

ISSN 2410-3993

Volumen 3, Número 8 — Julio — Septiembre 2016

Revista de Tecnología e Innovación

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

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD

Diseñador de Edición

TREJO-RAMOS, Ivan. BsC

Revista de Tecnología e Innovación, Volumen 3, Número 8, de Julio - Septiembre 2016, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD. ISSN-2410-3993. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 30 de Septiembre 2016.

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

GALICIA-PALACIOS, Alexander. PhD
Instituto Politécnico Nacional-México

NAVARRO-FRÓMENTA, Enrique. PhD
Química Azizbekow-Rusia

BARDEY, David. PhD
University of Besançon-Francia

COBOS-CAMPOS, Amalia, PhD
Universidad de Salamanca-España

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco, PhD
University José Matías Delgado-El Salvador

BELTRÁN-MORALES, Luis Felipe, PhD
Universidad de Concepción, Chile-Chile

BELTRÁN-MIRANDA, Claudia, PhD
Universidad Industrial de Santander Colombia-Colombia

Consejo Arbitral

RRS, MsC

Universidad de Londres-México

ZM, MsC

Universidad de Londres-México

BCL, MsC

Universidad Autónoma de Yucatán-México

CCN, MsC

Universidad Autónoma de Yucatán-México

TSJ, PhD

Universidad de la Habana-Cuba

VGJ, PhD

Universidad de Granada-España

OGE, PhD

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica-México

QME, PhD

El Colegio de México-México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Tecnología e Innovación

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.

En el primer número es presentado el *Vehículo híbrido gasolina - gas oxhídrico* por GONZÁLEZ-LÓPEZ, Miguel, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Querétaro, como siguiente artículo está *Estudio de movimiento para la rehabilitación de enfermedades óseomusculares en adultos mayores con modelo virtual* por LÓPEZ-GONZÁLES, Erika, ALEJO-ELEUTERIO, Roberto, ANTONIO-VELÁZQUEZ, J y AMBRIZ-POLO, J, en el siguiente artículo está *Calentador Solar en forma de espiral con espejos reflectores* por MEJÍA-ESPINOZA, María, RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor, CACHO-LÓPEZ, Livier y CARDONA-MARTÍNEZ, Clara, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Querétaro, como siguiente artículo está *Análisis de los factores que inciden en la producción de biohidrógeno en celdas de electrólisis microbianas* por CERCADO-QUEZADA, Bibiana, como siguiente artículo está *Control Automático de una maquina seleccionadora por Color mediante la PixyCam CMUCAM5 para aseguramiento de calidad* por PADILLA-MAGAÑA, J, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi y OSEGUERA-ESPINOZA, P, como siguiente artículo está *Automatización del Proceso de Moldeo por Inyección de Plásticos de la Máquina BOY 25D Utilizando Arduino y el Shield SIM900 GSM/GPRS* por LÓPEZ-CORELLA, José, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, ORTIZ-NAVAR, Bertha y GONZÁLEZ-OCHOA, Sara, como siguiente artículo está *Recubrimientos Ni-P negros de doble capa con capacidad absorbente solar* por SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián y PEREZ-BUENO, José de Jesús, con adscripción en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, como siguiente artículo está *Oxidación electroquímica sobre Pt/C de glicerol obtenido de distintas fuentes* por DECTOR-Andrés, ORTIZ-Alondra, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río y la Universidad Politécnica de Querétaro, como siguiente artículo está *Cathodic Current Distribution in a PEMFC for Five Different Air Flow-Field Designs* por HIDALGO-PIMENTEL, Pablo, OROZCO-GAMBOA, Germán, GARCÍA-GARCÍA, Raúl, ZAMORA-ANTUÑANO, Marco y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río y el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, como siguiente artículo está *Simulación de platos colectores para su aplicación en celas de combustible Tipo PEM* por ZAMORA-ANTUÑANO, Marco, OLIVARES-RAMÍREZ, Juan, RAMÍREZ-BALTAZAR, José, SANTOS-CRUZ, José y OROZCO-GAMBOA, Germán, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica y la Universidad Autónoma de Querétaro.

Como siguiente artículo está *Acondicionamiento de la señal de sensor electrónico para un sistema de localización de fugas de gas* por MORENO-GUZMÁN, Javier, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino, BARCELATA-PINZÓN, Antonio y ÁLVAREZ-TAMAYO, Ricardo, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Puebla, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, como siguiente artículo está *Red Neuronal para el Reconocimiento de Patrones de Onda Viajera* por FLORES-ALARCÓN, María Susana, TORRERO-FLORES, Felipe y TORRERO-PÉREZ, Everardo, como siguiente artículo está *Material soporte como posible sustituto del carbón vulcan para la elaboración de tintas catalíticas* por GARCÍA-GARCÍA, Raúl, CASTILLO-MARTÍNEZ, Luz, OAXACA-JIMÉNEZ, Hada y OROZCO-GAMBOA, Germán, como siguiente artículo está OVANDO-SIERRA, Juan, HUCHIN, Mauro, CASTILLO-TELLEZ, Margarita y ESTRADA-SEGOVIA, Manuel, con adscripción en la Universidad Autónoma de Campeche.

Contenido

Artículo	Página
Vehículo híbrido gasolina - gas oxhídrico GONZÁLEZ-LÓPEZ, Miguel	1-6
Estudio de movimiento para la rehabilitación de enfermedades óseomusculares en adultos mayores con modelo virtual LÓPEZ-GONZÁLES, Erika, ALEJO-ELEUTERIO, Roberto, ANTONIO-VELÁZQUEZ, J y AMBRIZ-POLO, J	7-15
Calentador Solar en forma de espiral con espejos reflectores MEJÍA-ESPINOZA, María, RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor, CACHO-LÓPEZ, Livier y CARDONA-MARTÍNEZ, Clara	16-20
Análisis de los factores que inciden en la producción de biohidrógeno en celdas de electrólisis microbianas CERCADO-QUEZADA, Bibiana	21-34
Control Automático de una maquina seleccionadora por Color mediante la PixyCam CMUCAM5 para aseguramiento de calidad PADILLA-MAGAÑA, J, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi y OSEGUERA-ESPINOZA, P	35-44
Automatización del Proceso de Moldeo por Inyección de Plásticos de la Máquina BOY 25D Utilizando Arduino y el Shield SIM900 GSM/GPRS LÓPEZ-CORELLA, José, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, ORTIZ-NAVAR, Bertha y GONZÁLEZ-OCHOA, Sara	45-49
Recubrimientos Ni-P negros de doble capa con capacidad absorbente solar SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián y PEREZ-BUENO, José de Jesús	50-55
Oxidación electroquímica sobre Pt/C de glicerol obtenido de distintas fuentes DECTOR-Andrés, ORTIZ-Alondra, GARCÍA-GALLEGOS, Jesús y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan	56-60
Cathodic Current Distribution in a PEMFC for Five Different Air Flow-Field Designs HIDALGO-PIMENTEL, Pablo, OROZCO-GAMBOA, Germán, GARCÍA-GARCÍA, Raúl, ZAMORA-ANTUÑANO, Marco y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan	61-69
Simulación de platos colectores para su aplicación en celas de combustible Tipo PEM ZAMORA-ANTUÑANO, Marco, OLIVARES-RAMÍREZ, Juan, RAMÍREZ-BALTAZAR, José, SANTOS-CRUZ, José y OROZCO-GAMBOA, Germán	70-77

Acondicionamiento de la señal de sensor electrónico para un sistema de localización de fugas de gas	78-82
MORENO-GUZMÁN, Javier, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino, BARCELATA-PINZÓN, Antonio y ÁLVAREZ-TAMAYO, Ricardo.	
Red Neuronal para el Reconocimiento de Patrones de Onda Viajera	83-90
FLORES-ALARCÓN, María Susana, TORRERO-FLORES, Felipe y TORRERO-PÉREZ, Everardo	
Material soporte como posible sustituto del carbón vulcan para la elaboración de tintas catalíticas	91-96
GARCÍA-GARCÍA, Raúl, CASTILLO-MARTÍNEZ, Luz, OAXACA-JIMÉNEZ, Hada y OROZCO-GAMBOA, Germán	
Diseño de un sistema de calentamiento solar para el descongelamiento de pescado	97-104
OVANDO-SIERRA, Juan, HUCHIN, Mauro, CASTILLO-TELLEZ, Margarita y ESTRADA-SEGOVIA, Manuel	

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Vehículo híbrido gasolina - gas oxhídrico

GONZÁLEZ-LÓPEZ, Miguel*†

Universidad Tecnológica de Querétaro, Av. Pie de la Cuesta No. 2501, Querétaro, Querétaro. C.P. 76148, México

Recibido Julio 22, 2016; Aceptado Septiembre 15, 2016

Resumen

Este artículo presenta los resultados de la experimentación en un prototipo demostrativo de un vehículo híbrido gasolina - gas oxhídrico con el fin de obtener una combustión completa, ahorro de combustible y menores emisiones contaminantes a la atmosfera, el gas oxhídrico se obtiene de un proceso de electrólisis que se suministra en la toma de aire del motor enriqueciendo la mezcla aire - combustible convencional, considerando modificaciones electrónicas en la computadora del vehículo para corregir el factor lambda (porcentaje de oxígeno, sobrante de la combustión; en los gases de escape) este sensor (sonda lambda) detecta el oxígeno residual e informa a la centralita de inyección, para la corrección de la dosificación de carburante.

Vehículo, gas oxhídrico, agua, electrólisis, rendimiento

Abstract

This article presents the results of experiments in a demonstration prototype of a hybrid vehicle gasoline-gas oxhídrico in order to obtain a complete combustion, saving fuel and lower pollutant emissions into the atmosphere, the oxyhydrogen gas is obtained from a process of electrolysis which supplies the air intake of the engine enriching - air mixture conventional fuel, considering electronic modifications to the vehicle's computer to correct the lambda factor (percentage of oxygen, excess of combustion in the exhaust gases) this sensor (probe lambda) detects the residual oxygen and informs the injection control for correcting the fuel metering.

Vehicle, oxyhydrogen gas, water electrolysis performance

Citación: GONZÁLEZ-LÓPEZ, Miguel. Vehículo híbrido gasolina - gas oxhídrico. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 1-6

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

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

Un vehículo híbrido es el que utiliza dos fuentes de energía diferentes. Su motor es adaptado para funcionar con gasolina y HHO (que es dos partes de hidrógeno y una de oxígeno), también conocido como gas de Brown o oxhídrico.

Un generador de gas oxhídrico es básicamente una celda electroquímica con electrolito a base de agua alcalinizada, funciona porque introduce una carga eléctrica positiva al agua (negativa), que convierte la separación de agua en hidrógeno, la electrólisis. El gas oxhídrico se introduce por el manifold de admisión o por el carburador en combinación con el aire que necesita para la combustión, lo que significa que utiliza menos combustible fósil para mantener encendido el motor. (Ecoenergyfuel, 2012)

El gas HHO es capaz de liberar un gran potencial de energía y por lo tanto capaz de ahorrar otros tipos de energía (como los de origen fósil) gasolina y gasoil. Combinando ambos vectores energéticos se logra una combustión más eficiente y completa.

Para que sea posible la combustión en el motor se necesita combustible y comburente, esto se logra por ejemplo en el caso de un motor de gasolina, admisionando aire en proporción 14,7:1; es decir necesitaremos 14,7 partes de aire para poder quemar 1 parte de gasolina, lo cual demuestra lo ineficiente que es la gasolina como combustible, además obtendremos restos de combustión (emisiones) muy contaminantes.

Las Emisiones son las siguientes:-

- HC (hidrocarburos sin quemar) es un agente cancerígeno y produce daños respiratorios.

- CO (monóxido de carbono), altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos.

- NOx (óxidos de nitrógeno) causante de la lluvia ácida.

- CO2 (Dióxido de Carbono) causa el efecto invernadero.

- Otros gases N2 (Nitrógeno), O2 (Oxígeno), SO2 (Dióxido de azufre)

El gas oxihídrico - oxihidrógeno (HHO) es una mezcla de hidrógeno diatómico y oxígeno en proporción 2:1, la combustión produce agua; como desecho de dicha combustión (en forma de vapor de agua) así como 34.116 calorías por cada gramo de hidrógeno quemado. (Ecoenergyfuel, 2012)

El gas HHO incorpora el hidrógeno como combustible y el oxígeno como comburente (oxidante); por lo tanto no necesita del aire exterior para producir la combustión.

El HHO generado se introduce al motor por la admisión aprovechando la aspiración ó vacío que el motor produce, se combina con la gasolina ó gasoil dependiendo del tipo motor; en las cámaras de combustión de cada cilindro, se quema conjuntamente con el combustible utilizado y el aire aspirado por el motor. Esta mezcla es más eficiente que la combustión del combustible primitivo, debido a esta eficacia se obtiene un rendimiento motor elevado, una disminución alta de las emisiones contaminantes y una refrigeración motor correcta; debido a la presencia del vapor de agua que es expulsado por la tubería de escape al exterior limpiando incluso el convertidor catalítico.

Con el proceso anterior puede deducirse que se produce un ahorro de combustible; debido al rendimiento obtenido.

Los generadores HHO solo producen el gas que el motor necesita (gas a demanda), no acumulan este gas en depósitos a alta presión, consiguiendo niveles de seguridad muy altos.

Los generadores de HHO funcionan con cualquier sistema de inyección electrónica; así como con sistemas de carburación y aprovechan los sistemas de seguridad de la inyección (solamente en casos de kit completos); como la desconexión automática si no se produce el arranque o en caso de colisión.

Gracias a la calidad del diseño y de los materiales empleados se ha obtenido este generador de HHO con alta producción de HHO y una gran durabilidad que pueden ofrecer un largo periodo de servicio sin el más mínimo mantenimiento (limpieza de vez en cuando) con lo cual su satisfacción está asegurada. . (Ecoenergyfuel, 2012)

Nota : Para motores que como combustible utilicen gasolina y el sistema de alimentación no sea mediante carburador (típico caso de motor a inyección) necesitará algún circuito electrónico para corregir el factor lambda (porcentaje de oxígeno, sobrante de la combustión; en los gases de escape) este sensor (sonda lambda) detecta el oxígeno residual e informa a la centralita de inyección, para la corrección de la dosificación de carburante, al existir un combustible que la centralita (ECU) desconoce esta reaccionará incrementando el tiempo de inyección y por lo tanto inyectará mas gasolina, produciendo el efecto contrario al deseado.

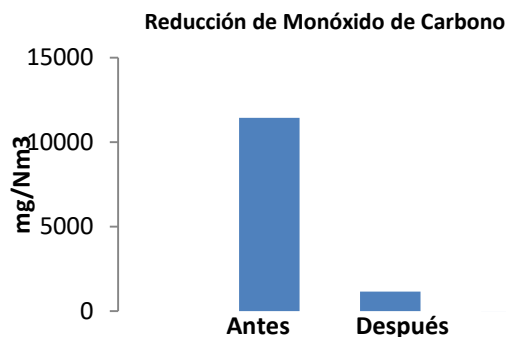


Grafico 1 Reducción de Monóxido de Carbono.

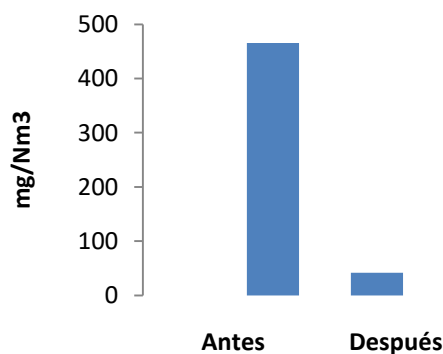


Grafico 2 Reducción de Hidrocarburos no quemados.

Parámetros	Máximos de acuerdo a Norma Oficial NOM-041-SEMARNAT-2015	Vehículo híbrido gasolina gas oxhídrico	% de reducción
Monóxido de Carbono:	11428.57 mg/Nm ³	1142.857 mg/Nm ³	90%
Emisión de HC (Hidrocarburos no quemados):	465.30 mg/Nm ³	41.877 mg/Nm ³	91%

Tabla . Resultados de emisiones del vehículo híbrido gasolina-gas oxhídric.

Metodología a desarrollar

Estos son los parámetros máximos permitidos por la Norma Oficial NOM- 041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible:

Para Monóxido de Carbono

(CO % vol.) Peso Molecular del CO= 28:

0.0001% = 1 ppm 1.0% = 10000 ppm

$$\begin{aligned} \mu\text{g}/\text{Nm}^3 &= \\ 10000 \text{ ppm} * 28 * 1024.53 &= 11428571.43 \\ \mu\text{g}/\text{Nm}^3 * 0.001 \text{ mg}/\text{Nm}^3 &= 11428.57 \text{ mg}/\text{Nm}^3 \end{aligned}$$

Para Hidrocarburos

(HC hppm) Peso Molecular C₈H₁₈

$$\begin{aligned} \mu\text{g}/\text{Nm}^3 &= \frac{100 \text{ ppm} * 114 * 10^3}{24.5} = 465306.12 \mu\text{g}/ \\ \text{Nm}^3 * 0.001 \text{ mg}/\text{Nm}^3 &= 465.30 \text{ mg}/\text{Nm}^3 \end{aligned}$$

Estos son los parámetros registrados en el vehículo modificado con el sistema generador de gas oxhídrico: La Medición fue obtenida con el equipo Inspector - Portable Carbon Monoxide Detectors; SENSORCORN = 1000 ppm

Para Monóxido de Carbono

(CO % vol.) Peso Molecular del CO= 28

0.0001% = 1 ppm 0.1% = 1000 ppm

$$\begin{aligned} \mu\text{g}/\text{Nm}^3 &= \frac{1000 \text{ ppm} * 28 * 10^3}{24.5} = 1142857.143 \mu\text{g}/ \\ \text{Nm}^3 * 0.001 \text{ mg}/\text{Nm}^3 &= \\ 1142.857 \text{ mg}/\text{Nm}^3 & \end{aligned}$$

Para Hidrocarburos

(HC hppm) Peso Molecular C₈H₁₈=114

$$\begin{aligned} \mu\text{g}/\text{Nm}^3 &= \frac{9 \text{ ppm} * 114 * 10^3}{24.5} = 41877.551 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 \\ * 0.001 \text{ mg}/\text{Nm}^3 &= 41.877 \text{ mg}/\text{Nm}^3 \end{aligned}$$

(Wark K., 1992.)

Resultados

Emisión de Monóxido de Carbono (CO) en un vehículo con generador de gas oxhídrico comparándolo contra los parámetros máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial NOM - 041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible:

Parámetro máximo permisible de la norma: 11428.57 mg/Nm³ = 100%

Emisión del vehículo con generador de gas oxhídrico: 1142.857 mg/Nm³ = 10%

Emisión de HC (Hidrocarburos no quemados) en un vehículo con generador de gas oxhídrico comparándolo contra los parámetros máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial NOM- 041-SEMARNAT-2015:

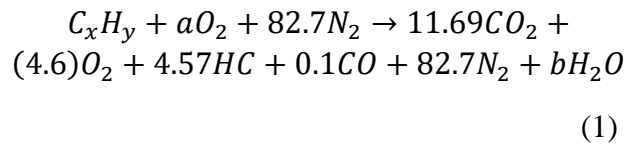
Parámetro máximo permisible de la norma: 465.30 mg/Nm³ = 100%

Emisión del vehículo con generador de gas oxhídrico: 41.877 mg/Nm³ = 9%

El análisis de los gases del escape reales da los siguientes porcentajes en volumen obtenidos con analizador de gases para verificación vehicular de un automóvil de uso particular adaptado con el sistema generador de gas oxhídrico:

$\text{CO}_2 = 11.69$; $\text{O}_2 = 4.6$; $\text{CO} = 0.1$; $\text{N}_2 = 82.7$; $\text{HC} = 4.57$. En hidrocarburo de la forma C_xH_y , como combustible típico (gasolina) se realiza en el siguiente orden el análisis: (1) primero se deben encontrar los valores de x e y ; (2) establecer la ecuación de combustión; y (3) determinar la relación aire/combustible.

Solución:



Para el Nitrógeno:

$$a(3.76) \rightarrow 82.7; \text{ por lo tanto } a = \frac{82.7}{3.76} = 21.9$$

Para el carbono:

$$X = 11.69 + 4.57 + 0.1 = 16.36$$

Para el O_2 presente en los gases secos:

$$11.69 + 4.6 + (0.1/2) = 16.34$$

Por lo tanto, $b = (21.9 - 16.34)2 = 11.12$

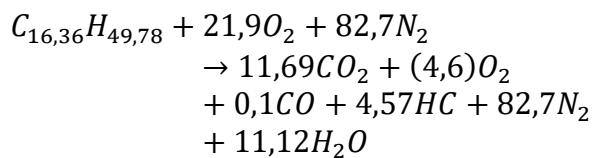
Para el hidrocarburo no quemado HC:

$$4.57 + 2(4.6) + 11.12 = 24.89$$

$$Y = 2(\text{HC}) = 49.78$$

(2)

Por consiguiente, la ecuación de combustión será:



(3)

Relación aire/combustible =

$$\frac{(21.9)(32) + (82.7)(28.2)}{(16.36)(12) + (49.78)(1)} = 12.3240 \text{ kg por kg}$$

Nota: La composición del combustible no queda definida en forma decisiva. En realidad puede involucrarse más o menos de 1 mol de combustible de tal modo que x e y se reduzcan a números enteros al ser multiplicados por una constante, $z(\text{C}_x\text{H}_y)$. La proporción de hidrógeno a carbono, llamada relación hidrógeno/carbono, es más importante, pudiendo ahora determinarse como H/C , o $y/x = 49.78/16.36 = 3.04$ o escribirse como $\text{CH}_{3.04}$. (Wark K., 1992.)

El pH de la mezcla de gases producidos en la salida de escape de un motor a combustión interna en buen estado es de 4.3, siendo un pH ácido lo que comprueba la existencia alta de ácidos inorgánicos, en cambio con el sistema instalado para la generación de gas HHO el pH que obtenemos es de 6.0 considerablemente menos ácido. BOSCH. (2002).

Conclusiones

Todo el estudio realizado a través del uso de aparatos especializados y técnicas de laboratorio así como cálculos por medio de ecuaciones estequiométricas analizando de fondo la reacción de combustión interna y gases de escape sirvió para demostrar que la implementación del generador de gas oxhídrico en un vehículo automotor promueve la combustión casi completa aprovechándose al máximo cada parte de combustible y disminuyendo considerablemente los contaminantes, además de beneficiar la economía por todo esto que denominamos que esta medida es viable para implementarla públicamente y como medida sustentable .

Referencias

Wark K., W. C. (1992.). *Contaminación del Aire, Origen y Control*. México: Limusa.

BOSCH. (2002). *Técnicas de los gases de escape para motores a gasolina*. México: Robert Bosch GMBH, ISBN 9783934584679.

Ecoenergyfuel. (17 de Marzo de 2012). *Ecoenergyfuel*. Recuperado el 3 de Junio de 2016, de Ecoenergyfuel: <http://www.ecoenergyfuel.com/cms.php?id cms=7>

Estudio de movimiento para la rehabilitación de enfermedades óseomusculares en adultos mayores con modelo virtual

LÓPEZ-GONZÁLEZ, Erika*†, ALEJO-ELEUTERIO, Roberto, ANTONIO-VELÁZQUEZ, J y AMBRIZ-POLO, J.

Recibido Julio 20, 2016; Aceptado Septiembre 16, 2016

Resumen

El envejecimiento es una etapa del ciclo de la vida que constituye la culminación del proceso de desarrollo natural. En dicha etapa la aparición de problemas de salud son una constante: deterioro cognitivo, disminución de movimientos, enfermedades metabólicas, cardiovasculares y osteomusculares. Las fisioterapias son una herramienta eficaz para mejorar la calidad de vida en personas que sufren este tipo de enfermedades. Las instituciones de gobierno, promueven la actividad física por medio de programas que permitan garantizar y apoyar la rehabilitación de movilidad en adultos mayores, promoviendo cambios en los estilos de vida, hábitos y costumbres que favorezcan la salud, la UNEVT ofrece este servicio en el área de gerontología, desafortunadamente en dichas instancias no siempre se cuenta con el personal suficiente que ayude en la instrucción de los ejercicios al adulto lo que claramente es una desventaja, de igual forma no siempre los ejercicios son visibles para todos los asistentes lo que hace conveniente el diseño y desarrollo modelo virtual para la estimulación motriz en los adultos mayores para mejorar la movilidad con terapias de ejercicios de bajo impacto.

Adulto, Kinect, rehabilitación, movilidad

Citación: LÓPEZ-GONZÁLEZ, Erika, ALEJO-ELEUTERIO, Roberto, ANTONIO-VELÁZQUEZ, J y AMBRIZ-POLO, J. Estudio de movimiento para la rehabilitación de enfermedades óseomusculares en adultos mayores con modelo virtual. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 7-15

Abstract

Aging is a stage of the life cycle that is the culmination of the process of natural development. At that stage the appearance of health problems are a constant: cognitive impairment, decreased movement, metabolic, cardiovascular and musculoskeletal diseases. Physical therapies are effective to improve the quality of life in people suffering diseases such tool. Government institutions, promote physical activity through programs to guarantee and support the rehabilitation of mobility in the elderly, promoting changes in lifestyles, habits and customs that promote health, UNEVT offers this service in the area gerontology, unfortunately, in these instances is not always have enough staff to help in the exercise instruction to adult what is clearly a disadvantage, likewise not always exercises are visible to all attendees making it convenient design and virtual model motor stimulation in older to improve mobility therapies low-impact exercises adult development.

Adult, Kinect, rehabilitation, mobility

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: erika.lopez@tesjo.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El envejecimiento humano es una etapa del ciclo de la vida, en dicha etapa la aparición de problemas de salud son una constante, las enfermedades con mayor frecuencia son: deterioro cognitivo, disminución de movimientos, enfermedades metabólicas, cardiovasculares y osteomusculares (Padilla, 2006). En el caso de estas últimas, el daño y el dolor se presentan en músculos, tendones y estructuras adyacentes afectando hombros, codos, manos, muñecas, rodillas y pies. Las fisioterapias son una herramienta eficaz para mejorar la calidad de vida en personas que sufren este tipo de enfermedades. Como un medio de apoyo se han creado diversos sistemas de tipo robóticos (Padilla, 2006), de detección de movimientos para apoyar a la rehabilitación de extremidades (Nedrow, 2009), cuya principal desventaja es que son costosos (Sucar, 2010). Otro medio de apoyo es la creación de software interactivo basado en gestos y detección de patrones enfocados al apoyo a pacientes con diferentes patologías a través de dinámicas con videojuegos de ejercicio y análisis de los movimientos de los pacientes. Estos últimos hacen uso del sensor Kinect de Microsoft para dos fines: divertir al paciente en su terapia a través de Juegos de ejercicios y proporcionarle al especialista encargado de tratar su patología una herramienta para el registro y análisis de datos (Munoz-Cardona, 2013).

Cabe mencionar que uno de los principales motivos por los cuales el sensor Kinect es considerado como una herramienta de apoyo a la rehabilitación es el bajo costo, comparado con otros sistemas de captura de movimiento. La portabilidad y comodidad en el uso, los datos de captura pueden ser procesados de manera remota por el especialista para generar un diagnóstico sin necesidad de un desplazamiento físico del paciente hacía un centro especializado (Munoz-Cardona, 2013).

La posibilidad de realizar registro de datos en tiempo real de los pacientes convierte al sensor Kinect en una potente herramienta para el análisis biomecánico de las articulaciones.

Según las previsiones del Consejo Nacional de Población se espera que para el año 2025 la proporción de personas de 60 años o más sea cerca de 15% y para el 2050 de alrededor de 28% (CONAPO, 2002). Es bien sabido que con el envejecimiento se inicia un deterioro osteomuscular inminente o bien ocurren lesiones o daños en el aparato locomotor que presentan alteraciones en los patrones de movimiento humano, lo cual trae problemas asociados a la autonomía, el control para desplazarse o ejercer fuerza y realizar movimientos; la única manera de aminorar dicho deterioro es la actividad física. Las instituciones de gobierno como el INAPAM, el DIF y la Secretaría de Salud con la Subsecretaría de prevención y protección de la salud promueven la actividad física por medio de los programas de apoyo que permitan garantizar y apoyar en la rehabilitación de movilidad en adultos mayores promoviendo cambios en los estilos de vida, hábitos y costumbres que favorezcan la salud y calidad de vida del adulto mayor; también escuelas como la Universidad Estatal del Valle de Toluca ofrecen atención a los adultos mayores como parte de su rehabilitación en el área de gerontología, desafortunadamente en dichas instancias no siempre se cuenta con el personal suficiente que ayude en la instrucción de los ejercicios al adulto lo que claramente es una desventaja, de igual forma no siempre los ejercicios son visibles para todos los asistentes lo que hace conveniente el diseño y desarrollo modelo virtual para la estimulación motriz en los adultos mayores para mejorar la movilidad con terapias de ejercicios de bajo impacto.

Según el INAPAM(INAPAM) la reactivación física se lleva a cabo para mejorar la salud y calidad de vida de las personas adultas mayores, aportando beneficios a nivel físico, psíquico y socio-afectivo, conservando así la fuerza, arcos de movimiento y condición cardiopulmonar. El ejercicio terapéutico y la fisioterapia representan la mejor alternativa para tratar el deterioro en cuanto a capacidad de movimiento se refiere. El progreso depende de la severidad de la pérdida de movimiento, se abordan ejercicios tanto de flexibilidad, fuerza, coordinación, estabilidad, equilibrio y reeducación del patrón de movimiento.

Por lo tanto el diseño y desarrollo de un modelo virtual, utilizando las tecnologías como el sensor Kinect enfocado al apoyo de rehabilitación de enfermedades osteomusculares permitirá la observación de la movilidad del adulto mayor ofreciendo retroalimentación acerca del cumplimiento de ejercicios de bajo impacto que son de suma importancia y de bastante utilidad, así mismo será una fuente alternativa de atención al anciano.

También se cuenta con un área poblacional bastante extensa en donde aplicar, evaluar, proponer y establecer los métodos de terapia más convenientes de acuerdo a la tendencia del desempeño obtenido por el propio modelo, tomando en cuenta que el porcentaje total de adultos mayores en México aumento de un 6.2% en 2010 a 7.2% en 2015, aunado a esto la Secretaria de Salud en conjunto con Subsecretaría de Prevención y Protección de la Salud (salud, 2001) tienen como uno de sus objetivos promover la actividad física para la población de 60 años y más, igualmente distribuir material de promoción de la salud para la población de 60 años y más en el 100 por ciento de la unidades médicas del país.

Metodología

Definición de ejercicios experimento

Se propone trabajar con ejercicios para el hombro doloroso con las siguientes actividades (Kisner, 2012):

- Flexión del hombro y retorno a la posición inicial, figura 1.



Figura 1 Flexión de hombro (Kisner, 2012)

- Abducción y aducción horizontal del hombro
- Rotación interna y externa del hombro, figura 2.

