni generan biomasa (Wagner, 2002).

Las enzimas que han presentado mayor utilidad en el tratamiento de compuestos recalcitrantes son: Peroxidasa, lignina peroxidasa (LiP), manganoso peroxidasa (MnP), lacasa, azo reductasa y peroxidasa de rábano picante (HRP) (Husain, 2009). En la Tabla 1 se presentan las principales fuentes de obtención y aplicaciones en el tratamiento de compuestos xenobióticos recalcitrantes.

Enzima	Fuente	Uso
Azo reductasa (Husain, 2006)	Pseudomonas sp.	Degradación de colorantes
Lacasa (Christian et al., 2005; Husain, 2006)	Trametes versicolor Soya	Fenoles, aminos aromáticas, colorantes sintéticos
Lignina peroxidasa (Kalme et al., 2007; Park et al., 2007)	Phanerochaete chrysosporium	Fenoles, aminos aromáticas, colorantes sintéticos
Manganeso peroxidasa (Husain, 2006; Baborová et al., 2006)	Bacterias Phanerochaete Chrysosporium Basidiomycetes	Compuestos aromáticos, fenoles y colorantes azo
Peroxidasa (Husain 2006; Kulshrestha y Husain 2007; Matto y Husain, 2007)	Raíces de rábano, jitomate, hongos blancos, soya Pleurotus ostreatus, Ipomea palmata	Compuestos aromáticos, fenoles y sus derivados, colorantes sintéticos y colorantes reactivos

Tabla 1 Enzimas, fuentes de obtención y aplicación en el tratamiento de compuestos recalcitrantes

Fuente: *Elaboración propia a partir de bibliografía citada en Tabla 1*

Las peroxidases catalizan la oxidación de un amplio número de sustratos orgánicos e inorgánicos ya sea por precipitación o por la apertura de la estructura del anillo aromático (Boscolo *et al.*, 2006).

A pesar de la amplia variedad de fuentes de obtención no hay trabajos actualmente reportados sobre la utilización de un residuo industrial de soya con actividad peroxidasa para la degradación de colorantes presentes en efluentes textiles, ya que la mayoría de las investigaciones se han enfocado en la peroxidasa extraída del rábano picante (Mohan *et al.*, 2005).

Debido a lo anterior en este estudio se evaluó la eficiencia de un extracto con actividad peroxidasa obtenido de un residuo industrial del procesamiento de soya (*OKARA*), en la decoloración de un efluente de la industria textil en México que emplea colorantes azo. Las variables que se consideraron para determinar la máxima decoloración enzimática fueron: pH, temperatura, tiempo de contacto, dosis de enzima, dosis de peróxido y concentración de colorante.

Metodología

Preparación del extracto crudo

Se utilizaron 200 g de *OKARA* que resulta del proceso de elaboración de un jugo comercial a base de soya. Este residuo se homogenizó durante 15 horas a 4°C en 2 L de agua desionizada. Posteriormente se centrifugó a 10,000 rpm durante 20 min a 4°C, y el sobrenadante se sometió a diálisis durante 15 horas a 4°C utilizando ácido acético/acetato de sodio 0.1 M con una relación 1/50. Al extracto obtenido se le estimó el contenido de proteínas mediante el método de Brandford (Agostini *et al.*, 2002) y actividad enzimática mediante el empleo del método de la 4-aminoantipirina, estimación colorimétrica que implica el uso de fenol y H₂O₂ como sustratos y 4-aminoantipirina (Am-NH₂) como cromógeno (Bhunja *et al.*, 2002). Una unidad de actividad peroxidasa representa la oxidación de 1 μ mol de sustrato durante 1 min. Las unidades de actividad enzimática para este trabajo son U/L.

Purificación parcial mediante cromatografía de intercambio iónico

La purificación parcial del extracto crudo se llevó a cabo por el método de cromatografía de intercambio iónico (CII), utilizando una columna de dietilaminoetil celulosa (DEAE53-celulose) con dimensiones de 2.5x15 cm. La matriz fue equilibrada con una solución amortiguadora de fosfatos 0.2 mM y 0.01 mM (pH 7.4 a 4°C). Se alimentaron 700 mL de extracto crudo a la columna con una velocidad de flujo de 3 mL/min. Las proteínas fueron eluidas utilizando 100 mL de una solución de NaCl 1 M. Para cada una de las fracciones se determinó la concentración de proteínas y actividad enzimática, empleando la metodología antes descrita.

Cinéticas de degradación del colorante AD2 presente en el efluente textil

Para llevar a cabo el tratamiento del efluente textil con presencia de colorantes azo, inicialmente se trabajó con agua sintética para determinar las mejores condiciones de operación en la decoloración del colorante azul directo 2 (AD2) (Figura 1).

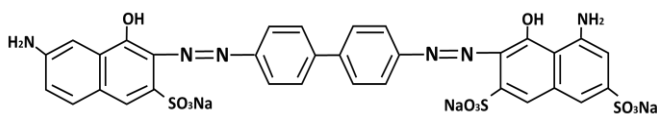


Figura 1 Estructura química del colorante AD2

Fuente: Elaboración propia

Como diseño experimental se utilizó un diseño factorial 2^6 , utilizando el programa STATGRAPHICS CENTURION. Siendo 6 el número de factores experimentales utilizando dos intervalos de trabajo, alto y bajo (Tabla 2).

Factores	Bajo	Alto	Unidades
Temperatura	25	50	°C
pH	3.5	7.5	unidades
Tiempo de contacto	2	6	horas
Dosis de enzima (15 U/L)	1000	2000	L
Dosis peróxido	1000	2000	L
Colorante	10	60	mg/L

Tabla 2 Diseño factorial 2^6 para la determinación de las mejores condiciones de operación para el tratamiento enzimático

Fuente: Elaboración propia

El parámetro de respuesta utilizado durante la experimentación fue el % de remoción de colorante. Cabe señalar que los rangos empleados para el diseño experimental, fueron planteados a partir de resultados obtenidos en pruebas preliminares de este trabajo.

Agua residual de la industria textil

Para esta investigación se utilizó el efluente de una industria productora de hilos, ubicada en la zona industrial de CIVAC (Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca) que emplea el colorante AD2 para su teñido. Inicialmente se realizó la caracterización de 6 lotes diferentes de la descarga de aguas residuales de la industria, analizando los parámetros de acuerdo a la NOM 001-SEMARNAT-1996, incluyendo color (Pt-Co), colorante AD2 (mg/L) y DQO (mg/L).

Sistema experimental

Los estudios de decoloración se desarrollaron en una parrilla de agitación y calentamiento de nueve plazas (Dataplate Serie 730 PMC), utilizando matraces erlenmeyer de 50 mL con un volumen de trabajo de 30 mL. La mezcla de la reacción se realizó utilizando un agitador magnético a 150 rpm. La reacción se inició al añadir H_2O_2 , el cual fue adicionado manualmente.

Técnicas analíticas

Para estimar la concentración del colorante residual en la fase acuosa, se tomó una muestra cada 10 min. En todos los ensayos se realizó un seguimiento de la concentración del AD2 mediante espectrofotometría. El porcentaje de decoloración fue medido con base en los cambios de absorbancia a 576 nm, utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (Perkin-Elmer UV-25 USA). El cálculo para determinar el porcentaje de decoloración se realizó de acuerdo con la ecuación 1:

$$\left[1 - \frac{C_t}{C_i}\right] \times 100 \quad (1)$$

Donde, C_i es la concentración inicial de la muestra y C_t la concentración a un tiempo determinado.

Para los análisis de cromatografía de líquidos de alta precisión HPLC se utilizó un equipo Thermo Surveyor, con automuestreador y detector con arreglo de diodos (DAD) y una columna C18-Ar ACE (150 x 4.5 mm). Las pruebas de toxicidad se llevaron a cabo empleando, el método conocido como Microtox® Azure Ambiental. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado. En las pruebas se utilizó un medio sin enzima como control de los experimentos, para excluir la posibilidad de que la degradación fuese debida a un proceso distinto a la reacción enzimática de la peroxidasa.

Resultados

El extracto enzimático obtenido del residuo industrial (OKARA), presentó actividades enzimáticas de 2.8 ± 0.5 U/L. Aplicando una purificación parcial mediante cromatografía de intercambio iónico se observó que las unidades de actividad pueden aumentar hasta 15 ± 5 U/L presentando en promedio 0.66 mg/mL de proteína total.

La caracterización de la purificación parcial del extracto enzimático se presenta en la Tabla 3, en la cual se observa que la actividad específica de la enzima aumenta de 1.1 a 22 U/mg, esto se debe a que las moléculas de proteínas de interés se adhieren al intercambiador de forma reversible, propiciando su concentración.

Fracción	Actividad (U)	Proteínas totales (mg)	Actividad específica (U/mg)
Extracto crudo	2.8	2.5	1.1
CII	15	0.66	22.7

Tabla 3 Caracterización de peroxidasas obtenidas a partir de residuos de soya, OKARACII (Cromatografía de Intercambio Iónico)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a Shaffiqu *et al.*, 2002, se logró la obtención de peroxidasas a partir de *Ipomea palmata* empleando CII, alcanzando actividades específicas de 34.7 U/mg.

Resultados similares han sido reportados donde las peroxidasas son obtenidas de plantas y vegetales, tales como: raíces de rábano y *Pleurotus ostreatus* (Husain 2009; Kulshrestha y Husain 2007; Matto y Husain, 2009). Lo anterior posiciona al residuo industrial de soya OKARA como una fuente potencial para la obtención de peroxidasas.

Cinéticas de degradación del colorante AD2

Se realizaron 70 cinéticas experimentales determinando las mejores condiciones de operación para obtener el mayor porcentaje de decoloración del AD2 (Tabla 4). De acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño experimental, cuatro son los factores (tiempo de contacto, pH, temperatura y concentración de colorante) que influyen directamente sobre la decoloración.

Factor	Óptimo	% Remoción
Temperatura (°T)	40.03	70
pH	5.57	73.9 ± 1.5
Tiempo de contacto (h)	4.08	70 ± 1.95
Dosis de enzima (□L/30 mL)	1735.5	60
Dosis de peróxido (□L/30 mL)	1518.7	51
Colorante (mg/L)	40.67	70

Tabla 4 Diseño optimizado del proceso de decoloración del AD2

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de decoloración muestra una relación con la estructura química de los colorantes ya que estructuras simples y pesos moleculares bajos generalmente presentan mayores velocidades de remoción (Chen *et al.*, 2003). En esta investigación el tiempo óptimo para alcanzar una eficiencia de decoloración del $70\% \pm 1.95$ fue de 4 horas. Los experimentos mostraron que el proceso de decoloración del AD2 es estrictamente dependiente del pH de la solución ya que la peroxidasa alcanza su mayor actividad catalítica aumentando el pH de 3 a 5.5 logrando así, un $73.9\% \pm 1.5$ de decoloración. Otros autores reportan valores entre 3 y 4 unidades (Kalsoom *et al.*, 2013; Marchis *et al.*, 2011).

Con respecto a la temperatura, si se aumenta de 25 a 40°C causa un aumento en la decoloración del 45 al 70%. No obstante, la enzima presentó resistencia térmica a temperaturas de 50°C ya que se logró obtener 60% de decoloración. El incremento en la concentración de colorante de 10 hasta 40 y 50 mg/L presenta un aumento en la remoción de colorante logrando un 70% de decoloración, mientras que a concentraciones inferiores a 30 mg/L la eficiencia de decoloración disminuye un 25%, esto es debido a la existencia de una relación óptima entre la concentración de enzima y sustrato para lograr la máxima actividad.

Caracterización del efluente de la industria textil

Para la caracterización del agua residual se realizó un muestreo simple del efluente general de la industria productora de hilos. En la Tabla 5 se presenta el promedio de los resultados obtenidos en 6 muestreos.

Parámetro	Valor
DQO (mg/L)	9313
DBO (mg/L)	794
Color verdadero (UPT/Co)	2000
AD2 (mg/L)	60 mg/L
Fosfatos totales	113.53
Sulfatos (mg/L)	1566
N-NH ₃ (mg/L)	404
N-Total (mg/L)	471
G y A (mg/L)	24.3
pH	8.33
Conductividad (mS/cm)	4023.19

Tabla 5 Caracterización del efluente general de la Industria textil

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el agua residual de este sector es típicamente alcalina y presenta una relación de DBO₅/DQO de 0.08. De acuerdo a Kaushik y Malik (2009), el valor de DQO es aproximadamente 2 a 5 veces el valor de DBO₅, sin embargo, en este efluente el valor es mayor, lo cual indica su baja biodegradabilidad. Con respecto al AD2 se detectaron en promedio concentraciones de 60 mg/L y una aportación de fosfatos procedentes de jabones y suavizantes empleados en el proceso de teñido.

Cinéticas de degradación del colorante AD2 presente en el efluente textile

Para el estudio de las cinéticas experimentales se utilizó el efluente de la industria productora de hilos. Las cinéticas de decoloración se realizaron empleando las mejores condiciones de operación obtenidas con el agua sintética. En el Gráfico 1 se presentan los resultados por triplicado obtenidos en el tratamiento enzimático.

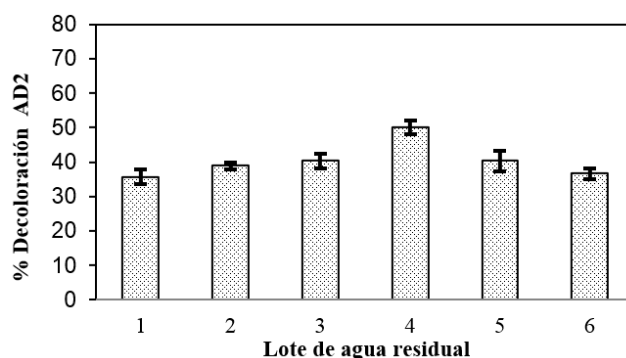


Gráfico 1 Eficiencias de decoloración obtenidas del tratamiento del efluente textil

Fuente: Elaboración propia

La mayor eficiencia obtenida correspondió al 52 ±2% de decoloración del colorante AD2 presente en el efluente textil. Se obtuvo un 40% de remoción de colorante en promedio para las demás muestras. La principal causa de este comportamiento fue debido a la composición heterogénea de los efluentes generados en esta industria, ya que de acuerdo con la categoría de producción los aditivos, fijadores y suavizantes que se emplean para esta etapa, son modificados en el proceso de teñido, aunado a esto el aumento de concentración de AD2. Sin embargo, se logró observar que aún en presencia de productos químicos, la enzima logró decolorar, empleando el colorante como sustrato principal, lo que indica que conserva su capacidad oxidante pese a la presencia de estos productos.

El espectro de absorbancia del efluente textil antes y después del tratamiento enzimático empleando las mejores condiciones de operación, se presenta en el Gráfico 2.

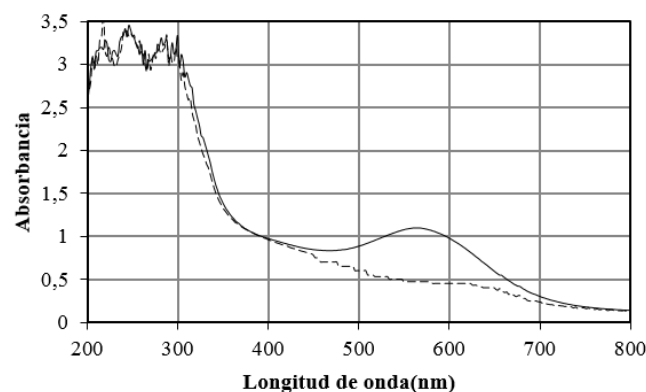


Gráfico 2 Espectro UV-Vis del AD2 a una concentración de 40 mg/L influyente y efluente del tratamiento enzimático
Fuente: Elaboración propia

En este gráfico el espectro presenta un pico principal con una máxima absorbancia de 576 nm correspondiente al colorante AD2. Así mismo se puede observar interferencia entre 200 y 300 nm, debido a que la principal característica del efluente textil es la presencia de sustancias químicas auxiliares utilizadas en el proceso. En la literatura se ha reportado que las enzimas peroxidasas pueden ser una alternativa idónea para el tratamiento de efluentes textiles e incluso para aguas contaminadas con otro tipo de contaminantes. De acuerdo a lo anterior, se observó que el extracto parcialmente purificado logró un 52% de decoloración con un tiempo de reacción de 4 horas.

Con respecto a los valores de DQO(mg/L), no se presentó algún cambio significativo. Esto pudiera deberse a que, mediante pruebas preliminares, la enzima en suspensión presentó un valor de DQO de 1200 mg/L. Considerando que la enzima es específica en la reacción, no se observó cambio alguno respecto a la oxidación de la materia orgánica. Sin embargo, se observó que empleando un proceso de filtración mediante filtros con tamaño de poro de 0.45 μ m se obtiene un 30% de remoción.

En las pruebas mediante HPLC, se logró identificar al colorante al inicio y final del tratamiento con un tiempo de retención de 4.2 min (Gráfico 3a). Después del tratamiento enzimático el pico correspondiente al colorante disminuyó, sin embargo, 1 pico nuevo apareció con un tiempo de retención de 1.5 min (Gráfico 3b), correspondiendo a la formación de bencidina.