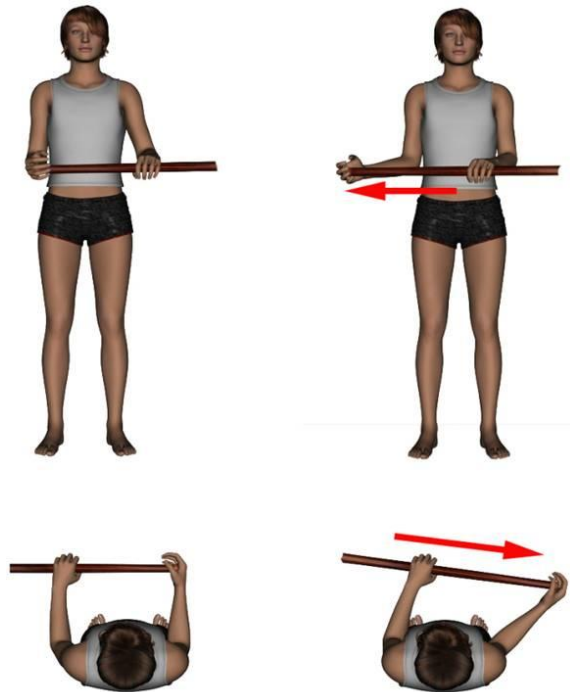


Figura 2 Rotación de hombro (Kisner, 2012)

- Escalamiento sobre la pared.
- Polea elevada.
- Ejercicios pendulares de Codman, figura 3.

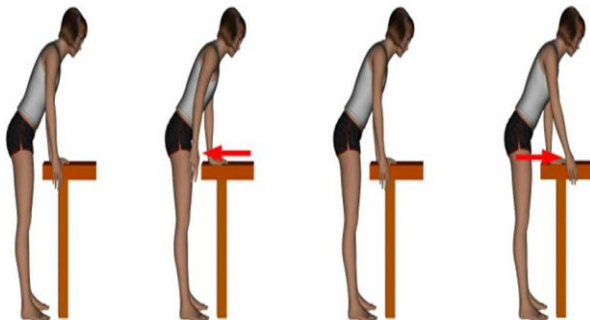


Figura 3 Ejercicios pendulares (Kisner, 2012)

Cabe mencionar que los ejercicios son propuestos por un especialista del área de gerontología de la Universidad Estatal del Valle de Toluca (UNEVT), con estos ejercicios se pretende: conservar la movilidad articular y del tejido conectivo, minimizar los efectos de la formación de contracturas, conservar la elasticidad del músculo, entre otros.

Áreas y Objetivos de Intervención para adultos mayores:

Salud
<ul style="list-style-type: none"> • Entrenar en habilidades de relajación y respiración para hacer frente a las situaciones que le generan tensión. • Evaluar la salud mental del adulto mayor. • Desarrollar hábitos saludables en el adulto mayor.
Física-Recreativa:
<ul style="list-style-type: none"> • Involucrar al adulto mayor en actividades de ocio y recreación. • Fomentar la práctica de actividad física.
Psicológica
<ul style="list-style-type: none"> • Entrenamiento en técnicas para el mejoramiento de la memoria.
Relaciones Sociales
<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar la interacción positiva con familiares y amigos

Tabla 1 Objetivos de intervención, propuesta UNEVT

Sistema de Adquisición

El sensor Kinect permite a los usuarios controlar e interactuar con las aplicaciones de software de manera natural también reconoce los movimientos del cuerpo humano al situarse frente a su espacio visual. Puede llevar a cabo la detección de puntos clave del cuerpo humano mediante imágenes de profundidad y árboles de decisión aleatorio a una velocidad de 200 fotogramas por segundo^{19, 20}, para hacer uso de los datos proporcionados Microsoft y PrimeSense desarrollaron un SDK (Software Development Kit, en español Kit de Desarrollo de Software), que es empleado para el desarrollo de software usando este sensor. (Microsoft, Microsoft in Education)

Inicialmente se ejecutó el código de SkeletonBasics-WPF de esta manera se exhiben los elementos que componen un tracking default del Kinect, y el resultado se muestra la figura 4.

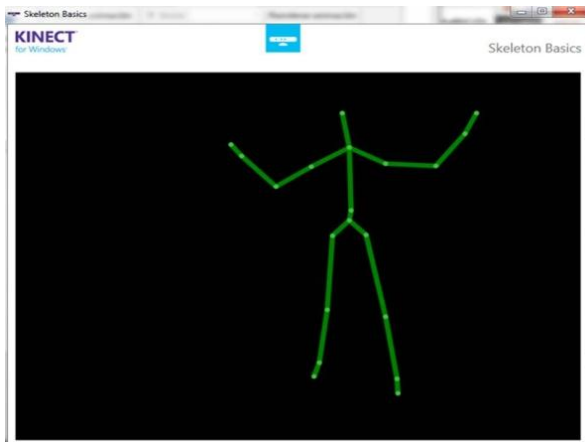


Figura 4 Skeleton Basic

Para obtener las características particulares que definen al individuo se determinan las extremidades superiores, con un sensor RGB-D, específicamente dispositivo periférico Kinect desarrollado por Microsoft, el cual se encuentra ampliamente disponible en el mercado por su precisión y bajo costo, siendo idóneo para esta investigación.

La cámara RGB permite generar una imagen tridimensional, emite rayos infrarrojos que se proyectan sobre la escena con un patrón de 50.000 puntos, invisibles al ojo humano, con el fin de marcar las líneas de profundidad, deducir el tiempo que tarda en rebotar el haz de luz con respecto al dispositivo y calcular distancia al objeto identificado. Se hace uso del algoritmo Mean-Shift, el cual es el encargado de estimar la posición correspondiente de las articulaciones del esqueleto, aplicado a cada parte del cuerpo. Como posición inicial para la ventana del algoritmo, se utiliza el promedio de los puntos cuyo porcentaje de clasificación sea mayor que un valor umbral aprendido T. Con ello se garantiza que el algoritmo empiece en una zona donde pueda converger a una buena solución.

El SDK (Kit de Desarrollo de Software) provisto por el fabricante, permitió la captura de puntos característicos de las articulaciones y del esqueleto humano en tres dimensiones. La figura 5 muestra los puntos que el dispositivo es capaz de detectar, este ejemplo identifica 20 elementos. (Microsoft, Microsoft in Education)

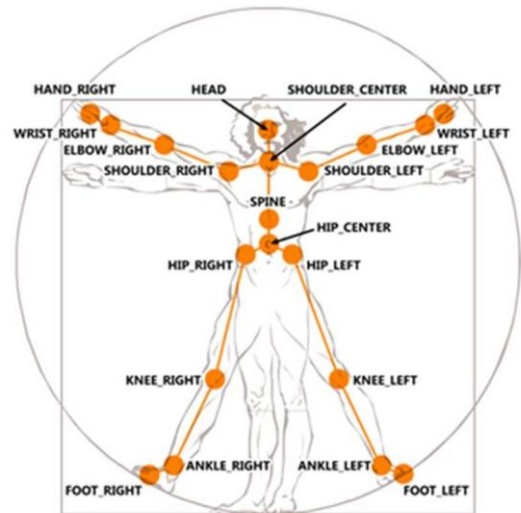


Figura 5 SkeletonBasics-WPF

Determinación de los puntos a trabajar

En este estudio se proyecta un patrón que trabaje los puntos característicos obtenidos mediante el sensor RGB-D en función de la necesidad de trabajar con las extremidades superiores y la obtención de segmentos del cuerpo, como muestra la figura 6. Una articulación es el punto o zona de unión de dos componentes del esqueleto, la flexibilidad y elasticidad por las estructuras anatómicas que en su ejecución intervienen y cuyo resultado determinan el grado o amplitud de movimiento de una articulación específica.



Figura 6 Extremidades involucradas

Primera fase de construcción del modelo virtual, ejercicios de calentamiento

Posterior a la correcta manipulación del sensor, se analizaron las rutinas que forman parte de los ejercicios piloto del sistema, tomando en cuenta que la pérdida de movilidad en los adultos mayores se manifiesta por un descenso en la movilidad articular y una menor elasticidad de los tendones. Por consecuencia se recomienda efectuar ejercicios de estiramiento y/o calentamiento que estimulen los músculos y articulaciones con la finalidad de dar un mejor rendimiento físico evitando algún tipo de contracción muscular o alguna lesión física, en estos ejercicios se estira o se flexionan lentamente las articulaciones manteniéndolas en cierta posición de 10 a 20 segundos y enseguida regresándolo a su posición original (Velarde, 2015). Al mismo tiempo y teniendo como base los ejercicios seleccionados se generó el avatar que fungirá como instructor del adulto mayor, al cual se implementaron los ejercicios a trabajar.

En inicio el paciente puede estar sentado en el borde de una cama dura o sobre una silla, (en dependencia del estado físico del paciente, se pueden adaptar a realizarlos en bipedestación).

Cuello: Ligera flexión del cuello, volver al centro, rotar el cuello a la izquierda, volver al centro, rotar el cuello a la derecha y volver al centro (6 a 10 repeticiones), figura 7.



Figura 7 Calentamiento cuello.

- Hombros: Elevar los hombros y dejarlos caer. (6 a 10 repeticiones). Hacer movimientos de rotación de los hombros. (6 a 10 repeticiones).
- Codos: Realizar movimientos de flexionar y extender los codos (doblar y estirar el codo) (6 a 10 repeticiones).
- Rodilla: Realizar extensión de las rodillas. Mantener la posición contando hasta (10 o 5) y relajar, alternar el movimiento con la rodilla derecha (6 a 10 repeticiones), figura 8.
- Elevación de brazos a 90° y flexión de manos con respecto al codo, regresando a la posición inicial, figura 9.

- Posición inicial con brazos elevados hacia enfrente a 90° y posteriormente flexionar hacia arriba con respecto a los hombros, regresando a la posición inicial.
- Elevación de ambas extremidades superiores a 90°, hacia los lados ejercitando la articulación de los hombros y regresando a la posición inicial, figura 9.

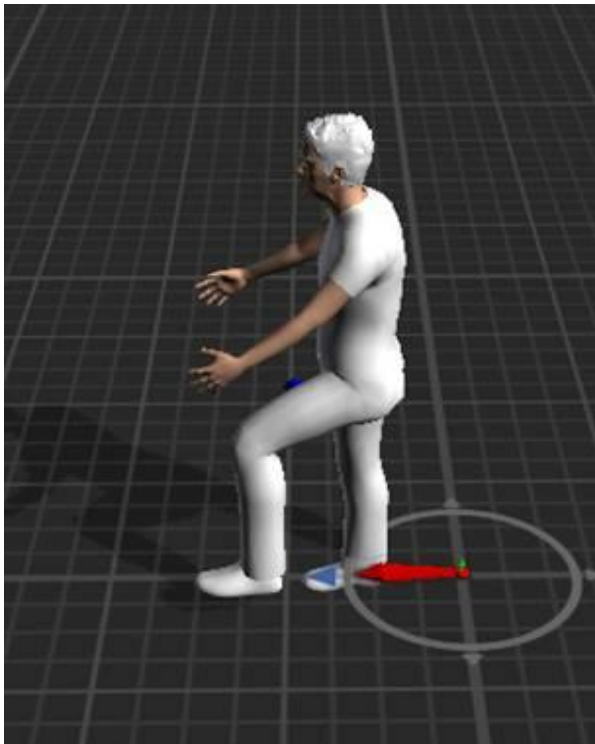


Figura 8 Calentamiento rodillas

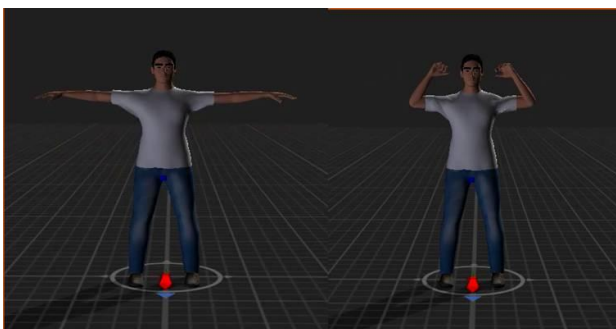


Figura 9 Elevación de brazos con flexión

Resultados

Las evaluaciones internas del cumplimiento de las actividades deberán llevarse a cabo por el comité hospitalario correspondiente, que se realizaran según las condiciones del paciente.

En las actividades encaminadas a los ejercicios de cada adulto se deberá tomar en cuenta la cantidad y tipo de problema identificado para que dé solución a los mismos, considerando las normas que rigen la atención del anciano.

Sin embargo las actividades registran un seguimiento adecuado o no hasta que sean alcanzadas al 100% para mayor veracidad del ejercicio, figura 10, también se lleva una bitácora que permite ayudar en el diagnostico del paciente pues se registra la actividad realizada para cada paciente, figura 11.



Figura 10 Seguimiento de ejercicio

Numero	Nombre	Fecha	Nombre Ejercicio	Grado de Movilidad Logrado	Grado de Movilidad Esperado
1	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	400%	1000%
2	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	400%	1000%
3	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	400%	1000%
4	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	700%	1000%
5	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	700%	1000%
6	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	700%	1000%
7	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	800%	1000%
8	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	500%	1000%
9	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	400%	1000%
10	Usuario de Prueba	19/06/2016 11:54:07 p. m.	Flexion Codo Serie 2	500%	1000%
1	Usuario de Prueba	20/06/2016 12:07:43 a. m.	Flexion Codo Serie 2	600%	1000%
2	Usuario de Prueba	20/06/2016 12:07:43 a. m.	Flexion Codo Serie 2	800%	1000%

Figura 11 Bitácora de pacientes

La implementación del modelo virtual también es un modelo comunitario de atención integral basado en compromisos, donde se promueve o fomenta el autocuidado de la salud y se articula con el cuidado profesional.

Agradecimiento

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

Conclusiones

Las personas adultas y jóvenes de hoy formarán parte del grupo de los adultos mayores del futuro próximo, en todo momento existirán adultos mayores para ello diferentes instituciones y secretaría de salud se han preocupado por la calidad de vida de los ya citados y una de las principales acciones a las que se ha recurrido es fomentar la actividad física para la rehabilitación de las extremidades en caso de deterioro, lo que permite abordar de una manera integral y con criterios comunes la problemática de los adultos mayores en todo el país.

El uso y aplicación del modelo virtual para la rehabilitación de extremidades superiores en adultos mayores ayudará en la actividad de rehabilitación física ya que permite medir los ángulos de movilidad articular con respecto al ángulo óptimo, los datos generados son muchos más valiosos para el médico y al mismo tiempo fáciles de visualizar porque el paciente sólo necesitará colocarse frente al sensor. Además de poder analizar a pacientes con padecimientos traumatológicos, es posible emplear este sistema en pacientes con deterioro articular y otras patologías degenerativas osteomusculares.

Con el kinect es posible detectar la orientación del brazo, por lo que se podría implementar el movimiento de pronación y supinación dando la oportunidad de incluir más movimientos a estudiar.

La rehabilitación óseomuscular es aplicada en instituciones de salud públicas, también en instituciones privadas o incluso en la comodidad del hogar y el horario que dispone el adulto mayor.

Referencias

INAPAM. *Modelos de Atención Gerontológica*. Mexico: INAPAM.

INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Mexico: Instituto Nacional de Estadística.

Kisner, A. C. (2012). *Ejercicio terapeutico*. Buenos Aires.

Luis, E. J. (2013). Videojuegos: conceptos, historia y su potencial como herramientas para la educación. *Investigación 3 Ciencias*, 7.

Microsoft. (2016). *c#*. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de Microsoft *c#*: msdn.microsoft.com/es-mx/library/kx37x362.aspx

Microsoft. (s.f.). *Microsoft in Education*. Recuperado el 19 de marzo de 2016, de www.microsoft.com/education/ww/products/Pages/kinect.aspx

Montoya-Casasola, M. Á., & Sandoval-Forero, E. A. (2013). Marginación sociodemográfica de los otomíes del Estado de México. *Papeles de Población*, 257-289.

Munoz-Cardona. (2013). Sistema de rehabilitacion basado en el uso de análisis biometrico y videojuegos mediante sensor kinect. 43-54.

Nedrow, M. W. (2009). Terapias complementarias y alternativas para el tratamiento de los sintomas de la menopausia. *Revista del climaterio*, 43-71.

Padilla, G. (2006). Calidad de vida y estrategias de afrontamiento ante problemas y enfermedades en ancianos de la ciudad de Mexico. *Universitas Psychologica* , 501.

salud, S. d. (2001). *Programa de Acción: Atención al envejecimiento*. México: Secretaria de salud.

Sucar. (2010). Gesture Therapy: A Vision-Based System for Upper Extremity Stroke Rehabilitation. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference* .

Velarde, M. P. (2015). Analisis del movimiento de las extremidades superiores aplicado a la rehabilitación física de una persona usando técnica de visión artificial. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE, VOL 8* , 1-7.

Calentador Solar en forma de espiral con espejos reflectores

MEJÍA-ESPINOZA, María*†, RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor, CACHO-LÓPEZ, Livier y CARDONA-MARTÍNEZ, Clara.

Universidad Tecnológica de Querétaro, Av. Pie de la Cuesta 2501, Unidad Nacional, 76148 Santiago de Querétaro, QRO, México

Recibido Julio3, 2016; Aceptado Septiembre 6, 2016

Resumen

Desde hace más de 20 años se han realizado esfuerzos por calentar agua evitando el uso de la quema de combustibles, haciendo uso de métodos como calentar agua en algún recipiente y colocarlo bajo la radiación solar, hasta la creación de diferentes diseños utilizando manguera y tubos, métodos que en definitiva no han resultado tan eficientes; hoy en día, se está haciendo uso de las energías renovables utilizando en algunos casos, tubos de silicio al vacío o los de transmisión térmica a través de barras de cobre, obteniéndose buenos resultados. En el presente artículo se muestra el diseño de un calentador solar en espiral con espejos reflectores como una opción de diseño innovador, tomando en cuenta que los espejos colocados en el área del diámetro interno de la parábola ayudan a que la reflexión solar eleve la temperatura del agua dentro del espiral y con la tapa de vidrio se genera un efecto invernadero. El calentador solar en espiral con espejos es un prototipo que va dirigido al sector local en zonas tanto rurales como urbanas, con el objetivo de calentar agua y poder así, disminuir el uso de combustibles en el hogar. El prototipo es funcional, ya que el agua que fluye en el espiral logra alcanzar una temperatura de hasta 93 °C.

Energía Renovable, calentador de agua solar

Citación: MEJÍA-ESPINOZA, María, RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor, CACHO-LÓPEZ, Livier y CARDONA-MARTÍNEZ, Clara. Calentador Solar en forma de espiral con espejos reflectores. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 16-20

Abstract

For over 20 years efforts have been made by heating water avoiding the use of fuel combustion, using methods such as heating water in a container and place it under the sunlight, to create different designs using hose and tubing, methods that ultimately have not been as efficient; nowadays, it is making use of renewable energy used in some cases, silicon vacuum tubes or heat transmission through copper bars, with good results. In this article the design of a solar heater coil with mirrors as an option innovative design shown, taking into account that the mirrors placed in the area of the parabola inner diameter help solar reflectance raise the water temperature within spiral and the cover glass creates a greenhouse effect. The solar heater coil with mirrors is a prototype that is intended for the local sector in both rural and urban areas, in order to heat water and to thus reduce fuel use in the home. The prototype is functional, since water flowing in the spiral achieves a temperature of 90 °C until.

Renewable energy, Solar water heater

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ccardona@uteq.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Una fuente principal de energía en la tierra es la radiación solar, no contamina y su disponibilidad es muy superior a lo que el ser humano necesita. El valor energético de la radiación que el Sol envía a la superficie de la tierra es 1373 W/m^2 , este valor energético está distribuido espectralmente en la radiación ultravioleta, visible, infrarroja de acuerdo a lo que se presenta en la Tabla 1.

RADIACIÓN	LONGITUD DE ONDA (nm)	VALOR ENERGÉTICO RADIACIÓN (W/m^2)
Ultravioleta	0.00-0.38	96
Visible	0.38-0.78	650
Infrarroja	0.78-inf	627
Total	0.00-inf	1373

Tabla 1 Valor energético de radiación solar (Bérriz, 2008)

Por otra parte, la radiación total que llega a la superficie de la tierra es la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada. Los calentadores solares captan la radiación directa y difusa.

Un calentador solar de agua utiliza la energía térmica del sol para el calentamiento de agua, básicamente se compone de un colector solar, un tanque térmico de almacenamiento y el sistema de tubería por donde va circular el agua, como se muestra en la Figura 1 (Vertiz, 2015).

Los calentadores solares aplican el efecto termosifón, este efecto se presenta cuando el agua se calienta, por lo que pierde densidad y peso, ocasionando que ascienda de manera natural al tanque térmico.

El agua fría desciende y de esta manera el agua en el calentador constantemente está recirculando de manera natural sin necesidad de ninguna energía eléctrica o mecánica, esto convierte a los calentadores en equipos de fácil funcionamiento, sencillos de instalar y mantener, ideales para beneficiar, a personas de zonas rurales y urbanas que requieran calentar agua para sus actividades diarias y disminuir el uso de gas LP. (Guevara, 2003).

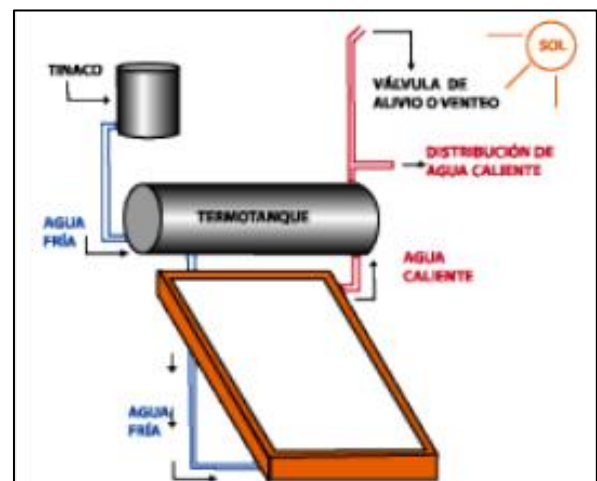


Figura 1 Componentes de un calentador solar (Vertiz, 2015)

Este prototipo prevé una operación muy sencilla, sin partes móviles y con un mantenimiento casi nulo. Hay que resaltar que un calentador solar puede producir un ahorro energético de entre el 50% y el 75% en épocas desfavorables y de entre un 80% y el 100% en épocas y zonas de alta radiación (Solargreen, 2016).

Lo que permitirá evitar el uso de combustibles fósiles, poder contar con agua caliente en hogares, trayendo consigo beneficios económicos a corto y largo plazo, además de cuidar el medio ambiente. Este proyecto puede ser funcional, gracias a la radiación solar y a que los materiales a utilizar son muy buenos conductores de calor como lo es el cobre (EcoInventos, 2014).

Metodología a desarrollar

El calentador solar en forma de espiral con espejos reflectores esta constituido básicamente por: un espiral de cobre, base de aluminio, espejos en cuadros, un espejo redondo, tapa de vidrio, termotanque, manguera. (Ver Figura 2).

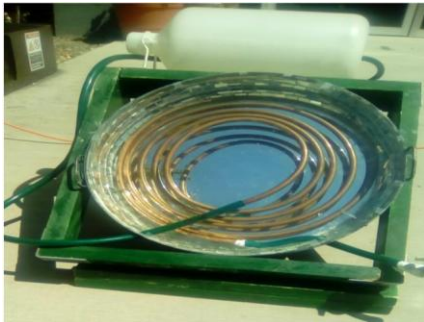


Figura 2 Calentador Solar en forma de espiral con espejos reflectores.

Para que el agua se mantenga caliente y este lista para usarse cuando se necesite, esta se almacena en un termotanque, el cual está forrado con un relleno con espuma de polietileno, para evitar la perdida de calor, posteriormente se colocaron los espejos, de manera, que cubrieran toda la base interna, se instaló el espiral de cobre y se conectó al termo tanque, por último se cubrió con la plataforma de vidrio, para que conserve el calor.

El calentador solar tiene la capacidad de calentar agua a una temperatura de hasta 93 °C, en un día soleado. Cabe mencionar que esta temperatura puede variar, ya que depende de las condiciones climáticas.

En la Tabla 2 se presentan las características principales que hacen del prototipo un equipo funcional.

CARACTERÍSTICAS
Ecológico
Hasta 93 °C de Temperatura en el agua
Fácil de instalar

Tabla 2 Características del equipo

En la Tabla 3 se presenta un listado con las especificaciones técnicas.

Especificaciones técnicas
Base de aluminio
Espejo circular. Dimensiones: Diámetro de 44 cm y espesor de 5 mm
Espejos cuadrados. Dimensiones: 180 cuadros de 2 x 2 cm y un espesor de 5 mm.
Estructura Material: Aluminio. Altura de 25 cm y diámetro de 49.5 cm.
Cobre Dimensiones: diámetro de ½ “ y 5 m de longitud
Espuma de polietileno Dimensiones: Grosor 5 mm
Manguera Dimensiones: Diámetro de ½ “ y 2 m de longitud
Tanque para el agua fría: Capacidad: 20 L
Termotanque Capacidad: 20 L

Tabla 3 Especificaciones técnicas

Se realizaron pruebas de calentamiento, en un período de tiempo de las 10h00 a 18h00, en un día con una radiación solar media, las primeras pruebas se realizaron en el mes de Enero. Posteriormente se realizaron pruebas en el mes de Abril donde se contó con una radiación solar alta, en un período de tiempo de las 10h00 a 18h00, para poder observar el funcionamiento y determinar la temperatura máxima, que el agua puede alcanzar en el prototipo. La temperatura se midió cada hora con un termómetro digital infrarrojo a distancia.

Resultados

Dentro de los resultados obtenidos en las pruebas se observó que el calentador solar eleva la temperatura del agua de forma constante, esto va a depender de la radiación solar que emita el sol en el día. En la Tabla 4 se presenta los resultados obtenidos de la temperatura que alcanza el agua a la salida del sistema y antes de ser almacenada en el termotanque, la mediciones se realizaron en un período de tiempo de las 10h00 a las 18h00, con una irradiación solar promedio de 4.0 KWh/m².

Temperatura del agua Con una irradiación solar promedio de 4.0 KWh/m ²	
HORA DEL DÍA	TEMPERATURA °C
10h00	21
11h00	26
12h00	35
13h00	55
14h00	67
15h00	70
16h00	68
17h00	60
18h00	45

Tabla 4 Temperatura del agua, con una irradiación solar promedio de 4.0 KWh/m²

En la Tabla 5 se presenta la temperatura que alcanza el agua a la salida del sistema y antes de ser almacenada en el termotanque, las lecturas fueron tomadas de las 10h00 a las 18h00, con una irradiación solar promedio de 5.5 KWh/m².

Temperatura del agua Con una irradiación solar promedio de 5.5 KWh/m ²	
HORA DEL DÍA	TEMPERATURA °C
10h00	26
11h00	41
12h00	66
13h00	82
14h00	93
15h00	82
16h00	73
17h00	65
18h00	50

Tabla 5 Temperatura del agua, con una irradiación solar promedio de 5.5 KWh/m²

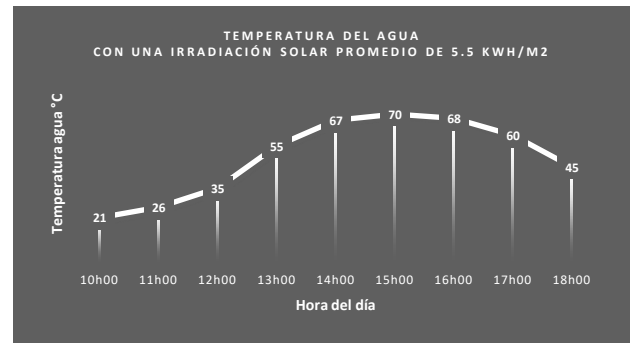


Figura 3 Temperatura del agua con una irradiación solar promedio de 5.5 KWh/m²

En la Figura 3 se puede observar como varía la temperatura del agua en un período de tiempo de las 10h00 a las 18h00, con una irradiación solar promedio de 4.0 KWh/m², en donde se puede ver que la temperatura máxima alcanzada fue de 70 °C cuando eran las 15h00, para posteriormente ir disminuyendo hasta llegar a los 45 °C a las 18h00.

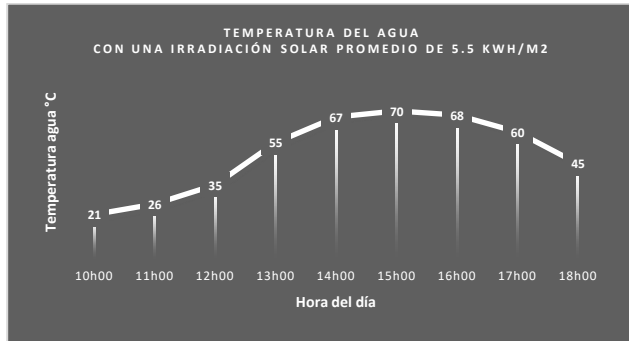


Figura 4 Temperatura del agua con una irradiación solar promedio de 5.5 KWh/m²

En la Figura 4 se puede observar que la temperatura máxima que alcanza el sistema con una radiación global promedio de 5.5 KWh/m² es de 93 °C, temperatura que se alcanzó antes de ser almacenada en el termotanque.

Conclusiones

El calentador solar en forma de espiral con espejos es un sistema fácil de operar y prácticamente autónomo, que contribuirá a la mejora del medio ambiente, ya que se evitará la quema de gas LP (Licuado del petróleo).

El movimiento del agua se presenta con el principio del termosifón, la radiación solar calienta el colector, el agua en el interior comienza a aumentar la temperatura, ocasionando que el agua se dilate y tienda a subir a la parte superior del sistema.

El calentador simula el fenómeno de efecto de invernadero, el calor solar que entra al sistema cerrado, se mantiene debido a que no hay recirculación del aire, así que la temperatura en el interior es mayor a la temperatura del medio ambiente.

A medida que es mayor la radiación solar, el agua alcanza una mayor temperatura.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Querétaro por las facilidades otorgadas para la realización de este prototipo.

Referencias

Bérriz, L. (2008). *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*. CUBA: CUBASOLAR.

EcoInventos. (29 de DICIEMBRE de 2014). *EcoInventos*. Obtenido de Green Technology : <http://ecoinventos.com/calentador-solar/>

Guevara, S. (2003). Teoría para el diseño de calentadores solares de agua. *UNATSABAR*, 1-22.

Solargreen. (15 de Septiembre de 2016). *Biodisol*. Obtenido de Calentadores Solares: <http://www.biodisol.com/calentadores-solares-presentan-los-mejores-colectores-solares-para-agua-caliente-que-se-pueden-adquirir-en-argentina-energia-solar-termica/>

Vertiz, J. (2015). Calentadores Solares. Energía Renovable en tú hogar. *Green Peace México*, 1-19.

Análisis de los factores que inciden en la producción de biohidrógeno en celdas de electrólisis microbianas

CERCADO-QUEZADA, Bibiana*†

Recibido Julio 7, 2016; Aceptado Septiembre 13, 2016

Resumen

En el presente trabajo se muestra un análisis de los factores que inciden en la producción de biohidrógeno en celdas de electrólisis microbianas.

Se realizó un compendio de los resultados que se han obtenido en diversas configuraciones de celda, inoculadas con diversas fuentes de microorganismos y alimentadas con medios sintéticos o con aguas residuales. La densidad de corriente obtenida en cada celda se utiliza como parámetro comparativo para evidenciar los límites de electroactividad y la capacidad para producir hidrógeno en cada celda. El análisis de las diversas fuentes de microorganismos muestra que se pueden obtener hasta 250 mA m^{-2} . La evaluación de diversos substratos confirman que éstos deben encontrarse en baja concentración para favorecer el proceso bioelectroquímico, el cual puede alcanzar una corriente de 2400 mA m^{-2} en un ciclo de alimentación. Finalmente, de entre los materiales de carbono, la tela con tratamiento oxidativo por anodización permitió producir una corriente de 14800 mA m^{-2} en 4 ciclos de alimentación. Los materiales de cátodo comúnmente empleados han mostrado un desempeño divergente debido al factor biológico en este tipo de celdas.