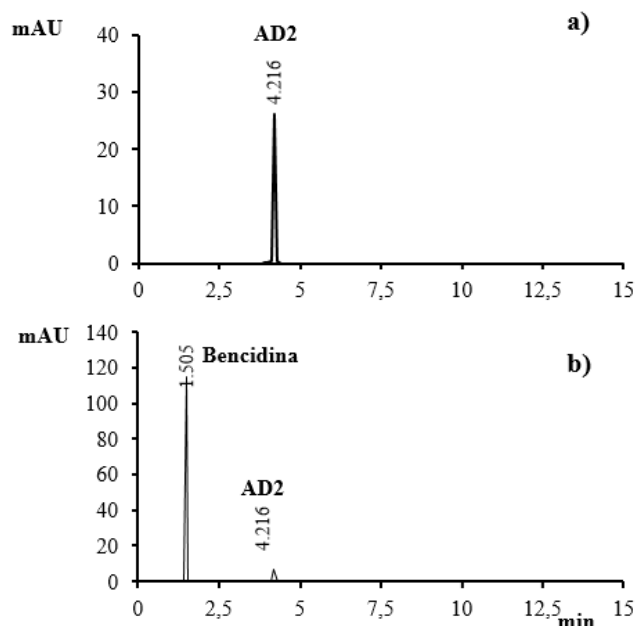


Gráfico 3 Cromatogramas de la solución de AD2 antes (a) y después (b) del tratamiento enzimático
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a Golka *et al.*, 2004; Bafana *et al.*, 2007, los subproductos típicos de la degradación de los colorantes directos son bencidina y 4-aminobifenil, sin embargo, en esta investigación sólo se logró cuantificar una de las dos aminas al final del tratamiento, obteniendo 1.2 mg/L de bencidina.

El estudio de toxicidad del efluente antes y después del tratamiento enzimático se realizó con el propósito de evaluar los productos generados de la reacción, los cuales, de acuerdo al tipo de colorante, podrían resultar tóxicos.

Los resultados de toxicidad mostraron que después del tratamiento hay un incremento de la toxicidad (Tabla 6). El aumento de toxicidad puede deberse a la generación de aminas aromáticas tras el tratamiento del agua residual (van der Zee y Villaverde, 2005). Este efecto puede ser atribuido a la formación de metabolitos que son más tóxicos que el propio colorante.

Muestra	Toxicidad (UT)
Agua residual textil	7.94
Agua residual textil tratada	8.08

Tabla 6 Valores obtenidos para la prueba de toxicidad aguda empleando *Vibrio fischeri* en el influente y efluente textil después del tratamiento

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que cuatro son los parámetros que influyen en el tratamiento enzimático para la decoloración del AD2. Las mejores condiciones de operación para la decoloración enzimática fueron: 40°C, pH 5.5, 4 h, y 40 mg/L de AD2, logrando un 72% de decoloración con un efluente sintético. La aplicación de la metodología determinada en condiciones de laboratorio para la decoloración del AD2, se llevó a cabo exitosamente para el tratamiento de un efluente textil observando que el extracto enzimático logra decolorar el AD2 en presencia de una gran variedad de aditivos, fijadores y suavizantes que se emplean para la etapa de teñido, logrando un 52% de decoloración.

Como subproductos de degradación se logró cuantificar bencidina (1 mg/L) como uno de los subproductos generados en el tratamiento, provocando un aumento de toxicidad en el efluente. A partir de los resultados obtenidos se confirma la estabilidad y actividad catalítica de la peroxidasa obtenida a partir de un residuo industrial de soya, siendo una alternativa para la decoloración de efluentes industriales con presencia de colorantes del tipo azo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONACyT, UNAM, UNILEVER, IMTA, BUAP, UPEMOR y UAG Campus Tabasco por el soporte de este trabajo.

Referencias

- AGOSTINI, E., HERNANDEZ, R. J., ARNAO, M.B., MILRAND, S. R., TIGIER, H. A. y ACOSTA, M. (2002). A peroxidase isoenzyme secreted by turnip (*Brassica napus*) hairy-root culture inactivation by hydrogen peroxide and application in diagnostic kits. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 35: 1–7.
- BABOROVA, P., MODER, M., BALDRAN, P., CAJTHAMLOVA, K. y CAJTHAML, T. (2006). Purification of a new manganese peroxidase of the white-rot fungus *Irpep lacteus*, and degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by the enzyme. *Resource Microbiology*. 157: 248–253.
- BAFANA, A., SARAVANA, D., KRISHNAMURTHI, K. y CHAKRABARTI, T. (2007). Kinetics of decolourisation and biotransformation of direct black 38 by *C. hominis* and *P. stutzeri*. *Applied Microbiology Biotechnology*. 74: 1145–1152.
- BOSCOLO, B., LAURENTI, E. y GHIBAUDI, E. (2006). ESR spectroscopy investigation of the denaturation process of soybean peroxidase induced by guanidine hydrochloride, DMSO or heat. *Protein Journal*. 25: 379–390.
- BOUCHERIT, N., ABOUSEOUD, M. y ADOUR L. (2013). Degradation of direct azo dye by *Cucurbita pepo* free and immobilized peroxidase. *Journal of Environmental Sciences*. 25(6): 1235–1244.
- BHUNIA, A., DURANI, S. y WANGIKAR, P. (2002). Horseradish peroxidase catalyzed degradation of industrially important dyes. *Biotechnology Bioengineering*. 72: 562–567.

CHEN, K.C., WU, J.Y., LIOU, D.J. y HWANG, S.C.J. (2003). Decolorization of the textile dyes by newly isolated bacterial strains. *Journal Biotechnology*. 101: 57–68.

CHRISTIAN, V., SHRIVASTAVA, R., SHUKLA, D., MODI, H.A. y VYAS, B.R. (2005). Degradation of xenobiotic compounds by lignin-degrading white-rot fungi: Enzymology and mechanisms involved. *Indian Journal of Experimental Biology*. 43: 301–312.

DOS SANTOS, A.B., CERVANTES F.J. y VAN LIER J.B. (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresource Technology*. 98 (12): 2369-2385.

GARCÍA, P. y BUITRÓN, G. (2012). Evaluation of three reagent dosing strategies in a photo-Fenton process for the decolorization of azo dye mixtures. *Hazardous Materials*. 217: 293-300.

GOLKA K., KOPPS S. y MYSLAK Z.W. (2004). Carcinogenicity of azo colorants: influence of solubility and bioavailability. *Toxicology Letters*. 151: 203–210.

GUADARRAMA, T. R., KIDO, M.J., RODAL, A.G. y SALAS, S.M. (2016). Contaminación del Agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 2(5): 1-10.

HUSAIN, Q. (2006). Potential applications of the oxidoreductive enzymes in the decoloration and detoxification of textile and other synthetic dyes from polluted water. *Critical Reviews in Biotechnology*. 26: 201-221.

HUSAIN, Q. (2009). Peroxidase mediated decolorization and remediation of wastewater containing industrial dyes: a review. *Review Environmental Science and Biotechnology*. 9: 117–140.

KALME, S.D., PARSHETTI, G.K., JADHAV, S.U. y GOVINDWAR, S.P. (2007). Biodegradation of benzidine based dye Direct Blue 6 by *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112. *Bioresource Technology*. 98: 1405–1410.

KALSOOM, U., SALMAN, A.S., MEETANI, M.A., RAUF, M. A. y NAWAZ B. H. (2013). Mechanistic study of a diazo dye degradation by Soybean Peroxidase. *Chemistry Central Journal*. 7 (1): 1-10.

KARIM, Z., ADNAN, R. y HUSAIN, Q. (2012). A α -cyclodextrinechitosan complex as the immobilization matrix for horseradish peroxidase and its application for the removal of azo dyes from textile effluent. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 72: 10-17.

KAUSHIK, P. y MALIK, A. (2009). Fungal dye decolorization: Recent advances and future potential. *Environmental International*. 35(1): 127-141.

KULSHRESTHA, Y. y HUSAIN, Q. (2007). Decolorization and degradation of acid dyes mediated by partially purified turnip (*Brassica rapa*) peroxidases. *Toxicology Environmental Chemistry*. 89(2): 255–267.

MARCHIS, T., AVETTA, P., FABBRI, D., VISCARDI, G. y LAURENTI, E. (2011). Oxidative degradation of Remazol Turquoise Blue G 133 by soybean peroxidase. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 105 (2): 321-327.

MATTO, M. y HUSAIN, Q. (2007). Decolorization of direct dyes by salt fractionated turnip proteins in the presence of hydrogen peroxide and redox mediators. *Chemosphere*. 69: 338–345.

MELGOZA, A.R., CRUZ, A. y BUITRÓN, G. (2004). Anaerobic/aerobic treatment of colorants present in textile effluents. *Water Science and Technology*. 50:149-155.

NEVES, F.I.G., VIEIRA, M.C. y SILVA, C.L.M. (2012). Inactivation kinetics of peroxidase in zucchini (*Cucurbita pepo* L.) by heat and UV-C radiation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 13: 158–162

MOHAN, V., PRASAD, K., RAO, CH. y SARMA, P.N. (2005). Acid azo dye degradation by free and immobilized horseradish peroxidase (HRP) catalyzed process. *Chemosphere*. 58: 1097–1105

PARK, C., LEE, M., LEE, B., KIM, S.W., CHASE, H.A., LEE, J. y KIM, S. (2007). Biodegradation and biosorption for decolorization of synthetic dyes by *Funalia troglia*. *Biochemical Engineering Journal*. 36: 59–65.

SEMARNAT-CONAGUA. (2015). Estadísticas del agua en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, México.

SHAFFIQU, T. S., ROY, J. J., NAIR, R. A. y ABRAHAM, T. E. (2002). Degradation of textile dyes mediated by plant peroxidases. *Applied Biochemical Biotechnology*. 102–103: 315–326.

SRINIVASAN, A. y VIRARAGHAVAN, T. (2010). Decolorization of dye wastewater by biosorbents: a review. *Journal of Environmental Management*. 91(10): 1915-1929.

VAN DER ZEE, F.P. y VILLAVARDE, S. (2005). Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes – a short review of bioreactor studies. *Water Resources*. 39: 1425–1440.

VERDUZCO, N. I., RIOS, D. N., MENDIZABAL, E. y KATIME, I. (2016). Contaminación del Agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 2(4): 33-43.

WAGNER, M. y NICELL, J. (2002). Detoxification of phenolic solutions with horseradish peroxidase and hydrogen peroxide. *Water Resource*. 36: 4041-4052.

Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono

SALDÍVAR-ESPARZA, Santiago*†, CABRERA-ROBLES, José Salvador, RETA-HERNÁNDEZ, Manuel

Universidad Autónoma de Zacatecas

Recibido Septiembre 12, 2017; Aceptado Noviembre 04, 2017

Resumen

Durante las últimas décadas, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se han ido incrementado de una manera alarmante. El problema es que el CO₂ es uno de los gases de efecto invernadero (GEI) que más contribuye al calentamiento global. Uno de tantos esfuerzos que se están realizando por reducir las emisiones de este gas contaminante, es incrementar el uso de las energías renovables, pero la transición será muy lenta. Se seguirán emitiendo grandes cantidades antes de que dicha transición sea significativa. Es por eso que una alternativa viable es capturar y almacenar el CO₂ de una manera segura para impedir que vuelva a liberarse a la atmósfera. En este trabajo se presentan las tres tecnologías de captura de CO₂ usadas en el mundo, las cuales son: precombustión, oxicombustión y postcombustión; así mismo, se presentan los costos asociados en la implementación de estas tecnologías en plantas de calderas de carbón pulverizado (CCP), en plantas de ciclo combinado de gasificación integrada (CCGI) y en plantas de gas natural de ciclo combinado (GNCC). También se mencionan las consideraciones para el transporte y almacenamiento del CO₂ desde las plantas de captura.

Captura, dióxido de carbono, precombustión, oxicombustión, postcombustión**Abstract**

During the last few decades, the carbon dioxide (CO₂) emissions have increased in alarming way. A concerning problem is that CO₂ is one of the greenhouse gases (GHG) that mostly contribute to global warming. One of many efforts to reduce emissions of this contaminant gas, is to increase the use of renewable energy but the transition will be slow. Before the transition is significant, large quantities of CO₂ will continue appearing in the atmosphere. A possible alternative is to capture and store the CO₂ in a safe way to prevent it from reaching the atmosphere. This paper presents the three used CO₂ capture technologies in the world, which are: precombustion, oxycombustion and postcombustion; likewise, the costs associated with implementing these technologies in supercritical pulverized coal boilers (SCPC), integrated gasification combined cycle (IGCC) plants, and natural gas combined cycle (NGCC) plants, are presented. Also are mentioned the main considerations for the transport and storage of CO₂ from capture plants.

CCS, CO₂, precombustion, oxycombustion, postcombustion

Citación: SALDÍVAR-ESPARZA, Santiago, CABRERA-ROBLES, José Salvador, RETA-HERNÁNDEZ, Manuel. Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017, 4-12: 22-34.

* Correspondencia del Autor (Correo Electrónico: 30110590@uaz.edu.mx)

† Investigador contribuyente como primer autor

Introducción

En la actualidad, existen varios gases contaminantes que contribuyen con el calentamiento global de nuestro planeta; uno de ellos es el dióxido de carbono (CO_2), el cual es liberado a la atmósfera en grandes cantidades. Aunque se están realizando numerosos esfuerzos para combatir éste problema con el uso de energías renovables limpias para la producción de electricidad, reduciendo así la quema de combustibles fósiles y su consecuente emisión de gases contaminantes, no parece ser una opción que resuelva de manera significativa a corto plazo. Una de las alternativas más prometedoras para reducir las emisiones de CO_2 a la atmósfera es por medio de la Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC) (Daví, Sannin, & Trujillo, 2016), ésta es una tecnología que lleva varias décadas en desarrollo.

La problemática mundial respecto a las emisiones del CO_2 es que la demanda de energía seguirá en aumento en los años venideros; el petróleo, gas natural y el carbón siguen siendo las principales fuentes de energía; según la British Petroleum, las energías renovables sólo proporcionarán la mitad de energía adicional requerida para el 2035, así que es de suma importancia impulsar los proyectos de captura y almacenamiento de CO_2 para evitar las emisiones de miles de toneladas adicionales de CO_2 y reducir las actualmente emitidas, es necesario invertir en la investigación de nuevos procesos y materiales que sean más eficientes y baratos para la captura, transporte y almacenamiento del CO_2 .

La recuperación de petróleo con CO_2 es uno de los principales enfoques que tienen un gran potencial para mitigar las emisiones de CO_2 a gran escala (Almazrouei, Asad, Zahra, Mezher, & Tsai, 2017). Esta técnica se considera fuerte en términos de tecnología y eficiencia, ya que el petróleo restante después de las etapas primaria y secundaria de extracción sigue siendo significativo. Fundamentalmente, el CO_2 inyectado reducirá significativamente la viscosidad del petróleo, hinchará las gotas atrapadas, y finalmente hará que el petróleo se mueva y facilita su extracción (Le Van & Chon, 2017).

Actualmente existen tres tecnologías desarrolladas para conseguir la captura del CO_2 producido por plantas termoeléctricas alimentadas por combustibles fósiles: la captura postcombustión, la captura precombustión y la oxidación. En la captura de postcombustión, el CO_2 es separado de otros gases de combustión, ya sea presentes originalmente en el aire o producidos por la combustión; en la captura de precombustión, el CO_2 se elimina del combustible antes de la combustión, y en la oxidación el nitrógeno es removido del aire quedando oxígeno de alta pureza (95%) y es quemado con el combustible y gases de combustión, haciendo más fácil su captura posterior del CO_2 (Figueroa, Fout, Plasynski, McIlvried, & Srivastava, 2008).

En cuanto al almacenamiento del CO_2 , los sitios geológicos idóneos son los campos abandonados de petróleo y gas natural, al haber contenido gas o petróleo por miles de años, es casi seguro que puedan contener el CO_2 . En el proceso de recuperación mejorada del petróleo, además de extraer petróleo, el dióxido de carbono que se inyecta queda almacenado en la formación geológica.

Para transportar el CO_2 , existen varias técnicas, la más usada es por medio de tuberías, aunque el transporte en barcos puede resultar más económico a grandes distancias (Tan, Nookuea, Li, Thorin, & Yan, 2016).

Los costos de la captura del CO_2 en plantas de carbón y gas natural, aún son elevados pero afortunadamente año con año disminuyen, gracias a la implementación de nuevas tecnologías de captura y almacenamiento y/o a la mejora de las ya existentes. Es necesario mayor inversión en proyectos de CAC. Este estudio tiene como objetivo describir los métodos usuales que intervienen en los procesos de captura, almacenamiento y transporte del CO_2 de una manera simplificada, así como exponer las ventajas y desventajas exclusivamente del proceso de captura en términos de funcionalidad y factibilidad. Además, el presente estudio contempla los gastos de operación del proceso de captura en la industria.

Por ende, se pretende examinar los costos generados por la implementación de captura de dióxido de carbono en centrales eléctricas de ciclo combinado de gasificación integrada (CCGI) que utilizan carbón bituminoso, centrales de calderas de carbón pulverizado (CCP) y plantas de gas natural de ciclo combinado (GNCC). También se mencionan las industrias que más CO_2 emiten a la atmósfera, pudiendo ser acreedoras a la implementación de algún método de captura (precombustión, oxicomustión o postcombustión).

La figura 1 muestra de manera general las tres técnicas de captura de CO_2 (precombustión, oxicomustión y postcombustión) que más adelante se explican de manera detallada.