Bioenergía, biohidrógeno, celdas de electrólisis microbianas, bioelectroquímica

Abstract

This work shows an analysis of factors that impact the biohydrogen production in microbial electrolysis cells. A resume on electrochemical cell performance as function of inoculum and feeding (synthetic medium or wastewater) is shown. Current density was used as comparative parameter between the electrochemical cells and it was also used to quantify the electroactivity and the hydrogen producing capabilities of the cells. The inoculum sources analysis showed that up to 250 mA m^{-2} can be obtained. The evaluation of substrates confirmed that the substrate must be fed in low concentration to favour the bioelectrochemical process that in turn can reach 2400 mA m^{-2} in one feeding cycle. Finally, the carbon cloth with oxidative anodization produced up to 14800 mA m^{-2} with four feeding cycles. Typical cathode materials showed a divergent performance due to the biological factor involved in this type of electrochemical cells.

Bioenergy, biohydrogen, microbial electrolysis cells, bioelectrochemistry

Citación: CERCADO-QUEZADA, Bibiana. Análisis de los factores que inciden en la producción de biohidrógeno en celdas de electrólisis microbianas. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 21-34

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: bcercado@cideteq.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Entre las fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles se encuentra la biomasa. Se entiende como biomasa la materia proveniente de plantas y animales, principalmente madera y residuos agrícolas, no obstante, es posible extender esta definición de biomasa al contenido orgánico en aguas residuales y a la cantidad de microorganismos presentes en un medio. De esta forma el contenido de materia orgánica y de microorganismos en aguas residuales también puede considerarse biomasa.

La energía proveniente de la biomasa se denomina bioenergía. Los compuestos bioenergéticos más conocidos son el bioetanol, biodiesel, biogás (metano) y biohidrógeno. De entre los cuales, el hidrógeno presenta varias ventajas como combustible: posee una alta energía específica y los productos de su combustión no son perjudiciales al ambiente.

En los casos en que se utiliza biomasa de desecho como materia prima para producir biohidrógeno, se obtienen dos beneficios simultáneamente: reducir la materia contaminante y producir de forma sustentable una forma de energía limpia.

Los bioprocesos para la producción de hidrógeno son variados, entre los más importantes se encuentra la fotofermentación y la fermentación oscura. Una nueva tecnología para la producción de biohidrógeno fue propuesta a mediados de los años 2000; dicha tecnología une principios de operación de un reactor anaerobio de biomasa fija (microorganismos) y una celda electroquímica para electrólisis del agua. A este proceso híbrido se la ha nombrado Celda de Electrólisis Microbiana (CEM).

Una CEM consta de dos electrodos, ánodo y cátodo, generalmente separados por una membrana selectiva de intercambio de iones. Las reacciones que ocurren sobre cada electrodo no son espontáneas, por lo que se debe aplicar energía en forma de voltaje o corriente para que éstas ocurran. En el ánodo ocurre la oxidación de la materia orgánica gracias a los microorganismos presentes, la cual es simultánea a la transferencia de carga eléctrica desde el ánodo hacia el cátodo, en donde ocurre la reducción de los protonos para producir hidrógeno gaseoso (Figura 1).

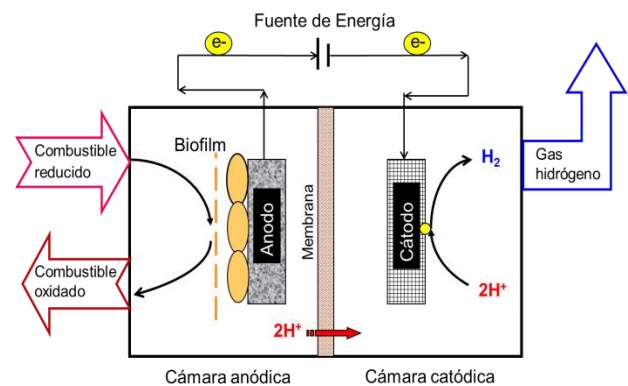


Figura 1 Esquema de una celda de electrólisis microbiana.

El creciente interés en la investigación de las CEMs se debe a los múltiples factores que inciden en la eficiencia de la misma, tanto para remover contaminantes como para producir hidrógeno.

Por una parte, los aspectos biológicos se refieren a la presencia, cantidad y estado fisiológico de microorganismos que poseen la capacidad de transferir o recibir carga eléctrica de un material sólido llamados microorganismos electroactivos.

Por otra parte, la biodegradabilidad y contenido de la materia orgánica definen en cierta medida la supervivencia de dichos microorganismos, la productividad del proceso, y la eficiencia de remoción de contaminación.

Respecto al proceso electroquímico, los materiales de electrodos, metálicos o no metálicos, su geometría, características superficiales y la presencia o no de catalizadores inciden tanto en la adhesión de microorganismos como en la transferencia de carga. El tipo y dimensiones de la membrana de intercambio de iones, así como la conductividad de cada solución de electrolito también afectan el transporte de carga iónica. El diseño del reactor bioelectroquímico debe cubrir necesidades de un sistema de tratamiento de aguas y de una celda electroquímica para producción de gas. Finalmente, la captura y almacenamiento del gas es un por sí mismo otro tema de investigación que aún no se acoplado a la operación de CEMs.

Por todo lo anteriormente mencionado, la investigación sobre las CEMs requiere ser abordada de forma multidisciplinaria. En el presente trabajo se hace un análisis de algunos de los factores que inciden en la producción de biohidrógeno utilizando la tecnología de las CEMs con base en resultados obtenidos en el grupo de investigación.

Materiales y Métodos

Fuente de microorganismos electroactivos.

La población microbiana autóctona de diversas fuentes se utilizó como inóculo. Los medios probados fueron agua residual doméstica, agua residual del lavado de una línea de procesamiento de yogurth, lixiviados fermentados de manzana, lodos activados conservados en anaerobiosis, lixiviados de composta, efluentes de un fermentador productor de hidrógeno alimentado con suero de leche, y efluentes de un fermentador metanogénico alimentado con residuos sólidos orgánicos.

Agua residual y ácidos orgánicos como substrato.

El agua residual fue obtenida de una planta procesadora de yogurth, de una planta de fabricación de vino, y se realizó una preparación manual de lixiviados de manzana que fueron previamente fermentados.

El substrato sintético fue preparado en soluciones de acetato de sodio (10 mM o 20 mM), soluciones de caseína y lactosa en diversas concentraciones, soluciones de propionato y butirato de sodio (250 mg DQO/L), soluciones de una mezcla de acético, propiónico y butírico (250 mg DQO/L), y soluciones de lactato y etanol (1000 mg DQO/L).

Diseño de celdas electroquímicas y operación.

Se utilizaron dos configuraciones de celdas, celdas de dos cámaras con ánodo y cátodo en cada cámara y celdas de 1 cámara con arreglo de tres electrodos (Figura 2).

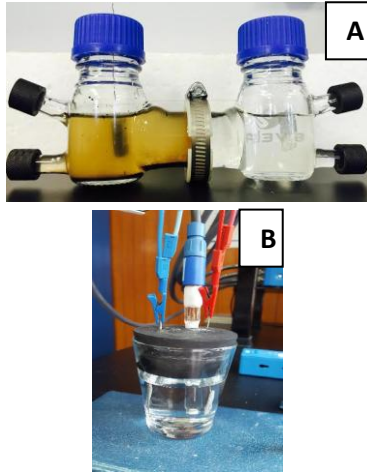


Figura 2 Celdas electroquímicas microbianas. A) Celda de dos cámaras separadas por una membrana. B) Celda de una cámara y tres electrodos.

En la configuración de una cámara la celda tuvo un volumen útil de 50 mL, 100 o 120 mL. Como electrodo de trabajo se utilizó un ánodo de diversos materiales de carbono tales como tela, fieltro, o papel, con o sin pretratamiento oxidativo [4]. Como contraelectrodo se utilizó una malla de platino, y como electrodo de referencia se utilizaron electrodos de calomel saturado (ECS) o electrodos de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl). Las celdas de dos cámaras tuvieron un volumen de 500 mL o 120 mL en cada cámara. En ambos casos se colocó una membrana selectiva de intercambio catiónico (Ultrex CMI-7000). En todos los casos las celdas operaron con alimentación en lote, a temperaturas de 25°C o 35°C utilizando un baño termorregulador.

Análisis fisicoquímicos.

La cantidad de materia orgánica se cuantificó como demanda química de oxígeno (DQO) en el agua residual así como en el anolito al inicio y final de cada prueba. Se utilizó el método de reflujó del kit HACH. La biomasa microbiana se determinó con el método de calcinación en una mufla para obtener sólidos totales, sólidos fijos, y sólidos volátiles (SV).

Características fisicoquímicas básicas como pH, conductividad y temperatura se midieron utilizando un medidor multiparámetros.

Análisis electroquímicos.

Se determinó el potencial de circuito abierto (OCP, V) en las celdas en ambas configuraciones. La corriente eléctrica producida fue normalizada al área proyectada del ánodo para ser registrada como densidad de corriente (J , mA m⁻²). Dicha corriente fue obtenida al aplicar un potencial fijo al electrodo ánodo mediante un potenciostato/galvanostato (BioLogic SAS, EC-Lab ver. 2.0, 10.23), y en algunos casos al cerrar el circuito entre ánodo y cátodo por una resistencia de 1000 Ω. Otras técnicas tal como curvas de polarización y espectroscopía de impedancia electroquímica se reportan en trabajos previos [1, 3, 4].

La corriente eléctrica en amperios se define como la transferencia de carga en Coulombios por segundo ($A = C/s$). La conversión entre la carga y el número de electrones se obtiene por medio de la constante de Faraday ($F = 96485 \text{ C/mol-e}^-$). El número de electrones requerido para formar un mol de H₂ es 2 según la ecuación (1)



Por lo tanto, la capacidad teórica de producción de hidrógeno estará definida por la corriente resultante en cada experimento y la duración del mismo. Con fines comparativos, en el presente trabajo se reporta el desempeño de las celdas como densidad de corriente y se asume éste parámetro como el potencial de producción de hidrógeno en cada uno de los sistemas celda-inóculo-substrato evaluados.

Resultados y discusiones

Fuentes de microorganismos.

Los microorganismos electroactivos son el componente que distingue a las celdas electroquímicas microbianas. Los fenómenos que permiten la transferencia de carga entre las bacterias y el material sólido de electrodo son estudiados en especies de *Geobacter* y de *Shewanella* principalmente. Estructuras de la membrana celular tal como pilis y flagelos, están involucradas en la transferencia directa de carga. Se conoce otro mecanismo de transferencia llamado mediado o indirecto, el cual ocurre en especies de *Shewanella* y de *Pseudomonas*, en este mecanismo diversos metabolitos actúan como transportadores de carga entre la bacteria y el electrodo. Este último mecanismo es más complejo dado que incluye fenómenos de transferencia de masa en el medio y por lo tanto existen aún amplias oportunidades de investigación sobre el mismo.

Desde un punto de vista práctico, las fuentes de microorganismos electroactivos deben ser consorcios o al menos cultivos mixtos, en donde la ecología microbiana tiene un papel fundamental para mantener la estabilidad de la comunidad y permitir adicionalmente, el aprovechamiento de una amplia gama de compuestos orgánicos.

En el presente trabajo se analizaron diversos medios a fin de identificar una fuente de microorganismos electroactivos en forma de consorcio. Esto se logró mediante cronoamperometría al imponer un potencial fijo al ánodo y obtener una respuesta de producción de corriente eléctrica.

Los resultados de diversos trabajos se muestran en la tabla 1.

Fuente de microorganismos	Corriente (mA m ⁻²)	Tipo de celda ^a	Ref.
Lodo anaerobio	110 (sin acetato)	Una	6
Lodo anaerobio	210 (con acetato 2 mM)	Dos	6
Lixiviados de composta de jardín	70 (sin acetato)	Una	6
Lixiviados de composta de jardín	160 (con acetato 2 mM)	Dos	6
Lixiviado de manzana fermentado	50	Una	6
Sedimentos de vino	50	Una	6
Agua de primer lavado de línea	250	Una	6
Agua de primer lavado de línea	49	Dos	6
Agua básica de lavado de línea	55 a 0.5 V/ECS	Una	1
Efluente de nixtamalización	188 Dilución 1:2 a 0.1 V/Ag/AgCl	Una	9

a. Una cámara con tres electrodos o dos cámaras separadas por una membrana selectiva.

Tabla 1 Producción de corriente por diversas fuentes de inóculo.

Se observó que los medios que se encontraban previamente en condiciones anaerobias (lodos) presentaron una mayor densidad de corriente (J) que aquéllos en los que tenía que proliferar la comunidad anaerobia (lixiviados de composta).

Por otra parte, los medios con un contenido de materia orgánica en extremo elevado como los sedimentos de vino (en el orden de g/L de DQO), no fueron aptos para la producción de corriente. Sin embargo en los casos en que se diluyó el medio se mejoraron los resultados como se observa para efluentes de nixtamalización y para el agua de primer lavado de una línea de producción de yogurth (Tabla 1).

Aún cuando el alto contenido de materia orgánica disminuye el desempeño de las celdas, parece conveniente utilizar medios (agua residual) en donde se encuentren presentes tanto materia orgánica como microorganismos electroactivos, de esta manera es posible omitir la etapa de inoculación de la celda. Esta situación se observó utilizando agua de primer lavado de línea. En otros casos, aunque se encontraba presente materia orgánica, principalmente carbohidratos fermentados (lixiviados de manzana), la insuficiencia de microorganismos electroactivos resultó en una J mínima (50 mA m^{-2}).

Se deduce entonces que una mayor diversidad microbiana permitirá utilizar la materia orgánica presente en los residuos y aumentar la probabilidad de encontrar especies electroactivas como es el caso de los lixiviados de composta.

Entre las observaciones prácticas se encontró que el uso de celdas de una cámara (arreglo de 3 electrodos) permite una mayor eficiencia en la producción de corriente que el uso de celdas de dos cámaras, en donde el material de cátodo, catolito, membrana y geometría de la celda, influyen en la J observada. Por lo tanto se propone realizar estudios en semi-celda o celda de una cámara y transferir las condiciones optimizadas a las celdas de dos cámaras. Un ejemplo de ello se encuentra en la evaluación del agua de primer lavado de línea (Tabla 1).

Otra observación importante es incluir en la evaluación de los diversos medios la cuantificación de biomasa microbiana, ya que se ha observado que está directamente relacionada con la corriente producida [3]. Aunque las celdas con lodos anaerobios produjeron 110 mA m^{-2} y con lixiviados de composta 70 mA m^{-2} , la J normalizada al contenido de microorganismos podría haber resultado en un desempeño inverso.

Del compendio de resultados para la evaluación de fuentes de microorganismos electroactivos se establece que los medios naturales evaluados alcanzan una J entre 50 mA m^{-2} como mínimo y 250 mA m^{-2} como máximo.

Substratos y fuentes de materia orgánica.

Las CEMs han sido alimentadas con substratos simples de composición conocida y con materia orgánica presente en aguas residuales, o en hidrolizados o lixiviados de residuos sólidos. Los substratos simples como el acetato y la glucosa se emplean en estudios para la comprensión de los procesos bioelectroquímicos, mientras que la materia orgánica compleja se utiliza en pruebas de concepto para el tratamiento de aguas o estudios de escalamiento.

De entre carbohidratos, proteínas y grasas, éstas últimas han sido poco utilizadas en celdas bioelectroquímicas debido al efecto negativo que presentan hacia los microorganismos al impedir la difusión de los nutrientes solubles hasta la membrana de la bacteria. Sin embargo un pretratamiento de emulsificación podría ser una alternativa para su aprovechamiento y representa una línea de investigación no explorada.

Por su parte, las aguas residuales que se visualizan como sustratos debe cumplir ciertas características básicas: ausencia de compuestos tóxicos o inhibidores de la actividad microbiana, baja concentración de materia orgánica, y contener preferentemente compuestos no fermentables. Estas características son difíciles de cumplir en aguas residuales reales, por ello las investigaciones se dirigen a delimitar el efecto negativo de estas condiciones y proponer alternativas para resolver esas condiciones de proceso.

El efecto tóxico que puede tener el etanol presente en efluentes de fermentadores hacia la producción de corriente en CEMs es amortiguada por la presencia de ácidos orgánicos como el lactato. En la Tabla 2 se muestra que aún cuando el porcentaje de etanol es mayor al porcentaje de lactato (33% y 67% respectivamente) en una mezcla alimentada a una CEM, la J alcanzó uno de los mayores valores (2500 mA m^{-2}).

Materia orgánica	Tipo de inóculo	Corriente (mA m^{-2})	Tipo de celda ^a	Ref.
Agua de primer lavado de línea	Lodo anaerobio	295	Dos	6
Lixiviado de manzana ferment.	Lodo anaerobio	193	Dos	6
Agua de primer lavado de línea	Lixiviado composta	331 404 en curva de potencia	Dos	7
Agua de primer lavado de línea	Lixiviado composta y fieltro de carbón tratado	1452 a 60°C 1796 con sustrato diluido	Una	7, 5
Lixiviado de manzana ferment.	Lixiviado de composta	393	Dos	6
Agua básica de lavado de línea	Lodo anaerobio	54	Una	1
Caseína	Lixiviado composta	331 (1.5 g/L)	Una	5
Lactosa	Lixiviado composta	1276 (0.5 g/L)	Una	5

Mezcla Caseína-Lactosa	Lixiviado composta	154 (1.5 g L ⁻¹ y 5 g L ⁻¹)	Una	5
Acetato	Lodo anaerobio	1200 con 1.0 V	Dos	12
Acetato	Lixiviado composta	2400 con 1.0 V	Dos	12
Propionato	Efluente de fermentador de residuos sólidos	600 a 700 Y 1180 con 15% inóculo y 1.6 V	Dos	14
Mezcla de ácidos grasos volátiles	Lixiviado composta	1750	Dos	12
Mezcla de ácidos grasos volátiles	Agua residual doméstica	113	Dos ^b	13
Acético	Agua residual doméstica	160	Dos ^b	13
Propiónico	Agua residual doméstica	111	Dos ^b	13
Butírico	Agua residual doméstica	122	Dos ^b	13
Lactato-etanol 44-56%	Lixiviado composta	1500	Dos	12
Lactato-etanol 33-67%	Lixiviados de composta	2500	Dos	12
Lactato-etanol 25 - 75%	Lixiviado composta	500	Dos	12
Lactato-etanol 20 -81%	Lixiviado composta	900	Dos	12

- Una cámara con tres electrodos o dos cámaras separadas por una membrana selectiva.
- Celda galvánica

Tabla 2 Potencial de diversas fuentes de materia orgánica para la producción de corriente eléctrica.

El requerimiento de una baja concentración de materia orgánica se ha cumplido a través de la dilución del agua residual que se encuentra en evaluación. Por ejemplo, el agua de primer lavado de la línea de producción de yogurth fue diluida para reducir su DQO de 136.5 g L^{-1} a 8.1 g L^{-1} obteniéndose así 404 mA m^{-2} con lixiviados de composta como inóculo.

Efluentes de nixtamalización también fueron diluidos utilizando una solución amortiguadora, lo cual provocó un doble efecto: neutralizar el efluente y reducir la concentración de materia orgánica, de tal manera que el mejor desempeño (188 mA m^{-2}) se obtuvo con dilución 1:2.

Aún cuando la dilución del agua ha mostrado ser un método efectivo para mejorar el proceso que ocurre en las CEMs, también se ha observado que el agua residual real puede contener elementos no identificados que favorecen la producción de corriente. El agua de lavado de línea de producción de yogurth produjo 331 mA m^{-2} en comparación con 154 mA m^{-2} que se obtuvieron con una mezcla sintética de los principales elementos en los derivados lácteos, caseína y lactosa, aún cuando se adicionaron en la misma concentración cuantificada en el agua residual real.

El uso de mezclas sintéticas de nutrientes permite dilucidar el componente que tiene un mayor impacto en la producción de corriente. Evaluando la mezcla caseína-lactosa antes mencionada, se encontró que la lactosa producía casi 4 veces más corriente que la caseína (1276 mA m^{-2} vs. 331 mA m^{-2}), y se confirmó que las mezclas de sustratos simples reducen la eficiencia de las celdas bioelectroquímicas (154 mA m^{-2} para la mezcla caseína-lactosa).

Este fenómeno de reducción del desempeño de las celdas con sustratos complejos es influenciado por otros factores, como por ejemplo, el tipo de compuesto orgánico. Estudios similares utilizando mezclas de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico) mostraron que la variación de J entre sustratos simples y la mezcla de 3 ácidos fue apenas del 2% y del 8% para ácido propiónico y ácido butírico respectivamente (Tabla 2).

Los ácidos grasos volátiles mencionados son de particular interés como sustratos para CEMs, dado que se encuentran presentes en una amplia gama de efluentes de bioprocesos y pueden ser alimentados a CEMs en una especie de procesos en cadena de una biorefinería. Sin embargo el efecto de los ácidos grasos volátiles en la producción de corriente es incierto debido a la gran diversidad de combinaciones, concentraciones y proporciones en que pueden encontrarse.

Es ampliamente reportado que el acetato es el compuesto orgánico que permite el más alto desempeño en celdas bioelectroquímicas microbianas. La alimentación de acetato de sodio a lixiviados de composta ha producido 2400 mA m^{-2} en una celda sometida a 1.0 V (Tabla 2). No obstante la J depende también del tipo y contenido de microorganismos, como se ha podido evidenciar al alimentar acetato en un medio con lodos anaerobios obteniendo la mitad de la corriente, 1200 mA m^{-2} .

Anteriormente se mencionó que uno de los requerimientos para el uso de aguas residuales como alimento para CEMs era no contener sustratos fermentables. Esta condición se debe al desvío de electrones que ocurre durante las reacciones fermentativas en donde las moléculas sufren oxidaciones incompletas en cadena.

El acetato, al contrario de los polímeros de carbohidratos, ya no es oxidado por los microorganismos para obtener energía, sino que debe ser reducido mediante el proceso de metanogénesis para obtener energía. Este cambio de acetogénesis a metanogénesis implica también un cambio de población microbiana que disminuye la producción de corriente. Por lo tanto, con ácidos orgánicos de cadena corta como el acetato se obtiene el mejor desempeño en CEMs.

Los ácidos grasos volátiles pueden ser degradados por microorganismos electroactivos de forma espontánea [13], sin embargo al aplicar un voltaje a la celda bioelectroquímica, la J resultante aumenta considerablemente. Utilizando ácido propiónico en una celda galvánica (reacciones espontáneas) se obtuvieron 111 mA m^{-2} , mientras que una celda de electrólisis operando con 1.6 V se obtuvieron 1180 mA m^{-2} .

La densidad de corriente obtenida en una celda es altamente dependiente del voltaje aplicado a la misma. Este proceso electroquímico es comúnmente descrito por la ecuación de Butler-Volmer, el enfoque innovador de este proceso es la presencia de microorganismos que actúan como catalizadores sobre los electrodos de tal manera que dicha ecuación debe ser modificada para incluir términos de actividad y crecimiento microbiano. El modelamiento de los procesos bioelectroquímicos microbianos es un tema que también requiere esfuerzos de investigación multidisciplinaria.

Del análisis de resultados en diversas condiciones de operación substrato-inóculo se deduce que es posible alcanzar una J de 2500 mA m^{-2} en un solo ciclo de alimentación con un voltaje menor al de electrólisis del agua, 1.0 V .

Materiales de ánodo y de cátodo.

Como se mencionó en la sección anterior, los microorganismos actúan como catalizadores sobre el material de electrodo, por lo tanto es de alta importancia el procedimiento para formar bio-electrodos.

El material de electrodo, colector de corriente, substrato, o también llamado soporte de biopelícula debe cumplir dos funciones básicas: recibir y conducir la carga, y soportar el crecimiento de biopelícula.

En la primera función, se considera favorable un material altamente conductor, resistente a la corrosión, químicamente inerte, con alta área electroactiva, y de bajo costo. Para la segunda función se prefieren materiales biocompatibles, de rugosidad equivalente a las dimensiones de las células bacterianas, y de alta área específica.

Características químicas como los grupos superficiales impactan ambas funciones. Grupos químicos con electrones libres (dipletes por ejemplo) favorecen la transferencia de carga, y algunos de ellos (amonio) también promueven la adhesión de bacterias.

Entre los materiales evaluados como ánodo, el carbono se ha explorado ampliamente. El fieltro de carbono se utilizó en los primeros años de investigación de las celdas bioelectroquímicas por considerarlo de gran área superficial, sin embargo, más tarde fue substituído por las telas de carbón debido a que presentaban menores limitaciones difusionales y mejor conducción eléctrica por sus fibras ordenadas.

En el presente trabajo se evaluaron fieltro y tela de carbono con lixiviados de composta y acetato como inóculo y substrato respectivamente (Tabla 3). Se obtuvo una mayor J con tela ($14,800 \text{ mA m}^{-2}$) que con fieltro ($10,000 \text{ mA m}^{-2}$). Es necesario notar que la corriente es un orden de magnitud mayor que la reportada para los estudios de inóculos y de substratos. Esto se debe a un procedimiento de alimentación en ciclos consecutivos, lo cual permite el desarrollo de un biofilm maduro y adaptado al substrato que se utiliza.

Material de electrodo	Inóculo y sustrato	Corriente (mA m ⁻²)	Tipo de celda ^a	Ref.
Filtro de carbono	Lixiviado composta y acetato de sodio 10 mM	10,000 a +0.1 V/ECS	Una	2
Tela de carbono	Lixiviado composta y acetato de sodio 10 mM	14,800 a +0.1V/ECS	Una	2
Tela de carbono con capa polimérica	Lixiviado composta y acetato de sodio 10 mM	9,400 a +0.1 V/ECS	Una	2
Tela de carbono tratam. térmico	Agua residual doméstica con acetato 20 mM	680	Una	4
Filtro de carbón anodizado	En medio buffer sin inóculo	-22,000 en -1.0 V/Ag/AgCl	Una	3
Cartón de carbono anodizado	En medio buffer sin inóculo	-106,000 en -1.0 V/Ag/AgCl	Una	3
Malla de Pt-Rh	Utilizando pH 7	650 a 0.6 V	Dos	11
Espuma de níquel	Utilizando pH 7	3,750 a 0.6 V	Dos	11

a. Una cámara con tres electrodos o dos cámaras separadas por una membrana selectiva.

Tabla 3 Alternativas de materiales de electrodo para uso en celdas bioelectroquímicas microbianas.

Los materiales de ánodo pueden ser modificados para potenciar sus propiedades de conducción eléctrica y promover la adherencia de bacterias [8]. El tratamiento al que se someten los materiales depende de la función final de los mismos. Para uso en sistemas de tratamiento de aguas residuales se buscan tratamientos simples y económicos.

Los tratamientos de oxidación del carbono permiten aumentar la cantidad de grupos oxigenados superficiales. Estos tratamientos pueden consistir en oxidación química con ácidos, oxidación electroquímica por anodización, y oxidación térmica al someter el material a altas temperaturas (500- 600°C) [3].

La eficiencia del tratamiento oxidativo depende de las características iniciales del material de carbono. En general se ha encontrado que el tratamiento térmico aumenta la porosidad y en consecuencia el área superficial específica del material, mientras que el tratamiento electroquímico aumenta los grupos superficiales oxigenados, favoreciendo la transferencia de carga. Una celda inoculada con agua residual doméstica y alimentada con acetato (20 mM), alcanzó 680 mA m⁻² al operar con electrodos de tela de carbono sometidos previamente a un tratamiento térmico.

El tratamiento oxidativo no solo puede favorecer las reacciones de oxidación sino también las de reducción. Utilizando cartoncillo de carbono se encontró que la corriente de reducción aumentaba 100 veces respecto a la corriente del material sin tratamiento, alcanzando así una J de -106 A m⁻² en medio amortiguador. Estos resultados podrían ser favorables para la preparación de bio-cátodos.

Los materiales de cátodo son mayoritariamente metálicos. Para la reacción de desprendimiento de hidrógeno se utiliza comúnmente Pt o Ni, en estudios de laboratorio, y Ni o acero inoxidable en celdas industriales. Depósitos de varios metales, o bien composites que los incluyen son métodos recientes para mejorar la eficiencia de las reacciones de formación de hidrógeno.

Uno de los objetos de investigación en este sentido es substituir los metales preciosos por materiales de eficiencia similar pero de menor costo. Particularmente para CEMs, las reacciones bioquímicas en donde se producen y consumen protones (cámara anódica) es un factor que adicionalmente impacta la reacción de formación de hidrógeno en el cátodo al incidir en el flujo de electrones hacia el cátodo y en la disponibilidad de protones. Los procesos microbianos, a diferencia de los procesos puramente químicos, varían en el tiempo debido a la reproducción, crecimiento y muerte de los microorganismos, por ello los resultados esperados al utilizar metales preciosos pueden no ser obtenidos en CEMs.

Cátodos de malla de Pt y de espuma de Ni fueron empleados en CEMs inoculadas con lixiviados de composta, alimentadas con acetato y operando a un potencial de celda de 0.6 V. La corriente obtenida fue de 650 mA m⁻² con cátodo de Pt y 3750 mA m⁻² con cátodo de Ni. Estos resultados son prometedores dado que el costo de Ni es considerablemente menor al costo del Pt, y podría lograrse una reducción adicional al utilizar partículas en lugar de Ni metal macizo.

Voltage aplicado al electrodo y a la celda.

A fin de determinar la presencia y el nivel de electroactividad de la comunidad microbiana autóctona de un medio se aplica un potencial al electrodo. El potencial aplicado debe ser suficientemente alto para estimular la transferencia de carga desde las membranas celulares hacia el electrodo, pero de igual forma debe ser menor a un valor que dañe dichas membranas y en consecuencia, la integridad de la célula.

En la Gráfica 1A se observa la corriente producida en el tiempo para diferentes niveles de potencial aplicado a un electrodo de fieltro de carbono inmerso en aguas de lavado de una línea de producción de yogurth. El perfil comúnmente observado se divide en una fase lag, una etapa de aumento rápido de J, y su decaimiento después de haber alcanzado un valor máximo.

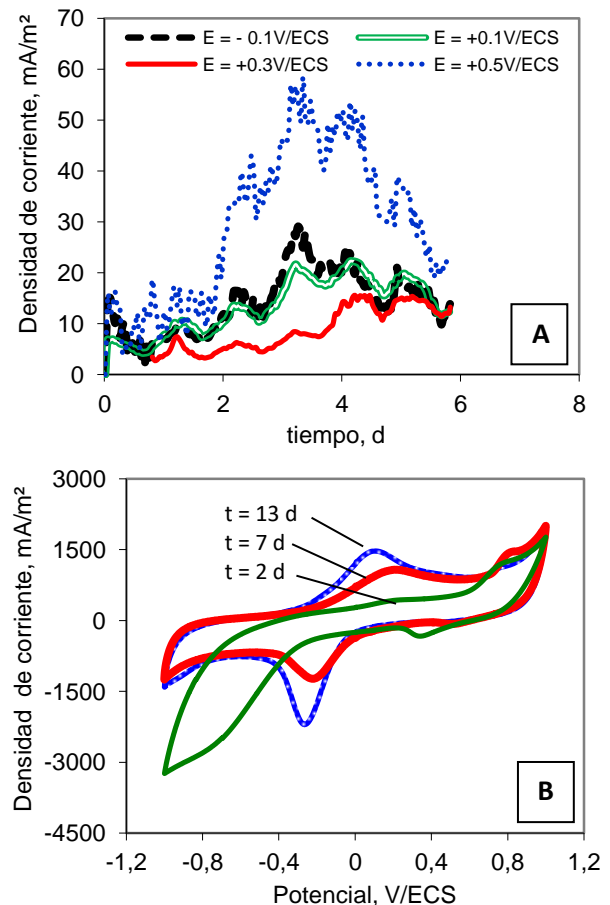


Gráfico 1 Producción de corriente en el tiempo. A) Cronoamperogramas a diferentes valores de voltaje para fieltro de carbono en agua residual, B) Variación del perfil de voltamperogramas en función de la formación de biopelícula en el tiempo.