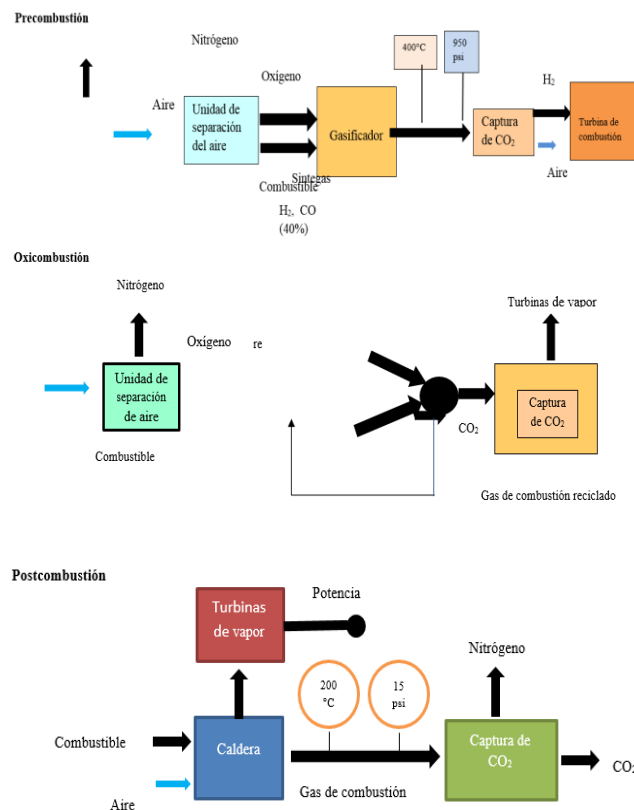


Figura 1 Diagrama de bloques de los procesos de precombustión, oxicomustión y postcombustión
Fuente: Elaboración propia, basada en (Figuerola, Fout, Plasynski, McIlvried, & Srivastava, 2008)

Tecnologías de captura de CO_2

La precombustión

La precombustión consiste en eliminar el CO_2 después de convertir un combustible (hidrocarburo líquido, gas natural, carbón o biomasa lignocelulosa) en una mezcla de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H_2) para formar gas de síntesis. El gas de síntesis, o sintegas, se procesa a través de una reacción de conversión de desplazamiento durante la cual se produce más hidrógeno y se forma CO_2 . El CO_2 formado se captura mientras que el hidrógeno se puede quemar para producir energía (electricidad y/o calor) sin emisión de CO_2 . El H_2 es purificado por medio de absorción química o física del CO_2 (fácil separación debido a la alta presión parcial del CO_2) (Jones, 2010).

El H_2 recuperado puede ser empleado en calderas, turbinas de gas (en plantas que puedan usar H_2 de combustible) o podría ser usado en un ciclo combinado de gasificación integrada (CCGI) en plantas generadoras. Este proceso se emplea principalmente en termoelectricas de quema de carbón, o plantas que usen carbón, aunque puede bajar la eficiencia este proceso en pérdidas de energía en capturar el CO_2 de una planta con 38.4% a 31.2% de eficiencia, puede recuperarse un poco en el uso del H_2 como combustible en un CCGI.

La captura por precombustión tiene la ventaja de implementación sin hacer muchas modificaciones a las plantas (de Queiroz Fernandes Araújo & de Medeiros, 2017). El sector industrial incluye varios procesos donde el CO_2 se produce como subproducto de la conversión química.

Las fuentes industriales con altas corrientes de gas de concentración de CO₂ incluyen plantas para la conversión de combustibles de carbón a líquido y procesos químicos (principalmente a base de gas natural) para la producción de productos químicos tales como etanol, amoníaco, hidrógeno y gas metano sintético (Jansen, Gazzani, Manzolini, Dijk, & Carbo, 2015).

Oxicombustión

Una alternativa de capturar CO₂ de gas combustible es modificar el proceso de combustión de tal forma que el gas combustible tenga una alta concentración de CO₂. Una tecnología prometedora para lograr esto es la oxicombustión, en donde el combustible es quemado con oxígeno casi puro (cerca del 95 %) mezclado con gas de combustión reciclado. La opción más frecuentemente propuesta en este concepto es la unidad de separación de aire criogénico; que es usada para suministro de oxígeno de alta pureza para calderas de carbón pulverizado.

Este oxígeno de alta pureza se mezcla con gases de combustión reciclado antes de la combustión en la caldera para mantener condiciones similares de combustión a con la configuración de quema con aire. Esto es necesario porque actualmente no se encuentran disponibles materiales en las calderas que resistan las altas temperaturas resultantes de la quema de carbón con oxígeno puro (Figuerola, Fout, Plasynski, McIlvried, & Srivastava, 2008).

Hay nuevas aplicaciones como uso de tecnologías de membranas por adsorción y separación de O₂ en lugar de criogénicas para aire enriquecido con oxígeno, mejoras en el proceso de absorción debido a la presencia de CO₂ más alto en los gases de combustión y reduciendo los requisitos de servicio del recalentador en la regeneración disolvente (Vega, Navarrete, Bernabé, & Rodríguez, 2014).

Lo más atractivo de este proceso es que produce gas combustible el cuál es predominantemente en CO₂ y agua. El agua fácilmente se remueve por condensación, y el CO₂ restante puede ser purificado a bajo costo. El acondicionamiento del gas de combustión consiste en el secado del CO₂, removiendo el O₂ para prevenir la corrosión en las tuberías, y posiblemente remoción de otros contaminantes y diluyentes, tales como Ar, N₂, SO₂ y NO_x (Figuerola, Fout, Plasynski, McIlvried, & Srivastava, 2008).

La oxicombustión simplifica la captura posterior a la combustión, uno de los retos de esta tecnología es la penalización de energía en refrigerar el O₂ y CO₂ para su almacenamiento y operación en este proceso (de Queiroz Fernandes Araújo & de Medeiros, 2017).

La postcombustión

Las opciones para la captura de CO₂ en la postcombustión son caras, pero pueden utilizarse para bajas concentraciones de CO₂ y pueden integrarse con las centrales eléctricas existentes para una captura efectiva (Sreedhar, Nahar, Venugopal, & Srinivas, 2017).

Las diferentes tecnologías para la captura de CO₂ en la postcombustión son: la absorción (química y física), adsorción, separación criogénica, separación por membrana y combustión química de bucles (Sreedhar, Nahar, Venugopal, & Srinivas, 2017).

La absorción es una opción técnica que puede utilizarse en ambos modos de captura de CO₂ antes y después de la combustión; esta tecnología ya se ha comercializado. La absorción física depende de la solubilidad del CO₂ en el disolvente y se prefiere a altas presiones. La absorción química se prefiere debido a la mayor capacidad de absorción a baja presión parcial de CO₂.

Un sistema típico de absorción química consta de tres componentes, es decir, disolvente, absorbente y separador. Los gases de combustión procedentes de diferentes fuentes de CO_2 , como las centrales eléctricas de carbón, entran en contacto con la solución pobre a contracorriente en el absorbedor. El CO_2 es absorbido por los disolventes, lo que conduce a una menor concentración de CO_2 en el gas de combustión. El CO_2 rico en disolvente se regenera a continuación en el separador. La solución pobre regenerada se devuelve al absorbedor y se recoge CO_2 comprimido en la parte superior del separador y se transporta. La absorción química ha sido la tecnología más exitosa que se ha comercializado desde hace muchos años, pero aún no se ha ampliado en la recuperación de CO_2 en las plantas de energía (Sreedhar, Nahar, Venugopal, & Srinivas, 2017).

En la adsorción, el líquido o el gas se adhieren a adsorbentes sólidos que podrían regenerarse posteriormente mediante la aplicación de operaciones de oscilación de temperatura, vacío o presión. El carbón activado, los óxidos metálicos, la alúmina, los fosfatos y las zeolitas, los marcos orgánicos metálicos, los carbones y polímeros microporosos y las aminas modificadas fueron algunos de los diferentes adsorbentes reportados para ser usados en éste proceso (Sreedhar, Nahar, Venugopal, & Srinivas, 2017).

La separación criogénica implica la compresión y el enfriamiento de la mezcla de gases con CO_2 a varios niveles para avanzar el cambio de fase de CO_2 junto con otros constituyentes que posteriormente pueden ser separados por destilación. Éste proceso no requiere absorbentes químicos; puede llevarse a cabo a presión atmosférica y es compatible con ambos modos de captura de CO_2 antes y después de la combustión (Sreedhar, Nahar, Venugopal, & Srinivas, 2017).

La separación por membrana del CO_2 de los gases de combustión depende de la diferencia en la selectividad y la permeabilidad. Para la separación se utilizan algunas membranas, como las orgánicas que consisten en polímeros y compuestos inorgánicos que se encuentran en la zeolita, cerámica, metales, carbono, etc. También actúa como una unidad de contacto para el disolvente y los gases que se mueven a contracorriente, el CO_2 se absorbe selectivamente sobre la matriz de la membrana (Sreedhar, Nahar, Venugopal, & Srinivas, 2017).

En la combustión química de bucles, el oxígeno requerido para la combustión se obtiene a partir de óxidos metálicos para evitar el contacto directo entre el combustible y el aire. No se requiere ninguna etapa de separación adicional en este proceso, y la formación de NO_x es también mínima, dando lugar a una mayor eficacia de captura de CO_2 , pero aún no se ha comercializado a nivel industrial. La combinación de la oxidación con la captura de CO_2 posterior a la combustión también puede reducir potencialmente el consumo total de energía en un 25% en comparación con un proceso de oxidación (Vega, Sanna, Maroto-Valer, Navarrete, & Abad-Correa, 2016).

La tabla 1 muestra las ventajas y desventajas de las tecnologías de captura del CO_2 .

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Precombustión	<p>Es aplicable para las centrales térmicas de carbón.</p> <p>Comercialización de producción de H₂ a gran escala.</p> <p>Alta eficiencia.</p> <p>Bajas penalizaciones de energía de captura ($\approx 10\text{-}15\%$).</p> <p>Producción de gas de síntesis concentrado en CO₂ a alta presión.</p> <p>Más tecnologías disponibles para la separación.</p> <p>Potencial de reducción de los costos / cargas de compresión.</p> <p>Mayor fuerza motriz para la separación.</p>	<p>Nuevos materiales para la alta temperatura de la captura del CO₂.</p> <p>Alta inversión de capital, alto costo del equipo.</p> <p>Insuficiente experiencia a gran escala de plantas térmicas de H₂.</p> <p>Aplicable principalmente a nuevas plantas, ya que pocas plantas de gasificación están operando actualmente.</p> <p>Requisitos de sistemas de soporte extensivos</p>
Oxicombustión	<p>Muy alta concentración de CO₂ en los gases de combustión.</p> <p>Simplifica la captura postcombustión.</p> <p>Alta eficiencia.</p> <p>Opción de reacondicionamiento tecnológico.</p>	<p>Requerimiento grande de producción criogénica de O₂ que pueden ser costos de energía no permitidos en ciertas industrias.</p> <p>Requerimiento de enfriamiento del CO₂ reciclado para mantener las temperaturas dentro de los límites de los materiales.</p> <p>Decrecimiento de la eficiencia del proceso.</p>
Postcombustión	<p>Aplicable a la mayoría de las plantas eléctricas de carbón.</p> <p>Opción de tecnología de reacondicionamiento</p>	<p>El gas de combustión está diluido en CO₂.</p> <p>El gas de combustión está a presión ambiente.</p> <p>Baja presión del CO₂.</p> <p>Rendimiento o volumen de circulación superior requerido para altos niveles de captura.</p> <p>El CO₂ es producido a baja presión comparado con los requerimientos de secuestro.</p>

Tabla 1 Ventajas y desventajas de las tecnologías para la captura del CO₂

Fuente: Elaboración propia, basada en (Figueroa, Fout, Plasynski, McIlvried, & Srivastava, 2008).

La recuperación mejorada del petróleo

La recuperación mejorada del petróleo ha sido aplicada ampliamente, ya que mejora efectivamente la recuperación de petróleo y gases de efecto invernadero (Yu, y otros, 2016). El CO₂ es almacenando permanentemente siendo inyectado en formaciones geológicas. Las aplicaciones de las herramientas inteligentes híbridas en la evaluación de las incertidumbres de los proyectos de recuperación del petróleo han sido propuesto en muchos estudios; sin embargo, el modelo todavía debe ser desarrollado en términos de la arquitectura o un algoritmo para predecir de manera más completa y precisa los procesos de inundación (Le Van & Chon, 2017).

El CO₂ inyectado se mezcla con el petróleo y la mezcla se hincha en condiciones de alta presión. La mezcla se mueve entonces fácilmente, lo que aumenta la producción de petróleo en consecuencia (Kwak & Kim, 2017).

Los proyectos piloto para la captura y almacenamiento del CO₂ consideran la recuperación mejorada del petróleo una de las opciones clave para obtener información sobre el comportamiento del CO₂ almacenado. De los sitios técnicamente favorables evaluados a nivel mundial, se estima que se pueden recuperar 470 mil millones de barriles de petróleo y almacenar 140 Gt de CO₂ (Tapia, Lee, Ooi, Foo, & Tan, 2016).

Para los procesos de recuperación del petróleo podría hacer que los proyectos sean más rentables que buscar nuevos yacimientos cuando el precio del petróleo es un factor desfavorable, que es un obstáculo para la mayoría de los proyectos exploratorios y de producción (Le Van & Chon, 2017).

Almacenamiento geológico del CO₂

Un requisito crítico para el almacenamiento del CO₂ es que éste debe permanecer almacenado de forma permanente y segura en la zona geológica seleccionada. El almacenamiento en campos abandonados de petróleo y gas natural resulta muy apropiado, ya que después de mantener petróleo y gas por millones de años es probable que sean impermeables. El CO₂ es retenido a través de varios mecanismos de captura (de Queiroz Fernandes Araújo & de Medeiros, 2017): (a) estratigráficos y estructurales (atrapamiento primario, ocurre bajo sellos de rocas de baja permeabilidad, dominantes en la etapa temprana); (b) residual (atrapado en los poros de la roca por la presión capilar del agua); (c) solubilidad (atrapamiento de gas residual), y (d) mineralización (cambio de la topología del espacio poro y conectividad).

Cuando el CO₂ capturado se utiliza de manera productiva (comercialmente) en el proceso de almacenamiento, como en el caso de la recuperación del petróleo, el proceso general se conoce como captura, utilización y almacenamiento de CO₂. En ambos casos, la formación de inyección se situaría muy por debajo de los acuíferos de agua potable, con múltiples capas geológicas intermedias que sirven para proteger los recursos hídricos subterráneos.

La profundidad de la inyección, a menudo más de 1 km por debajo de la superficie terrestre, implica presiones y temperaturas por encima del punto crítico para el CO₂. Como tal, la inyección implica CO₂ supercrítico, que tiene una densidad de 250-800 kg/m³, dependiendo de la profundidad de la inyección y del gradiente geotérmico (Celia, 2017).

El almacenamiento geológico de CO₂ se ha identificado como el componente principal de la estrategia para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de las operaciones de arenas petrolíferas, que se encuentran en el área de Athabasca cerca del borde oriental de la cuenca de Alberta. Por lo tanto, el almacenamiento de CO₂ en los acuíferos salinos del Devónico profundo, situado al oeste de las operaciones de las arenas petrolíferas, puede constituir una solución para almacenar el CO₂ de estas operaciones (Bachu, Melnik, & Bistran, 2014).

Transporte del CO₂

A excepción de los casos en que la fuente de CO₂ se encuentra por encima de una formación geológica adecuada (por ejemplo, el procesamiento de gas natural en alta mar), el CO₂ debe transportarse desde los puntos de captura hasta los lugares de destino (de Queiroz Fernandes Araújo & de Medeiros, 2017).

El CO₂ se transporta desde las plantas de captura hasta los lugares de almacenamiento por medio de tuberías, buques o camiones cisterna, la selección del método de transporte se basa principalmente en la distancia que tiene que recorrer el CO₂ desde el sitio de captura hasta el sitio de almacenamiento. Las tuberías operan hoy como una tecnología de mercado madura y son el método más común para transportar CO₂. Normalmente se bombea una corriente de CO₂ a una presión mayor que 8 MPa para aumentar la densidad de CO₂ y evitar regímenes de flujo de dos fases, haciéndolo más fácil y menos costoso de transportar.

El transporte por barco podría ser más barato que el transporte por tubería en algunas circunstancias, particularmente en distancias más largas, ya que los buques también pueden ser más flexibles que las tuberías (Tan, Nookuea, Li, Thorin, & Yan, 2016).

Cuando están presentes impurezas tales como N₂, H₂, CO, agua, SO₂ y NO₂, se modifican las propiedades termofísicas del flujo de CO₂, tales como la densidad, la caída de presión específica y el punto crítico. Esto cambiará los diseños de la tubería, tales como el diámetro, el grosor de la pared, la presión mínima de funcionamiento permitida y la distancia entre los reforzadores, lo que conduce a mayores costos de transporte (Mechlery, Brown, Fennell, & Mac Dowell, 2017).

Costos

En general, la información sobre costos de captura y almacenamiento de CO₂ se utiliza para dos propósitos generales: (1) evaluaciones de tecnología (para apoyar decisiones sobre selección de tecnología, inversiones de capital, estrategias de marketing, prioridades de investigación y desarrollo y actividades relacionadas), y (2) evaluaciones de políticas (para apoyar una variedad de actividades regulatorias, legislativas y de promoción) (Rubin, Davison, & Herzog, 2015).

Los costos para el transporte de CO₂ en gasoductos muestran estimaciones altas y bajas para los gasoductos en tierra y en mar. Cabe señalar que los costos de los gasoductos son muy variables, debido en gran parte al tipo de terreno que están atravesando y a la naturaleza del uso de la tierra existente (por ejemplo, las áreas urbanas frente a las áreas rurales). Por lo que los costos de las tuberías en terreno difícil son mucho mayores (Rubin, Davison, & Herzog, 2015).

Los costos de almacenamiento geológico son muy variables debido a la heterogeneidad de los depósitos de almacenamiento. Esto incluye el tipo de depósito (por ejemplo, en tierra vs. mar adentro, campo agotado vs formación salina profunda) y yacimiento geológico (por ejemplo, porosidad, permeabilidad, profundidad).

Este rango de estimación de costos se basa sobre el criterio de los autores del estudio en el análisis de un lugar, en parte debido a que los datos sobre un gran depósito con gran potencial de porcentaje de almacenamiento son bastantes escasos. Los candidatos pobres para los depósitos de almacenamiento podrían tener costos de almacenamiento muy por encima del valor alto del rango (Rubin, Davison, & Herzog, 2015).

Las tablas 2, 3, 4 y 5 muestran una estimación del rendimiento y costo de varias plantas en las que se realiza la captura del CO₂ por medio de las tecnologías de captura mencionadas anteriormente, cabe resaltar que los costos de captura de las plantas están dados en dólares estadounidenses, tomando un valor constante del año 2013. En las tablas se excluyen los costos de transporte y almacenamiento, ya que estos costos son muy variados debido al método de transporte del CO₂, a la distancias y al tipo de sitio donde se hará el almacenamiento geológico.

Medidas de rendimiento y costo para nuevas plantas CCGI con carbón bituminoso	Valores	
	Rango	
	Bajo	Alto
Medición de rendimiento de la planta		
Planta de referencia CCGI. Potencia de salida neta (MW)	600	748
Tasa de emisión sin captura (tCO ₂ / MWh)	0.723	0.850
Tasa de emisión con captura (tCO ₂ / MWh)	0.093	0.150
Porcentaje de reducción de CO ₂ por MWh (%)	82	88
El CO ₂ total capturado o almacenado (Mt / año)	3.1	3.3
Captura de energía requerida. (% Más entrada / MWh)	20	35
Medición del costo de la planta		
Capital total requerido sin captura (USD / kW)	2687	3900
Capital total requerido con captura (USD / kW)	3808	5148
Porcentaje de aumento en el costo de capital con captura (%)	30	47
costo nivelado de la electricidad (CNE) sin captura (USD / MWh)	82	99
CNE con captura (USD / MWh)	111	130
Incremento en el CNE, solamente con captura (USD / MWh))	24	36
Porcentaje de aumento en CNE con captura solamente (%)	26	41
Costo del CO ₂ capturado (USD / tCO ₂)	28	41
Costo de CO ₂ evitado, excluyendo Transp. y almac. (USD / tCO ₂)	37	58

Tabla 2 Resumen de estimaciones del rendimiento y del coste de la captura por precombustión en las centrales eléctricas de ciclo combinado de gasificación integrada (CCGI) que utilizan carbón bituminoso (todos los valores en dólares estadounidenses constantes de 2013)

Fuente: Elaboración propia, basada en (Rubin, Davison, & Herzog, 2015).

Medidas de rendimiento y costo para nuevas plantas CCGI con carbón bituminoso (relativo a una CCP sin captura de CO ₂)	Valores	
	Rango	
	Bajo	Alto
Medición de rendimiento de la planta		
Planta de referencia CCP, Potencia de salida neta (MW)	550	1030
Tasa de emisión sin captura (tCO ₂ / MWh)	0.75	0.861
Tasa de emisión con captura (tCO ₂ / MWh)	0.017	0.11
Porcentaje de reducción de CO ₂ por MWh (%)	90	98
El CO ₂ total capturado o almacenado (Mt / año)	3.1	5.5
Captura de energía requerida. (% Más entrada / MWh)	24	29
Medición del costo de la planta		
Capital total requerido sin captura (USD / kW)	2455	2681
Capital total requerido con captura (USD / kW)	4278	5372
Porcentaje de aumento en el costo de capital con captura (%)	67	106
costo nivelado de la electricidad (CNE) sin captura (USD / MWh)	56	68
CNE con captura (USD / MWh)	91	121
Incremento en el CNE, solamente con captura (USD / MWh))	35	56
Porcentaje de aumento en CNE con captura solamente (%)	60	84
Costo del CO ₂ capturado (USD / tCO ₂)	36	67
Costo de CO ₂ evitado, excluyendo Transp. Y almac. (USD / tCO ₂)	45	73

Tabla 3 Resumen de las estimaciones de rendimiento y costo actuales para la captura de oxidación en nuevas plantas SCPC / USC utilizando carbones sub-bituminosos o bituminosos (todos los valores en dólares estadounidenses constantes 2013)

Fuente: Elaboración propia, basada en (Rubin, Davison, & Herzog, 2015)

Medidas de rendimiento y costo para nuevas plantas CCP con carbón bituminoso	Valores	
	Rango	
	Bajo	Alto
Medición de rendimiento de la planta		
Planta de referencia CCP, Potencia de salida neta (MW)	550	1030
Tasa de emisión sin captura (tCO ₂ / MWh)	0.746	0.840
Tasa de emisión con captura (tCO ₂ / MWh)	0.092	0.120
Porcentaje de reducción de CO ₂ por MWh (%)	86	88
El CO ₂ total capturado o almacenado (Mt / año)	3.8	5.6
Captura de energía requerida. (% Más entrada / MWh)	21	44
Medición del costo de la planta		
Capital total requerido sin captura (USD / kW)	2313	2990
Capital total requerido con captura (USD / kW)	4091	5252
Porcentaje de aumento en el costo de capital con captura (%)	58	91
costo nivelado de la electricidad (CNE) sin captura (USD / MWh)	61	79
CNE con captura (USD / MWh)	94	130
Incremento en el CNE, solamente con captura (USD / MWh))	30	51
Porcentaje de aumento en CNE con captura solamente (%)	46	69
Costo del CO ₂ capturado (USD / tCO ₂)	36	53
Costo de CO ₂ evitado, excluyendo Transp. Y almac. (USD / tCO ₂)	45	70

Tabla 4 Resumen de las estimaciones de rendimiento y de los costos de la captura por postcombustión en las centrales de calderas de carbón pulverizado (CCP) usando carbón bituminoso (todos los valores en dólares estadounidenses constantes de 2013)

Fuente: Elaboración propia, basada en (Rubin, Davison, & Herzog, 2015)

Medidas de rendimiento y costo para nuevas plantas (GNCC)	Valores	
	Rango	
	Bajo	Alto
Medición de rendimiento de la planta		
Planta de referencia GNCC, Potencia de salida neta (MW)	512	910
Tasa de emisión sin captura (tCO ₂ / MWh)	0.348	0.370
Tasa de emisión con captura (tCO ₂ / MWh)	0.040	0.043
Porcentaje de reducción de CO ₂ por MWh (%)	88	89
El CO ₂ total capturado o almacenado (Mt / año)	1.1	2.3
Captura de energía requerida. (% Más entrada / MWh)	13	18
Medición del costo de la planta		
Capital total requerido sin captura (USD / kW)	808	1378
Capital total requerido con captura (USD / kW)	1422	2626
Porcentaje de aumento en el costo de capital con captura (%)	76	121
costo nivelado de la electricidad (CNE) sin captura (USD / MWh)	42	83
CNE con captura (USD / MWh)	63	115
Incremento en el CNE con captura (USD / MWh))	19	40
Porcentaje de aumento en CNE con captura (%)	27	61
Costo del CO ₂ capturado (USD / tCO ₂)	48	111
Costo de CO ₂ evitado, excluyendo Transp. Y almac. (USD / tCO ₂)	58	121

Tabla 5 Resumen del rendimiento y estimaciones de costos para la captura postcombustión en las nuevas plantas generadoras de gas natural de ciclo combinado (GNCC) (todos los valores en dólares estadounidenses constantes de 2013)

Fuente: Elaboración propia, basada en (Rubin, Davison, & Herzog, 2015)

Industrias que más CO₂ emiten

La industria siderúrgica

La industria siderúrgica es el mayor sector industrial emisor, que representa el 31% de las emisiones industriales. La mayoría de las emisiones de la industria siderúrgica proceden de las 180 grandes siderúrgicas integradas con emisiones medias de 3,5 millones de toneladas anuales, siendo otros sitios predominantemente más pequeños las "mini-fábricas" con un tamaño de emisiones de 170 kt de CO₂ por año. Por lo tanto, el mayor potencial para reducir las emisiones radica en estas acerías integradas, debido a las grandes fuentes puntuales que existen allí para la captura.

Un problema importante asociado con la implementación de captura de carbono es el número de fuentes puntuales diferentes. La mayor fuente puntual es el alto horno, del cual se puede capturar el 65% de las emisiones, siendo la planta de coque la que emite el 27% de las emisiones totales y la planta sinterizada el 6% de las emisiones totales. Debido a las emisiones mucho mayores de estas acerías integradas en comparación con las mini-fábricas, las acerías integradas son el foco principal de los costos y tecnologías de captura. Dado que hay tres fuentes primarias de CO₂, se necesitarán múltiples plantas de captura de carbono o algún método de combinación de corrientes de humos para cada gran fábrica con el fin de capturar una gran proporción de las emisiones totales (Leeson, Mac Dowell, Shah, Petit, & Fennell, 2017).

Refinerías de petróleo

La industria de refinación de petróleo es responsable del 10% de las emisiones industriales. Debido a la heterogeneidad en las plantas de refinación, sería necesario diseñar sistemas de CAC a medida y, como tales refinerías, a menudo se pasan por alto como candidatos para aplicar CAC. En general, las mayores fuentes de emisiones son los hornos y calderas, que representan el 65% del total de emisiones, convirtiéndolos en los objetivos más apropiados para cualquier tecnología de captura de carbono. Después de esto, la siguiente área de captura más prometedora es el craqueador catalítico o gasificador, que puede representar hasta un 16% de las emisiones. Sin embargo, en grandes instalaciones con numerosos equipos de proceso, se requerirá algún método para combinar flujos de humos del gran número de corrientes de proceso y múltiples fuentes de emisiones (Leeson, Mac Dowell, Shah, Petit, & Fennell, 2017).

Industria de la pulpa y el papel

La industria de la pulpa y el papel (IPP) contribuye con 252 millones de toneladas de CO₂ al año a las emisiones globales, equivalentes al 2% de las emisiones industriales totales. Debido a la naturaleza de sus materias primas, las fábricas de papel y celulosa se sitúan a menudo cerca de áreas densamente arboladas y, por lo tanto, no se encuentran cerca de clusters industriales pesados y redes de transporte potenciales. Dos vías de producción principales son de uso común; molinos mecánicos y molinos Kraft integrados, que constituyen la gran mayoría y tienen emisiones en el sitio mayores de 0.5 Mt de CO₂/año.

Las fábricas de Kraft representan el 73% de las emisiones europeas de la IPP y, por tanto, tienen el mayor potencial de captura de CO₂. La mayoría de las emisiones proceden de las calderas, pero también hay emisiones del horno de cal, tanto de la reacción de calcinación como del combustible utilizado para calentar el horno. Hay una escasez notable de datos para este sector industrial con sólo una sola fuente de coste encontrada en la literatura académica, y una de la literatura gris (Leeson, Mac Dowell, Shah, Petit, & Fennell, 2017)

Industria del cemento

La industria global del cemento tiene emisiones directas de 1306 millones de toneladas de CO₂ al año (aproximadamente 27% del total de emisiones industriales de carbono antropogénicas), lo que corresponde a entre 0.6 y 1.0 t de CO₂ emitidas por tonelada de CO₂ de cemento producido.

El consenso general en la literatura es que alrededor del 60% de las emisiones de cemento fueron emisiones de proceso de calcinación (y por lo tanto no se puede reducir sin disminuir la producción) y el 40% restante fue atribuible a la generación de calor para el horno, ambas fuentes son susceptibles de captura de CO₂ (Leeson, Mac Dowell, Shah, Petit, & Fennell, 2017), el mayor de los retos actuales es reducir los costos para los procesos de captura que puedan utilizarse.

Proyectos y retos de captura y almacenamiento de carbono (CAC)

Debido a la problemática de liberación de CO₂ a la atmósfera por industrias y plantas generadoras de electricidad que usan combustibles fósiles, alrededor del mundo se están implementando proyectos de CAC, aunque es su mayoría para el uso de la recuperación del petróleo, varios grandes proyectos que se están realizando en este campo es en las arenas petrolíferas de Alberta, Canadá (Verbeke, Osiyevskyy, & Backman, 2017) y también hay proyectos propuestos para termoeléctricas para después emplearlos en un sistema de inyección de CO₂ como método de recuperación mejorada en los yacimientos de México (Pérez , Serrano , & Marmolejo, 2016).

En Texas, EUA; está la planta de carbón Petra Nova de 240 MW de generación, es la más contaminante de EUA, pero a principios de enero del 2017 se implementó la captura que atrapa el 90% de las emisiones de CO₂ para la recuperación de campos petroleros, evitando así 1.4 millones de toneladas de este gas al año (Patel & Henriksen, 2017). A pesar de los avances en esta tecnología, la crisis financiera global provocó la cancelación de proyectos de gran envergadura, tales como *FutureGen* en los Estados Unidos y *Vattenfall* en Alemania, este último que se dejó de lado fue del proyecto 1.25 mil millones de dólares perteneciente al programa de comercialización de CAC en 2015 (Patel & Henriksen, 2017).

Conclusiones

En este trabajo se realizó una descripción sintetizada de los métodos para la captura (precombustión, oxicombustión y postcombustión), almacenamiento y transporte de dióxido de carbono (CO₂), con aplicaciones en centrales eléctricas y la posibilidad de su implementación en las industrias del petróleo, de la pulpa y papel, siderúrgica y cementera; las cuales se ha visto en los últimos años que son las que emiten mayores cantidades de CO₂ a la atmósfera.

Con los datos obtenidos de la información recopilada sobre los métodos de captura de CO₂ de este trabajo, se observó que no se puede hacer una comparación oficial sobre cuál de los tres métodos descritos anteriormente tiene mejor desempeño para cumplir sus funciones debido a que cada método se aplica a situaciones específicas de cada industria.

Referencias

- Almazrouei, M., Asad, O., Zahra, M. A., Mezher, T., & Tsai, I. T. (2017). CO₂-Enhanced Oil Recovery System Optimization for Contract-based versus Integrated Operations. *Energy Procedia*, 105, 4357-4362.
- Anderson, J., & Chiavari, J. (2009). Understanding and improving NGO position on CCS. *Energy Procedia*, 1, 4811-4817.
- Bachu, S., Melnik, A., & Bistran, R. (2014). Approach to evaluating the CO₂ storage capacity in Devonian deep saline aquifers for emissions from oil sands operations in the Athabasca area, Canada. *Energy Procedia*, 63, 5093-5102.
- British Petroleum. (2017). BP Energy Outlook 2017 edition. *BP Statiscal review of world energy 2017*, 10-35.

Celia, M. A. (2017). Geological storage of captured carbon dioxide as a large-scale carbon mitigation option. *Water Resources Research*, 53, 3527-3533.

Daví, D., Sannin, M., & Trujillo, E. (2016). CO₂ content of electricity losses. *Energy Policy*, 104, 439-445. de Queiroz Fernandes Araújo, O., & de Medeiros, J. L. (2017). Carbon capture and storage technologies: present scenario and drivers of innovation. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 17, 22-34.

Figuerola, J. D., Fout, T., Plasynski, S., McIlvried, H., & Srivastava, R. D. (2008). Advances in CO₂ capture technology—The U.S. Department of energy's Carbon Sequestration Program. *international journal of greenhouse gas control*, 2, 20.

Huang, Y., Resvani, S., McIlveen-Wright, D., Minchener, A., & Hewitt, N. (2008). Techno-economic study of CO₂ capture and storage in coal fired oxygen fed entrained flow IGCC power plants. 89, 916-925.

Jansen, D., Gazzani, M., Manzolini, G., Dijk, E. V., & Carbo, M. (2015). Pre-combustion CO₂ capture. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 40, 167-187.

Jones, T. (2010). CO₂ CAPTURE Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions. En O. Appert, *CO₂ CAPTURE Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions* (págs. 111-129). Paris, france: Editions TECHNIP.

Kwak, D., & Kim, J. (2017). Techno-economic evaluation of CO₂ enhanced oil recovery (EOR) with the optimization of CO₂ supply. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 58, 169-184.

Le Van, s., & Chon, B. H. (2017). Evaluating the critical performances of a CO₂-Enhanced oil recovery process using. *Journal of Petroleum Science and*, 1-10.

Leeson, D., Mac Dowell, N., Shah, N., Petit, C., & Fennell, P. S. (2017). A Techno-economic analysis and systematic review of carbon capture and storage (CCS) applied to the iron and steel, cement, oil refining and pulp and paper industries, as well as other high purity sources. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 61, 71-84.

Mechlery, E., Brown, S., Fennell, P., & Mac Dowell, N. (2017). CO₂ capture and storage (CCS) cost reduction via infrastructure right-sizing. *Chemical Engineering Research and Design*, 119, 130-139.

Patel, P., & Henriksen, P. (2017). Can carbon capture and storage deliver on its promise? *MRS BULLETIN*, 42, 188-1889.

Pérez, J., Serrano, G., & Marmolejo, D. (2016). ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES PARA LA CAPTURA, ALMACÉN Y USO DEL CO₂ (CCS O CCUS) PARA UNA TERMOELÉCTRICA NACIONAL. *Jóvenes en la Ciencia. Revista de divulgación científica*, 1-5.

Rubin, E. S., Davison, J. E., & Herzog, H. J. (2015). The cost of CO₂ capture and storage. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 40, 378-400.

Sreedhar, I., Nahar, T., Venugopal, A., & Srinivas, B. (2017). Carbon capture by absorption – Path covered and ahead. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1080-1107.

Tan, Y., Nookuea, W., Li, H., Thorin, E., & Yan, J. (2016). Property impacts on Carbon Capture and Storage (CCS) processes: A review. *Energy Conversion and Management*, 118, 204-222.

Tapia, J. F., Lee, J. Y., Ooi, R. E., Foo, D. C., & Tan, R. R. (2016). Optimal CO₂ allocation and scheduling in enhanced oil recovery (EOR) operations. *Applied Energy*, 184, 337-345.

Vega, F., Navarrete, B., Bernabé, A. F., & Rodríguez, M. (2014). Development of partial oxy-combustion technology: Design, commissioning and experimental program in a pilot plant. *Energy Procedia*, 63, 6344-634.

Vega, F., Sanna, A., Maroto-Valer, M., Navarrete, B., & Abad-Correa, D. (2016). Study of the MEA degradation in a CO₂ capture process based on partial oxy-combustion approach. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 54, 160-167.

Verbeke, A., Osiyevskyy, O., & Backman, C. A. (2017). Strategic responses to imposed innovation projects: The case of carbon capture and storage in the Alberta oil sands. *Long Range Planning*, 1-15.

Yu, M., Liu, L., Yang, S., Yu, Z., Li, S., Yang, Y., & Shi, X. (2016). Experimental identification of CO₂-oil-brine-rock interactions: Implications for CO₂ sequestration after termination of a CO₂-EOR project. *Applied Geochemistry*, 75, 137-151.