La comparación de cronoamperogramas debe considerar la fuente y concentración de microorganismos, así como el tipo de substrato y concentración de substrato que se alimenta a la celda.

Además de determinar la presencia de microorganismos electroactivos, los estudios de potencial aplicado permiten determinar el voltaje máximo que puede soportar una celda de dos cámaras sin dañar la integridad microbiana.

Por otra parte, la presencia de especies electroactivas en la biopelícula y su entorno se determina por voltamperometría cíclica. La evidencia de parejas redox es dependiente del tiempo (Gráfica 1B), ya que la cobertura del electrodo por la biopelícula y el engrosamiento de la misma también varían en el tiempo.

La atribución de los picos redox a moléculas o macromoléculas que componen las células bacterianas es un tema de investigación vigente. Actualmente se utiliza esta técnica electroquímica únicamente con un enfoque comparativo.

Conclusiones

La presencia de microorganismos electroactivos en aguas residuales y otros medios naturales se puede llevar al cabo mediante cronoamperometría aplicando diversos potenciales al electrodo. Las investigaciones del grupo muestran que se puede alcanzar una densidad de corriente de hasta 250 mA m^{-2} en aguas residuales de la industria lacto-alimentaria. Por otra parte, aunque la presencia de materia orgánica es extendida en aguas residuales, es necesario que se encuentre en baja concentración y con moléculas parcialmente degradadas a fin de evitar un flujo divergente de electrones. Los trabajos del grupo señalan un máximo de 2400 mA m^{-2} en una celda con lixiviados de composta y acetato de sodio a 1.0 V en un solo ciclo de alimentación. Uno de los componentes de las celdas electroquímicas, el electrodo, debe cumplir funciones de transferencia de carga y soporte para el crecimiento microbiano.

La comparación de diversos materiales de carbono y su modificación oxidativa señalan que la tela de carbono con oxidación por anodización favorece la producción de corriente para llegar a 14800 mA m^{-2} en cuatro ciclos de alimentación.

Claramente las MECs son sistemas complejos que deben ser investigados sistemáticamente y por grupos multidisciplinarios. Debido a los múltiples beneficios que representan, sin duda será una tecnología que será aplicada a nivel industrial en un futuro.

Agradecimiento

Esta investigación ha sido financiada por el Fondo SEP-CONACYT proyecto 177441 y se recibió la beca por European Union Programme of High Level Scholarships for Latin America (Program Alban), No. E06D101223MX.

Referencias

- Cercado, B. (2009). Producción de electricidad a partir de desechos de la industria agrícola y alimentaria con uso de pilas de combustible microbianas. Institut National Polytechnique, Tlse, Francia.
- Cercado, B., Byrne, N., Bertrand, M., Pocaznoi, D., Rimboud, M., Achouak, W., et al. (2013). Garden compost inoculum leads to microbial bioanodes with potential-independent characteristics. *Bioresource Technology*, 134, 276-284.

Cercado, B., Chazaro-Ruiz, L. F., Trejo-Cordova, G., Buitron, G., & Razo-Flores, E. (2016). Characterization of oxidized carbon foil as a low-cost alternative to carbon felt-based electrodes in bioelectrochemical systems. *Journal of Applied Electrochemistry*, 46(2), 217-227.

Cercado, B., Chazaro-Ruiz, L. F., Ruiz, V., de Jesus Lopez-Prieto, I., Buitron, G., & Razo-Flores, E. (2013). Biotic and abiotic characterization of bioanodes formed on oxidized carbon electrodes as a basis to predict their performance. *Biosensors & Bioelectronics*, 50, 373-381.

Cercado, B., Vega-Guerrero, A. L., Rodriguez-Valadez, F., Hernandez-Lopez, J. L., Chazaro-Ruiz, L. F., Delia, M. L., et al. (2014). Carbonaceous and Protein Constituents in Dairy Wastewater Lead to a Differentiated Current Generation in Microbial Fuel Cells (MFCs). *Journal of the Mexican Chemical Society*, 58(3), 309-314.

Cercado-Quezada, B., Delia, M. L., & Bergel, A. (2010a). Testing various food-industry wastes for electricity production in microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, 101(8), 2748-2754.

Cercado-Quezada, B., Delia, M. L., & Bergel, A. (2010b). Treatment of dairy wastes with a microbial anode formed from garden compost. *Journal of Applied Electrochemistry*, 40(2), 225-232.

Cercado-Quezada, B., Delia, M. L., & Bergel, A. (2011). Electrochemical micro-structuring of graphite felt electrodes for accelerated formation of electroactive biofilms on microbial anodes. *Electrochemistry Communications*, 13(5), 440-443.

Garita Meza MA, Cercado B. (2016). Electricity production from maize processing wastewater in a microbial electrochemical cell. 12o Congreso Internacional de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro, Qro. México.

Gonzalez-Nava, C., Godinez, L. A., Chavez, A. U., Cercado, B., Arriaga, L. G., & Rodriguez-Valadez, F. J. (2016). Study of different carbon materials for their use as bioanodes in microbial fuel cells. *Water Science and Technology*, 73(12), 2849-2857.

Luna López R. (2016). Material de cátodo para la producción de hidrógeno en celdas de electrólisis microbianas (Tesis de maestría en curso). Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Qro., México.

Paz Mireles C.L. (2016). Efecto de la composición de mezclas de metabolitos procedentes de la fermentación oscura para su uso en la producción de biohidrógeno en celdas de electrólisis microbiana (Tesis de maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, S.L.P., México.

Rosales Sierra M. A. (2013). Producción de electricidad en celdas de combustible microbianas a partir de efluentes de fermentaciones oscuras: estudio de mezclas de ácidos grasos volátiles (Tesis de pregrado). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, S.L.P., México.

Segundo Aguilar A. (2016). Evaluación del efecto de la concentración de inóculo y del voltaje aplicado en la producción de hidrógeno en celdas de electrólisis microbianas (Tesis de maestría). Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Qro., México.

Control Automático de una maquina seleccionadora por Color mediante la PixyCam CMUCAM5 para aseguramiento de calidad

PADILLA-MAGAÑA, J*†, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi y OSEGUERA-ESPINOZA, P.

Recibido Julio18, 2016; Aceptado Septiembre 23, 2016

Resumen

La selección de productos en la industria regional es una de las principales actividades económicas, en la mayor parte de las mismas se realiza de forma manual por lo que el operador realiza tareas repetitivas creando fatiga de los trabajadores dentro de las líneas de producción lo cual resulta en todo un reto para mantener el desempeño y asegurar la calidad del producto. La Automatización de tareas dentro de la industria ayuda a mejorar la eficiencia y eficacia de un sistema de manufactura. Actualmente existen distintas máquinas automáticas de Sistemas de visión, uno de los problemas identificados es el de su alto costo, por lo tanto, no son muy accesibles para las PYMES de la región, es por eso que el diseño y control automático de la maquina propuesta trata de optimizar el proceso de selección. El control automatizado propuesto consiste en cuatro partes principales: Banda transportadora, Sensor de visión de color PixyCam CMUCAM5, Controlador y un actuador. Las salidas y entradas son procesadas por un Arduino Mega y un servomotor que realiza el proceso de clasificación. El objetivo de este proyecto es brindar máquinas de selección por medio de sensores de color para el aseguramiento de la calidad, de un costo accesible para los pequeños productores de la región.

Arduino Mega, PixyCam CMUCAM5 sensor de color, Selección por color, Control Automático

Abstract

The sort of products in the regional industries is one of the main economic activities, in most of them the sort is made in a manual way. For this reason, the operator does the same activities repetitively creating fatigue inside the line of production, which turns into a challenge to keep the performance and assure the quality of the product. The automation of activities inside of the industry helps to improve the efficiency and efficacy in a manufacturing system. Nowadays there are a lot of different automatic machines with Vision Systems, one of the issues identified is the high expense, therefore, they're not quite easy to afford for the PYMES of the region, that's why the design and automatic control of the machine tries to optimize the sort process. The automatic control proposed consists in four main parts: conveyor, color vision sensor pixyCam CMUCAM5, Controller and actuator. The outputs and inputs are processed by an Arduino mega and a servomotor which makes the process of classification. The objective of this project is to give quality sorting machines, through color sensors to assure the quality, of an easy-to-afford price for the small producers of the region.

Arduino Mega, PixyCam CMUCAM5 color sensor, color sorting, Automatic Control

Citación: PADILLA-MAGAÑA, J, SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi y OSEGUERA-ESPINOZA, P. Control Automático de una maquina seleccionadora por Color mediante la PixyCam CMUCAM5 para aseguramiento de calidad. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 35-44

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: fernando.padilla.upu@outlook.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción.

Dado el entorno actual de cambio permanente y mercados cada vez más abiertos y exigentes, en el cual las empresas deben desarrollar su actividad productiva ajustando y adaptando constantemente sus estrategias y decisiones, han surgido nuevas tecnologías y técnicas que pretenden enfocar su aplicación a la satisfacción total del cliente. Entre las filosofías, enfoques y herramientas que se han desarrollado para fortalecer el desempeño organizacional y orientar la gestión hacia el cliente se destacan el Control Total de Calidad, Manufactura Flexible, Logística Integral, Teoría de Restricciones, Benchmarking, Reingeniería e Ingeniería Concurrente, entre otras. El objetivo final es buscar la diferenciación de los productos en cuanto a precios bajos, excelente calidad, tiempo mínimo de respuesta y manejo eficiente y estratégico de los clientes, para lo cual todos los enfoques y herramientas anteriores hacen su aporte[1].

En el estado de Michoacán la agricultura sigue siendo uno de los rubros productivos de mayor importancia en el sostenimiento del desarrollo económico estatal. El suelo agrícola ocupa el tercer lugar de la superficie total del estado con el 20.9 %, le aventajan las actividades forestal y pecuaria con el 28.8% y el 43.2% respectivamente[9].

Uno de los procesos de mayor importancia posterior a la recolección agrícola es el de la clasificación de los productos provenientes del campo, esta tarea sobretodo en pequeñas y medianas industrias suele ser realizada por operadores los cuales realizan la selección de el producto por sus atributos físicos, siendo una tarea exigente ya que al ser repetitiva a lo largo del tiempo suele observarse una fatiga de los mismos, y en consecuencia derivando en errores que pueden poner el riesgo el aseguramiento de la calidad del producto por lo tanto la posible exportación de este y pérdidas económicas para la industria.

En los últimos años la creciente exigencia de consumo de productos de calidad, junto a factores económicos, ha inducido a las empresas del sector agroindustrial a introducir innovaciones tecnológicas en sus instalaciones, por lo tanto, las máquinas seleccionadoras automáticas han tenido una gran demanda dentro de la Agroindustria[2].

Se puede definir la “Visión Artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales. Los sistemas de visión permiten inspeccionar el proceso de producción sin fatigas ni distracciones, facilitando la cuantificación de las variables de calidad traduciéndose en un mejoramiento continuo[3].

En el pasado, el usuario típico de un sistema de visión era un experto en la materia. Tanto los sistemas de visión como sus aplicaciones estaban orientadas a un perfil muy técnico y con amplios conocimientos tanto en el hardware específico como en el proceso a controlar. Actualmente existen productos de visión que se pueden poner en funcionamiento por usuarios no expertos con una cierta formación respecto al producto. Los interfaces gráficos y la simplicidad en las cámaras han orientado la visión a este tipo de procesos a controlar[4].

Actualmente existen distintas máquinas seleccionadoras automáticas mediante un sistema de visión que realiza la tarea de selección mediante técnicas de procesamiento de imagen. Sin embargo, hasta la fecha solamente unas pocas empresas en la región cuentan con este tipo de máquinas seleccionadoras ya que no tienen un precio accesible.

Es por lo tanto que se tiene el objetivo del desarrollo de un prototipo que mediante un sensor de visión (PixyCam CMUCAM5) realice la clasificación de productos agrícolas por color para lograr el aseguramiento de la calidad del producto para su exportación. Para su posterior desarrollo industrial teniendo como ventaja principal un costo accesible para los pequeños productores de la región.

Descripción del Prototipo.

Vision artificial mediante Pixy CMUCAM5

Se decidió la utilización de este pequeño sensor de imagen ya que la relación de prestaciones-costos son demasiado buenas. A continuación, se detallan las características del equipo.

El Pixy CMUCam 5 es un sensor de imagen con un potente procesador que se puede programar para enviar sólo la información que se está buscando con el fin que el microcontrolador no se sienta abrumado por una gran cantidad de datos. El Pixy CMUCam también exporta su información en una variedad de maneras útiles - serie UART, SPI, I2C, digital, o analógicas a cabo - por lo que su microcontrolador puede comunicarse fácilmente sin dejar de hacer otras tareas[6].

El Pixy CMUCam5 también utiliza el tono y la saturación como su principal medio de detección de imágenes, en lugar de RGB normal. Esto significa que la iluminación o la exposición no afectarán a la detección de la Pixy CMUCam de un elemento, que es un problema frustrante con muchos sensores de imagen.

También puede recordar siete firmas de color diferentes, encontrar cientos de objetos a la vez, y es súper rápido - procesamiento a 50 cuadros por segundo.

Por último, el Pixy CMUCam también es enseñable así que usted puede configurarlo para que sólo le envíe las imágenes que usted ha dicho específicamente que se debe buscar. Es fácil y rápido y tiene una aplicación de código abierto llamado PixyMon.

Cada Pixy CMUCam5 sensor viene con un cable de 6 pines a 10 pines IDC y lengüetas de montaje y tornillos[5].

Especificaciones:

-Dimensiones (sin cable IDC, sin tornillos): 50 mm x 54 mm x 2 mm / 2 "x 2.1" x 0.08 "

-Altura de la cámara: 25 mm / 1 "

-Enfrente dos orificios de los tornillos: 19mm aparte / 0.75 "

-Atras dos orificios de los tornillos: 47mm aparte / 1.85 "

-Peso (sin cable de IDC, sin tornillos): 25,5 g

El software que maneja este sensor se llama PixyMon cuenta con diferentes menús y configuraciones que ayudan a minimizar el ruido generado en el ambiente donde opera, ajustando parámetros como iluminación, colores, escalas de grises, áreas de detección y muchos otros [7].

PixyMon es la herramienta de configuración para Pixy, con pixyMon se puede:

- Enseñar los objetos a detectar.
- Cambiar brillo contraste y otros parámetros de la imagen.
- Configurar el número máximo de objetos totales y del mismo tipo a detectar.

- Cambiar el tipo de interfaz de salida.

Se realizaron las pruebas correspondientes del funcionamiento de la banda seleccionadora propuesta a través de la selección de limones, la lectura que realizó la Pixy CMUCam5 se determinó por el color del fruto, en base a un muestreo se determinaron los tres colores principales: Amarillo, Verde claro, Verde fuerte.



Figura 1 Frutos a Seleccionar.

Configuración:

Se realizó la grabación de los objetos a detectar y se configuró el brillo de la cámara para que la captura fuera óptima, esto con el fin de evitar en la medida de lo posible las falsas detecciones, y finalmente se cambió la interfaz de salida I2C, debido a que la salida SPI interfería en la comunicación entre el PC y el Arduino.

La Pixy CMUCam5 nos otorga la posibilidad de memorizar hasta siete diferentes colores, por lo que se determinó que fueran memorizados solo tres, para su posterior procesamiento, quedando en el siguiente orden.

1. Amarillo.

2. Verde Claro.

3. Verde Oscuro.

Controlador Arduino Mega

El procesamiento de las señales adquiridas por la Pixy CMUCam5 se realizó a través de un Arduino Mega, para después de procesarlas realizar la selección del lugar adecuado, las prestaciones del Arduino Mega son las siguientes:

Microcontrolador: ATmega2560

Voltaje Operativo: 5V

Voltaje de Entrada: 7-12V

Voltaje de Entrada(límites): 6-20V

Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)

Pines analógicos de entrada: 16

Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA

Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA

Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)

SRAM: 8KB

EEPROM: 4KB

Clock Speed: 16 MHz

La comunicación de la cámara I2C con el Arduino se realizó mediante las siguientes conexiones[8]

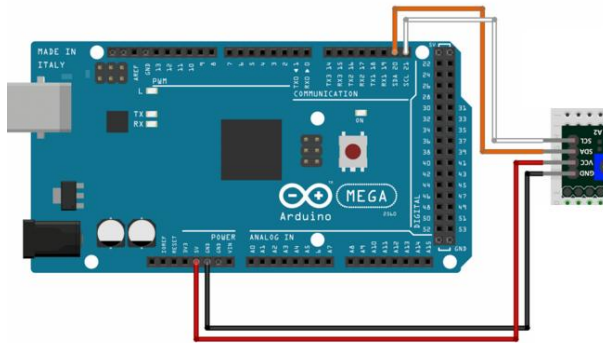


Figura 2 Diagrama de conexión I2C.

A continuación, se muestra parte del código escrito para la realización de la interfaz entre la Pixy CMUCam5 y el Arduino Mega utilizando la comunicación I2C.

```
#include <Wire.h> // Utilización del I2C de Arduino.
#include <PixyI2C.h> // Comunicación con la cámara.

PixyI2C pixy;
// PixyI2C pixy(0x55); // You can set the I2C address through PixyI2C object

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // inicializar comunicación serie
  Serial.print("Starting...\n");

  pixy.init(); //inicializar la cámara
}
<
```

Figura 3 Programa Interfaz I2C.

El siguiente bloque del programa sirve para la lectura de las señales de la cámara, cada objeto reconocido es salvado en un arreglo de bloques. La función *pixy.blocks[j].print()* nos permite acceder a toda la información. Por lo que podremos saber las dimensiones x, y, ancho, alto, largo y el color. El último atributo contiene el número del objeto identificado, dependiendo el orden en el que el objeto fue memorizado.

Por lo que se analizan en el algoritmo los primeros tres objetos memorizados.

```
File Edit Sketch Tools Help
Upload
i2c
void loop()
{
  static int i = 0;
  int j;
  uint16_t blocks;
  char buf[32];

  blocks = pixy.getBlocks();

  if (blocks)
  {
    i++;

    // do this (print) every 50 frames because printing every
    // frame would bog down the Arduino
    if (i%50==0)
    {
      sprintf(buf, "Detected %d:\n", blocks);
      Serial.print(buf);
      for (j=0; j<blocks; j++)
      {
        sprintf(buf, " block %d: ", j);
        Serial.print(buf);
        pixy.blocks[j].print();
      }
    }
  }
}
```

Figura 4 Programa para Guardar Variables.

Servomotores

Los actuadores encargados de realizar la separación del producto en distintas posiciones son un par de servomotores, que en conjunto a un par de paletas mecánicas, nos darán la posibilidad de separar los frutos dependiendo del color.

Los servos son también motores de corriente continua, pero en lugar de diseñarse para obtener un giro continuo que podamos aprovechar (para mover una rueda, por ejemplo), se diseñan para que se muevan un ángulo fijo en respuesta a una señal de control, y se mantengan fijos en esa posición.

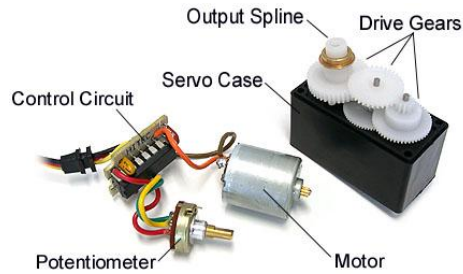


Figura 5 Partes del Servomotor.

Estos pequeños servos funcionan con 5V y el control se realiza mediante una señal de control PWM, en la que el ancho del pulso indica el ángulo que deseamos adoptar el eje.

Un servo tiene un conector de 3 hilos, 5V (rojo), GND (negro o marrón) y el otro Control (amarillo o blanco).

Estos servomotores están conectados a las salidas PWM del Arduino Mega por lo que dependiendo del color detectado mediante la cámara y almacenado en una variable del programa, se accionaran dependiendo del caso necesario[8].

Diseño mecánico del prototipo

El diseño completo del prototipo se realizó en SolidWorks en 2D con licencia estudiantil y se exportaron a un formato .DXF que reconoce el programa RDWords, un software especializado para maquinar objetos 2D en un CNC laser que se utilizó para una mayor precisión en el corte de las placas.

Las piezas que conforman el diseño son las siguientes:

Perfil: Esta consta de una sección donde irán los rodillos, orificios para colocar dos pies con tornillos de 3/16 y un tercer pie con tornillo de 1/4, esto con el fin de que los ensambles sean más exactos.



Figura 6 Perfil.

Tres pies: La banda tendrá 25 cm de alta así que después del perfil los pies suben 5 cm y en la parte de arriba lleva ensambles para mantener el espacio que necesita la banda.

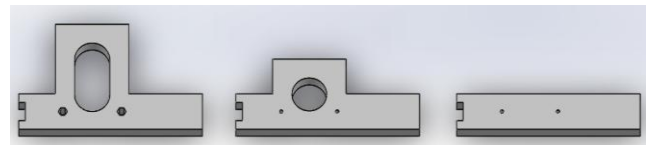


Figura 7 Tres Pies.

Poleas: Estas poleas son para transmitir directamente el giro del motor a la banda. Dos de ellas van al eje del motor y una al rodillo de la banda.

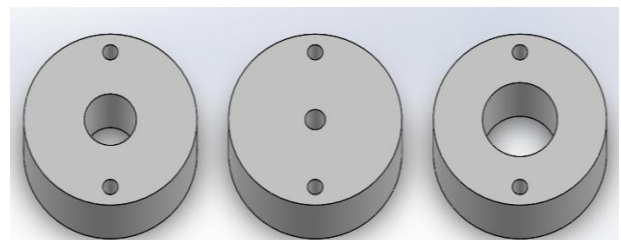


Figura 8 Poleas

Ensamble de arriba para paleta y servomotor: Esta se le coloca en la parte de arriba de los pies, aquí se ensambla el servomotor y un extremo de la bisagra que va a la paleta, con un tornillo de 3/16 por 3/4.

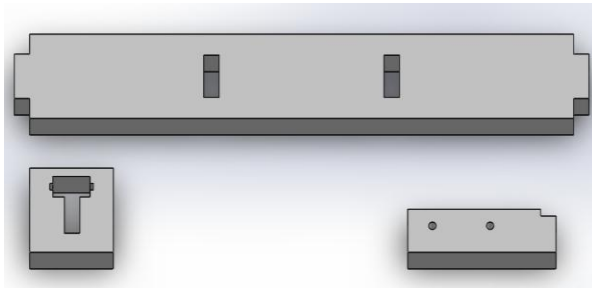


Figura 9 Ensamble para Paleta y Servomotores.

Paleta: Esta se maquina en MDF de 3 mm de espesor, se le colocaron orificios para broches y mediante un sujetador se asegura al servomotor, y con tornillos de 3/16 por 1/2 se asegura al otro extremo de la bisagra.



Figura 10 Paleta.

Ajuste de motor: Se utiliza para asegurar que motor de CA no se mueva de su posición al momento de funcionar en conjunto con la banda.

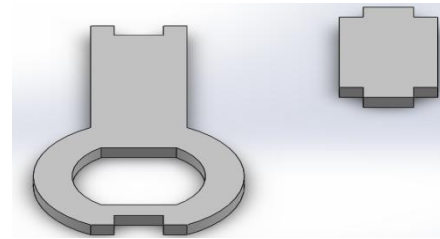


Figura 11 Ajuste de Motor.

Ajuste de rodillo con cojinete: Para poder tensar la banda se diseñaron un conjunto de piezas que tuviera la función de una chumacera con movimiento en un solo eje la cual es empujada por una varilla roscada de 1/4.

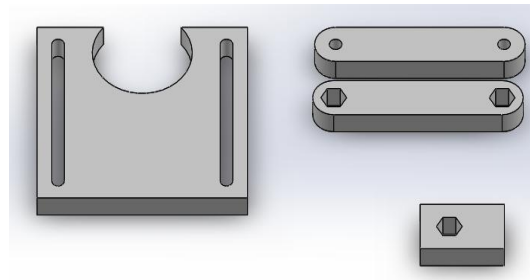


Figura 12 Ajuste de rodillo con cojinete.

En la Fig. 13 se muestra el prototipo final ensamblado.



Figura 13 Prototipo final ensamblado.

Resultados

Para que la maquina seleccionadora empezara a funcionar, se ajusto la velocidad de el motor para que la banda tuviera un movimiento lineal uniforme. Mediante una lámpara de leds, se acondiciono la luz incidente en las frutas para obtener una correcta toma de lectura de colores de la PixyCam. Como se muestra en la Fig. 14

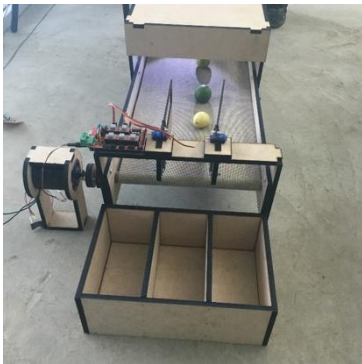


Figura 14 Prototipo funcionando con limones con distintos estados de madurez.

Estos son los tres posibles casos de selección que están marcados como camino “a”, camino “b” y camino “c” para activar cada uno de ellos es con un valor booleano. La condición es una compuerta “and” de tres entradas que al cumplirse, los servos giran de modo que la fruta tenga un solo camino dependiendo del color establecido para ella. La fruta se direcciona por una rampa con separadores y cae en un contenedor con tres espacios. Por ejemplo, una selección valida, para el limón, seria establecer que el camino “a” sea para los verdes claros, el camino “b” para los verdes fuertes y el camino “c” para los amarillos.

En la pixy cam debe ser grabados estos colores para que al detectar un color de los establecidos en el ejemplo, pueda enviar al controlador los parámetros adecuados y esté, pueda enviar las señales de control a los servomotores para la correcta separación de los frutos.

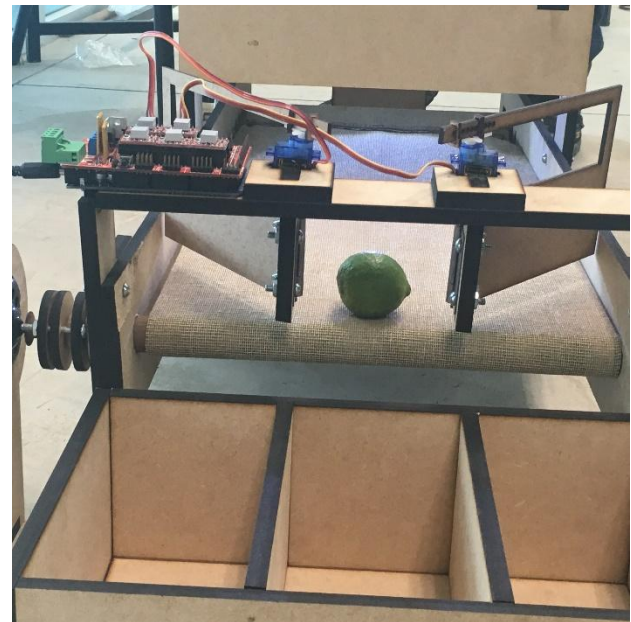


Figura 15 Selección de un limón de color verde oscuro

En las Fig. 15, Fig. 16 y Fig. 17, se muestra la operación de la maquina seleccionadora con los parametros planteados en el ejemplo.

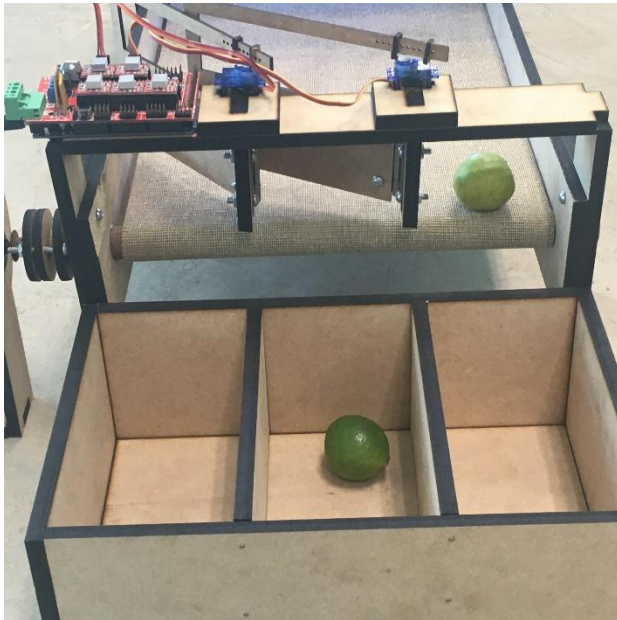


Figura 16. Selección de un limón de color verde claro
Fuente: Laboratorio de Manufactura UPOLU

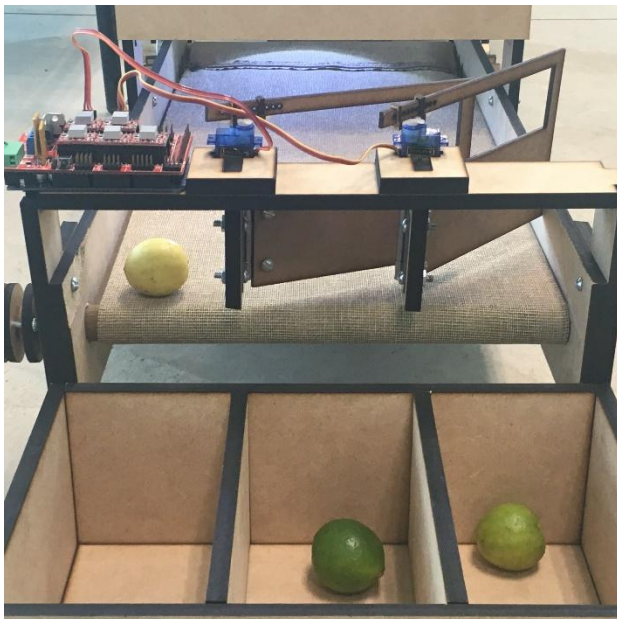


Figura 17 Selección de un limón de color amarillo.

Conclusiones

El proceso de clasificación de frutas usando la máquina diseñada es más eficiente que la clasificación mediante la vista y el tacto.

El diseño de la máquina, fue calculado con las normas existentes para garantizar que la selección de los materiales fueran adecuados para este tipo de procesos, así como también asegurar una alta eficiencia de las máquinas. El acabado de la máquina es muy preciso debido a la utilización de un equipo de corte CNC laser.

Se logró que el prototipo tuviera un enfoque multidisciplinario, involucrando a clientes y proveedores como participantes directos en el desarrollo del producto, con lo cual se lograron mejores resultados en el prototipo final.

Mediante el empleo de modelos estadísticos multivariantes es posible identificar qué tipo de parámetros requiere la maquina, por lo que se pueden adaptar automáticamente los parámetros de configuración para detectar cualquier defecto relacionado con el color.

Para mejorar el proceso de selección, seguiremos innovando en esta línea, incluyendo nuevos algoritmos para la selección de frutas, así como también la inclusión de sistemas de control difuso para lograr la selección de productos con calidad de exportación.