Ahorro de Energía en la Implementación de Sistemas de Refrigeración con Múltiples Temperaturas de Evaporación

ROMÁN-AGUILAR, Raúl†*, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, PÉREZ-GARCÍA, Alfonso, MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ, Edgar Azael

Escuela Superior de Apan de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Recibido Agosto 12, 2017; Aceptado Noviembre 04, 2017

Resumen

La demanda de energía eléctrica de los sistemas frigoríficos representa uno de los mayores costos del comercio y la industria, sobre todo cuando se requiere almacenar productos cuyas temperaturas son diferentes, lo que implica la necesidad de diseñar equipos que satisfagan la producción de frío con el menor consumo de energético. Atendiendo estas necesidades, el estudio aquí expuesto presenta un análisis de ahorro de energía en aplicaciones que requieren mantener diferentes temperaturas de evaporación. Las condiciones elegidas para este estudio fueron 1.5 toneladas de refrigeración de carga térmica, 28 °C como temperatura de condensación y temperaturas de evaporación simultáneas de -10°C, -18°C y -24°C, operando el ciclo con refrigerante R290. El análisis se establece sobre diferentes escenarios de configuración del ciclo termodinámico de refrigeración para generar las múltiples temperaturas de evaporación de forma simultánea, teniendo como resultado un mapa de comportamiento de consumo energético que permite visualizar el tipo de sistema que consume la menor cantidad de energía para elegir la mejor opción en esta aplicación.

Ahorro de energía, Refrigeración, Múltiple Evaporación

Abstract

The electrical energy demand from refrigeration systems represents one of the highest costs of commerce and industry, especially when it is necessary to store products whose temperatures are different, which implies the need to design equipment that satisfies the production of cold with the smallest energy consumption. Taking into account these needs, the study presented here presents an analysis of energy savings in applications that require different evaporation temperatures. The conditions chosen for this study were 1.5 refrigeration tons of thermal load, 28 °C as condensing temperature and simultaneous evaporation temperatures of -10 °C, -18 °C and -24 °C, operating the cycle with R290 refrigerant. The analysis is established on different scenarios of configuration of the thermodynamic refrigeration cycle to generate multiple evaporation temperatures simultaneously, resulting in a map of energy consumption behavior that allows visualizing the type of system that consumes the least amount of energy to choose the best energy saving solution in this application.

Energy Saving, Refrigeration, Multiple Evaporation

Citación: ROMÁN-AGUILAR, Raúl, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, PÉREZ-GARCÍA, Alfonso, MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ, Edgar Azael. Ahorro de Energía en la Implementación de Sistemas de Refrigeración con Múltiples Temperaturas de Evaporación. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017, 4-12:35-42.

* Correspondencia del Autor (Correo Electrónico: roman94340@hotmail.com)

† Investigador contribuyente como primer auto

Introducción

Uno de los principales impulsores del desarrollo económico y social de un país es sin duda el tema energético, en el cual los rubros de eficiencia energética y ahorro de energía juegan un papel preponderante. De acuerdo con los indicadores de eficiencia energética en México, tanto en el sector residencial como el comercial, los equipos de refrigeración y aire acondicionado representan los mayores consumos energéticos (SENER y AIE, 2011) (INECC y PNUD, 2012), por lo que una contribución en el ahorro de energía en estos equipos será de gran relevancia. Por otro lado, la necesidad de almacenar productos con diferentes características biológicas conlleva a utilizar equipos independientes en la mayoría de los casos, a fin de evitar cualquier contaminación o descomposición entre los productos almacenados, de ahí la importancia de implementar sistemas de refrigeración con dos o tres cámaras de evaporación a distintas temperaturas en el mismo equipo.

Actualmente existen algunos equipos que cuentan con dos o más evaporadores pero trabajando a la misma temperatura para algunas aplicaciones de aire acondicionado, solo implementando controles electrónicos (Huaxia Yan, 2016), no obstante uno de los retos que enfrentan estos sistemas es su rendimiento energético, motivo por el cual este trabajo analiza en uso de sistemas con dos y tres evaporadores a distintas temperaturas, realizando un análisis del gasto energético con respecto del trabajo de compresión y la configuración de temperaturas, a fin de elegir un sistema apropiado.

Metodología

En el presente trabajo se realiza un análisis energético sobre sistemas que cuentan con múltiples evaporadores a diferentes temperaturas, se realiza un análisis termodinámico de primera ley, evaluando todas las entradas y salidas de energía para mantener 1.5 toneladas de refrigeración de carga térmica, una temperatura de condensación de 28 °C y como temperaturas de evaporación en pares o en tríos de -10°C, -18°C y -24°C, eligiendo el refrigerante R290 por sus características físicas y grado de contaminación en comparación con otros refrigerantes como el R134 o R404 (AGUILAR MORENO, 2015).

El análisis se establece sobre diferentes escenarios de configuración del ciclo termodinámico de refrigeración para generar las múltiples temperaturas de evaporación de forma simultánea, generando un mapa de comportamiento de consumo energético.

Desarrollo

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor simple, como se aprecia en la figura 1a, se compone de cuatro elementos principales: un evaporador, un condensador, una válvula de expansión y un compresor, generando cuatro estados y procesos termodinámicos, figura 1b. Proceso 1-2 compresión isentrópica, 2-3 isobárico con rechazo de calor, 3-4 isoentálpico y proceso 4-1 isoentálpico con absorción de calor, donde el flujo másico (\dot{m}) es obtenido por la ecuación (1) y el calor disipado en el condensador por la ecuación (2) donde h_n corresponde a la entalpía respectiva de cada proceso (Çengel, 2012).

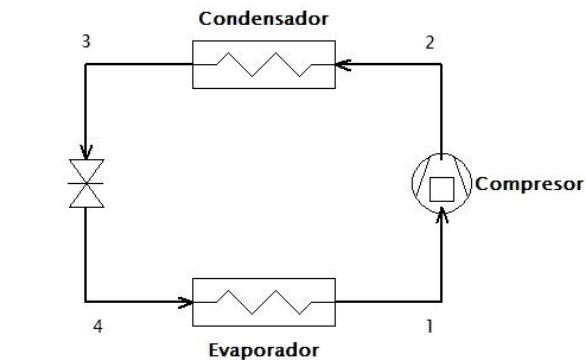
$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{evaporacion}}}{(h_1 - h_4)} \quad (1)$$

$$Q_{\text{condensacion}} = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad (2)$$

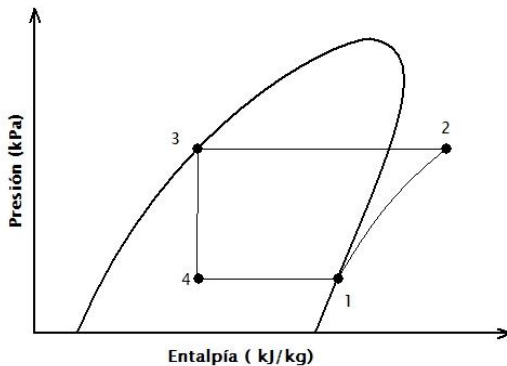
El trabajo de compresión se obtiene con la ecuación (3) y el coeficiente de operación del sistema de refrigeración COP_R con la ecuación (4).

$$W_{compresion} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3)$$

$$COP_R = \frac{Q_{evaporacion}}{W_{compresion}} \quad (4)$$



a)



b)

Figura 1 Ciclo de refrigeración simple a) componentes b) Diagrama termodinámico p-h. (Sistema 1), elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

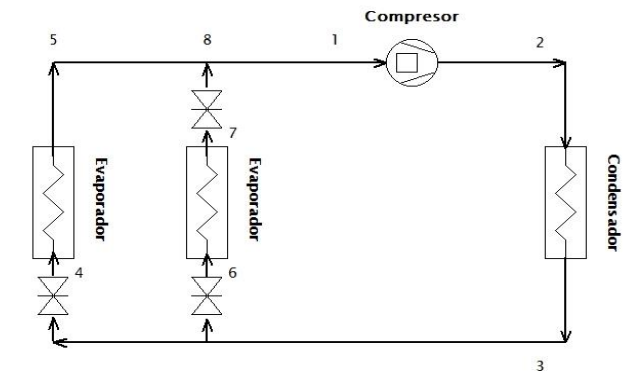
Un parámetro que ayuda a comparar la eficiencia del sistema de refrigeración con el máximo ideal es el COP de Carnot, el cual es obtenido a partir de la ecuación (5), donde T_H corresponde a la temperatura más alta del sistema y T_L a la más baja.

$$COP_{Carnot} = \frac{1}{\left(\frac{T_H}{T_L} - 1\right)} \quad (5)$$

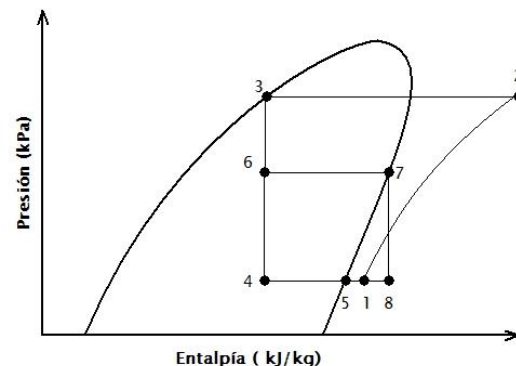
Cualquier variante en la configuración de un sistema de compresión de vapor comprende elementos adicionales o repetidos, una variante del sistema se observa en la figura 2a, el cual comprende un compresor, un condensador, dos evaporadores y tres válvulas de expansión. La figura 2b muestra los estados y procesos termodinámicos de este sistema de refrigeración, donde el balance de energía para obtener la entalpía del estado 1, se muestra en la ecuación (6).

$$h_1 = \frac{h_8 \dot{m}_A + h_5 \dot{m}_B}{\dot{m}_T} \quad (6)$$

Donde \dot{m}_A y \dot{m}_B corresponde al flujo másico que pasa por cada evaporador y \dot{m}_T a la suma de estos dos.



a)



b)

Figura 2 Ciclo de refrigeración con dos evaporadores. a) componentes b) Diagrama termodinámico p-h. (Sistema 2)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3a se muestra otra configuración del sistema de refrigeración con dos evaporadores, dos compresores y un enfriador intermedio, mientras que en la figura 3b se muestran los estados y procesos termodinámicos, donde el balance de materia y energía para obtener el flujo másico que pasa en el condensador m_c , se realizó en el enfriador intermedio, resultando la ecuación (7).

$$\dot{m}_c = \frac{(h_6 - h_3)\dot{m}_A + (h_7 - h_2)\dot{m}_B}{(h_6 - h_3)} \quad (7)$$

Donde m_A y m_B corresponde al flujo másico que pasa por cada evaporador.

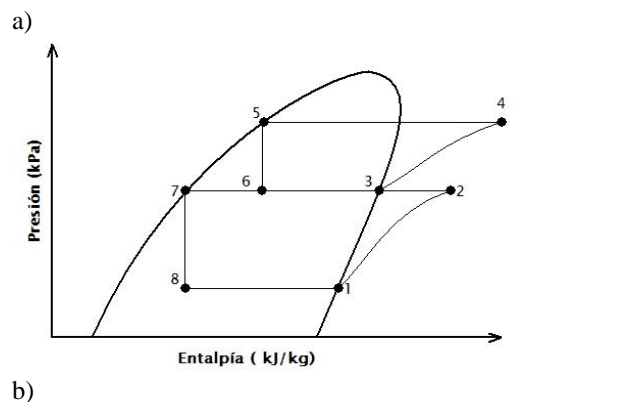
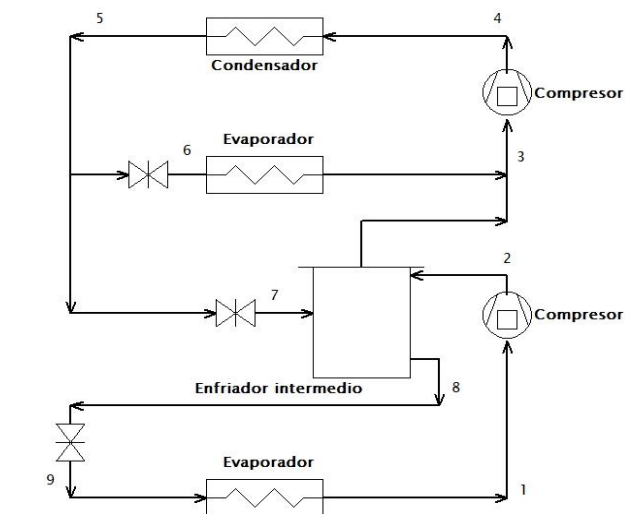


Figura 3 Ciclo de refrigeración con dos evaporadores, un enfriador intermedio y dos compresores a) componentes b) Diagrama termodinámico p-h. (Sistema 3)

Fuente: Elaboración propia

La figura 4a muestra una configuración con dos evaporadores, dos intercambiadores de calor y dos compresores, donde un balance de energía en cada intercambiador de calor, resulta en las ecuaciones (8) y (9).

$$h_{11} = h_5 + h_{10} - h_8 \quad (8)$$

$$h_2 = h_5 + h_1 - h_6 \quad (9)$$

Para obtener la entalpía 3, en el estado 3 se realizó otro balance de energía ya que existen 3 flujos másicos distintos.

$$h_3 = \frac{h_2\dot{m}_A + h_{12}\dot{m}_B}{\dot{m}_c} \quad (10)$$

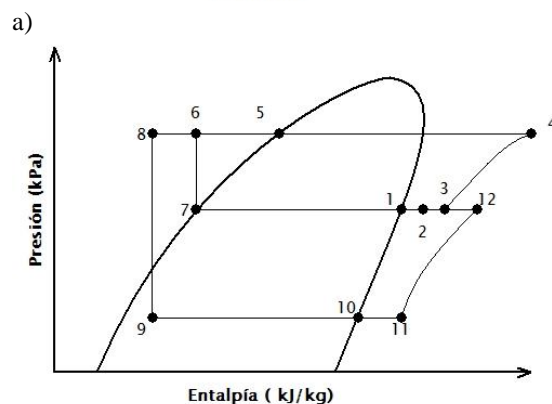
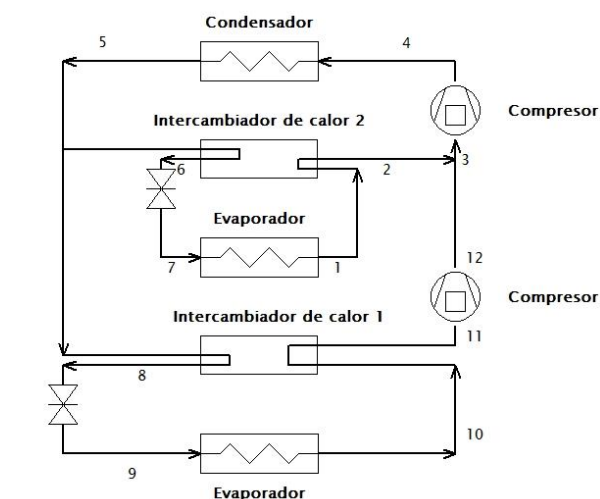


Figura 4 Ciclo de refrigeración con dos evaporadores, dos intercambiadores de calor y dos compresores a) componentes b) Diagrama termodinámico p-h. (Sistema 4)

Fuente: Elaboración propia

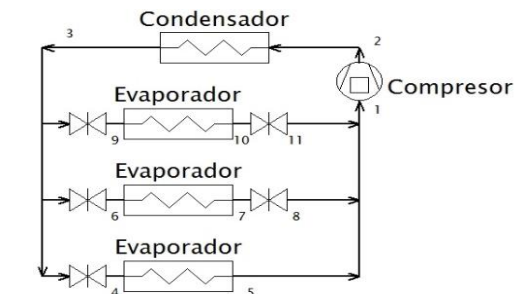
Las configuraciones del sistema, operando con tres evaporadores, se muestran en la figuras 5, 6 y 7 (Sarkar, 2017), con similares balances de materia y energía para la determinación de cada estado, destacando la obtención de h_1 para el sistema (5)

$$h_1 = \frac{h_{11}m_1 + h_8m_2 + h_5m_3}{m_5} \quad (11)$$

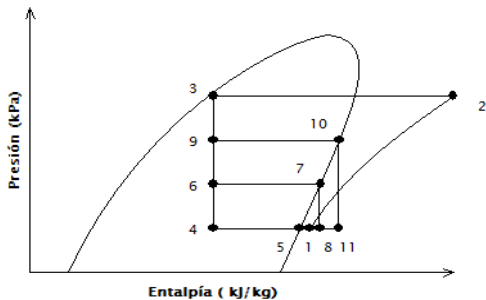
h_1 y m_2 para el sistema (6) con la ecuación (12) y (13)

$$h_1 = \frac{h_{11}m_1 + h_8m_2 + h_5m_3}{m_5} \quad (12)$$

$$m_2 = \frac{m_5(h_7 - h_2)}{(h_6 - h_3)} \quad (13)$$



a)

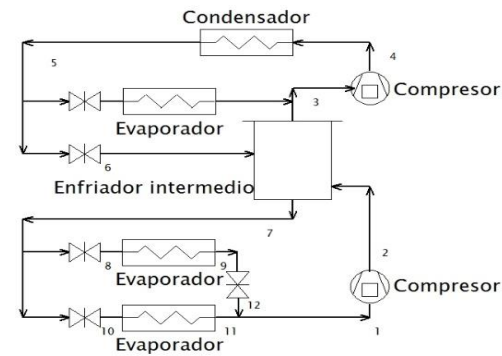


b)

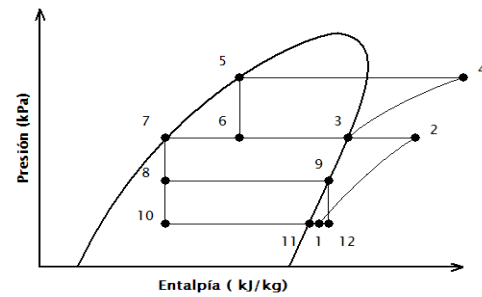
Figura 5 Ciclo de refrigeración con tres evaporadores, un compresor y un condensador a) componentes b) Diagrama termodinámico p-h. (Sistema 5)

Fuente: Sarkar, 2017

El sistema 7, es similar al sistema 6, con la diferencia de la distribución de flujos en los estados 8 y 10, siendo el primero en forma paralela y el otro en serie, destacando la obtención de h_9 con la ecuación (14).



a)

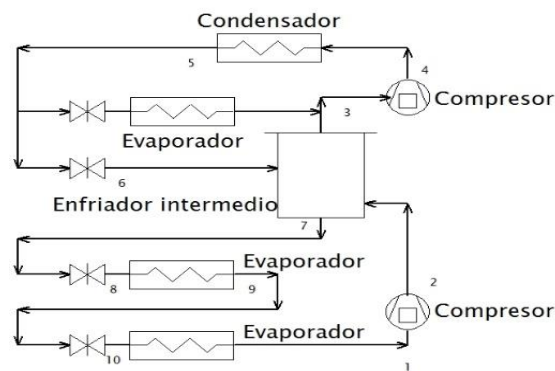


b)

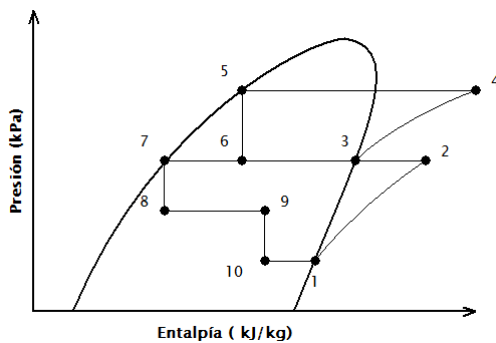
Figura 6 Ciclo de refrigeración con tres evaporadores, un enfriador intermedio y dos compresores a) componentes b) Diagrama termodinámico p-h. (Sistema 6)

Fuente: Sarkar, 2017

$$h_9 = h_{10} = \frac{Q_{evap2}h_1 + Q_{evap1}h_8}{Q_{evap1} + Q_{evap2}} \quad (14)$$



a)



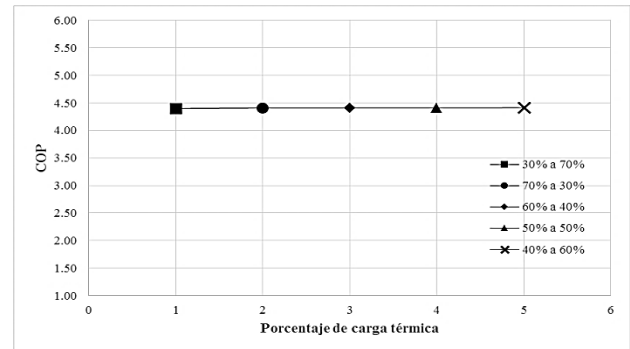
b)

Figura 7 Ciclo de refrigeración con tres evaporadores, un enfriador intermedio y dos compresores a) componentes b) Diagrama termodinámico p-h. (Sistema 7)

Fuente: Sarkar, 2017

Resultados y análisis

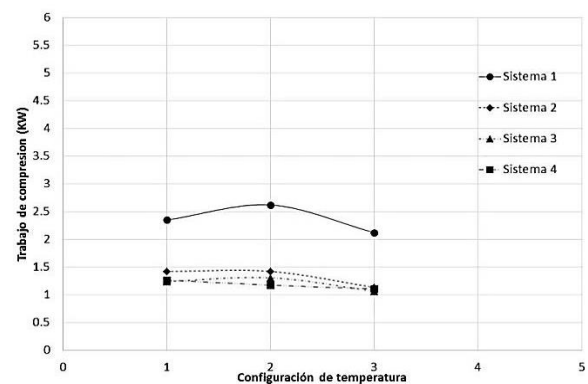
Los sistemas que trabajan con dos evaporadores se evaluaron a 5 proporciones de carga térmica, gráfica 1, a fin de mostrar que estas no intervienen en la eficiencia de un sistema de refrigeración, eligiendo la proporción 40-60 para los siguientes cálculos en los sistemas de dos evaporadores.



Gráfica 1 Distribución de cargas en un sistema de refrigeración con dos evaporadores

Fuente: Elaboración propia

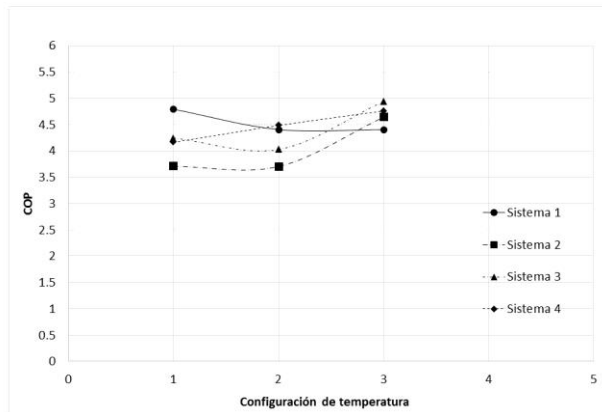
De las temperaturas de evaporación propuestas -10°C , -18°C y -24°C se formaron 3 pares de la siguiente forma, primer par -10°C y -24°C , segundo par -18°C y -24°C y tercer par -10°C y -18°C , a fin de evaluar cada uno de los sistemas descritos anteriormente y cuyo resultado se muestra en la gráfica 2, siendo cada uno de estos pares los que se representan en el eje de las abscisas, observándose que el trabajo de compresión más elevado se realiza cuando se trabaja con sistemas individuales, sistema 1, que corresponde a un sistema simple de refrigeración por compresión de vapor, mientras que el menor trabajo se realiza con el sistema 3, que corresponde a un sistema con dos evaporadores, un enfriador intermedio y dos compresores.



Gráfica 2 Comparación del trabajo de compresión contra la configuración de temperatura de cada sistema evaluado.

Fuente: Elaboración propia

Con relación al COP de cada sistema, se puede observar en la gráfica 3 que, para sistemas individuales, puede en un momento alcanzar el mayor valor y no guarda relación con la gráfica 2 porque en este caso solo es un dato de comparación de un sistema individual. No obstante, en el análisis de los demás sistemas, el mayor valor del COP se alcanza con el sistema 3 y la tercera combinación de temperaturas, teniendo una estrecha relación con los datos de la gráfica 2, ya que, para la misma carga térmica, el único factor que determina el rendimiento del sistema es el trabajo de compresión, no obstante, se puede observar que una configuración en los componentes del sistema y en las temperaturas son determinantes para obtener un sistema más eficiente.

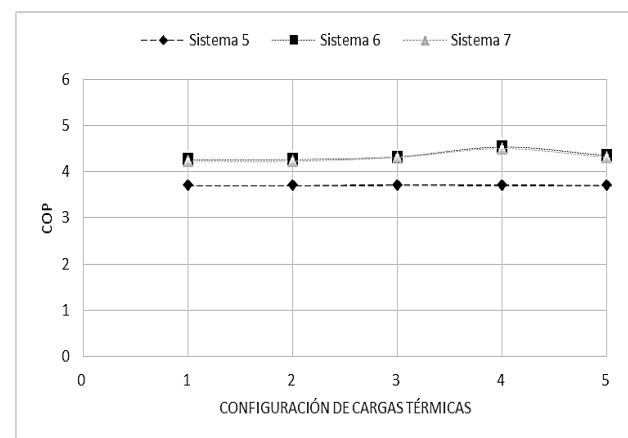


Gráfica 3 Comparación del COP contra la configuración de temperatura de cada sistema con dos evaporadores evaluado

Fuente: Elaboración propia

Para los sistemas que cuentan con tres evaporadores se evaluó cada uno con distintas distribuciones de carga, otorgándole a cada evaporador una carga diferente, evitando que la suma de las tres cargas para cada sistema no supere los 5.2755 kW y trabajando con las tres temperaturas de evaporación propuestas.

Con estas distribuciones se realizaron los cálculos para obtener el trabajo de compresión y el COP, obteniendo los resultados de la gráfica 4, donde nuevamente se muestra que la distribución de cargas no es un factor a considerar en el rendimiento del sistema, no así la configuración de los componentes del sistema, donde se observa que los sistemas 6 y 7 presentan COP similares y superiores al sistema 5.



Gráfica 4 Comparación del COP contra la configuración de cargas térmicas de cada sistema con tres evaporadores evaluado

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Para los sistemas evaluados, con dos evaporadores y las condiciones de carga térmica y temperatura dadas, el sistema 3 es el más eficiente aunque trabaje con dos compresores. Esto indica que el trabajo de compresión se distribuye de modo que es menor que el sistemas con un solo compresor, ya que cuando se tiene un solo compresor el esfuerzo de mayor trabajo aumenta para remover la misma cantidad de carga térmica.

Otro punto importante es que tenga un enfriador intermedio porque la transferencia de energía se realiza al mezclarse las corrientes, no así en el sistema 4 que trabaja también con dos compresores pero con intercambiadores de calor donde no hay mezcla de corrientes.

En los sistemas de tres evaporadores ocurre algo similar que con los de dos evaporadores, el trabajar con dos compresores distribuye la carga de trabajo y la incorporación de un enfriador intermedio contribuye al intercambio de energía y generar una configuración diferente, mismo que permite un ahorro de energía al sistema.

Referencias

AGUILAR MORENO, A. A. (2015). Determinación de la caída de presión y el diámetro de tubería en un sistema de refrigeración por compresión de vapor. *Revista de Prototipos Tecnológicos*, 1(1), 39-47.

Çengel, Y. A. (2012). *Termodinámica*. 2012: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.

Huaxia Yan, S. D.-y. (2016). A novel capacity controller for a three-evaporator air conditioning (TEAC) system for improved indoor humidity control. *Applied Thermal Engineering*, 98(1), 1251–1262.

INECC y PNUD. (2012). *Estudio del impacto de medidas y políticas de eficiencia energética en los sectores de consumo, sobre el balance de energía y sobre los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero en el corto y mediano plazo*. Recuperado el 05 de 2017, de www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_mitgef13.pdf

Sarkar, J. (2017). Performance analyses of novel two-phase ejector enhanced multi-evaporator refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering*, 110, 1635–1642.

SENER y AIE. (2011). *Indicadores de Eficiencia Energetica en Mexico: 5 sectores, 5 retos*. Recuperado el 05 de 2017, de Secretaria de Energia, Gobierno Federal Mexicano.: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85305/Bibliograf_a_6.pdf

Laboratorios Virtuales: El uso de simuladores dentro de las aulas como alternativa sustentable

MIJARES-ALMANZA, Sergio*†, AYALA-SANCHEZ, Marcela, SAN MIGUEL-IZA, Sandra

Recibido Julio 12, 2017; Aceptado Noviembre 04, 2017

Resumen

Laboratorios Virtuales: el uso de simuladores dentro de las aulas como alternativa sustentable. La falta de aplicación práctica de los conocimientos adquiridos teóricamente amenaza con brindar una educación incompleta dentro de las universidades de todo el mundo; por otro lado, el uso de procesos de cualquier índole, amenaza al medio ambiente por el uso de reactivos, materia prima como papel, desechos de las mismas prácticas y cualquier insumo que provenga de un uso de recursos naturales o que efectúe un impacto negativo al medio ambiente. De este modo "El uso de laboratorios virtuales representa una mejoría comparado al aprendizaje solo teórico" (Rubio y col., 2009). El objetivo de esta investigación es dar a conocer las ventajas del uso de prácticas virtuales y como ello repercute en diferentes ámbitos dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje. Todo ello será verificado por medio de prácticas realizadas primero en una computadora para posteriormente llevarlas al laboratorio y reproducirlas. También se encuestará a maestros y alumnos antes y después de la enseñanza y uso de los simuladores virtuales. Con todo esto, se habla de beneficios como: menor uso de los insumos usados en el laboratorio, así como menos riesgo de errores en la realización de prácticas físicas, lo cual repercute en mayor seguridad del alumnado y, por lo tanto, menos accidentes.

Sustentabilidad, laboratorios, virtuales, practicas, ciencia

Abstract

Virtual Laboratories: the use of simulators within the classroom as a sustainable alternative. The lack of practical application of the knowledge acquired theoretically threatens to provide an incomplete education within universities around the world; On the other hand, the use of processes of any kind, threatens the environment through the use of reagents, raw materials such as paper, waste from the same practices and any input that comes from using Natural resources or that has a negative impact on the environment. This way "The use of virtual laboratories represent an improvement compared to the only theoretical learning" (Rubio et al, 2009). The main objective of this research is let you know the advantages of using virtual practices and how it affects different areas within the teaching-learning process. All this will be verified by practices carried out first in a computer to be taken later to the laboratory and reproduced. Teachers and students will also be surveyed before and after teaching and using virtual simulators. With all this, we talk about benefits such as: lower use of inputs used in the laboratory, as well as less risk of errors in performing physical practices, which has a greater impact on student safety and therefore, less accidents.

Sustainability, laboratories, virtual, practices, science

Citación: MIJARES-ALMANZA, Sergio, AYALA-SANCHEZ, Marcela, SAN MIGUEL-IZA, Sandra. Laboratorios Virtuales: el uso de simuladores dentro de las aulas como alternativa sustentable. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017, 4-12:43-49.

* Correspondencia del Autor (Correosergio.mijares@utrcc.edu.mx)

† Investigador contribuyente como primer auto

Introducción

La falta de aplicación práctica de los conocimientos adquiridos teóricamente amenaza con brindar una educación incompleta dentro de las universidades de todo el mundo; por otro lado, el uso de procesos de cualquier índole (químicos, físicos, electrónicos, etc.) amenaza al medio ambiente por el uso de reactivos, materia prima como papel, desechos de las mismas prácticas y cualquier insumo que provenga de un uso de recursos naturales o que efectúe un impacto negativo al medio ambiente; ante esto, los investigadores y la comunidad científica ha desarrollado una forma de practicar tratando de minimizar en la medida de lo posible los impactos negativos que generamos en el proceso de enseñanza aprendizaje: el uso de simuladores virtuales.

Es por eso que debe promoverse el uso de software de aplicación llamados simuladores para complementar el proceso de enseñanza aprendizaje para materias como física y química, dentro de las universidades. De esta manera, a cualquier nivel, pero enfocando y limitando esta investigación al Nivel Superior, la preparación dentro de la escuela debe ser suficiente y enfocada al aprendizaje y desarrollo de las capacidades, aptitudes y actitudes necesarias para obtener un empleo en el que no solo trata de quien tiene más conocimiento acerca del área, sino que es menester desarrollar la habilidad para lograr dominar las actividades requeridas en un proceso específico sin amenazar la sostenibilidad del medio ambiente al llevar a cabo dichas actividades.

Muchas veces, los costos de los equipos de practica necesarios llegan a ser un impedimento para que una escuela adquiera lo necesario para el correcto desarrollo de las clases, obstaculizando así la carrera del alumno por obtener más y más conocimientos.

Además del hecho de consumir recursos naturales y generar residuos que en algunos casos están catalogados como residuos peligrosos; es así como nos topamos con una alternativa viable y sustentable: Los Simuladores.

Por ello, el siguiente escrito está destinado a evaluar las ventajas ambientales de utilizar un simulador previamente como base para la realización practica de un experimento, dicha evaluación será llevada a cabo por medio de la experiencia de los alumnos al utilizar el programa y realizar la misma practica físicamente, comparada con la realización de prácticas previas sin el uso de simuladores.

Descripción del método

Los simuladores constituyen una excelente opción para suplir las carencias de equipamiento y a la vez, disminuir el consumo de recursos y generación de residuos, ya que, de manera virtual, nos demuestran la manera en que los conocimientos teóricos son aplicados en el campo, en la vida real.

Se compararon las calificaciones del examen correspondiente al tema en un grupo experimental, en donde se usó el software como apoyo, y un grupo de control, en donde se siguieron las mismas estrategias que en el grupo experimental, pero sin usar el software. Se aplicó una prueba estadística que arrojó una diferencia significativa entre las medias de las calificaciones de ambos grupos y un cuestionario que recogió las opiniones de los estudiantes del grupo experimental (Rubio y col., 2009). Lo cual sustenta el planteamiento que aquí se propone.

En el área de química, específicamente para el desarrollo de la currícula de la carrera de Química Área Tecnología Ambiental en la Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila, se ha llevado a cabo el desarrollo de algunas clases enfocadas al uso de software simuladores que contribuyan al entendimiento de los temas que deben desarrollarse dentro del salón de clases así como a evaluar la disminución del uso de reactivos y por lo tanto de la disminución de desechos provenientes de las reacciones químicas; particularmente enfocados en Crocodile Chemistry® el cual es un laboratorio virtual de Química.

“**Crocodile Chemistry** es un laboratorio de química virtual en el que se pueden simular experimentos de forma fácil y segura, representar resultados en gráficos y observar reacciones en tridimensionales. Dicho programa nos permite simular una variedad de reacciones químicas que apoyan los contenidos de los programas educativos mostrándonos de una forma visualmente atractiva y con las características que dichas reacciones tendrían en la realidad” Fuente: pagina web <https://educarymotivar.blogspot.mx/2012/03/crocodile-chemistry-laboratorio-de.html>. (2012)



Figura 1 Pantalla de inicio del programa Crocodile Chemistry

Fuente: Laboratorio de computo UTRCC

Esta es una herramienta que nos permite explorar la química de una manera visual y practica que llamará la atención de los estudiantes de una forma que la explicación teórica no logra, ya que, según investigaciones internas realizadas en la UTRCC en septiembre de 2016 aproximadamente un 80% de los estudiantes hoy en día, tienen una forma de aprendizaje mayormente visual por lo tanto el uso de imágenes ayudan a la mejor comprensión de los conceptos y por lo tanto esto debe explotarse de forma que los conocimientos sean más atractivos y sean asimilados de mejor manera por los alumnos.