Referencias

- [1] Carmen R. Berdugo Correa, Carmenza Luna Amaya. (2002). *QFD y logística integral: La voz del cliente es el primer eslabón de la cadena*. Ingeniería & Desarrollo, 11, 99-106.
- [2] Kunhimohammed C. K, Muhammed Saifudeen K. K, Sahna S, Gokul M. S and Shaez Usman Abdulla, *Automatic Color Sorting Machine Using TCS230 Color Sensor And PIC Microcontroller*. International Journal of Research and Innovations in Science and Technology Volume 2 : Issue 2 : 2015
- [3] Bruce G. Batchelor, Paul F. Whelan. (2012) *Intelligent Vision Systems for Industry*. E.U: Springer Science & Business Media.
- [4] Vision Artificial. (2011). Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. Fondo Social Europeo. Union Europea. Recuperado de http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf
- [5] Open Electronics. (2016). Source Electronic Product. E.U. Futura Group srl. Recuperado de <http://www.open-electronics.org/pixy-camera-detect-the-colour-of-the-objects-and-track-their-position/>
- [6] OpenCV. (2016). Open Source Computer Vision. E.U. Itseez. Recuperado de <http://opencv.org/>
- [7] CMUcam. (2016) Open Source Programmable Embedded Color Vision Sensors. E.U. Redmine. Recuperado de <http://www.cmucam.org/>
- [8] Arduino. (2016). Arduino. Italy. Creative Commons Attribution ShareAlike. Recuperado de <http://www.arduino.cc/>
- [9] Horacio Mercado Vargas, Marisol Palmerín. Cerna. (2010). El estado de michoacán y sus regiones turísticas. España. Eumed.net Enciclopedia Virtual. Recuperado de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2012b/1230/michoacan-caracteristicas.html>

Automatización del Proceso de Moldeo por Inyección de Plásticos de la Máquina BOY 25D Utilizando Arduino y el Shield SIM900 GSM/GPRS

LÓPEZ-CORELLA, José*†, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, ORTIZ-NAVAR, Bertha y GONZÁLEZ-OCHOA, Sara.

Recibido Julio 15, 2016; Aceptado Septiembre 20, 2016

Resumen

La generación de biocombustibles a través de residuos El presente trabajo es el resultado de la investigación realizada en el Instituto Tecnológico de Nogales, específicamente el laboratorio de Moldeo por inyección de plásticos de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, el cual contempla mostrar los resultados obtenidos de la automatización de los procesos de moldeo por inyección de plásticos de la máquina Boy 25 D, utilizando la plataforma de código abierto Arduino y la shield SIM 900 GSM / GPRS. En específico dentro del proceso de inyección, los parámetros que fueron automatizados para su monitoreo son: los niveles de aceite, temperatura del aceite, presiones de inyección y presión (tonelaje en molde cerrado), todos estos de la máquina ya mencionada. Con el fin de conocer el estado actual que guarda la máquina y generar alertas cuando estos excedan los límites, estas alertas son enviadas por medio de la shield SIM 900 GSM / GPRS como mensajes de texto al celular previamente registrado, evitando un posible daño a la máquina.

Arduino, Celular, GSM, Boy 25D.

Abstract

This work is the results of research conducted at the Instituto Tecnológico de Nogales, specifically the laboratory plastic injection Career Mechatronics Engineering, which includes show the results of process automation injection molding plastics Boy 25 D of the machine, using the open source Arduino platform and shield 900 SIM GSM / GPRS. Specifically within the injection process, the parameters were automated for monitoring are: low oil levels, low oil temperature, low pressure and pressure (tonnage in closed mold), all these of already mentioned machine. In order to know the current status of the machine and generate alerts when these exceed the limits, these alerts are sent through the shield SIM 900 GSM / GPRS as text messages to cell previously registered, avoiding possible damage to the machine.

Arduino, Cell, GSM, Boy 25D

Citación: LÓPEZ-CORELLA, José, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, ORTIZ-NAVAR, Bertha y GONZÁLEZ-OCHOA, Sara.. Automatización del Proceso de Moldeo por Inyección de Plásticos de la Máquina BOY 25D Utilizando Arduino y el Shield SIM900 GSM/GPRS. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 45-49

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: sergio.hernandez@cicsa-net.com.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En ingeniería, el moldeo por inyección de plásticos es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido a un molde cerrado a presión, a través de un orificio pequeño llamado compuerta, en el molde el material se solidifica, la pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada. El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos, debido a la versatilidad de las piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable y altos niveles de producción.

En el laboratorio de Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Nogales, contamos con una máquina de inyección de plásticos modelo Boy 25D, tiene la característica de contar con un panel de leds como indicadores de parámetros de funcionamiento y alarmas, cuando se requiere dejar trabajando la máquina por un tiempo largo, es necesario estar bajo supervisión directa del panel de leds, monitoreando visualmente si todos los procesos se encuentran trabajando adecuadamente y evitar un daño en la máquina y en las piezas. Es decir siempre es necesario supervisar personalmente la máquina para verificar si todos los procesos están trabajando dentro de los límites permisibles. Por esta razón se decidió trabajar en la automatización de la medición de los siguientes parámetros:

- Monitoreo de los niveles de aceite.
- Temperatura del aceite.
- Presiones.
- Presión (tonelaje en molde cerrado).
- Guardas cerradas correctamente.

Para esto se utilizó la plataforma de código abierto Arduino y la shield SIM 900 GSM/GPRS.

El trabajo se encuentra organizado en las siguientes secciones, en la primera se presenta el componentes del sistema y una breve descripción teórica de algunos conceptos, en la segunda sección el sistema propuesto, en la tercera se muestran los resultados obtenidos y por último se presentan las conclusiones.

Componentes del Sistema

Plataforma Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo de computación física de código abierto, basada en una tarjeta (ver figura 1) con un microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software (programas). Arduino se utiliza para crear aplicaciones interactivas, obteniendo datos de una gran variedad de interruptores y sensores, para el control de diferentes dispositivos como: luces, motores y otros actuadores, Evans (2011). Los proyectos con Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa (software) que se ejecute en una computadora. El hardware está disponible para realizarlo uno mismo o se puede comprar ya listo para su uso, el software de desarrollo es abierto. El lenguaje de programación de Arduino es una implementación de Wiring, una plataforma de computación física, que a su vez se basa en Processing, un entorno de programación multimedia.

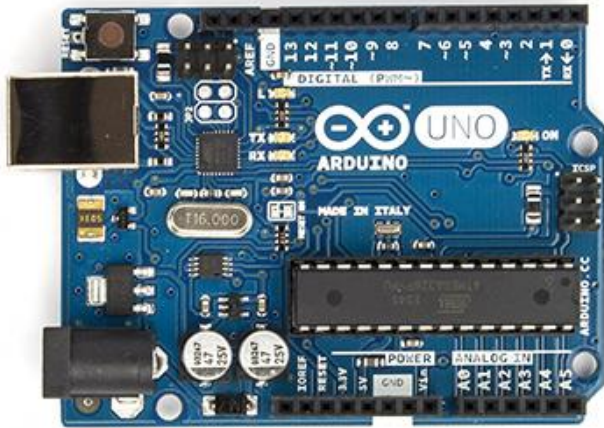


Figura 1 Tarjeta Arduino Uno.

Shield SIM900 GSM/GPRS

Es un módulo que se puede adquirir por separado a la tarjeta arduino y que se monta en esta gracias a su diseño, se utiliza para enviar/recibir mensajes de texto y hacer/recibir llamadas de voz igual que un teléfono móvil con una tarjeta SIM de un proveedor de red. Trabaja a frecuencias como: 850 MHz, 900 MHz, 1800MHz y 1900 MHz.



Figura 2 Shield SIM900 GSM/GPRS.

El dispositivo puede funcionar con cualquier red GSM, la ventaja de utilizarlo es su puerto RS232 que se conecta a la tarjeta Arduino para comunicarse y realizar una transferencia de datos.

Sistema Propuesto

En la figura 3, se muestra una foto de la máquina BOY 25D, la máquina no cuenta con una pantalla digital para el monitoreo o ajustes de los parámetros de operación, sin embargo cuenta con regletas que son utilizadas para ajustar dichos valores.



Figura 3 Máquina de Inyección de plásticos BOY 25D.

Los indicadores con los que cuenta son leds, los cuales se activan cuando esta un valor fuera de rango (alarmas). Se puede decir que la máquina es totalmente manual (figura 4).



Figura 4 Indicadores luminosos.

Utilizando los indicadores luminosos de las alarmas de la máquina antes mencionada, se diseñó un circuito a base de fotorresistencias, Cogdell (2000), que se puede observar en la figura 5, al momento de recibir la intensidad de iluminación de los indicadores, varían su valor de resistencia, provocando un cambio en el voltaje conectado directamente a las entradas analógicas de la interface Arduino.

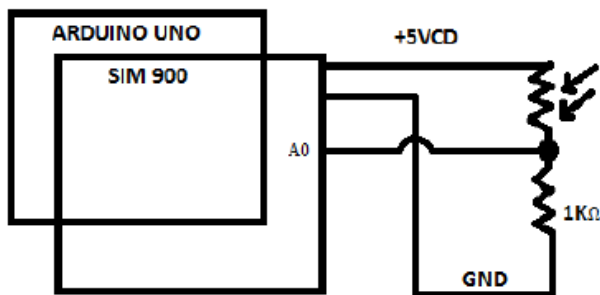


Figura 5 Diagrama del circuito construido.

El prototipo fue creado en mica transparente donde fueron colocadas cinco fotorresistencias que corresponden a los cinco parámetros de funcionamiento básicos de la máquina (ver figura 6), descritos en la primera sección. Se creó un divisor de voltaje, donde el voltaje de salida del divisor fue conectado directamente a las entradas analógicas de la tarjeta arduino.



Figura 6 Prototipo construido.

Las entradas analógicas de la tarjeta arduino reciben un voltaje que al ser interpretado por el convertidor analógico-digital se convierte en una escala de 0 a 1024. Cuando el valor está en 0 indica que no se encuentra activado el indicador luminoso, pero cuando el valor de entrada es mayor a 0, indica que una alarma ha sido activada y dependiendo del indicador es el parámetro de operación fuera de rango, es entonces que el programa en el arduino dará la orden a la shield SIM900 GSM/GPRS para que envíe un mensaje de texto al celular registrado (ver figura 7 y figura 8), indicando cual indicador está activado, en otras palabras cual puerto de entrada analógica se encuentra con una lectura mayor a 0.



Figura 7 Llegada de alertas al celular.

```

if (val1 > valval)
{
  Serial.println("\ncurrent read value at A0:");
  Serial.println(val1);
  if (sms.SendSMS("PHONE NUMBER", "CYCLE WAS NOT RESUMED PROPERLY"))
  Serial.println("\ncurrent alert = CYCLE WAS NOT RESUMED PROPERLY");
  Serial.println("status=SMS SENT");
  analogWrite(sensorPin0, valval);
  delay(500);
  Serial.println("current read value at A0:");
  Serial.println(sensorPin0);
  for(i=1;i<=20;i++)
  {
    sms.DeleteSMS(i);
  }
}

```

Figura 8 Fragmento de código donde detecta alarma y envía mensaje de texto.

Resultados Obtenidos

Se ha realizado un análisis de su comportamiento y se ha evaluado la efectividad de la tecnología, lo anterior con la finalidad de registrar las variables que intervienen en los procesos antes mencionados, optimizar los recursos y atender alarmas generadas en el proceso a tiempo, antes de que la máquina pueda sufrir algún tipo de daño.

Las mediciones fueron adquiridas sin problemas de igual manera la comunicación entre todos los dispositivos que intervienen en el proceso. Un solo detalle a considerar que se muestra en la figura 9, las fotorresistencias tardan en estabilizarse después de ser excitadas, por lo que se añade un retardo (delay) en el software para los tiempos de lectura, evitando que no se generen alertas falsas, o bien, para que no se envíen más de un mensaje de texto con la misma alerta.

```

val1=analogRead(sensorPin0);
delay(2000);
val2=analogRead(sensorPin1);
delay(2000);
val3=analogRead(sensorPin2);
delay(2000);
val4=analogRead(sensorPin3);
delay(2000);
val5=analogRead(sensorPin4);
delay(2000);

```

Figura 9 Fragmento de código donde se muestra el retardo de tiempo en la lectura.

Conclusiones

Uno de los principales objetivos del presente trabajo fue el de establecer un mecanismo que pudiera monitorear constantemente el funcionamiento de las principales variables de operación de la máquina Boy 25D. Esto con el fin de que si alguna de estas variables saliera de rango, se pueda detectar con tiempo y por medio del shield SIM 900 enviar un mensaje de texto a las personas encargadas de la máquina avisándole que tiene problemas, así como el código de falla. Con el fin de atacar el problema lo más pronto posible evitando posibles daños en la máquina y no retrasando la producción más de lo debido.

A futuro se pretende automatizar los parámetros de ajuste manual que se realizan por medio de una regleta, para ser ajustados automáticamente con la ayuda de unos servomotores.

Referencias

Evans Brian (2011). "Beginning Arduino Programming", writing code for the most popular microcontroller board in the world, technology in action. ISBN: 978-1-4302-3778-5.

<http://www.arduino.cc/es/>.

Cogdell J. R. (2000). Fundamentos de Electrónica. Pearson Educación. ISBN: 968-444-470-2

Malloy Robert A. (2nd Edition) Plastic Part Design for Injection Molding. ISBN: 978-1-56990-436-7.

Recubrimientos Ni-P negros de doble capa con capacidad absorbente solar

SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián*† y PÉREZ-BUENO, José de Jesús.

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C.; Parque Tecnológico Querétaro-Sanfandila, Pedro Escobedo, Qro. México. C.P. 76703

Recibido Julio 5, 2016; Aceptado Septiembre 2, 2016

Resumen

Los problemas ambientales y la crisis de energía en el mundo ha sido motivo para desarrollar sistemas de utilización de energía sostenible. La energía solar es muy atractiva porque es limpia, renovable y protege al ambiente. El objetivo de este trabajo fue la obtención de un recubrimiento de Ni-P con alta capacidad absorbente solar vía electroless con un baño ácido de sulfato de níquel como fuente de los iones metálicos a depositar e hipofosfito de sodio como agente reductor. Se obtuvieron espectros de reflectancia en tres regiones diferentes del espectro electromagnético de 400 a 16000 nm, los espectros mostraron un material con un valor de reflectancia cercano a cero por ciento y valores de absorbancia por arriba del 90%. Basándonos en los resultados anteriores se logró obtener un material capaz de absorber la energía proveniente del sol y que pudiera ser aprovechada posteriormente como una forma de generación de energía limpia.

Abstract

Environmental problems and energy crisis in the world have been reason to develop systems of sustainable energy use. Solar energy is very attractive because it is clean, renewable and protects the environment. The aim of this work was to obtain a Ni-P coating with high absorbent capacity solar-electroless with an acid bath nickel sulfate as a source of metal ions to deposit and sodium hypophosphite as reducing agent. Reflectance spectra were obtained in three different regions of the electromagnetic spectrum 400-16000 nm, the spectra showed a material having a value close to zero percent reflectance and absorbance values above 90%. It based on the above results was possible to obtain a material capable of absorbing energy from the sun and could be exploited later as a form of clean energy generation.

Coatings, Black Ni-P, solar absorption

Recubrimientos, Ni-P negro, absorción solar

Citación: SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián y PÉREZ-BUENO, José de Jesús. Recubrimientos Ni-P negros de doble capa con capacidad absorbente solar. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 50-55

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: asosa@cideteq.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los recubrimientos negros han tomado mucha importancia y han llamado la atención debido a sus aplicaciones en instrumentos ópticos, materiales absorbentes, recubrimientos negros decorativos, así como en la industria aeroespacial y de la defensa [1,10].

Se han propuesto la realización de recubrimientos negros sobre aleaciones de titanio con excelentes propiedades absorbentes solares [2]. En este trabajo se utilizará un acero al carbono AISI 1018 como sustrato.

Las aleaciones de níquel han sido aplicadas con gran éxito en numerosas industrias dentro del área química, mecánica y eléctrica, lo anterior debido a sus propiedades físicas y mecánicas [3].

Las aleaciones Ni-P han tenido buena aceptación en el campo de los recubrimientos debido a sus excelentes propiedades de dureza, características magnéticas, propiedades de resistencia a la corrosión y al desgaste [4-6]. El fósforo puede depositarse con níquel resultando en la formación de una aleación de Ni-P. El contenido de fósforo puede alcanzar entre 1 % y 15% en peso, en base a lo anterior se puede clasificar como una aleación de bajo fósforo (1-4%), medio fósforo (5-9%) y alto fósforo (más de 10%) [7].

Los recubrimientos absorbentes con propiedades ópticas selectivas pueden ser aplicados en sustratos colectores por varias técnicas incluyendo deposición al vacío, métodos de asperción, sol-gel, electrodeposición [8]. En este trabajo se utilizará la técnica electroless para realizar el depósito de Ni-P sobre un sustrato de acero AISI 1018.

Los recubrimientos níquel electroless se llevan a cabo mediante un proceso autocatalítico que produce un depósito de níquel sobre un sustrato catalíticamente activo usando una reacción química controlada. La habilidad del hipofosfito para reducir los iones metálicos de la solución es el principio utilizado en los recubrimientos electroless. Debido a la presencia de fósforo en los depósitos de níquel electroless son fáciles de ser atacados por ácidos con fuerte poder oxidante obteniéndose una superficie negra con propiedades absorbentes [11].

Una superficie absorbente selectiva esta caracterizada por tener un alto valor de absorbancia y baja emitancia solar [12]. Estas características incrementan la efectividad absorbente e incrementa la transferencia de calor entre la superficie absorbente y el medio de transferencia [9].

El objetivo de este trabajo fue realizar el depósito de una aleación de Ni-P sobre un sustrato de acero al carbono AISI 1018, posteriormente atacar esa superficie con un agente oxidante fuerte para preparar una superficie negra y repetir el procedimiento para hacer un recubrimiento Ni-P negro de doble capa. Se comprobó que los recubrimientos Ni-P de doble capa fabricados tienen altos valores de absorbancia por lo que su aplicación dentro del área de aprovechamiento de la energía solar puede ser importante.

Metodología

Preparación de recubrimientos Ni-P negros de doble capa

Se cortaron placas de acero al carbono AISI 1018 de 2.5 cm por 7.5 cm, posteriormente se realizó una preparación de las mismas pasándolas por papel lija de tamaño de grano 1200.

Se preparó un baño ácido de Ni-P para realizar el depósito de Ni-P sobre el acero 1018, lo anterior bajo las condiciones mostradas en la Tabla 1.

pH	4.5-5
Temperatura (°C)	88-90
Fuente metálica	Sulfato y cloruro de níquel
Agente reductor	Hipofosfito de sodio
Agentes complejantes	Citrato de sodio
Estabilizadores	Tiourea y acetato de sodio
Ajustadores de pH	Hidróxido de sodio y ácido sulfúrico

Tabla 1 Condiciones del baño del depósito de Ni-P.

Después de preparado el baño ácido Ni-P se introdujo por inmersión la placa de acero al carbono por espacio de 180 minutos. Después de transcurridos los 180 minutos se realizó un ataque con ácido nítrico 9 M por 4 segundos. Lo anterior se llevo a cabo en dos ocasiones para así poder depositar dos capas de Ni-P y también obtener en dos ataques ácidos dos superficies negras. A continuación en la Figura 1 se muestra un esquema de los depósitos formados.

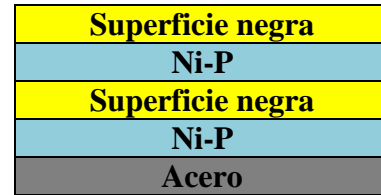


Figura 1 Esquema de las diferentes capas formadas.

Espectroscopia de Reflectancia

Se obtuvo el porcentaje de reflectancia de los recubrimientos obtenidos en un rango de 400 nm a 15000 nm utilizando una lámpara USB2000 marca Ocean Optics.

Resultados

En la Figura 2 se muestra una fotografía de la superficie negra obtenida por medio del procedimiento experimental explicado anteriormente.



Figura 2 Fotografía de la superficie negra.

En la Figura 2 se muestra una de las placas de acero al carbono AISI 1018 la cual se recubrió con Ni-P y después se atacó con ácido nítrico 9 M por 4 segundos. Lo anterior se realizó dos veces en la misma placa para obtener los recubrimientos de Ni-P negro de doble capa.

Se puede observar la característica principal de la superficie fabricada que es negra, este ennegrecimiento esta relacionado con una capacidad importante para absorber la energía del sol.

Una característica también importante es que el recubrimiento Ni-P negro se encuentra distribuido uniformemente sobre todo el sustrato y no hay indicios de desprendimiento del mismo lo cual nos asegura que la placa puede estar expuesta a los rayos del sol con el fin de captar la energía proporcionada por él.

En el Gráfico 1 se muestra el espectro de reflectancia para un recubrimiento de Ni-P de dos capas.

La reflectancia es la capacidad que tiene un cuerpo de reflejar la luz. Un recubrimiento selectivo solar ideal (absorbente solar) debe tener un alto coeficiente de absorción y baja emitancia.

Las superficies negras como las fabricadas en este trabajo, son usadas como recubrimientos por su baja reflectancia en instrumentos ópticos y sensores que realizan mediciones en la región espectral ultravioleta, infrarrojo y visible.

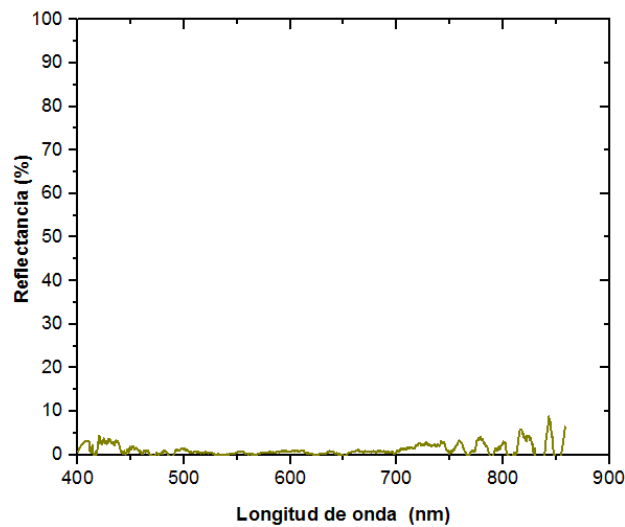


Gráfico 1 Espectro de Reflectancia de un recubrimiento Ni-P negro de doble capa en la región del espectro electromagnético visible-infrarrojo cercano.

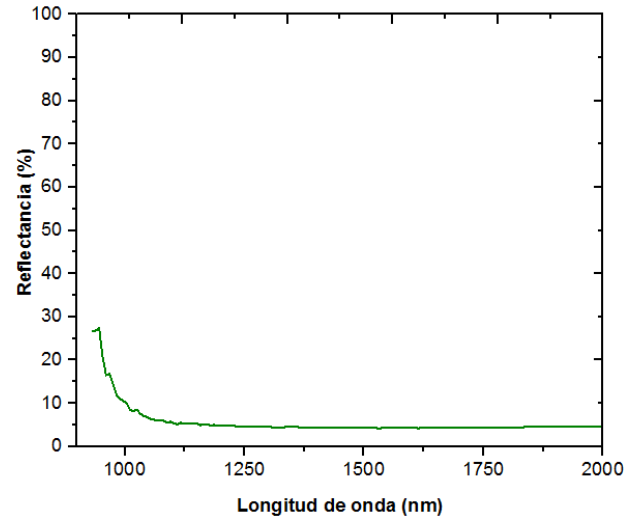


Gráfico 2 Espectro de Reflectancia de un recubrimiento Ni-P negro de doble capa en la región del espectro electromagnético infrarrojo cercano-infrarrojo medio.

En el Gráfico 1 se puede observar el espectro de reflectancia de un recubrimiento Ni-P negro de doble capa en la región del visible del espectro electromagnético en donde se pueden apreciar valores de porcentaje de reflectancia muy bajos lo cual trae consigo valores de absorbancia en esa región aproximadamente del 96%, lo cual indica que esta superficie es capaz de absorber en gran medida la radiación proveniente del sol en esa región del espectro.

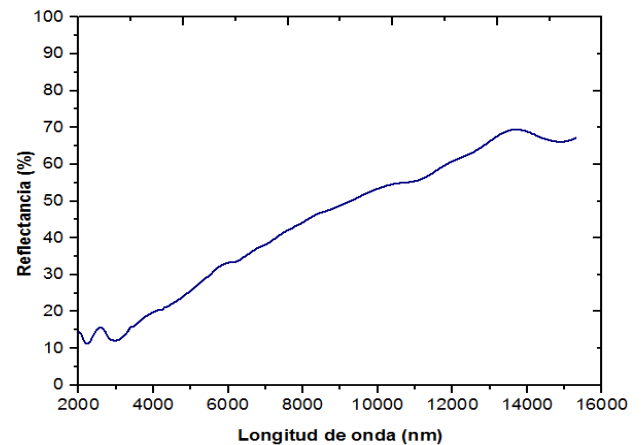


Gráfico 3 Espectro de Reflectancia de un recubrimiento Ni-P negro de doble capa en la región del espectro electromagnético infrarrojo medio-infrarrojo lejano.

En el Gráfico 2 se puede observar el espectro de reflectancia para un recubrimiento Ni-P negro de una capa en la región del infrarrojo cercano que llega hasta un valor de 2000 nm de longitud de onda, también en este espectro se puede identificar una superficie con una gran capacidad de absorción solar del orden del 95%.

Finalmente en el Gráfico 3 se obtuvo el espectro de reflectancia para el mismo recubrimiento pero ahora utilizando una longitud de 2000 nm a 15000 nm correspondiente a la región de infrarrojo medio del espectro electromagnético, en este espectro es posible observar que el porcentaje de reflectancia se va incrementando conforme se incrementa la longitud de onda, es decir conforme se va acercando a la región del infrarrojo lejano.

Al haber un aumento en el porcentaje de reflectancia la absorbancia del material tiende a su disminución. Lo anterior pone de manifiesto la región del espectro en la cual el material exhibe excelente propiedad absorbente y baja emisión.

Agradecimiento

El primer autor externa su gratitud al CONACYT por la beca otorgada para el desarrollo de esta investigación y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ) por su apoyo para su difusión.

Conclusiones

El recubrimiento Ni-P negro de doble capa preparado mostró una excelente capacidad de absorción de radiación solar con un 96% de eficiencia cubriendo longitudes de onda desde 300 nm hasta 2,000 nm.

Es posible observar en el espectro de reflectancia que a partir de 2,000 nm hay un incremento del porcentaje de reflectancia por lo cual el porcentaje de absorción disminuye considerablemente, lo anterior podría evitarse colocando una capa de un recubrimiento selectivo que disminuya la emisión y por lo tanto el porcentaje de absorbancia se mantenga alrededor del 90%.

Se logró realizar un depósito de Ni-P negro de doble capa sobre acero al carbono AISI 1018 con una capacidad de absorción importante, lo anterior nos podría permitir desde el punto de vista tecnológico colocar placas de estos materiales que ayuden a la captación de energía solar para su posterior aprovechamiento como energía térmica.

Referencias

- [1] Xing, F., Zhao, B., & Shi, W. (2013). Study on tunable fabrication of the ultra-black Ni-P film and its blacking mechanism. *Electrochimica Acta*, 100, 157–163.
- [2] Uma Rani, R., Sharma, a. K., Minu, C., Poornima, G., & Tejaswi, S. (2010). Studies on black electroless nickel coatings on titanium alloys for spacecraft thermal control applications. *Journal of Applied Electrochemistry*, 40(2), 333–339.
- [3] Liu, Y., Beckett, D., & Hawthorne, D. (2011). Effect of heat treatment, top coatings and conversion coatings on the corrosion properties of black electroless Ni-P films. *Applied Surface Science*, 257(9), 4486–4494.
- [4] Mu, S., Li, N., Li, D., & Zou, Z. (2009). Investigation of a transparent chromate (III) passive film on electroless Ni-P coating by XPS and electrochemical methods. *Electrochimica Acta*, 54(26), 6718–6724.

- [5] Madram, A. R., Pourfarzad, H., & Zare, H. R. (2012). Study of the corrosion behavior of electrodeposited Ni-P and Ni-P-C nanocomposite coatings in 1 M NaOH. *Electrochimica Acta*, 85, 263–267.
- [6] Abdel Hameed, R. M., & Fekry, a. M. (2010). Electrochemical impedance studies of modified Ni-P and Ni-Cu-P deposits in alkaline medium. *Electrochimica Acta*, 55(20), 5922–5929.
- [7] Cui, G., Li, N., Li, D., Zheng, J., & Wu, Q. (2006). The physical and electrochemical properties of electroless deposited nickel-phosphorus black coatings. *Surface and Coatings Technology*, 200(24), 6808–6814.
- [8] Lizama-Tzec, F. I., Macías, J. D., Estrella-Gutiérrez, M. a., Cahue-López, a. C., Arés, O., de Coss, R., ... Oskam, G. (2014). Electrodeposition and characterization of nanostructured black nickel selective absorber coatings for solar-thermal energy conversion. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26(8), 5553–5561.
- [9] John, S. (1997). Electrodeposition of nickel black solar absorber coatings. *Metal Finishing*, 95(6), 84–86.
- [10] He, F., Su, H., Ju, H., Tan, L., & Zhou, Q. (2012). A new blackening process for NiWP alloy deposits. *Surface and Coatings Technology*, 213, 133–138.
- [11] Saxena, V., Rani, R. U., & Sharma, a. K. (2006). Studies on ultra high solar absorber black electroless nickel coatings on aluminum alloys for space application. *Surface and Coatings Technology*, 201(3-4), 855–862.
- [12] Shashikala, a. R., Sharma, a. K., & Bhandari, D. R. (2007). Solar selective black nickel-cobalt coatings on aluminum alloys. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(7), 629–635.

Oxidación electroquímica sobre Pt/C de glicerol obtenido de distintas fuentes

DECTOR-Andrés*†, ORTIZ-Alondra', GARCÍA-GALLEGOS, Jesús y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan.

*Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Av. La Palma 125, Col. Vista Hermosa, San Juan del río, Qro., México.
'Universidad Politécnica de Querétaro, Carretera estatal 420 s/n, El Rosario, El Marqués, Qro., México.*

Recibido Julio 6, 2016; Aceptado Septiembre 2, 2016

Resumen

Pt/C comercial fue usado como material para la oxidación electroquímica de glicerol obtenido de tres fuentes distintas (grado reactivo, comercial y como subproducto de la generación de biodiesel a partir de aceite de girasol). La actividad electrocatalítica del Pt/C fue investigada en 0.1 M de glicerol. Los resultados obtenidos por los estudios electroquímicos en la configuración de media celda mostraron que el potencial de oxidación para la oxidación de cualquier glicerol empleado sobre Pt/C fue casi idéntica, favoreciendo con esto la reacción global en alguna aplicación de celda de combustible. Estos resultados son favorables para incentivar el uso de materiales electrocatalíticos basados en platino. Por otra parte, los resultados de este trabajo no sólo muestran que el glicerol puede ser usado como combustible sin importar la fuente de la cual provenga, también que el desempeño de éste al emplearse en celdas de combustible podría competir con los combustibles empleados convencionalmente para la obtención de energía.

Pt/C, glicerol, oxidación

Abstract

Commercial material Pt/C was used for the electrochemical oxidation of glycerol obtained from three different sources (reactive grade, commercial and as a subproduct of the generation of biodiesel from sunflower oil). The electrocatalytic activity of Pt/C was investigated in 0.1 M glycerol. The results obtained by the electrochemical studies in the configuration of half cell showed that the potential of oxidation for the oxidation of any glycerol used on Pt/C was almost identical, favoring with this the overall reaction in any application of fuel cell. These results are favorable to encourage the use of electrocatalytic materials based on platinum. On the other hand, the results of this work not only show that the glycerol can be used as fuel regardless of the source from which it comes, but also that the performance of it as used in fuel cells could compete with the conventional fuels used for obtaining energy.

Pt/C, glycerol, oxidation

Citación: DECTOR-Andrés, ORTIZ-Alondra', GARCÍA-GALLEGOS, Jesús y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Oxidación electroquímica sobre Pt/C de glicerol obtenido de distintas fuentes. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 56-60

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: andres_dector@live.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente, el glicerol es producido de manera abundante como sub-producto de la incrementada generación de biodiesel, el cual puede ser generado a partir de algunas fuentes frecuentemente empleadas como aceite de soya [1, 2], aceite de girasol, maíz, de grasa de cocina y oliva [3, 4], aceite de colza [5, 6], aceite de castor [7], *Jatropha curcas* [8], aceite de palma [9] y aceite de linza [10].

Debido a que la aplicación del glicerol suele ser restringida para la producción de productos farmacéuticos o cosméticos, éste ha sobrepasado actualmente su demanda de producción generando la acumulación de grandes volúmenes que pueden representar un problema ambiental si no son tomadas las precauciones pertinentes [11, 12]. Por esta razón, se han buscado nuevas aplicaciones para el glicerol. Una posible aplicación es usar el glicerol como combustible en una celda de combustible para generar energía eléctrica [13-15].

Respecto a esta oportunidad algunos investigadores han propuesto el uso de catalizadores basados en platino variando su plano cristalográfico con el fin de lograr la reacción de oxidación de glicerol [11]. Sin embargo, ningún estudio ha mostrado la comparación acerca de la oxidación de glicerol obtenido de distintas fuentes.

Este estudio propone el uso de nanopartículas de platino soportadas en carbón para la oxidación de glicerol obtenido de tres fuentes distintas (grado reactivo, comercial empleado en el cuidado de la piel y subproducto de la generación de biodiesel a partir de aceite de girasol) con el objetivo de proponer un material que actúe como ánodo en la oxidación de glicerol sin importar su pureza.

Metodología

Caracterización electroquímica

La actividad electroquímica del Pt/C comercial fue determinada mediante un experimento de media celda en un potenciostato /galvanostato PGSTAT AutoLab 302 (Metrohm ®). Los experimentos fueron llevados a cabo en una típica celda electroquímica de tres electrodos empleando 0.3 M KOH (J. T. Baker) como electrolito soporte más 0.1 M de glicerol (Sigma Aldrich) o (comercial) o (subproducto de la generación de biodiesel a partir de aceite de girasol) para determinar la actividad a la oxidación de glicerol sobre el Pt/C. Un electrodo de Hg/HgSO₄ fue usado como electrodo de referencia, un alambre de platino como contraelectrodo y un electrodo de carbón vítreo sobre el cual fueron colocadas las tintas electrocatalíticas del Pt como electrodo de trabajo.

La tinta electrocatalítica fue preparada mediante una mezcla de 20 µL de alcohol isopropílico y 7 µL de Nafión por cada gramo de Pt/C.

Resultados y Discusión

Caracterización electroquímica

El gráfico 1 muestra las curvas electroquímicas de la reacción de oxidación de glicerol 0.1 M + 0.3 M de KOH para el Pt/C a 20 mV s⁻¹. En la curva de oxidación de glicerol para cualquiera de los casos pueden observarse dos picos de corriente en ida y vuelta. El primer pico que va hacia adelante está asociado con la oxidación de las especies recién quimiabsorbidas del glicerol sobre la superficie del Pt. Mientras que el pico inverso está relacionado con la eliminación de las especies intermedias que no fueron oxidadas completamente en la primera oxidación.

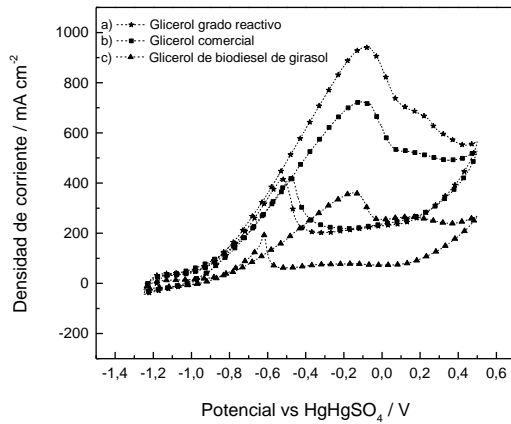


Gráfico 1 Reacción de oxidación de glicerol en 0.1 M de glicerol + 0.3 M KOH para Pt/C a) glicerol grado reactivo, b) glicerol grado comercial y c) glicerol obtenido como subproducto de la generación de biodiesel a partir de aceite de girasol, a 20 mV s^{-1} .

Al realizar la comparación del potencial obtenido para el primer pico en los casos de glicerol grado reactivo y glicerol comercial es importante resaltar que el valor es idéntico (-0.10 V), lo cual nos indica que no importa el tipo de glicerol que sea empleado en estos dos casos pues se obtendrá la misma respuesta electroquímica. Algo que es importante recalcar es que el precio del glicerol grado reactivo está 30 veces por encima que el glicerol comercial disponible en tiendas de autoservicio y empleado para el cuidado de la piel.

Por otra parte, un cambio de potencial negativo en el pico de oxidación del glicerol de 50 mV se pudo observar para el glicerol obtenido como subproducto de la generación de biodiesel a partir de aceite de girasol en comparación con el glicerol grado reactivo y glicerol comercial (-0.15 V y -0.10 V para el glicerol subproducto y para el glicerol grado reactivo y comercial, respectivamente). Los potenciales son mostrados en la tabla 1.

Tipo de glicerol	Potencial V vs Hg/Hg ₂ SO ₄	Densidad de corriente mA cm ⁻²
Grado reactivo	-0.75 V	940
Comercial	-0.75 V	723
Subproducto de biodiesel	-0.8 V	362

Tabla 1. Potenciales de oxidación de glicerol en 0.1 M de glicerol + 0.3 M KOH para Pt/C a) glicerol grado reactivo, b) glicerol grado comercial y c) glicerol obtenido como subproducto de la generación de biodiesel a partir de aceite de girasol, a 20 mV s^{-1} .

Cuando se piensa en una posible aplicación en celda completa, es necesario recordar que su potencial de circuito abierto será la suma del potencial positivo del cátodo menos la suma del potencial del ánodo, por lo tanto entre más negativo sea éste último, favorecerá al incremento de dicho potencial de circuito abierto en la celda.

En el mismo gráfico 1 se observa un decremento en la corriente generada por la oxidación de glicerol (Tabla 1), siendo la mayor obtenida para el glicerol grado reactivo, seguida por el glicerol comercial y por último el glicerol subproducto de biodiesel. Lo anterior remarca la pureza del glicerol empleado, pues cada uno fue considerado como al 100 % y empleada la misma cantidad de éstos para preparar la solución al 0.1 M.

Finalmente en la Tabla 2. Se muestran los resultados obtenidos en la literatura para la oxidación de glicerol en estudios de media celda electroquímica a diferentes concentraciones y empleando distintas nanopartículas metálicas como electrocatalizador.

Concentración y tipo de glicerol	Catalizador	Potencial (V) vs NHE	Referencia
0.1 M Grado reactivo	Pt/C	0.6	11
0.1 M Grado reactivo	Pt/C	0.65	11
0.1 M Grado reactivo	Pt/C	0.58	Este trabajo
0.1 M Comercial	Pt/C	0.58	Este trabajo
0.1M Subproducto de biodiesel	Pt/C	0.53	Este trabajo

Tabla 2 Potenciales de oxidación de glicerol obtenido en diferentes trabajos reportados en la literatura.

Como puede observarse, el valor obtenido en este trabajo esta dentro del rango obtenido en otros trabajos similares donde es empleado el platino como catalizador para oxidación de glicerol, aunque es importante resaltar los valores para el caso del glicerol comercial y grado reactivo, mostrándose incluso con un valor un poco más negativo para el caso del subproducto.

Agradecimiento

El autor Gallegos García Jesús Hazael agradece a la Universidad Tecnológica de San Juan del Río y PRODEP por el apoyo brindado para la realización del post doctorado financiado por el proyecto PRODEP/103.5/13/10573 (JHGG).

Conclusiones

El Pt/C demostró ser un buen electrocatalizador en la oxidación de glicerol sin importar la fuente de obtención de éste último.

El glicerol al ser obtenido de distintas fuentes demostró que puede ser empleado como combustible en una celda de combustible sin importar su pureza. Sin embargo la pureza del glicerol empleado si mostró cambios en la cantidad de corriente que pueda generarse.

Este trabajo deja las bases para la oxidación de glicerol con otros materiales catalíticos y también para probar glicerol obtenido de otras fuentes de realización de Biodiésel.

Referencias

Valente OS, Silva da MS, Pasa VMD, Belchior CRP, Sodre JR. Fuel consumption and emissions from a diesel power generator fuelled with castor oil and soybean biodiesel. Fuel 2010;89:3637–42

Chao He, Yunshan Ge, Jianwei Tan, Kewei You, Xiukun Han, Wang J. Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons emissions of diesel engine fueled with biodiesel and diesel. Fuel 2010;89: 2040–6.

Anastopoulos G, Lois E, Karonis D, Kalligeros S, Zannikos F. Impact of oxygen and nitrogen compounds on the lubrication properties of low sulfur diesel fuels. Energy 2005;30: 415–26.

Karonis D, Anastopoulos G, Zannikos F, Stournas S, Lois E. Determination of physical properties of fatty acid ethyl esters (FAEE) – diesel fuel blends. SAE Technical Paper No. 2009-01-1788.

Mamat R, Abdullah NR, Hongming Xu, Wyszynski ML, Tsolakis A. Effect of fuel temperature on performance and emissions of a common rail diesel engine operating with rapeseed methyl ester (RME). SAE Technical Paper No. 2009- 01-1896.

Jin F, Zeng X, Cao J, Kawasaki K, Kishita A, Tohji K, et al. Partial hydrothermal oxidation of unsaturated high molecular weight carboxylic acids for enhancing the cold flow properties of biodiesel fuel. Fuel 2010;89:2448–54.

Goodrum JW, Geller DP. Influence of fatty acid methyl esters from hydroxylated vegetable oils on diesel fuel lubricity. *Bioresour Technol* 2005;96: 851–5.

Ilham Z, Saka S. Two-step supercritical dimethyl carbonate method for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil. *Bioresour Technol* 2010;101: 2735–40

Tan KT, Lee KT, Mohamed AR. A glycerol-free process to produce biodiesel by supercritical methyl acetate technology: an optimization study via response surface methodology. *Bioresour Technol* 2010;101: 965–9.

Agarwal AK. Performance evaluation and tribological studies on a biodieselfuelled compression ignition engine. PhD thesis. Center for Energy Studies, Indian Institute of Technology, Delhi, India; 1999.

Fernandes J., Batista F., Gasparotto L., Tremiliosi-Filho G, *Electrochimica Acta*, 76 (2012)

Dector A., Cuevas-Muñiz F.M., Guerra-Balcázar M., Godínez L. A., Ledesma-García J., Arriaga L.G., *Journal of Hydrogen Energy*, 38:28 (2013)

Roquet L, Belgsir EM, Le´ger J-M, Lamy C., *Electrochim Acta*, 39 (1994)

Schell M, Xu Y, Zdraveski Z., *J Phys Chem*,100 (1996)

Lo Faro M, Minutoli M, Monforte G, Antonucci V, Arico´ AS., *Biomass Bioenerg*, 35 (2011)

Cathodic Current Distribution in a PEMFC for Five Different Air Flow-Field Designs

HIDALGO-PIMENTEL, Pablo*†, OROZCO-GAMBOA, Germán, GARCÍA-GARCÍA, Raúl, ZAMORA-ANTUÑANO, Marco y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan.

Universidad Tecnológica de San Juan del Río. División de Química Industrial y Energías Renovables, Cuerpos Académico de Química y Energías Renovables. Av. La Palma no. 125, Col. Vista Hermosa, San Juan del Río, Qro. C.P. 76800 Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ). Sanfandila; Parque Tecnológico Querétaro s/n Sanfandila, Pedro Escobedo, Qro. C.P. 76703

Recibido Julio 19, 2016; Aceptado Septiembre 13, 2016

Resumen

Se estudio mediante simulación por computadora la distribución de las corrientes eléctricas de cinco diferentes diseños de los campos de flujo del ánodo, los cuales se esperan usar en una pila de hidrógeno. El diseño 1 consiste en canales tipo serpentín con cambios abruptos de la dirección del flujo. Los diseños 2 y 3 también corresponden a una distribución serpentín, pero con cambios graduales en el flujo. El diseño 4 entrecruzado (Criss-Cross) redirecciona el flujo constantemente, mientras que el diseño 5 se basa en canales rectos y paralelos. Los diseños 1 a 3 tienen una sola entrada de flujo, mientras que los diseños 4 y 5 tienen tres. Estos dos últimos diseños muestran una distribución mas uniforme de las corrientes eléctricas que los otros diseños. Se concluye que las entradas de flujo situadas eficazmente tienen tanta importancia como la configuración de los canales. La distribución en paralelo (diseño 5) presentó el mejor desempeño.

Distribución de corriente catódica, PEMFC, Diseños de flujo de campo

Abstract

A numerical investigation was conducted to simulate electrical current distributions in five different cathode-side flow-field designs. Design 1 consisted in serpentine channels with abrupt changes in flow direction. On the other hand, Designs 2 and 3 were made of serpentine channels with a more gradual change in flow direction. Design 4 (criss-cross) was based on continually redirecting the flow, while Design 5 was made with straight parallel channels. Designs 1-3 have one intake, while designs 4 and 5 have three. The latter two produced more uniform electrical current distributions than designs 1-3. We concluded that the intakes situated effectively within each design are as important as the shape of the channel configuration. Finally, the parallel channel flow field (Design 5) is the best alternative for current collectors due to its better performance.

Cathodic current distribution, PEMFC, Air flow-field designs

Citación: HIDALGO-PIMENTEL, Pablo, OROZCO-GAMBOA, Germán, GARCÍA-GARCÍA, Raúl, ZAMORA-ANTUÑANO, Marco y OLIVARES-RAMÍREZ, Juan. Cathodic Current Distribution in a PEMFC for Five Different Air Flow-Field Designs. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 61-69

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: mazamora@utsjr.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introduction

There is no consensus about the projected date of the global peak-oil production due to the lack of accurate technology to determine the stock of current world oil supplies. However, if the rate of production and consumption of the Mexican oil supplies remains unchanged, then the Mexican reserves might be depleted before 2016. Consequently, in the Mexican Energy Market it is necessary to incorporate renewable energy supplies combined with the fuel cell technology.

The essential components of a proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) are an anodic catalyst layer, an electrolyte, a cathodic catalyst layer, and current collectors. Additionally, gaskets for preventing gas leakage between the anode and the cathode have to be considered. Current collectors, which also provide the conduits for gas distribution, are bipolar plates in a stack; they occupy over 90% of the volume and contribute 80% of the mass of a fuel cell stack. Flow fields can be effectively designed through the optimization of their configuration and shape, thus resulting in improved current collectors. This is desirable for achieving higher electrical power. Therefore, the study of various plate designs was performed by simulating the processes within a PEMFC.

Three different versions serpentine gas flow field design were investigated because it is usually the reference of choice in the literature (Li, X., & Sabir, I. 2005; Park, J., & Li, X. 2007). Our versions consisted on typical serpentine flow channel design, which has a cross section of around 1mm^2 and the length of up to a few meters with many changes in flow direction. The fourth design consisted of a criss-cross pattern (Rivas, Hidalgo, Chapman, & Orozco, 2010).

This latter design was first proposed by Barreras *et al* (2008) and modified in our previous work (Rivas, *et al*, 2010). This design was selected for study because it reduces the blockage problem caused by the accumulation of water droplets on the cathode side, which occurs in serpentine designs. The last design consisted in parallel straight-line channels in which the flow direction remains unchanged.

The serpentine flow channel is one of the most common channel designs for PEMFC (1-2) and it was selected as reference for compared the new geometries. The goal of this study was to measure the electrical current distribution in these designs to find an efficient and a commercially viable PEMFC.

Methodology

Fluid flow and mass transfer in the gas-distribution plates were modelled numerically from a macro-scale perspective. Computational fluid dynamics (CFD) software provided by Multiphysics COMSOL® v. 3.4 was used to simulate the resulting electrical current distributions in the five flow-field designs (5). The simulation began when a flow-field channel design was drawn using the Computer Aided Design (CAD) function of this software. The geometric model consists of three regions: the gas-flow channels, a gas-diffusion layer and a cathode. In the gas diffusion layer, such as a porous carbon cloth, only diffusional processes occur, and in the cathode the electrochemical reaction takes place.

The assumptions made in the fuel-cell modelling were: 1) A three-dimensional (3-D) and a single-phase model; 2) air and water vapor were considered ideal gases; 3) the flow was laminar, steady and incompressible; 4) the electrical power behavior of the cell was kinetically controlled by an oxygen reduction reaction (ORR), 5) the cathode and gas-diffusion layer were isotropic and homogeneous; 6) the ohmic potential drop in the current collector and gravity were negligible; 7) the process was isothermal, and 8) the gas phase diffuses in the x, y and z axis.

The governing transport equations used to describe the species transport within the cathode chamber of the fuel cell are listed in Table I, and their scalar equations are shown in Table II. The boundary conditions are listed in Table III and data came from the literature (5), including the molar diffusion volumes (6), the exchange current density (7) and the gas diffusion layer thickness (2). The Navier-Stokes equation (Li, 2005) was solved first in order to determine the gas velocity field in the channels. This equation was subject to boundary conditions (Guzman, Verde, Bustos, Manriquez, Terol, Arriaga, & Orozco, 2009; Jeon, Greenway, Shimpalee, & Van Zee, 2008; Boddu, Marupakula, Summers, & Majumdar, 2009). Besides, the gas species (i.e., N₂, O₂, H₂O) were taking into consideration; therefore, a multi-component diffusion (Stefan-Maxwell) equation (Park, *et al*, 2007) was needed to solve the diffusion layer. The Stefan-Maxwell equation (Park, *et al*, 2007) needs to incorporate scalar relations for fluid properties (Rivas, *et al*, 2010; Barreras, *et al*, 2008; Ab, C. 2008). Also, equation (Park, *et al*, 2007) was solved considering the convective flux equation. Meanwhile, equation (Rivas, *et al*, 2010) was solved using the velocity in pore Ferng, & Lu, 2008) and mass flux vectors, and these latter equations were determined by electrode-reaction kinetics (Perry & Green, 2008).

The CFD software employs a finite-element method for solving the partial differential equations (PDE). This method involves dividing the domain of the PDEs of interest into a finite number of linear elements (i.e., “mesh”). The triangular mesh offers better conformity to curvature than the square elements, which were used mostly in areas with right angles since it reduces the number of mesh elements required. The program allows refining of the mesh, carefully adjusting the type and size of elements on any curvature of the geometry. A mesh consisting of 18000 computational elements was applied to the domain. The iterative computations were terminated once the value of the residues fell to less than 1×10^{-6} .

A computer with a dual-core processor at a speed of 3.0 GHz and 8 GB of RAM was used. The parametric nonlinear numerical method and further details have been described extensively by Rivas (3).

The Governy Equations are:

Navier Stokes Laminar Flow

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} - \nabla \cdot u (\nabla u + (\nabla u)^T) + \rho u \cdot \nabla u + \nabla \rho = 0 \quad (1)$$

Stefan Maxwell Diffusion and convection

$$\nabla \cdot \left[-\rho \omega_i \sum_{j=1}^N D_{ij}^{eff} \frac{M}{M_j} \left(\nabla \omega_j + \omega_j \frac{\nabla M}{M} \right) + \rho \omega_i u \right] = 0 \quad (2)$$

The equations are written in indicial-tensor notation with ρ , density kg/m³; t , time s; μ dynamic viscosity of oxygen = 2×10^{-5} Pa·s (5); u , velocity vector m/s; p , pressure Pa; ω_i , weight fraction of the i species; with inlet mass fraction O₂ = 0.1447, mass fraction of H₂O = 0.3789 and mass fraction of N₂ = 0.4764; $D_{eff,ij}$, effective binary diffusion coefficient, see equation (Barreras, et al, 2008); M , total molar mass of the mixture g/mol, see equation (Ab, C, 2008); M_j , molecular weight of species j , g/mol; M_{O_2} , molecular weight of O₂ = 32 g/mol; M_{H_2O} , molecular weight of H₂O = 18 g/mol; M_{N_2} , molecular weight of N₂ = 28 g/mol.

The scalar equations are:

Stefan-Maxwell Diffusion coefficient

$$D_{ij} = k \frac{T^{1.75}}{\rho \left(v_i^{1/3} + v_j^{1/3} \right)^2} \left[\frac{1}{M_i} + \frac{1}{M_j} \right]^{0.5} \quad (3)$$

Stefan Maxwell Effective Diffusion

$$D_{ij}^{eff} = D_{ij} \varepsilon^{1.5} \quad (4)$$

Total Molar Mass

$$M = \sum_{i=1}^n M_i \omega_i \quad (5)$$

Electrical Current Density

$$M = \sum_{i=1}^n M_i \omega_i \quad (6)$$

D_{ij} , binary diffusion coefficient for species i and j ; k , Maxwell diffusion constant = 3.16×10^{-8} Pa·m²/s; T , temperature = 353°K; v_i , molar diffusion volume of j specie, cm³/mol; v_{O_2} molar diffusion volume of O₂ = 16.6×10^{-6} cm³/mol, v_{H_2O} molar diffusion volume of H₂O = 12.7×10^{-6} cm³/mol, v_{N_2} , molar diffusion volume of N₂ = 17.9×10^{-6} cm³/mol; M_j , M_{O_2} , M_{H_2O} , and M_{N_2} , see Table I; ε , porosity = 0.5; i_c , cathode current; S_a specific surface area = 1×10^7 m²/m³; δ , active layer thickness = 10 μ m; i_0 , exchange current density = 1.06×10^{-6} mA/cm²; F , Faraday's constant = 96485 C/mol, R , gas constant = 8.314 J/(mol·K); η , overpotential between 0.2-0.82 V; t_{H_2O} electro-osmotic drag = 3; g_{dl} , gas diffusion layer thickness = 0.2 mm.

Five different air flow-field geometries adjacent to a PEMFC oxygen cathode were compared by numerical simulations.

The status conditions are shown in the following formulas:

Navier-Stokes, Normal velocity vector

$$u \cdot n = u_0 \quad (7)$$

Navier-Stokes, Outlet Pressure

$$p = p_0 \quad (8)$$

Navier Stokes, Velocity next the wall

$$u = 0 \quad (9)$$

Stefan-Maxwell, Convective flux

$$n_i \cdot n = (\rho \omega_i u) \cdot n \quad (10)$$

Stefan Maxwell, velocity in pore

$$u = \frac{-n_{N_2}}{\rho\omega_{N_2}} \quad (11)$$

Electrochemical Reaction oxygen

$$n_{O_2} \cdot n = M_{O_2} \frac{i_c}{4F} \quad (12)$$

Electromechanical Reaction water

$$n_{H_2O} \cdot n = -M_{H_2O} \frac{i_c}{F} \left(\frac{1}{2} + t_{H_2O} \right) \quad (13)$$

The equations 7, 8,9,10,11,12,13, details the dimensions of the flow channels, and Fig. 1 shows the geometries of Designs 1 to 5. Design 1 consists of serpentine channels with abrupt changes in flow direction, while in Design 2, the direction of the flow was changed gradually. Figs. 1A and 1B present two versions of the serpentine flow-field design. The electrical current distributions of Designs 1 and 2 were compared, and the best one was chosen.

The dimensions of the selected design were then modified (Design 3), and once more the performances of the new flow-field geometry were compared with the other designs. See Fig. 1C.

Design 4 was based on continually re-directing the flow in a criss-cross pattern (3), and it is shown in Fig. 1D. The air flow was introduced via three intakes, each one equidistant from one another. Design 4 has been developed after a series of design iterations, each one providing a major leap in performance over the previous one. On the other hand, Design 5 used fifteen multiple parallel and straight channels (Fig. 1E), and each channel was fed with air at a constant pressure.

In this design the air flow was introduced via an intake located at the center of each group of five channels.

Parameter	Design 1 Dimensions	Design 2 Dimensions
Channel width	1 mm	1 mm
Channel depth	1 mm	1 mm
Rib width	1 mm	1 mm
Diffusion layer geometric area	12.32 cm ²	12.32 cm ²
Diffusion layer thickness	0.2 mm	0.2 mm
Geometric area for fluid flow	6.16 cm ²	5.97 cm ²
Flow/Mechanical-support relation**	50% /50%	52% /58%

Parameter	Design 3 Dimensions	Design 4 Dimensions	Design 5 Dimensions
Channel width	1 mm	1 mm	1 mm
Channel depth	1 mm	1 mm	1 mm
Rib width	1 mm	1x8x1 mm	1 mm
Diffusion layer geometric area	31.8 cm ²	31.8 cm ²	31.8 cm ²
Carbon cloth thickness	0.2 mm	0.2 mm	0.2 mm
Geometric area for fluid flow	15.19 cm ²	16.27 cm ²	15.9 cm ²
Channel length	152.73 cm	-----	12.6 cm
Flow/Mechanical support relation**	53%/47%	49%/51%	42%/58%

Table 1 Dimensions of the Designs used for this study

n , mass flux vector mol/s; u_0 , inlet velocity = 50 cc/min or 200cc/min, p_0 , outlet pressure = 1.013x10⁵ Pa

This is the ratio between open area (OA) or area of the channel and the area of rib (AR). AR is the area of Mechanical-support.

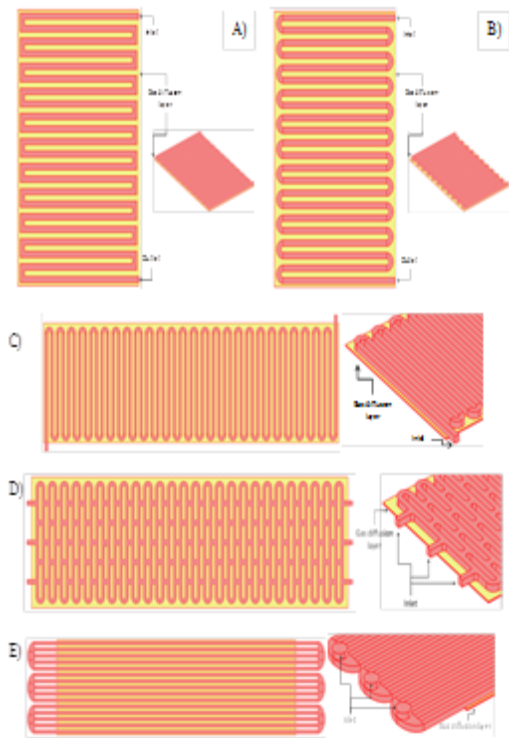


Figure 1 Design 1 consisted of serpentine channels with abrupt changes in flow direction. B) Design 2 consisted of serpentine channel with a more gradual change in flow direction; C) Design 3 (serpentine) consisted of curvilinear bends; D) Design 4 consisted in criss-cross pattern; and E) Design 5 was made with straight and parallel channels.

Results

Fig. 2 shows the measured gas velocity in Designs 1 and 2. A very slow flow velocity appears at the square corners when the flow changes direction abruptly (Fig. 2A). Therefore, water could accumulate here, which would lead to uneven gas and current distributions. A very slow flow-velocity region was not observed when the flow direction changed gradually (Design 2 in Fig. 2B).

Figs. 2C and 2D present the electrical current distributions in both designs at high cathode overpotential (0.8V). The porous media mitigate the effect of the slow flow-velocity regions, and the distributions of the current density were similar in both geometries. From computed polarization curves (which are not shown here for the sake of brevity) it was found that at low and medium power demands, both flow-field designs gave basically the same performance. At the higher power demand the performances differed but only slightly.

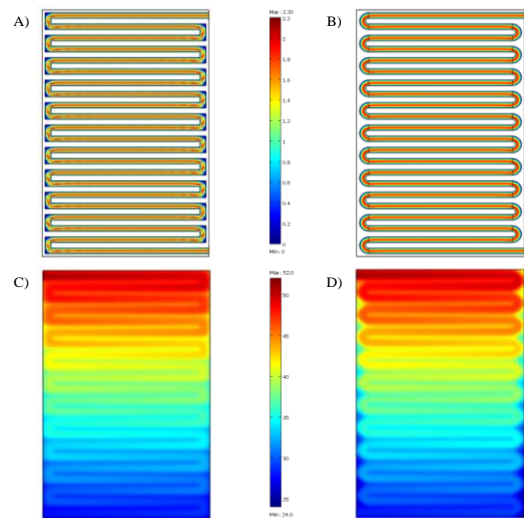


Figure 2 Flow velocity within the channels (m/s) in A) Design 1 and B) Design 2. Air introduced via an intake located at the top right side (inlet). The Electrical Current Density distribution obtained on the bottom of porous cathode for the C) Design 1 and D) Design 2. In this case the air introduced via an intake located at the top left side (inlet).

Fig. 3 shows the electrical current variation in the y axis, which is perpendicular to the downstream channel direction (Table II). The wave shape of the current variation was correlated with the lengths of both the channel and the rib (8). This Fig. shows that the electrical current decreased gradually along the y axis with the maximum value near the inlet. For example, when the distance was 4.4 cm the total electrical current at 0.8 V was 27.28 mA in Design 1 and 27.69 mA in Design 2.

The difference in the total electrical currents between the two designs was 1.48%. Although this is a negligible difference between designs in one cell, this translates into a large difference in a stack configuration.

A comparison between these designs in terms of pressure drop with increasing Reynolds number was made by Boddu et al. (9). According to this author the serpentine square bends (Design 1) exhibit consistently higher pressure drops compared to the curvilinear bends used in Design 2. A large pressure drop leads to inefficient fuel cell performance. Also, because of fuel starvation is more likely to occur in Design 1, Design 2 was selected as the superior standard. Design 2 was therefore modified to create Design 3; see Figure 1C.

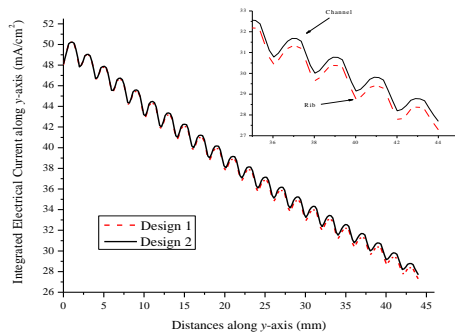


Figure 3 The Integrated Electrical Current along the y-axis, where the initial point of trajectory was located in the middle of the flow field ($x=3.08$ cm). Current density obtained in Designs 1 (- - -) and 2 (—) at cathode overpotential of 0.8 V.

The oxygen mass fraction distributions for Designs 3 to 5 are shown in Fig. 4. These appear to be more uniform in Designs 4 or 5 than in Designs 3. At a cathode overpotential of 0.66 V the final oxygen mass fraction in the gas diffusion layer was slightly lower than 0.123 in Design 3. In contrast, in Designs 4 and 5 the final oxygen mass fractions were slightly over 0.137. Again, this small difference observed in a single cell, can be significant in a stack configuration.

Fig. 5 shows the current density distributions for Designs 3 to 5 under a cell voltage of 0.52 V (i.e., cathode overpotential 0.66 V). The highest current density was obtained at the inlet where oxygen concentration was the highest. Fig. 5 clearly shows that the electrical current density in the outlet is lower in Design 3, and consequently a less efficient cell performance will be expected. In other words, Designs 4 and 5 produce more uniform electrical current density distributions over the porous cathode than Design 3. Consequently, Designs 4 and 5 can deliver superior performances.

At low electrical demands the performance of all fuel cells is governed by the electrode kinetics (equation [6]). In this case, the differences among gas-distribution designs are minimal, and those results are not shown for the sake of brevity. However, at medium electrical demands (Table V), the mass transport cannot keep up with the moderately fast kinetics, and the performance of Design 3 became mass-transport-limited. At higher electrical demands the performance of Design 3 deteriorates further (Table V). For example, at an overpotential of 0.82 V, the total current (1811mA) was significantly smaller than the total electrical current for Design 5 (2127 mA).