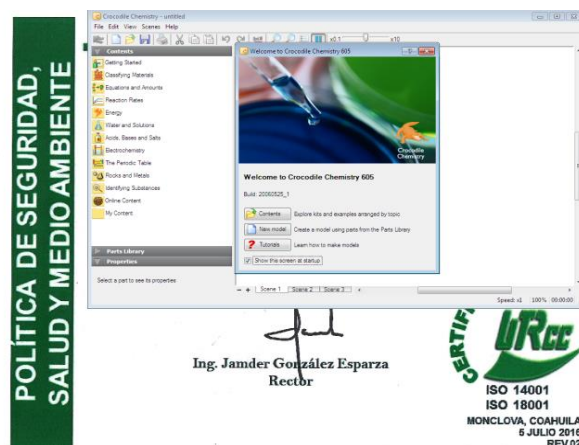


Figura 2 Captura de Pantalla del programa Crocodile Chemistry

Fuente: Laboratorio de computo UTRCC

Desarrollo de la investigación

Así como estos laboratorios virtuales, es necesario incluir otros programas de simulación que ayuden a complementar la currícula, tal es el caso de laboratorios de tratamiento de aguas, generación de contaminantes expulsados a la atmosfera por combustión (que es una de las principales fuentes de generación de contaminación), física y matemáticas entre otras.

Para esta investigación, se llevó a cabo una práctica realizada en el laboratorio virtual y esa misma práctica fue realizada en el laboratorio de ciencias básicas de la escuela; en el simulador se realizó la práctica llamada “Titration” (Figura 3) y en el laboratorio de ciencias básicas, la número 5 del cuadernillo de prácticas de la materia de Química Analítica tercer cuatrimestre: “Titulación Acido-Base” (Figura 4).

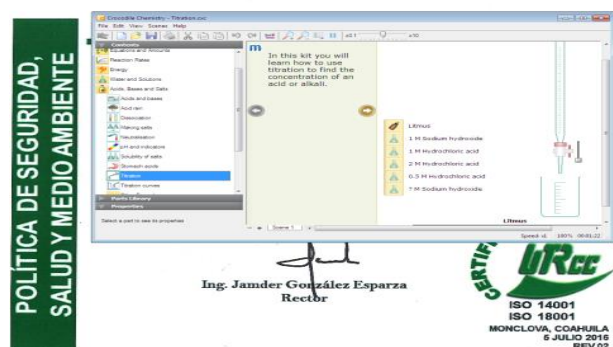


Figura 3 Práctica: Titulación; captura de pantalla Crocodile Chemistry ©

Fuente: Laboratorio de computo UTRCC

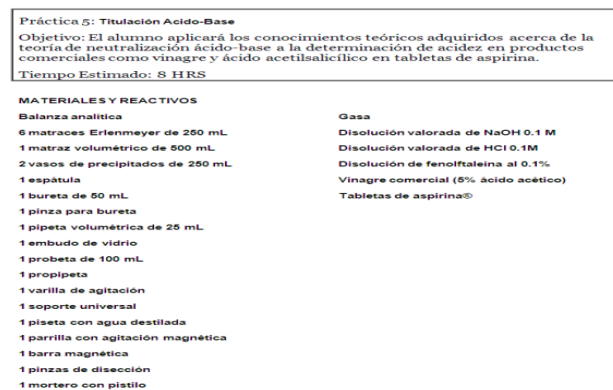


Figura 4 Práctica 5: Titulación Acido-Base;

Fuente: cuadernillo de prácticas de la materia de Química Analítica tercer cuatrimestre, UTRCC.

En dichas prácticas se determinó la cantidad de ácido que contienen las muestras, mediante la titulación con una base fuerte, realizando los cálculos correspondientes.

Para el estudio lo importante es la comparativa de realizar un experimento en laboratorio, con un apoyo previo en el simulador (Figura 5) y realizarlo físicamente sin dicho apoyo.

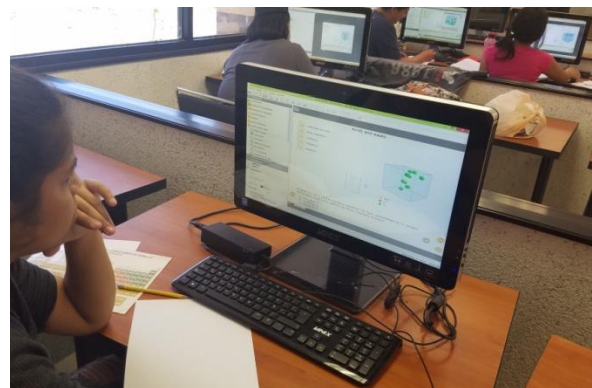


Figura 5 Práctica: Titulación; Realización en Centro de cómputo con Crocodile Chemistry ©

Para esto se les pidió a los alumnos de la carrera de Tecnología Ambiental en 3° y 9° cuatrimestre (40 en total) que posterior a la realización de ambas prácticas, la virtual y la física, evaluaran el desarrollo de la misma, comparándolo contra una práctica previa realizada solo en el laboratorio de ciencias básicas (figura 6). Ésta evaluación se realizó mediante una encuesta en la cual se hacían preguntas tales como las mostradas en las siguientes gráficas:



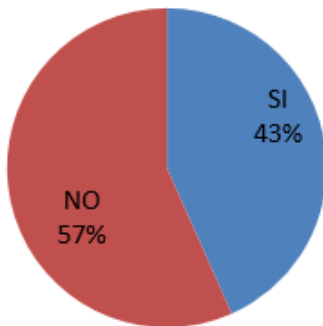
Figura 6 Realización de la práctica de Titulación; Laboratorio de Ciencias Básicas.

Fuente: Elaboración Propia

Resultados

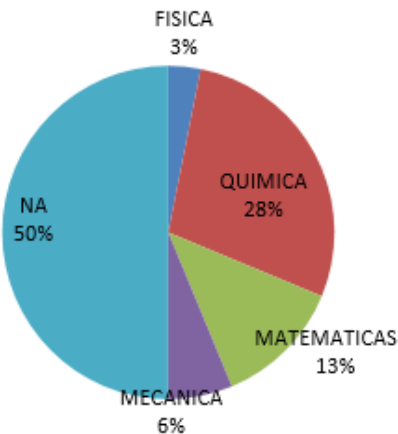
En los resultados se puede apreciar que casi el 60% de los alumnos que participaron en esta investigación no conocían previamente el uso de simuladores, aunque se ve una tendencia general en su utilización, especialmente en las áreas de ciencias exactas, además que la inmensa mayoría de los alumnos consideran más seguro, más amigable ambientalmente, y sobre todo con una mejor aceptación al momento de adquirir los conocimientos y competencias esperadas al término de la práctica.

¿Conocías antes de esta escuela los simuladores virtuales?



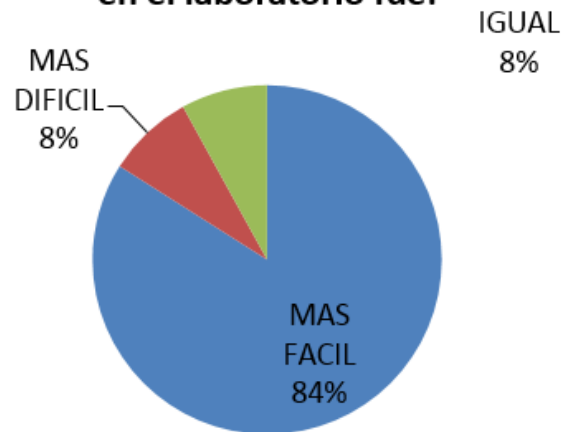
Gráfica 1 Pregunta 1 de la encuesta
Fuente: Elaboracion Propia.

¿Cuales simuladores conocías?



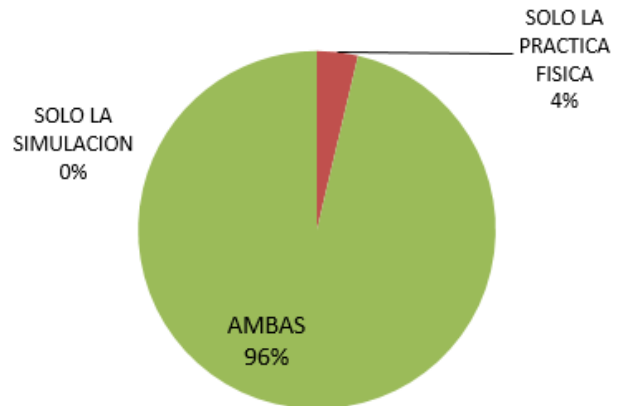
Gráfica 2 Pregunta 2 de la encuesta
Fuente: Elaboracion Propia

Consideras que la practica realizada en el laboratorio fue:



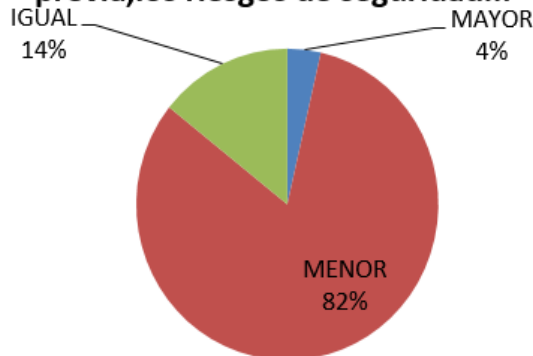
Gráfica 3 Pregunta 3 de la encuesta
Fuente: Elaboracion Propia

Consideras que se aprende más realizando...



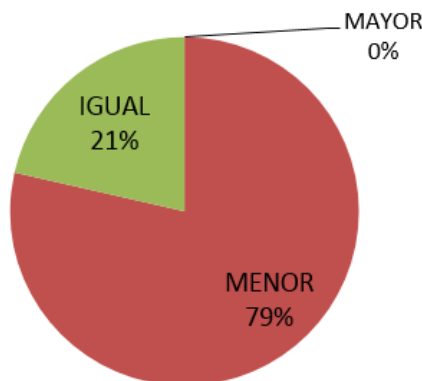
Gráfica 4 Pregunta 4 de la encuesta
Fuente: Elaboracion Propia

Consideras Que, al realizar una simulación previa, los riesgos de seguridad...



Gráfica 5 Pregunta 5 de la encuesta Fuente: *Elaboracion Propia*

Consideras Que, al realizar una simulación previa, los riesgos ambientales...



Gráfica 6 Pregunta 6 de la encuesta Fuente: *Elaboracion Propia*

La pregunta numero 7 solicita argumentar brevemente las respuestas dadas entre las respuestas más comunes se encontró:

- Hay ahorro de insumos ya que se prevé los pasos a seguir cuando ya hiciste la práctica en la computadora.
- Se sabe cuáles son los puntos de la práctica que requieren más atención, por lo tanto, ya sabes en que momento debes estar más atento.

- Se minimiza el riesgo de error al conocer la secuencia completa de la práctica por lo tanto se utilizan menos insumos.
- Tienes más confianza al momento de realizar la práctica física por lo que el nerviosismo habitual no influye tanto en la realización.
- Se aprende mejor debido a que la práctica virtual te ayuda a captar los puntos importantes al realizar la parte física.

Conclusiones

Todo ello nos lleva a la conclusión de que el docente debe buscar los métodos más actuales sin dejar de lado los métodos tradicionales, a fin de asegurar que el alumno sea capaz de asimilar y poner en práctica los conocimientos necesarios para el desarrollo de las competencias que útiles para lograr un óptimo desempeño en el campo laboral, sin poner en riesgo la sustentabilidad y seguridad ambiental.

Recomendaciones

De este modo el uso de simuladores es cada vez mayor y en la UTRCC se pondrá en práctica el uso en cada una de las especialidades a fin de tener una educación integral que cubra y supere las necesidades básicas de aprendizaje y provea a los alumnos de experiencias más reales que se comparen con la vida laboral fuera de la escuela.

Referencias

Contreras,F., Gloria A.; García Torres, Rosa; Ramírez Montoya, María Soledad; (2010). Uso de simuladores como recurso digital para la transferencia de conocimiento. Apertura, Vol. 2, núm. 1, abril de 2010,

Rubio, C., Rodríguez, D.; Mena, D.; (2009). Uso de software de simulación en la enseñanza de la Física. Una aplicación en la carrera de Ingeniería Química. Tecnología, Ciencia, Educación, Julio-diciembre, 127-136.

Santos, G., Otero, M.R., Fanaro, M.A.; (2000). ¿Cómo usar software de simulación en clases de física? Cad.Bras.Ens.Fís., v. 17, n. 1, 50-66.

Analizador ambiental y de radiación solar por celdas fotovoltaicas

MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica *†, FLORES-CERVANTES, Arturo, RODRÍGUEZ-LEMUS, Ruben, VIVANCO-LÓPEZ, José Edgardo

Recibido Julio 12, 2017; Aceptado Noviembre 04, 2017

Resumen

Analizador ambiental y de radiación solar por celdas fotovoltaicas. En este reporte se presenta la información y la metodología, así como las ideas y los problemas presentados para el diseño, programación y construcción de un prototipo único para conocer el grado de rentabilidad de una zona, para el uso de tecnologías para la transformación de energía solar en energía eléctrica. El prototipo está basado en hardware y software libre, con lo cual se busca optimizar costos. El dispositivo se ha diseñado para integrar diversos sensores para conocer las variables climáticas que afectan directa e indirectamente la radiación solar en una zona, además el aparato está proyectado para el registro de estas variables para una base de datos. La información obtenida por la investigación permitirá incentivar a la población a utilizar la luz solar como medio de generación de energía renovable, con un impacto positivo en el medio ambiente, reduciendo la contaminación y los gastos de consumo en electricidad por parte de los habitantes que la utilicen.

Analizador, radiación solar, celdas fotovoltaicas, energías renovables

Abstract

Environmental and solar radiation analyzer by photovoltaic cells. This report shows the information and the methodology, as well as the problems and ideas presented along the design, programming and construction of a prototype to know the profitability degree within an area, for the use of solar energy transformation technologies. The prototype is based on hardware and software free, which seeks to optimize costs. The device has been designed to integrate several sensors to know the climatic variables that directly and indirectly affect the solar radiation in a zone, in addition the device is projected to register these variables for a database. The information obtained by the research will encourage the population to use sunlight like a new way of generating clean energy, with a positive impact on the environment, reducing pollution and the electric bills,

Analyzer, solar radiation, photovoltaic cells, clean energies

Citación: MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica, FLORES-CERVANTES, Arturo, RODRÍGUEZ-LEMUS, Ruben, VIVANCO-LÓPEZ, José Edgardo. Analizador ambiental y de radiación solar por celdas fotovoltaicas. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017, 4-12: 50-56.

* Correspondencia del Autor (vmartinez@utj.edu.mx)

† Investigador contribuyente como primer autor

Introducción

A raíz de la crisis energética que vivimos al día de hoy, los recursos energéticos convencionales como el petróleo y gas natural, han provocado una guerra económica a lo largo y ancho del globo, dejando daños colaterales en países económicamente dependientes de estos recursos, como lo es México. Debido a esta guerra los precios internacionales de los combustibles se han volatilizados dejando grandes estragos en nuestro país.

Dado que los tipos de energía convencionales no sólo son limitados sino que también son los principales responsables de la contaminación ambiental; las fuentes de energéticas renovables están siendo un foco de atención en todo el mundo para disminuir la dependencia de los recursos no renovables. Ahora bien la energía solar ha estado ganando terreno como la fuente renovable por preferencia ya que es muy confiable e inagotable. Y en países muy desarrollados la tecnología para la transformación de la luz solar en energía eléctrica, está dando pasos agigantados; sin embargo en la República Mexicana estamos muy lejos de esto, pues las investigaciones sobre este tema, son muy pocas y los resultados casi desconocidos por la mayoría de la población, a su vez el desconocimiento genera desconfianza e idealiza el medio para las estafas en las instalaciones para aprovechar la luz del sol.

Por lo tanto observando todos estos retos que enfrentamos en este país, nace la idea de crear este proyecto que persigue como objetivo no directo, informar y crear una conciencia social acerca del uso de las fuentes de energía renovables y sus costos reales, esto para acrecentar y poder garantizar que las inversiones en este ámbito serán rentables y el capital de retorno se podrá observar en un mediano plazo.

Habiendo dicho lo anterior, en este reporte se presenta la segunda etapa de este proyecto, donde se describe la metodología que se siguió y la información que se requiere conocer, para el diseño, programación y construcción de un prototipo que tiene como objetivo hacer mediciones de variables climáticas que pueden comprometer la radiación solar en una zona, y conocer si el lugar será rentable para una inversión en tecnologías para la obtención de electricidad a partir del sol.

Antecedentes

El problema de generar energía de una manera limpia y sustentable, ha sido objeto de estudio por diversos años y ha generado diversos inventos, técnicas e información muy útil para generaciones futuras; dos de los inventos más notables han sido las celdas y paneles solares fotovoltaicos los cuales se han usado en diversos proyectos para la transformación de energía solar en energía eléctrica, que presentan como objetivo común implementar un sistema autónomo y sustentable de generación de energía eléctrica que llegue a ser rentable en el corto plazo.

A pesar de que han existido un innumerable número de proyectos exitosos, actualmente no se ha logrado satisfacer esta necesidad por completo, pues con el tiempo han salido a relucir más problemas de los que se esperaban en un primer término.

Buscando alcanzar nuevos objetivos el 2016 inició este proyecto, arrancando en mayo con la primera etapa, la cual consistía en la construcción e implementación de un dispositivo de muy bajo presupuesto que nos proporcionará información acerca de la incidencia solar en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG). Debido al bajo costo, con poco presupuesto lograron construirse dos prototipos muy rudimentarios pero funcionales.

El primero consistía en una celda fotovoltaica de silicio monocristalino de 6V a 300mA conectada a un Arduino UNO que enviaba la medición del voltaje generado, por la celda puesta en un ángulo fijo con dirección sol, a una computadora por un cable USB tipo B, como se ilustra en la figura no. 1.