Design	50cc/min	200cc/min	200cc/min	200cc/min
	0.66 V	0.22 V	0.52 V	0.82 V
3	160.2	0.125	17.33	1811
4	168.4	0.125	17.35	2092
5	168.7	0.125	17.35	2127

Table 2 Total Current for different Designs at various operating conditions (mA)

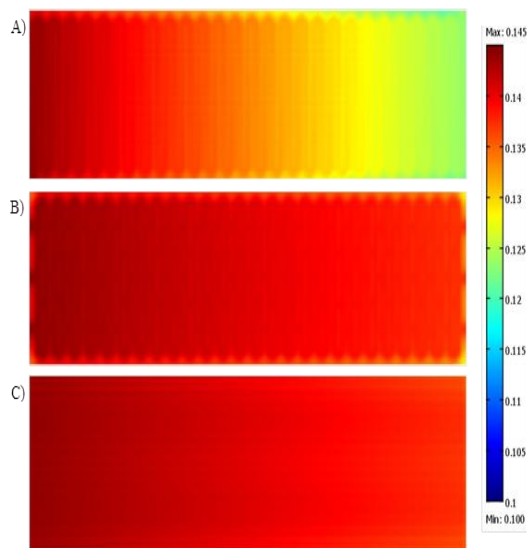


Figure 4 Mass Oxygen fraction. A) Design 3 (serpentine with curvilinear bends); B) Design 4 (criss-cross); and C) Design 5 (straight and parallel channels).

The re-direct pattern was conceived to provide a more uniform pressure field, thus resulting in a more constant gas flow distribution (10). Rivas (3) showed that the profiles of current density exhibit better distributions with the re-direct pattern design, to produce a more efficient fuel cell. Our results are in agreement with those presented by this author. On the other hand, Ferng (11) and Rivas (3) observed poor current distributions with parallel flow fields. The very slow gas flow velocities cause oxygen-starved areas in the gas diffusion layer. In design 5 the intakes were located efficiently in the current collectors, and therefore, more homogeneous current distributions were obtained. Incidentally, the difference between Designs 4 and 5 was rather small. This means that designs with intakes effectively located are very good alternatives from the performance standpoint. In addition, the small difference in total electrical current between designs 4 and 5 can be important in a stack configuration. Therefore, Design 5 is recommend for a stack configuration, see table V.

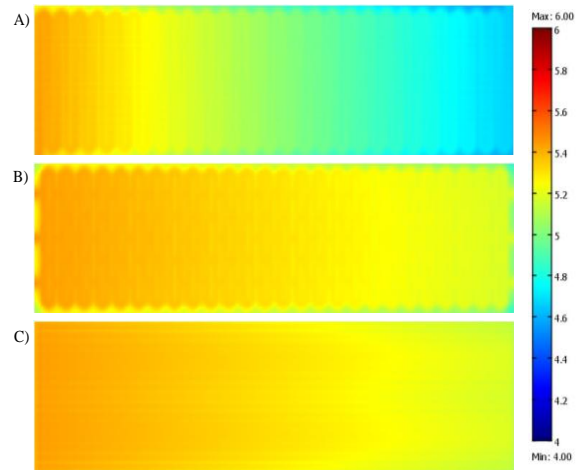


Figure 5 Electrical current distributions (mA/cm²) at the cathode (overpotential 0.66 V).. A) Design 3 (serpentine with curvilinear bends); B) Design 4 (criss-cross); and C) Design 5 (straight and parallel channels).

Conclusions

Five designs with different channel shapes and gas flow patterns were simulated numerically using Computational Fluid Dynamics (CFD). Using this approach, it was possible to conceive, detail, and analyze each design.

The electrical current distributions of the two different serpentine channels with square or rounded flow bends were tested. At higher loads the serpentine channels with abrupt changes in flow direction (Design 1) exhibit slightly lower electrical current distributions compared to curvilinear bends (Design 2). This minute difference within single cells across designs can have a large effect in a stack configuration. We recommend that the serpentine channel configuration should consist of curvilinear bends. Because of its better performance, Design 2 was selected for the second part of this investigation.

The dimensions of the serpentine channel design with curvilinear bends were then modified (Design 3). Afterwards, Design 3 was compared to criss-cross (Design 4) and straight parallel channels (Design 5). The results showed that Designs 4 and 5 produce more uniform electrical current distributions than Design 3. This can be explained because the intakes were efficiently located. Therefore, we concluded that the effective placement of the intakes is as important as the shape of channel configuration.

Finally, the parallel channel flow field (Design 5) is the best alternative for current collectors due to its superior performance.

Acknowledgments

The authors thank the financial assistance provided by CONACYT (CB-2008-01-102018). Author P. E. Hidalgo also acknowledges CONACYT for scholarship support. Tech University of San Juan del Río, and CIDTEQ.

References

Ab, C. (2008). *Comsol multiphysics user's guide*. COMSOL AB: Burlington, MA.

Barreras, F., Lozano, A., Valiño, L., Mustata, R., & Marín, C. (2008). Fluid dynamics performance of different bipolar plates: Part I. Velocity and pressure fields. *Journal of Power Sources*, 175(2), 841-850.

Boddu, R., Marupakula, U. K., Summers, B., & Majumdar, P. (2009). Development of bipolar plates with different flow channel configurations for fuel cells. *Journal of Power Sources*, 189(2), 1083-1092.

Li, X., & Sabir, I. (2005). Review of bipolar plates in PEM fuel cells: Flow-field designs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30(4), 359-371.

Ferng, Y. M., Su, A., & Lu, S. M. (2008). Experiment and simulation investigations for effects of flow channel patterns on the PEMFC performance. *International Journal of Energy Research*, 32(1), 12-23.

Guzman, C., Verde, Y., Bustos, E., Manriquez, F., Terol, I., Arriaga, L. G., & Orozco, G. (2009). Preparation of Particulate Fuel Cell Electrodes by Electrodeposition Method. *ECS transactions*, 20(1), 413-423.

Park, J., & Li, X. (2007). An experimental and numerical investigation on the cross flow through gas diffusion layer in a PEM fuel cell with a serpentine flow channel. *Journal of Power Sources*, 163(2), 853-863.

Jeon, D. H., Greenway, S., Shimpalee, S., & Van Zee, J. W. (2008). The effect of serpentine flow-field designs on PEM fuel cell performance. *International journal of hydrogen energy*, 33(3), 1052-1066.

Lozano, A., Valiño, L., Barreras, F., & Mustata, R. (2008). Fluid dynamics performance of different bipolar plates: Part II. Flow through the diffusion layer. *Journal of Power sources*, 179(2), 711-722.

Perry R. H., & Green D. W. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 27th edition, McGraw-Hill, New York, p. 2-370

Rivas, S. V., Hidalgo, P. E., Chapman, T. W., & Orozco, G. (2010). Fluid Dynamics Study to Compare Two Different Flow-Field Geometries. *ECS Transactions*, 29(1), 195-204.

Simulación de platos colectores para su aplicación en celdas de combustible Tipo PEM

ZAMORA-ANTUÑANO, Marco*†, OLIVARES-RAMÍREZ, Juan, RAMÍREZ-BALTAZAR, José, SANTOS-CRUZ, José y OROZCO-GAMBOA, Germán.

Universidad Tecnológica de San Juan del Río. División de Química Industrial y Energías Renovables, Cuerpos Académico de Energías Av. La Palma no. 125, Col. Vista Hermosa, San Juan del Río, Qro. C.P. 76800

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ). Sanfandila; Parque Tecnológico Querétaro s/n Sanfandila, Pedro Escobedo, Qro. C.P. 76703

Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas s/n, Las Campanas, 76010 Santiago de Querétaro, QRO, México

Recibido Julio 25, 2016; Aceptado Septiembre 22, 2016

Resumen

Uno de los principales factores para el óptimo desempeño de una celda de combustible es el diseño de las geometrías de los platos bipolares, esta tecnología se ha desarrollado ampliamente en los últimos años, su desarrollo implica tres aspectos el diseño de geometrías, los materiales y el software empleado. Se diseñaron 08 geometrías de platos colectores para ser utilizadas en celdas de combustible tipo PEM, la simulación para la optimización de las diferentes estructuras se realizó en el software ANSYS 14.5®, las variables de frontera analizadas fueron el flujo másico (16, mL/min), presión a la salida de 0.0 Pa debido a que el ducto se encontraba libre a la atmosfera.

Simulación, Placas Bipolares, Celdas de Combustible

Abstract

One of the most principal factors for the optimum performance of a fuel cell, is the design of the geometry of the bipolar plates, this technology has developed widely in the last years, its development implies three aspects of the design of the geometries, the materials and the software applied. 08 geometries were designed of the collector plates to be used on the fuel cell PEM type, the simulation of the different structures were realized on the software ANSYS 14.5®, the border variables were the mass flow (16, mL/min), outlet pressure of 0.0 Pa, due to the pipeline that was free on the atmosphere.

Simulation, Bipolar plates, Fuel Cells

Citación: ZAMORA-ANTUÑANO, Marco, OLIVARES-RAMÍREZ, Juan, RAMÍREZ-BALTAZAR, José, SANTOS-CRUZ, José y OROZCO-GAMBOA, Germán. Simulación de platos colectores para su aplicación en celdas de combustible Tipo PEM. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 70-77

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: mazamora@utsjr.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las pilas de combustible son dispositivos que permiten generar energía eléctrica, mediante procesos no contaminantes, y proporcionar energía térmica para varias aplicaciones. Estas modalidades energéticas son posibles a partir de la energía química de un combustible, mediante reacciones electroquímicas entre el combustible y un oxidante. La potencia nominal de las pilas de combustible oscila desde algunos Watts hasta MW para unidades portátiles y estacionarias, respectivamente (Obayopo. 2008). Estos dispositivos pueden utilizar varios tipos de combustibles ricos en hidrógeno, tales como el gas natural, gasolina, biogás, alcoholes o el propano. La utilización de hidrocarburos genera derivados tales como el CO y el CO₂, pero dada la elevada eficiencia de estos dispositivos, para cantidades equivalentes de energía eléctrica producida, las emisiones de CO₂ pueden ser reducidas a la mitad o menos, con el correspondiente beneficio medioambiental. Funcionan a diferentes presiones y temperaturas, las cuales varían desde la presión atmosférica, hasta 100 veces ésta y desde 20 hasta 1000 °C, respectivamente (Lee, P. H., et al, 2008). Las celdas de combustible constituyen una de las fuentes alternas de energía más promisorias ya que presentan ventajas técnicas y ambientales tales como alta eficiencia, confiabilidad, duración y producción limpia de energía. Las celdas basadas en membranas de electrolito polimérico que operan a temperaturas bajas (alrededor de 80°C), tienen una eficiencia teórica mayor que una máquina térmica, una puesta en operación rápida y cero emisiones si se usa hidrógeno como combustible. Por lo anterior son atractivas, entre otras, como fuentes alternas de energía para aplicaciones de transporte (Xiao, Y., Ming, *et al*, 2008)).

El auge de las energías renovables ha abierto grandes posibilidades para las celdas de combustible, ya que combustibles hidrocarbonados, provenientes de fuentes diferentes a las fósiles, se perfilan como vectores energéticos de múltiples aplicaciones. En particular, el hidrógeno para uso en equipos de combustión en la generación combinada de calor y electricidad, en celdas de combustible para propulsión eléctrica en el transporte, aplicaciones en electrónica, entre muchos más. Una de las principales ventajas es que se puede producir a partir de distintas materias primas (agua, biomasa, combustibles fósiles), sin embargo, el transporte y almacenamiento son costosos y de implementación compleja. La viabilidad de las celdas de combustible se conoce gracias al trabajo del alemán/suizo Christian Friedrich Schönbein en el artículo sobre el hidrogeno y el oxígeno en enero de 1839 en el “Philosophical Magazine” y del inglés Sir William Grove en la misma revista en febrero de 1839, en donde este último indico la posibilidad de producir electricidad a partir de hidrogeno y oxígeno. Desde entonces las celdas de combustible han sido sometidas a innumerables estudios para lograr viabilidad económica y una producción en masa. Los principales sobrecostos asociados a ellas están relacionados directamente con los metales requeridos para catálisis y las placas bipolares o interconectaras para incrementar la potencia obtenida a través de un *stack* (conjunto de celdas de combustible). Debido a las dimensiones de una PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells), no es posible medir cantidades internas fácilmente y sin utilizar técnicas invasivas. El modelamiento ha hecho posible investigar geometrías complejas y otras condiciones que requieren menos tiempo y esfuerzo con respecto a la parte experimental.

En particular, el uso de la dinámica de fluidos computacional (CFD), es una de las posibilidades para analizar la concentración de las especies, los gradientes de temperatura o las distribuciones de presión a través de cada uno de los componentes de la celda. Sin embargo, aún no existe un modelo completo que incluya todos los fenómenos juntos (Akyalcind y Kaytakoglu, 2008; Shiuh, -Kuo, Kun 2008; Rivas, Belmonte, *et al*, 2008; Lai, Hu, y Ni, 2008). En este sentido, existen varios modelos que buscan estudiar los problemas de la celda como los efectos de temperatura, presión e inundación de los *Stacks*, dentro del cual se encuentra el diseño de placas bipolares. La mayoría de artículos de modelamiento de celdas discute acerca de las ecuaciones de conservación relacionadas con la transferencia de masa y de calor tanto macroscópica como microscópicamente. Los modelos matemáticos que se han obtenido son bastante restrictivos y trabajan bajo condiciones ideales. Los fenómenos que pueden ocurrir dentro de la celda son transporte de masa, momento y energía a través de los canales de flujo, transporte de corriente eléctrica a través del medio poroso (electrodos y membrana) y reacciones electroquímicas en la interface electrodo-membrana-catalizador (Liu, 2007; Lee, 2008).

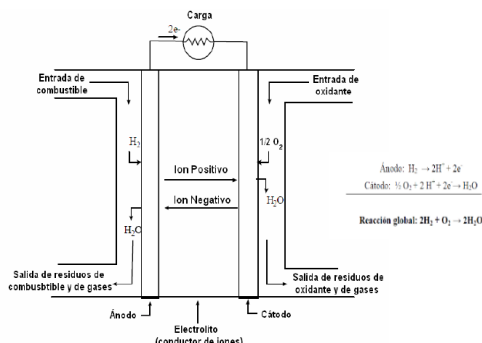


Figura 1 Esquema de una celda de combustible

En la figura 1, se puede observar un diagrama sobre el comportamiento de una Celda tipo PEM. (Comúnmente presentado en la literatura reportada).

1. Se suministra hidrógeno al ánodo y oxígeno al cátodo.
2. Cuando el hidrógeno en forma de gas llega al ánodo, éste se disocia en protones y electrones. Para que esto pueda llevarse a cabo es necesaria la presencia de un catalizador, cuya misión es la de aumentar la velocidad de las reacciones electroquímicas.
3. Debido a las características del electrolito, solo los protones son capaces de llegar al cátodo sin la necesidad de recurrir a un circuito eléctrico externo. Son precisamente las propiedades del electrolito las que caracterizan a las pilas de combustible tipo PEM.
4. Los electrones y los protones llegan al cátodo, y reaccionan con el oxígeno proveniente del aire atmosférico, con lo que se genera vapor de agua, electricidad y calor.

Modelo Matemático

Las ecuaciones que se resuelven en el modelo representativo de la PEMFC incluyen la conservación de masa, las ecuaciones de Navier-Stokes, las ecuaciones de transporte de especies, la ecuación de la energía, y el modelo para el cambio de fase del agua. Estas ecuaciones están desarrolladas en los trabajos de Shimpale y Van Zee, (2007). El modelo de cambio de fase del agua tiene en cuenta la presencia de una película de agua en la superficie de la MEA del ánodo y cátodo. Cuando la actividad local del agua supera la unidad, existe agua líquida en el volumen de control y se forma un film de agua líquida.

El espesor de esta película de líquido depende de la velocidad de condensación/evaporación y de la producción de agua por reacción electroquímica. La solubilidad de H_2 y O_2 se incluye en el modelo utilizando la ley de Henry para contabilizar la difusión de gases reactivos hacia la superficie de la MEA a través de la película de agua superficial. Por lo tanto, la corriente local desciende a medida que el agua se condensa. El objetivo de este trabajo se centra en el diseño, mediante técnicas de CAD, y la simulación de una PEMFC de hidrógeno diferentes geometrías propuesto de flujo de gases mediante técnicas de CFD, para establecer una metodología de trabajo que permita el estudio sistemático de la influencia de las distintas variables de operación en el rendimiento de la pila. Para ello se analizará un modelo 3-D de pila PEMFC, acoplado a fluidodinámica (CFD; ANSYS versión 14.5 y procesos específicos de transporte y reacciones electroquímicas en una PEMFC).

Las ecuaciones de Navier-Stokes se obtienen aplicando los principios de conservación de la mecánica y la termodinámica a un volumen fluido. Haciendo esto se obtiene la llamada formulación integral de las ecuaciones. Para llegar a su formulación diferencial se manipulan aplicando ciertas consideraciones, principalmente aquella en la que los esfuerzos tangenciales guardan una relación lineal con el gradiente de velocidad (ley de viscosidad de Newton), obteniendo de esta manera la formulación diferencial que generalmente es más útil para la resolución de los problemas que se plantean en la mecánica de fluidos.

Como ya se ha dicho, las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales. No se dispone de una solución general para este conjunto de ecuaciones, y salvo ciertos tipos de flujo y situaciones muy concretas no es posible hallar una solución analítica; por lo que en muchas ocasiones es preciso recurrir al análisis numérico para determinar una solución aproximada. A la rama de la mecánica de fluidos que se ocupa de la obtención de estas soluciones mediante métodos numéricos se la denomina dinámica de fluidos computacional (CFD, de su acrónimo anglosajón Computational Fluid Dynamics).

Representan el principio de conservación del momento lineal aplicada a un fluido general:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho F_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} [2\mu (e_{ij} - \frac{\Delta \delta_{ij}}{3})] \quad (1)$$

La ley de conservación de la masa se escribe:

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

En estas ecuaciones ρ representa la densidad, u_i ($i = 1,2,3$) las componentes cartesianas de la velocidad, F_i las fuerzas aplicadas sobre el cuerpo, como la gravedad, P la presión del fluido, y μ la viscosidad dinámica.

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

Donde $\Delta = e_{ii}$ es la divergencia del fluido y δ_{ij} la delta de Kronecker. D / Dt es la derivada total o derivada material temporal siguiendo el fluido:

$$\frac{D}{Dt} (\cdot) \equiv \frac{\partial (\cdot)}{\partial t} + (v \cdot \nabla)(\cdot) \quad (4)$$

La no linealidad de las ecuaciones se debe precisamente al término relacionado con la derivada total. Cuando μ es uniforme sobre todo el fluido las ecuaciones de fluido se simplifican de la manera siguiente:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho F - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{1}{3} \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i \partial x_j} \right) \quad (5)$$

O en forma vectorial:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho F - \nabla P + \mu \left(\frac{1}{3} \nabla (\nabla \cdot u) + \nabla^2 u \right) \quad (6)$$

Etapas de Simulación

La simulación para la optimización de las diferentes estructuras se realizó en el software comercial ANSYS 14.5® (ver fig. 2 y 3). Los gráficos que se obtuvieron se realizaron considerando parámetros de operación iguales para la geometría propuesta (fig. 4):

- Velocidad 0.02 m/s. Para el proceso de simulación no importa la velocidad definida, lo importante es la distribución de los gases en toda el área activa de la celda y considerar valores aleatorios de la velocidad. Se definió un valor bajo en la velocidad para analizar el comportamiento del gas a lo largo de toda la geometría.
- Temperatura ambiente 20° C. (Parámetro estándar de temperatura).
- La presión a la salida de 0.00 Pa (No hay presión por ser simulación)

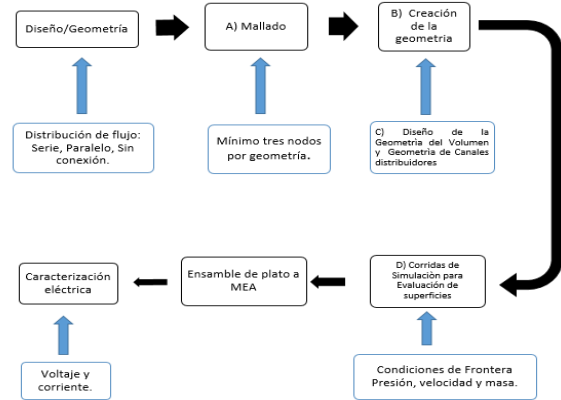


Figura 2 Metodología de Simulación

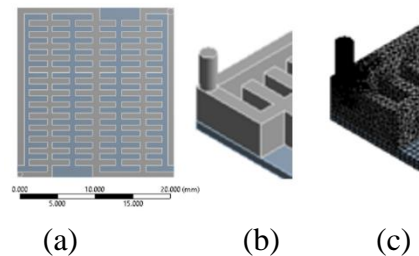


Figura 3 Etapas de Simulación de las geometrías

Se diseñaron las placas bipolares para una celda de combustible Tipo PEM, de acuerdo a la metodología de la fig. 2 y da como productos. La figura 3 muestra las etapas partiendo del diseño en 2D (fig. 3a), diseño en 3D (fig. 3b) utilizando Solid Works, y el mallado (fig. 3c) utilizando ANSYS.

La figura 4, representa la placa bipolar en 3D, en la geometría propuesta y describe el mallado de la geometría, la cual es más fina en la entrada y salida debido a que en esta superficie ocurre un cambio de dirección y distribuye el combustible.

El volumen superior tiene la función de distribución del flujo y el volumen inferior (rectángulo) fue la representación del difusor que en algunas celdas de combustible tipo PEM, puede ser de tela de carbón o papel toray, lo anterior para cumplir con la mecánica de fluidos que realiza el combustible para media celda.

Los resultados de la simulación se muestran para las variables presión y velocidad en la figura 5, las áreas superficiales presentan diferentes valores de comportamiento y cuando mayor sea la uniformidad que exista en la distribución de las variables se supone un mejor rendimiento en una celda de combustible.



Figura 4 Diseño de la Placa en 3D a partir de la simulación

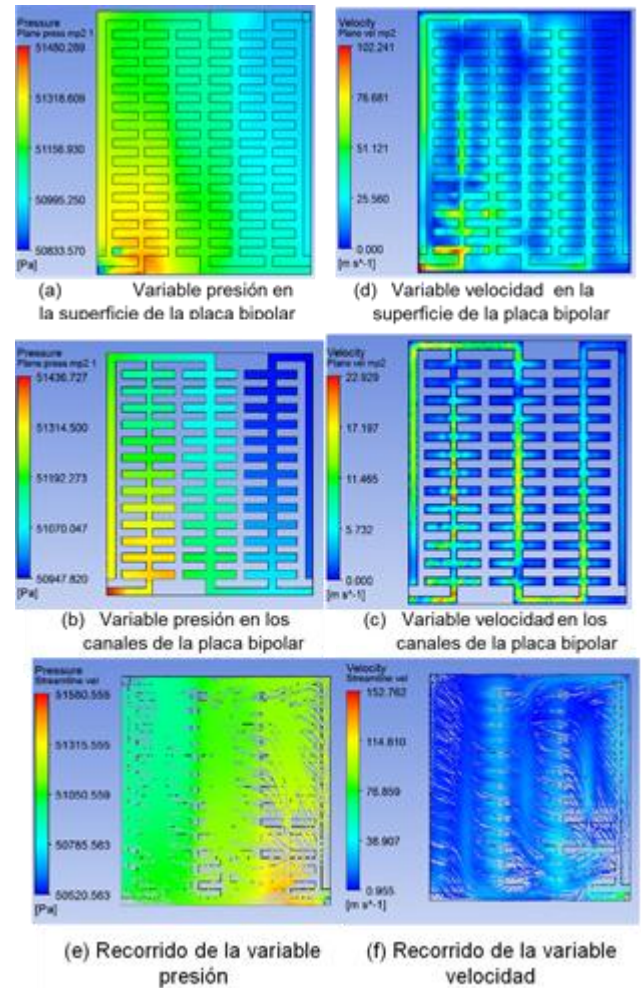


Figura 5 Resultados de la Simulación

Resultados de prueba de la simulación

La figura 5, muestra el comportamiento de las variables presión (5a) y velocidad (5b) en la superficie de la geometría. Se ve claramente cómo se comporta la presión que inicia con un valor alto color amarillo y disminuye a un valor intermedio en color verde con cambios hasta un color azul durante el recorrido de los gases hasta la salida (fig. 5a).

La figura 5a muestra la distribución de presión en cual como es esperado a la entrada del distribuidor presenta valores altos 51 436 Pa, durante su recorrido a lo largo de la superficie de la geometría y esta presión disminuye hasta 50 947 Pa, debido a que el fluido de trabajo se difunde hacia el difusor, para entrar posteriormente en contacto con el electrolito que estaba recubierto, disponible para la catálisis del fluido. La variable velocidad presentan un comportamiento más uniforme se puede ver en color claro con cambios y disminución a la salida color azul turquesa (fig. 5b). Los gases se desplazan a una velocidad 51.121 m/s, (color verde limón), disminuye la velocidad a 25.560 m/s (color azul claro) durante el recorrido, siendo 0 m/s a la salida (color azul turquesa). Se puede observar en mismo comportamiento en las paredes de los canales a de la geometría figuras 5c y 5d.

Conclusiones

En este trabajo se presentó una metodología para el diseño de placas bipolares para celdas de combustible partiendo de una de simulación mediante ANSYS. Esto representa grandes ventajas para el diseño y simulación y el análisis del elemento finito, facilita el proceso de diseño y mallado, lo que redundará en la obtención de resultados que facilitan los procesos posteriores a la etapa de simulación en trabajos de investigación de ésta índole.

Agradecimiento

Los autores desean externar su agradecimiento CIDETEQ, a la Universidad Tecnológica de San Juan Del Rio y la Universidad Autónoma de Querétaro, por los apoyos brindados durante el desarrollo del presente trabajo.

Referencias

- Akyalçın, L., & Kaytakoğlu, S. (2008). Optimization of structural combinations on the performance of a PEMFC's MEA. *Journal of power Sources*, 180(2), 767-772.
- Chang, S. M., & Kuo, J. K. (2008). Injection Molded PEM Fuel Cell Bipolar Plates Structure. *機械技師學刊*, 1(4), 14-20.
- Lee, P. H., Han, S. S., & Hwang, S. S. (2008). Three-Dimensional Transport Modeling for Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell with Micro Parallel Flow Field. *Sensors*, 8(3), 1475-1487.
- Liu, X., Guo, H., Ye, F., & Ma, C. F. (2007). Water flooding and pressure drop characteristics in flow channels of proton exchange membrane fuel cells. *Electrochimica Acta*, 52(11), 3607-3614.
- Middelmann, E., Kout, W., Vogelaar, B., Lenssen, J., & De Waal, E. (2003). Bipolar plates for PEM fuel cells. *Journal of Power Sources*, 118(1), 44-46.
- Obayopo, S. O., Bello-Ochende, T., & Meyer, J. P. (2012). Modelling and optimization of reactant gas transport in a PEM fuel cell with a transverse pin fin insert in channel flow. *International journal of hydrogen energy*, 37(13), 10286-10298.
- Paganin, V. A., Ticianelli, E. A., & Gonzalez, E. R. (1996). Development and electrochemical studies of gas diffusion electrodes for polymer electrolyte fuel cells. *Journal of Applied Electrochemistry*, 26(3), 297-304.
- Peng, L., Lai, X., Hu, P., & Ni, J. (2008). Flow channel shape optimum design for hydroformed metal bipolar plate in PEM fuel cell. *Journal of Power Sources*, 178(1), 223-230.

Rivas, S. V., Belmonte, M. R., Pérez-Quiroz, J. T., Cortes, M. A., Morón, L. E., Torres, J., & Orozco, G. (2008). Evaluation of materials for bipolar plates in simulated PEM fuel-cell cathodic environments. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, 11(2), 81.

Shimpalee, S., & Van Zee, J. W. (2007). Numerical studies on rib & channel dimension of flow-field on PEMFC performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(7), 842-856.

Xiao, Y., Ming, P., Hou, M., Fu, Y., Yi, B., & Shao, Z. G. (2008). Flow distribution in parallel-channel plate for proton exchange membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, 185(2), 1009-1014.

Acondicionamiento de la señal de sensor electrónico para un sistema de localización de fugas de gas

MORENO-GUZMÁN, Javier*†, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino, BARCELATA-PINZÓN, Antonio y ÁLVAREZ-TAMAYO, Ricardo.

*Universidad Tecnológica de Puebla,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*

Recibido Julio 5, 2016; Aceptado Septiembre 10, 2016

Resumen

El objetivo de localizar fugas de gas por medio de sistemas electrónicos en zonas industriales es importante ya que ha permitido realizar sofisticados operativos de seguridad antes de una posible catástrofe. En un trabajo previo se diseñó un sistema móvil localizador de fugas de gas controlado por un microcontrolador PIC16F877A y equipado con sensores TGS2620. Sin embargo tiene problemas a causa de diversos factores tales como la adquisición de datos de los sensores de gas, el sistema de movimiento de las llantas y las limitaciones en la programación. En este trabajo se presentan los resultados de la reprogramación del algoritmo de localización dando prioridad al sistema de adquisición de datos de los sensores. Se reprogramó el sistema ampliando el rango de comparación y de resolución entre los 3 sensores tomando en cuenta la concentración de etanol que existiese en el lugar así el móvil puede dirigirse de manera directa hacia la fuga sin perderse de la traza de la fuga de gas con un movimiento zigzagueante. Se presenta el proceso referente al acondicionamiento de señal.

Sensor de Gas, microcontrolador, localización de fugas

Abstract

The aim of locating gas leaks using electronic systems in industrial areas is important because it allowed perform sophisticated security operatives before a possible catastrophe. In previous work a locator mobile system gas leak controlled by a microcontroller PIC16F877A and equipped with sensors designed TGS2620. However it has problems because of various factors such as the acquisition of data from gas sensors, the system moving tires and limitations in programming. In this paper the results of reprogramming the location algorithm prioritizing data acquisition system sensors are presented. the expanding range of comparison and resolution between the 3 sensors system, taking into account the concentration of ethanol that existed in place so the mobile can go directly into the drain without losing the trace of the gas leak with rescheduled a zigzagging movement. Data acquisition results process is presented.

Gas sensor, microcontroller, leakage detection

Citación: MORENO-GUZMÁN, Javier, MUÑOZ-AGUIRRE, Severino, BARCELATA-PINZÓN, Antonio y ÁLVAREZ-TAMAYO, Ricardo. Acondicionamiento de la señal de sensor electrónico para un sistema de localización de fugas de gas. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 78-82

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

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La detección de olores de manera artificial ha sido una tarea complicada para la ciencia partiendo del hecho que los olores están conformados por mezclas de cientos e incluso miles de diferentes tipos de moléculas [1], es por ello que con el tiempo se han desarrollado las Narices Electrónicas (NE) [1,2] con fines diversos que incluyen desde aplicaciones en medicina [3], seguridad industrial [4] y empresas alimenticias [1,5] entre otros. Básicamente la NE, consta de un sistema de sensores electrónicos los cuales presentan una reacción física/química ante la presencia de un aroma y producen una señal de control la cual será procesada por software en segunda instancia [6].

Una aplicación específica de estos sistemas son los dispositivos móviles cuya función es detectar fugas de gas, dichos dispositivos se usan en gran medida en el ámbito industrial debido a la necesidad de las empresas para mantener un nivel elevado de seguridad para quien labora en ellas. Este tipo de dispositivos realiza un análisis cuantitativo del componente aromático y se dirige a la fuente del olor mediante un sistema de locomoción incorporado.