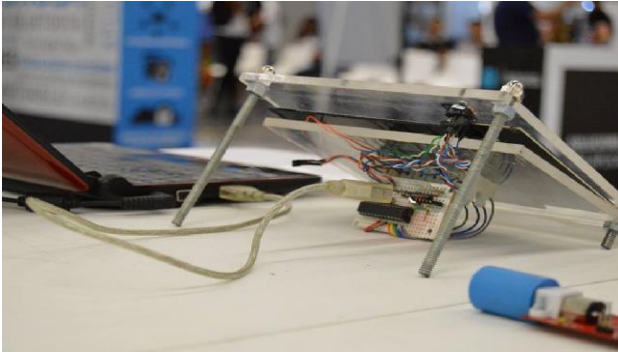


Figura 1 Prototipo 1 de la primera etapa

El segundo dispositivo consistía en un seguidor solar de posicionamiento automático compuesto por una celda fotovoltaica de silicio policristalino de 5v a 80mA, un sensor de temperatura, un Arduino UNO y dos servomotores, como se observa en la figura no. 2.

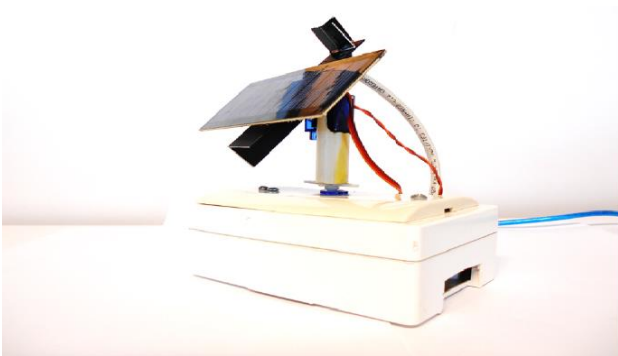


Figura 2 Prototipo 2 de la primera etapa

Ambos fueron programados y contruidos con hardware y software libre, para medir variables físicas relacionadas con la incidencia solar además de generar una base de datos para el estudio y comparación de los valores obtenidos. Los cuales demuestran satisfactoriamente que la ZMG tiene una incidencia solar adecuada para la instalación de paneles solares convenientemente, además de poder prescindir de un dispositivo de auto posicionamiento solar, ya que no se generan pérdidas considerables al tener periodos de incidencia indirecta comparada con la incidencia directa, este último dato a pequeña escala.

Problema

Actualmente la dependencia global de los combustibles fósiles, y a su vez la escasez de éstos, ha traído consigo el encarecimiento de sus precios, y ya que de éstos dependen la producción de energía, el transporte, y muchas cosas, los costos de los servicios y los bienes han aumentado, generando un empobrecimiento mundial.

Conociendo esto, además de que también los recursos no renovables generan la mayoría de la contaminación que existe en el planeta, varios países han comenzado a apostar por nuevas fuentes de energía, que sean limpias y renovables. De ahí que en muchos sitios se haya optado por la energía solar y la transformación de ésta en electricidad por medio de paneles solares.

Sin embargo en México a diferencia de países, son pocos los laboratorios destinados al estudio de las celdas y paneles solares fotovoltaicos aunado a esto los resultados de las investigaciones hechas por estos centros son poco difundidas o inexistentes. Generando un desconocimiento nacional de este tema e impidiendo las inversiones a gran escala en la generación de energía solar en el sector comercial, habitacional e incluso industrial.

MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica, FLORES-CERVANTES, Arturo, RODRÍGUEZ-LEMUS, Ruben, VIVANCO-LÓPEZ, José Edgardo. Analizador ambiental y de radiación solar por celdas fotovoltaicas. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017.

Al día de hoy, no se sabe con certeza en qué lugares de la República Mexicana es viable y rentable invertir en la energía solar, ya que en nuestro territorio nacional contamos con diversos climas y biomas, dicho lo anterior, se identifica como problema principal que existe la necesidad de un dispositivo que pueda registrar en una zona específica la cantidad de luz solar que existe y si ésta, estará comprometida con las diferentes variables climatológicas, como lo pueden ser la temperatura atmosférica, la altura y la velocidad del viento.

Metodología a desarrollar

El proceso para el prototipo fue arduo, pero comenzó con algunos bocetos en el software Paint que es un programa para dibujar que viene integrado al sistema operativo Windows 7, que es el que se utilizó en la computadora para realizar el proyecto, como se ilustra en la figura 3 y 4.

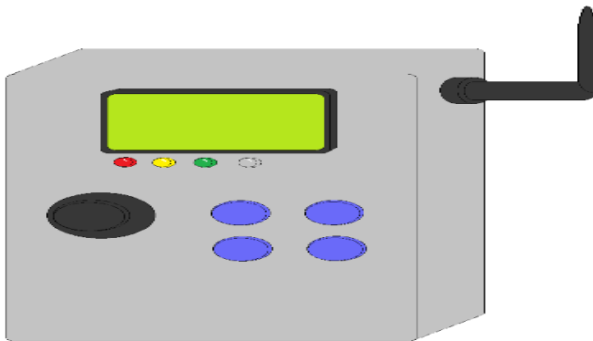


Figura 3 Boceto de estación

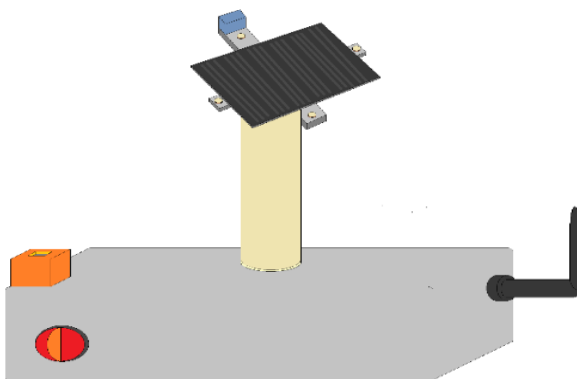


Figura 4 Boceto de unidad climática

Con los bocetos se crearon lista de materiales y tablas comparativas entre materiales específicos.



Figura 5 Materiales comparados

Programación

El proceso de programación en un lenguaje específico o plataforma específica, por lo general es similar y lleva la misma lógica en todo el mundo, sin embargo el hecho de que una persona programe, supone un proceso abstracto y único, pues conlleva una lógica única. Por lo tanto se muestra el código compilado con argumento y comentarios del programador muy generales, para que puedan ser entendidos por la mayoría de las personas, donde se muestra una parte de la programación.

```
#include <Wire.h> //libreria i2c
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //libreria lcd
i2c
#include <SD.h> //libreria sd
#include "DHT.h" //libreria dht11 o 22
#include "Wire.h" //libreria i2c
#include <Adafruit_BMP085.h> //libreria del
bmp180
//////////////////////////////////////L
CD
//variables de los sensores temperatura, humedad
presion y altura
float Temperatura, Presion, Humedad, Altura;
// valor de X, valor Y, W = bandera del
```

MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica, FLORES-CERVANTES, Arturo, RODRÍGUEZ-LEMUS, Ruben, VIVANCO-LÓPEZ, José Edgardo. Analizador ambiental y de radiación solar por celdas fotovoltaicas. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2017.

```
joystick,bandera de joystick en lcd, bandera X ,
bandera Y, PIN X, PIN Y, PIN JOYSTICK,
inicia en 1 primer menu, menu seleccionado,
clear del menu, configuracion hora
int X=0, Y=0, W=0,flag_W, flag_x, flag_y,
Eje_X = A8, Eje_Y = A9, joystick = 2, start = 1,
select=4, menu, Config;
```

```
//banderas del menu en el lcd
```

```
int y=0, dentro,x=0;
```

```
//hora, mes,segundo, dia, minuto, año
```

```
int H,M,S,D,Mi,A;
```

```
// confirmacion del cambio de hora y modo auto
```

```
char confirmacion='N', Auto ='A';
```

```
//servomotores de 180°
```

```
int servo1,servo2;
```

```
//////////////////////_____VARIA
BLES LCD Y JOISTICK
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);//direccion
del lcd y tamaño
```

```
//funcion de lcd y sus variables internas
```

```
void LCD_DUE(int D_segundo, int
D_minuto,int D_hora,int D_dia_semana,int
D_dia_del_mes,int D_mes,int D_Year,float
D_Temperatura,float D_Presion,float
D_Humedad);
```

```
//funcion del joystick
```

```
void JOISTICK();
```

```
//////////////////////_____LCD Y
JOISTICK
```

```
//////////////////////_____SD
```

```
//nombre del proceso de archivo de la micro sd
File reloj;
```

```
//funcio de la micro sd
```

```
void Micro_Sd();
```

```
//valor de los millis anteriores
```

```
unsigned long Anteriores_Millis = 0;
```

```
//intervalo de un minuto para la toma de datos
```

```
const long intervalo = 60000;
```

Resultados

Se desarrolló un programa implementa un algoritmo de comunicación tipo bluetooth entre el autómata y cualquier unidad con una aplicación para el sistema operativo Android. El reto fue mayúsculo y fue el que requirió de mayor tiempo y dedicación para ser resuelto, aun cuando se utilizaron códigos de ejemplos preexistentes que facilitaron ciertas tareas como el envío y recepción de datos, pero había que resolver la comunicación del protocolo. Finalmente fue posible establecer la comunicación.

También dentro del programa se implementaron unas subrutinas para la navegación entre diversos menús añadidos y la visión de estos además de los datos censados por los sensores entiendo real en una pantalla LCD., como se ilustra en la figura 6.

Y finalmente, gracias a la investigación hecha se tienen las bases teóricas para el futuro desarrollo del proyecto y la fiabilidad de este, aunado también el desarrollo de proyectos similares, pues información recopilada puede aplicarse para diversas areas.

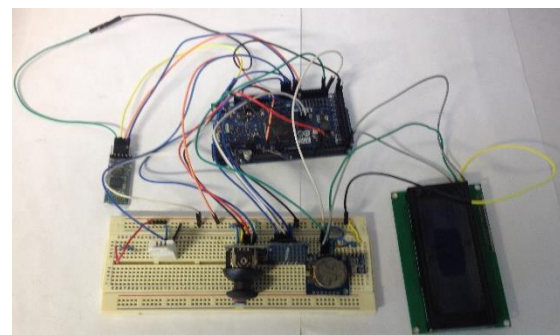


Figura 6 Comunicación de datos para medir variable

Conclusiones

El diseño está enfocado para satisfacer el problema observado en la Zona Metropolitana de Guadalajara sin embargo con investigaciones posteriores podría adaptarse a diferentes ciudades de la república mexicana, e incluso otros países. Se ha conocido sobre el funcionamiento y el desarrollo de aplicaciones del sistema operativo Android. Además de las aplicaciones que se pueden desarrollar para la optimización y supervisión de procesos.

Como Ingenieros Mecatrónicos se debe desarrollar conocimientos de energías renovables debido a que muchos de los dispositivos que se están desarrollando hoy en día buscan fuentes de energía limpias. El desarrollo de un modelo o prototipo en la plataforma de Arduino, permite que se realice con mayor versatilidad el prototipo que se desea construir, es un software muy importante en el momento de emprender un diseño de tal magnitud donde se puede crear a escala o en medidas reales y esto permite observar todo el proceso de creación del proyecto; además se puede obtener todas las perspectivas de diseño como base fundamental en su desarrollo.

En el mercado internacional y nacional hay muchos productos que como ingenieros se pueden estudiar y usar para dar soluciones positivas a las problemáticas de la sociedad tal como el uso de energía solar para alimentar de energía eléctrica los hogares.

También se observó que en el instante de transmitir una señal de inalámbricas se debe tener en cuenta muchos factores importantes tales como pérdidas por obstrucciones u obstáculos que producen atenuaciones en la señal transmitida y que pueden afectar el rendimiento del sistema.

Un buen diseño lleva un estudio minucioso de cada una de las partes que lo componen, tales como mecánica, electrónica y telecomunicaciones, áreas que cubren la creación del proyecto.

A la vez que se desarrollaba el proyecto, nos percatamos de que el trabajo realizado podría incorporar mejoras a futuro, las cuales menciono a continuación:

- Incorporación de un sistema de autónomo de energía: Dependiendo de la aplicación que se requiera, podría resultar útil incorporar sistema de energía autónomo, para cuando la unidad climática se deje durante mucho tiempo en un lugar específico, y se pueda evitar que necesite de supervisión para la recarga de batería.
- Desarrollo de una aplicación en Windows para el procesamiento de datos: sería muy benéfico para las pruebas en tiempo real desarrollar una aplicación dedicada que procesara los datos y graficara en una computadora central, con compatibilidad con Excel, evitando la dedicación de tiempo en el desarrollo de tablas y gráficos.
- Incorporación de un sistema GSM o 4G: Resultaría muy adecuado para poder guardar, o monitorear datos, por periodos de tiempos prolongados, y esto desde cualquier parte del mundo. Esto para trabajar sobre los datos recabados desde la comodidad de un ambiente de trabajo y no directamente en el lugar de estudio.

Estas son en general las recomendaciones que se sugieren para aquel que decida incursionar nuevamente en el proyecto o la adecuación de este a sus propias necesidades.

Referencias

Crespo, E. (15 de Marzo de 2017). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/librerias-arduino-2/>

Crespo, E. (15 de Marzo de 2017). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/ide/>

Electronica Estudio. (8 de Marzo de 2017). *Electrinoca Estudio*. Obtenido de <http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>

Enel S.A. (15 de Febrero de 2017). *Endesa Educa*. Obtenido de http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/i.-la-energia-y-los-recursos-energeticos

ENGINEERED IN NYC Adafruit. (9 de Marzo de 2017). *Adafruit*. Obtenido de <https://www.adafruit.com/product/1733>

ENGINEERED IN NYC Adafruit. (9 de Marzo de 2017). *Adafruit*. Obtenido de <https://www.adafruit.com/product/385>

Fundación Wikimedia, Inc. (14 de Marzo de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica

Fundación Wikimedia, Inc. (15 de Febrero de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Conservaci3n_de_la_energía

Fundación Wikimedia, Inc. (9 de Marzo de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

Geekfactory. (10 de Marzo de 2017). *Geekfactory*. Obtenido de <http://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/ds1307-modulo-tiny-rtc-reloj-tiempo-real/>

Tiposdeenergia.info. (16 de Febrero de 2017). *Tipos de energia*. Obtenido de <http://tiposdeenergia.info/tipos-de-energia/>

Tipos de energia. Obtenido de <http://tiposdeenergia.info/fuentes-de-energia/>

Universitat de Barcelona. (15 de Marzo de 2017). *OBS Business School*. Obtenido de <http://www.obsedu.com/int/noticias/innovacion/cuales-son-las-etapas-de-un-proyecto-te-lo-contamos-en-esta-infografia>

Venemedia. (8 de Marzo de 2017). *conceptodefinicion.de*. Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/fuente-de-energia/>

Villalobos, O. B. (2016). *Dispositivo de adquisicion de datos para celdas fotovoltaicas*. Guadalajara: Universidad Tecnologica de Jalisco.

Instrucciones para Autores

[Titulo en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

(Indicar Fecha de Envio: Mes, Dia, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Titulo

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keywords

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman
y Negritas No.11**

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Titulo del Paper.
Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

©ECORFAN-Bolivia

www.ecorfan.org/bolivia

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Graficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

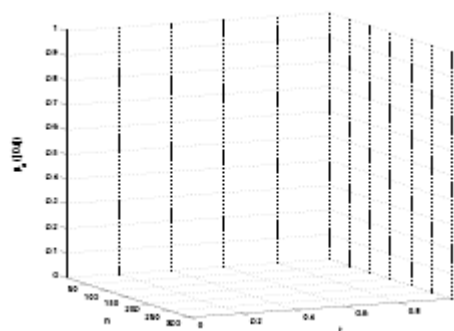


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

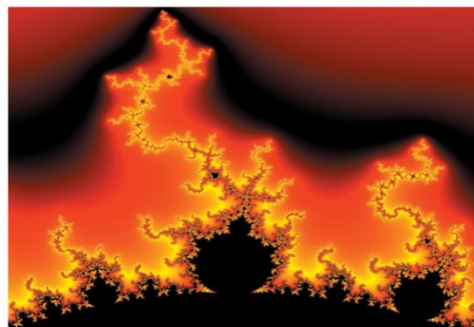


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

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

Instrucciones para Autores

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

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

Conclusiones

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

Referencias

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

Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Bolivia a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Bolivia to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias

"Techado de Andador con Paneles Solares en la Universidad Politécnica De Tulancingo"

FLORES-GARCIA, Francisco Armando, COYOTL-MIXCOATL, Felipe, ELIZALDE-CANALES, Francisca Angélica, CASTILLO-MIMILA, Diego Fernando
Universidad Politécnica de Tulancingo

"Generación de Electricidad a Base de Fotosíntesis"

MATA-GONZÁLEZ, María Goretti, DIMAS-RESÉNDIZ, Alejandra, MACHUCA-PULIDO, Lluvia Alejandra y MEDINA-JUÁREZ, María Soledad
Universidad Tecnológica de Querétaro

"Obtención de peroxidasas a partir de un residuo industrial de soya para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil"

MIRANDA-MANDUJANO, Erika Viviana¹, MOELLER-CHÁVEZ, Gabriela E², BUITRÓN Germán³ y GARZÓN-ZUÑIGA, Marco A⁴.

¹*Universidad Autónoma de Guadalajara*

²*Universidad Politécnica del Estado de Morelos*

³*Universidad Nacional Autónoma de México*

⁴*Instituto Politécnico Nacional*

"Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono"

SALDÍVAR-ESPARZA, Santiago, CABRERA-ROBLES, José Salvador, RETA-HERNÁNDEZ, Manuel
Universidad Autónoma de Zacatecas

"Ahorro de Energía en la Implementación de Sistemas de Refrigeración con Múltiples Temperaturas de Evaporación"

ROMÁN-AGUILAR, Raúl, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, PÉREZ-GARCÍA, Alfonso, MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ, Edgar Azael
Escuela Superior de Apan de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

"Laboratorios Virtuales: el uso de simuladores dentro de las aulas como alternativa sustentable"

MIJARES-ALMANZA, Sergio, AYALA-SANCHEZ, Marcela, SAN MIGUEL-IZA, Sandra

"Analizador ambiental y de radiación solar por celdas fotovoltaicas"

MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica, FLORES-CERVANTES, Arturo, RODRÍGUEZ-LEMUS, Ruben, VIVANCO-LÓPEZ, José Edgardo