Algunos ejemplos de los proyectos realizados utilizando NE son el desarrollo de equipos localizadores de fuentes de olores [8], la utilización de sensores QCM (Quartz Crystal Microbalance) para la aproximación de aromas [7] y el desarrollo de prototipos móviles que detectan fugas de gas utilizando sensores de óxido de metal semiconductor [9] entre otros. Estos dispositivos pueden llegar a presentar problemas relacionados con baja sensibilidad debida a que la señal de control proveniente de los sensores se encuentra limitada a las especificaciones del acondicionamiento de señal dadas por el fabricante.

En este trabajo se presenta el acondicionamiento electrónico de señal a un sistema localizador móvil de fugas de gas controlado por un microcontrolador PIC16F877A (Microchip) y equipado con sensores de gas TGS2620 de FIGARO [2,10]. Dicho acondicionamiento pretende mejorar la resolución típica de este tipo de dispositivos incrementando la precisión de detección del mismo. Se presentan explicación analítica del sistema y resultados experimentales.

Caracterización del sistema.

El sensor FIGARO TGS2620 se enfoca en la detección de vapores disolventes, en particular etanol. En la presencia de un gas detectable, la conductividad del sensor aumenta dependiendo de la concentración de gas en el aire. Un circuito eléctrico convierte el cambio en la conductividad a una señal de salida que corresponde a la concentración de gas. Se realizó una caracterización del sensor para describir el comportamiento del mismo para diferentes cantidades de etanol, para ello se realizaron pruebas de respuesta en estado estable usando el circuito propuesto por el fabricante [10] del sensor mostrado en la figura 1, donde $V_C = 5V$ es el voltaje de alimentación, V_H es un voltaje de ajuste/referencia, R_S nos indica la entrada del sensor y sobre la resistencia de carga $R_L = 1K\Omega$ se toma la salida que irá al microcontrolador.

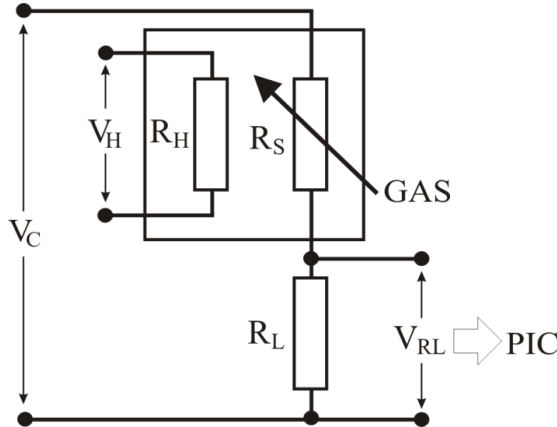


Figura 1 Diagrama de conexión para el sensor FIGARO TGS2620.

En una cámara de teflón de 1.21 litros de capacidad se inyectó etanol en cantidades que van de 1 a 20 μl en intervalos de 1, 5, 10 y 20 μl lo que cubre un rango de 349 a 6987 partes por millón (ppm) de concentración [9] y se realizó el sensado via un microcontrolador PIC16F877A obteniendo lecturas promedio de voltaje de 3 mediciones mostradas en la figura 2.

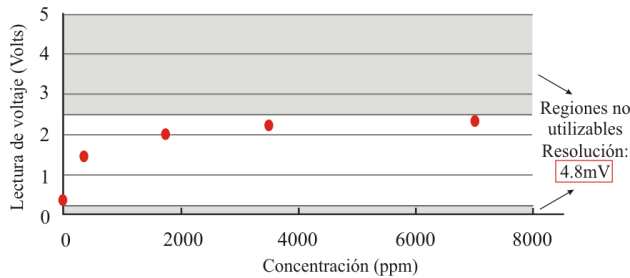


Figura 2 Caracterización del sensor usando configuración estándar.

En la figura 2 también se observa que la lectura de voltaje sólo abarca de 0.2 a 2.4 volts, esto implica no tomar en cuenta el rango de 0 a 0.2 volts y de 2.4 volts a 5 volts que era el rango completo de conversión analógico-digital con una resolución de $1024/5 = 4.8\text{mV}$ por bit de variación.

Desarrollo Experimental.

Para realizar el acondicionamiento de la señal y con el fin de hacer útil el rango de 0 a 0.2 V se implementó el circuito que se muestra en la figura 3, el cual consta de un seguidor de voltaje implementado con un amplificador operacional TL081 acoplado de esta manera las impedancias, obteniendo un promedio de voltaje de 0.33 V (V_1).

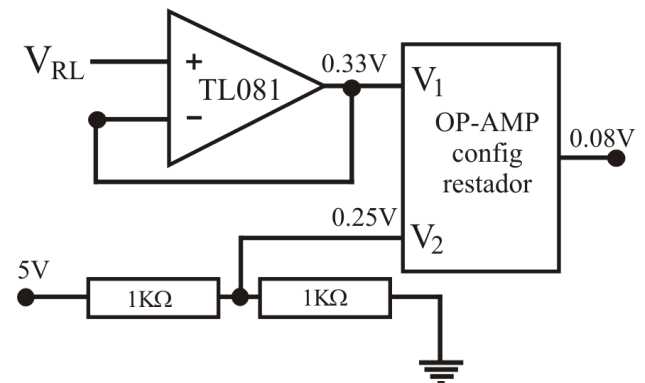


Figura 3 Circuito propuesto para el acondicionamiento de señal.

Por otro lado, se obtiene una tensión de 0.25V (V_2) mediante un divisor de voltaje conformado por 1 resistencia fija de $1\text{K}\Omega$ y un potenciómetro de precisión de $1\text{K}\Omega$ alimentados con una tensión de CD de 5 V. Estos valores de voltaje serán introducidos a un amplificador restador [ref] quien finalmente entregará al microcontrolador un voltaje de inicio a la salida del sensor de aproximadamente 0.08V. (Figura 3).

Con respecto al rango superior (2.4V a 5V) se optó por disminuir al voltaje de referencia positivo en el puerto del PIC que realiza la conversión analógico digital a 2.5V para acercarnos al valor de lectura del sensor como se aprecia en la figura 4.

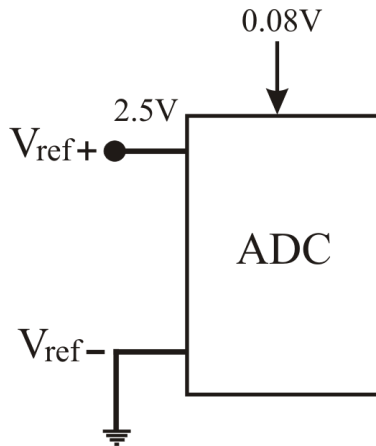


Figura 4 Seteo del voltaje de referencia del ADC del microcontrolador.

El resultado de disminuir el voltaje de referencia que va al microcontrolador es obtener una resolución de $1024/2.5 = 2.4mV$ por bit lo cual representa el doble de la que inicialmente se tenía y con lo cual es posible utilizar todas las combinaciones permitidas por el microcontrolador. Gráficamente se pueden ver los resultados de las pruebas de caracterización del sensor con la señal acoplada en la figura 5.

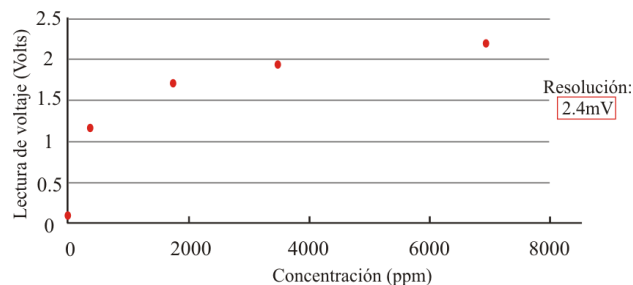


Figura 5 Resultados experimentales con señal acondicionada y con el doble de resolución.

Conclusiones

El acondicionamiento de la señal para el sistema localizador móvil de fugas de gas permite que la resolución del sensor se duplique y con ello sea posible incrementar la precisión de los datos a enviar a dicho sistema, la resolución cambió de 4.8mV por bit a 2.4 mV por bit lo que permitirá una mejor respuesta del sistema móvil ante variaciones más pequeñas de concentración de etanol. Como trabajo a futuro se planea la implementación experimental del sistema completo.

Agradecimientos.

Agradecemos al proyecto PRODEP para el cuerpo académico de OPTOMECASTRÓNICA UTPUE-CA13 así como también al laboratorio de Optoelectrónica de la FCFM de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y al Departamento de investigación y desarrollo de la Universidad Tecnológica de Puebla por las facilidades prestadas para la realización de éste trabajo.

Referencias.

- [1] BARTLETT, P. N., BLAIR, N. AND GARDNER, J. W., Electronic nose.Principles, applications and outlook, ASIC, 15e Colloque, Montpellier, pp. 478–486 (1993).
- [2] PEYNAUD E, El gusto del vino; Ed. Ediciones Mundiprensa, Madrid España, (1987).
- [3]VASSILIS S. KODOGIANNIS, JOHN N. LYGOURAS, ANDRZEJ TARCZYNSKI, AND HARDIAL S. CHOWDREY, Artificial Odor Discrimination System Using Electronic Nose and Neural Networks for the Identification of Urinary Tract Infection IEEE Transactions on information technology in biomedicine, 12, 6, (2008).

[4] A.D. WILSON and M.BAIETTO, Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies, Sensors, 9, 5099-5148, (2009).

[5] SCHALLER E, BOSSET J.O, ESCHER, F, Electronic Noses and their application to food, Lebensm-Wiss u Technol, 31, 305-316 (1998).

[6] PERSAUD K, DODD, G.H., Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose Nature, 299, 352-355 (1982)

[7] TAKAMICHI NAKAMOTO, HIROSHI ISHIDA, TOYOSAKA MORIIZUMI, An odor compass for localizing an odor source, Sensors and Actuators B: Chemical, 35, 1-3, 32-36, (1996).

[8] SEVERINO MUÑOZ AGUIRRE, AKIHITO YOSHINO, TAKAMICHI NAKAMOTO, TOYOSAKA MORIIZUMI, Odor approximation of fruit flavors using a QCM odor sensing system, Sensors and Actuators B: Chemical, 123, 2, 1101-1106, (2007).

[9] GARCÍA MELÉNDEZ JOSÉ ÁNGEL, Construcción de un robot para detección y localización de fugas de gas. Tesis de Licenciatura, FCFM BUAP, (2007)

[10] Figaro Technical Reference Manual, Figaro Engineering Inc. Japan.

Red Neuronal para el Reconocimiento de Patrones de Onda Viajera

FLORES-ALARCÓN, María Susana*†, TORRERO-FLORES, Felipe y TORRERO-PÉREZ, Everardo.

Recibido Julio 13, 2016; Aceptado Septiembre 1, 2016

Resumen

Los eventos de fallas que se llegan a presentar en líneas eléctricas de transmisión de alto voltaje son capturados por equipos denominados Travel Wave Systems (TWS). Estos equipos registran las ondas de alta frecuencia que se generan por vientos, incendios, desgaste de componentes y otros eventos que se llegan a dar en las líneas. A estas ondas se les denomina ondas viajeras y son capturadas en archivos de texto planos. Los cuales al graficarse muestran diferentes patrones de onda, dependiendo del evento que las haya generado. El reconocimiento se hace actualmente en forma empírica, por lo que se emprendió el desarrollo de un prototipo informático con redes neuronales para que ayude en una identificación más rápida y automática por una máquina. Para caracterizar el patrón de onda viajera se elaboró un sistema Web. Este sistema permite descargar en un servidor los archivos con la información en una base de datos. Estos datos se utilizan en el proceso de aprendizaje de la red neuronal supervisada, así como en el reconocimiento de los patrones. Con el algoritmo que se implementó para el aprendizaje el tiempo que se requiere para establecer los pesos de la red neuronal es alto, sin embargo, los tiempos de reconocimiento son más cortos, en relación a métodos estadísticos utilizados para el reconocimiento de patrones.

Red Neuronal, Reconocimiento de Patrones de Onda Viajera, Líneas de Transmisión Eléctricas

Abstract

The fault events that even present on power lines high voltage transmission are captured by devices called Travel Wave Systems (TWS). These devices register high frequency waves generated by winds, fires, wear components and other events come about in the lines. These waves are called traveling waves and are captured in flat text files. Which when graphed show different wave patterns, depending on the event that has generated. The recognition is currently done empirically, so the development of a prototype computer neuronal networks was undertaken to assist in a more rapid and automatic identification by machine. To characterize the pattern of traveling wave a Web system was developed. This system allows a server to download files with information in a database. This data is used in the process of supervised learning neural network and in recognizing patterns. With the algorithm implemented for learning the time required to establish the weights of the neural network is high, however recognition times are very short.

Neuronal Network, Wave Traveling Pattern Recognition, Electrical Transmission Lines

Citación: FLORES-ALARCÓN, María Susana, TORRERO-FLORES, Felipe y TORRERO-PÉREZ, Everardo. Red Neuronal para el Reconocimiento de Patrones de Onda Viajera. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 83-90

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: susana.flores.alarcon@gmail.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La energía almacenada por eventos anormales en la capacitancia e inductancia de las líneas de transmisión eléctricas de alto voltaje, generan en el instante mismo de la falla ondas de alta frecuencia conocidas como ondas viajeras. Estas ondas se generan en el punto de falla de la línea y se propagan hacia los extremos de la misma. Las ondas que se producen son de alta frecuencia en el rango de los 20 KHz y 2 Mhz, viajando a una velocidad cercana a la de la luz.

En la empresa en donde se ha obtenido información del comportamiento de estas fallas, se han aplicado algoritmos que ubican el sitio de la falla, sin embargo, la identificación del tipo de falla aún se realiza de forma empírica. Dependiendo del evento que se presenta las ondas viajeras producen un patrón, el cual puede representar un evento de lluvia, de envejecimiento de componentes, modificaciones en el medio ambiente, etc.

Los patrones que se generan al ocurrir un evento en una línea de transmisión, son reconocidos por un experto humano, sin embargo, hacer que las computadoras los reconozcan no es una tarea sencilla, puesto que son problemas que no se pueden resolver creando un diagrama de flujo. Mientras aquellos problemas con una tendencia a sufrir cambios rápidos se les puede dar solución con una Red Neuronal Artificial (RNA), gracias a su capacidad de aprender. Diversos autores han encontrado que las RNA's son apropiadas para resolver problemas de reconocimiento de patrones, clasificación, series de predicción y minería de datos.

Conociendo con anticipación el patrón, la implementación de un algoritmo de RNA's ayudará a una máquina a identificar de una forma automática las fallas ocurridas en las líneas de transmisión eléctricas, permitiendo una atención oportuna del evento que se presenta en la línea eléctrica asegurando y de esta manera ayudar a mantener la disponibilidad del servicio eléctrico.

Materiales y métodos

Las líneas de transmisión eléctricas llegan a presentar disturbios los cuales pueden ser causados por lluvia, incendios, desgaste en los componentes, etc. Para detectar estos eventos Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene instalados en los extremos de las líneas, equipos Travel Wave Systems (TWS). Estos equipos detectan variaciones de alta frecuencia, causados por los eventos que se llegan a presentar. Estas variaciones son grabadas en archivos de texto, utilizando el código ANSI (Figura 1), con rango de valores entre 0 y 255. En las diferentes líneas que componen el archivo de texto se encuentra información de la estación donde se grabó el evento, la fecha, ganancia, circuito, gps, módulo, razón. Después de estas líneas se encuentra una línea de caracteres ANSI, con los valores de voltaje normal de una fase de la línea de transmisión. En las líneas siguientes el equipo TWS grabó los voltajes con valores fuera del valor nominal. Esta secuencia se presenta para cada una de las fases de la línea de transmisión.

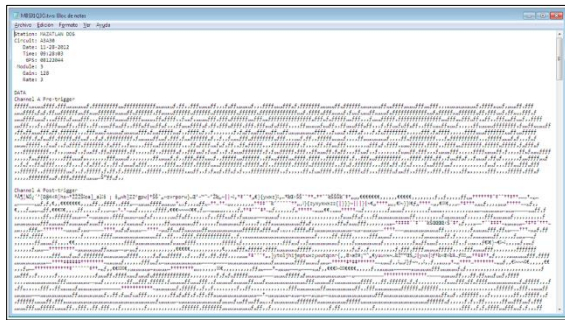


Figura 1 Contenido de un archivo .tws.

Un ejemplo de la forma en que llega a tomar un evento se presenta en la Figura 2. Los datos se obtuvieron de un archivo .tws y fueron graficados utilizando un lenguaje de programación para una aplicación Web.

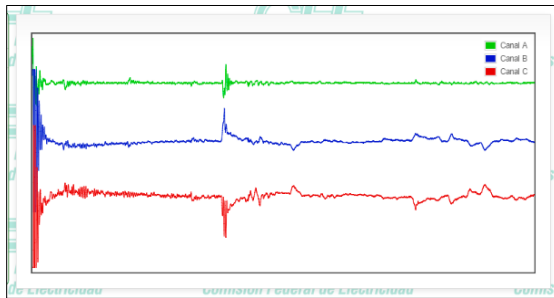


Figura 2 Gráfica de un tipo de falla obtenida con los datos extraídos de un archivo .tws.

Sistema Web para Caracterizar los Archivos Planos .tws

Un sistema Web fue elaborado para concentrar los archivos con problemas en un servidor. Al recibir los archivos, se realiza un preprocesamiento. Con él se obtienen varias características extraídas de los datos del evento que registró el equipo. Los valores que se calculan para cada fase en el preprocesamiento son: total de caracteres para representar el evento, el valor máximo registrado, el valor mínimo, el promedio de los valores, la varianza y el número de eventos fuera del rango nominal, los cuales se almacenan en una tabla de una base de datos en MySQL (Figura 3).

Figura 3 Tabla en donde se almacenan los valores que caracterizan el archivo .tws cargado en el servidor.

La extracción de estas características de un archivo .tws, permitirán entrenar y utilizar una red neuronal para el reconocimiento de patrones de onda viajera similares. El sistema Web además realiza varios estudios de correlación. Un estudio se realiza con la serie de valores calculados, en tanto otro estudio se realiza con los datos tal y cual se encuentran en el archivo de texto. Ello permitió que se pudiera verificar si los estudios estadísticos y los de inteligencia artificial podrían utilizarse para reconcer patrones de onda viajera.

Algoritmo de Convergencia Utilizado en la Implementación de la Red Neuronal Artificial

Las neuronas individuales que componen una RNA, son interconectadas a través de su sinapsis. Estas conexiones permiten comunicar a otras como es procesada la información. No todas las conexiones son iguales, asignándoles un peso. Estos pesos son los que determinan la salida de la RNS, así se puede decir que los pesos forman la memoria de la red.

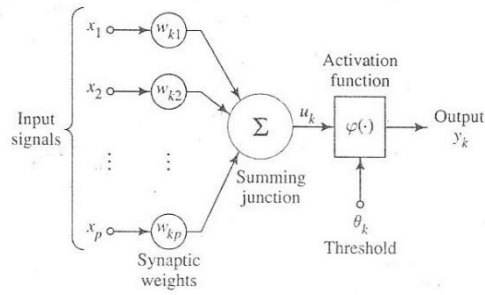


Figura 4 Modelo no lineal de una neurona artificial (tomado del libro Neural Networks: A Comprehensive Foundation).

Para implementar la Red Neuronal Artificial (RNA), se utilizó el modelo del perceptrón, para el cual se identifican los elementos básicos: 1) un conjunto de sinapsis o líneas de conexión, cada una caracterizada por un peso o fuerza. Específicamente una señal x_j en la entrada de la sinapsis j conectada a una neurona k es multiplicada por un peso sináptico w_{kj} , 2) un sumador, para sumar las señales de entrada multiplicadas por el peso de la respectiva sinapsis de la neurona, 3) una función de activación para limitar la amplitud de la salida de una neurona (Figura 4).

Al modelo presentado en la Figura 4, se añade un umbral externo aplicado θ_k que tiene el efecto de bajar la entrada de red de la función de activación. Resultando el modelo matemático para el perceptrón:

$$u_k = \sum_{j=0}^p w_{kj} x_j \quad (1)$$

$$y_k = \varphi(u_k) \quad (2)$$

Considerando una sinapsis con valor:

$$x_0 = -1 \quad (3)$$

Con peso:

$$w_{k0} = \theta_k \quad (4)$$

La neurona se activará o no, dependiendo de la función de activación denotada por $\varphi(\cdot)$ en la Figura 4.

Comúnmente se utilizan tres tipos de funciones básicas de activación:

La función umbral. Este tipo de activación se muestra en la Figura 5 y matemáticamente se tiene:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{si } v_k \geq 0 \\ 0 & \text{si } v_k < 0 \end{cases} \quad (5)$$

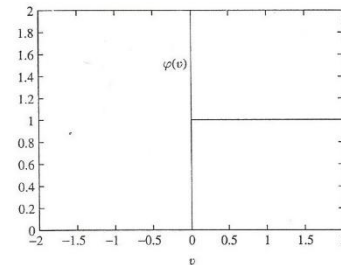


Figura 5 Función umbral (tomado del libro Neural Networks: A Comprehensive Foundation).

Función lineal por rangos. En este tipo de función se presenta una combinación lineal, si la región lineal de operación es mantenida sin entrar en saturación (Figura 6). Y matemáticamente se expresa:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1 & v \geq \frac{1}{2} \\ v & -\frac{1}{2} < v \leq \frac{1}{2} \\ 0 & v \leq -\frac{1}{2} \end{cases} \quad (6)$$

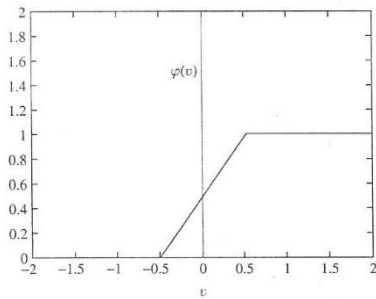


Figura 6 Función lineal por rangos (tomado del libro Neural Networks: A Comprehensive Foundation).

Función Sigmoide. Es definida como una función que exhibe propiedades de suavidad y asíntóticas y se encuentra definida por:

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + \exp(-av)} \quad (7)$$

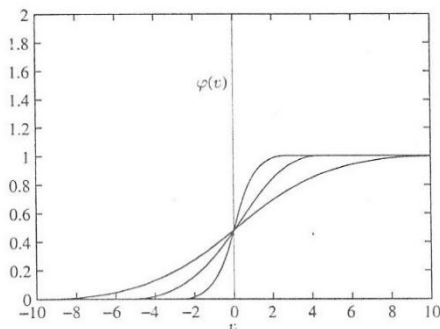


Figura 7 Función sigmoide (tomado del libro Neural Networks: A Comprehensive Foundation).

Algoritmo. Lippmann (1987), nos regala el modelo matemático para la convergencia del algoritmo de aprendizaje de corrección de error para un perceptrón de una capa, el cual proporciona una solución apropiada para localizar los pesos del perceptrón de acuerdo a las entradas y salidas que se establezcan para la RNA. A partir de este modelo matemático se deriva el algoritmo de convergencia del perceptrón:

Variables y Parámetros

$X(n) = (p + 1) - by - 1$, es el vector de entrada = $[-1, X_1(n), X_2(n), \dots, X_p(n)]^T$

$W(n) = (p + 1) - by - 1$, es el vector de pesos = $[\theta(n), w_1(n), w_2(n), \dots, w_p(n)]^T$

$\theta(n)$ = Umbral

$y(n)$ = Respuesta actual (cuantificada)

$d(n)$ = Respuesta deseada

η = Parámetro de razón de aprendizaje, constante positiva menor que la unidad

Algoritmo

Paso 1.- Inicialización

Establezca $W(0) = 0$.

Luego ejecute los siguientes cálculos desde $n=1, 2, \dots$

Paso 2.- Activación

En el momento n , active el perceptrón aplicando el vector de entrada de valores $X(n)$ y respuesta deseada $d(n)$

Paso 3.- Cálculo de la respuesta activa

Calcule la respuesta actual del perceptrón $y(n) = w^T(n)x(n)$

Paso 4.- Termina el aprendizaje

Si el valor absoluto de la diferencia $y(n) - d(n)$ es menor a error deseado. El algoritmo encontró los pesos adecuados y el algoritmo termina.

Paso 5.- Adaptación del vector de pesos

Actualice el vector de pesos del perceptrón

$$w(n + 1) = w(n) + \eta[d(n) - y(n)]X(n)$$

Donde

$$d(n) = \begin{cases} +d(n) & \text{si } x(n) \text{ pertenece a } C1 \\ -d(n) & \text{si } x(n) \text{ pertenece a } C2 \end{cases}$$

Paso 5.- Incremente n en 1 unidad y vaya al paso 2

El algoritmo fue implementado en una aplicación para escritorio, utilizando el Lenguaje C.

Resultados

Una RNA con tres neuronas se implementó para el reconocimiento de tres ejemplares de archivos .tws proporcionados por la empresa eléctrica. Los vectores de datos para la entrada de la red neuronal se formaron con las características extraídas de los archivos: valor máximo, valor mínimo, promedio, varianza, valores fuera de valor nominal:

```
{1.0, 255.0, 0.0, 127.764, .02703, 3140}
{1.0, 211.0, 52.0, 131.04, .008232, 10012}
{1.0, 196.0, 32.0, 127.273, .002283, 123}
```

El entrenamiento se realizó en tres ocasiones para que la RNA proporcionara las siguientes salidas:

```
{0.0, 1.0, 1.0}
{1.0, 0.0, 1.0}
{1.0, 1.0, 0.0}
```

Con el primer vector de salida se identifica el primer vector de entrada, y así sucesivamente.

En la Figura 8, se muestra un proceso de aprendizaje de la RNA, para el primer vector de entrada. El valor .05, es la diferencia entre la salida de la neurona y el valor esperado para la primera entrada (error de época).

Los valores que vienen a continuación del error de época: {107.551587, -0.447, -0.612609, .003235, .002340, .001919}, son los pesos que calculó el algoritmo. Finalmente viene la salida que la neurona arroja al aplicar los tres vectores de entrada con que se cuenta: {.006919, 1.020135, 0.983849}. A esta salida aún no se le aplica la función umbral para acotar los valores de salida.

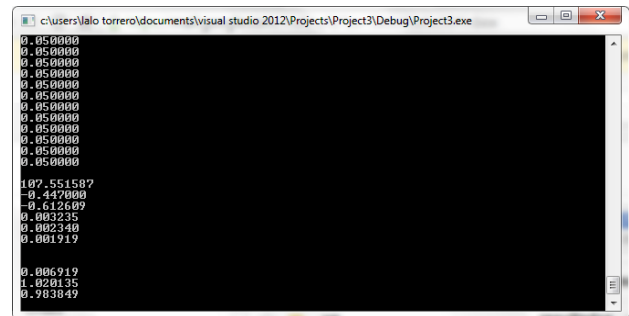


Figura 8 RNA entrenada para una salida {0.1.1} y un error de época de 0.05.

La inclusión de equipos que permiten capturar los fenómenos generados por diversos eventos en las líneas de transmisión eléctricas han permitido que éstos se puedan ubicar con bastante precisión, sin embargo, la identificación automática aún no se ha podido realizar. En Flores, Torrero, Urquiza y Torrero (2015), se describen los resultados que se obtuvieron al aplicar estudios de correlación en los archivos proporcionados por la empresa eléctrica, encontrando que una forma de discriminar eventos de anomalías en las líneas, se daba al utilizar todos los caracteres del archivo plano en que el equipo TWS grabó la falla.

El uso de una RNA's en la identificación de patrones de onda viajera es otro proceso que podría utilizarse para la identificación de estos patrones.

Agradecimiento

Gracias al apoyo financiero recibido en la convocatoria 2014 de proyectos de investigación del Tecnológico Nacional de México, ha sido posible llevar a cabo este proyecto.

Conclusiones

Después de elaborar el sistema para cargar archivos y realizar estudios de correlación se llevó a cabo este estudio, logrando con las características extraídas de los archivos .tws entrenar una RNA, y obtener una respuesta más rápida que los estudios de correlación para identificar las fallas de aquellos archivos de los que tenemos información.

El número limitado de archivos que se tuvieron para hacer pruebas, no permite generalizar los resultados, tanto en los estudios de correlación, como en el estudio con una RNA, sin embargo, nos ha permitido presentar dos posibles soluciones al reconocimiento de patrones de onda viajera y comparar ambos estudios, encontrando en relación a tiempo de respuesta, mejores resultados en la RNA.

El uso de una RNA abre nuevos caminos para el reconocimiento de estos eventos, faltando estudios para: conseguir más archivos para validar la RNA, revisar otros parámetros para entrenar la red, comparar los resultados al utilizar otra arquitectura de RNA's, como la de retropropagación, incorporar la RNA al sistema Web desarrollado y que ya cuenta con los estudios de correlación, así como iniciar la incursión en las redes neuronales no supervisadas.

Referencias

Bishop, C. (2014). *Neural Networks for Pattern Recognition*. New York: Oxford University Press Inc

Christos, S. & Signos, D. (s.f.). Neural networks. Recuperado de https://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html#Contents.

Fernandes, M., Pinto, J., Dutra, C. & Zimath, L. (2012). Traveling waves – Reliability in fault location. *PAC World. Protection Automation & Control Word*. Recuperado de https://www.pacw.org/issue/september_2012_issue/brazilian_blackout_2012/brazilian_blackout_2012/complete_article/1.html.

Flores, S., Torrero, F., Urquizo, E. & Torrero, G. (noviembre, 2015). Caracterización de archivos planos de patrones de eventos de onda viajera en líneas de transmisión eléctrica. En R.M. presidente. *Congreso Internacional de Investigación de Academia Journals.Com*. Llevado a cabo en Celaya, Gto.

Haykon, S. (2005). *Neural Networks. A Comprehensive Foundation*. Ontario, Canadá: Pearson/Prentice Hall.

Heaton, J. (2008). *Introduction to Neural Networks with Java*. Estados Unidos: Heaton Research.

Meléndez, C. & Torres, F. (2015). Sistema de localización y prevención de fallas mediante el principio de onda viajera. CFE.

MySQL. (2015). *MySQLDocumentation*. Recuperado de <http://dev.mysql.com/doc/>.

Nielsen, M. (2016). Using neural nets to recognize handwritten digits. Recuperado de <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap1.html>

Schweitzer, E., Guzmán, A. Mangapathirao, M., Skenddzic, V. & Marx, S. (2014). Locating faults by the traveling waves they launch. *2014 67th Annual Conference for Protection Relay Engineers*. Llevado a cabo en Texas A & M University.

Torrero, F. (2016). *Reconocimiento de patrones de onda viajera en líneas de transmisión eléctricas*. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de La Laguna. Torreón, Coahuila, México.

Material soporte como posible sustituto del carbón vulcan para la elaboración de tintas catalíticas

GARCÍA-GARCÍA, Raúl*†, CASTILLO-MARTÍNEZ, Luz, OAXACA-JIMÉNEZ, Hada y OROZCO-GAMBOA, Germán.

Recibido Julio 28, 2016; Aceptado Septiembre 1, 2016

Resumen

En este documento se pretende establecer una base, para elaborar electrodos de trabajo utilizando como material soporte zeolita extraída de una mina. Para su posible aplicación en pilas de combustible tipo PEM como alternativa de uso en lugar del Carbón Vulcan. Los polioxometalatos (POMs) son moléculas prometedoras para procesos electro-catalíticos eficientes y limpios, debido a sus propiedades redox, las cuales son muy flexibles. Las formas reducidas de los POM's pueden actuar como donores o aceptores de varios electrones manteniendo su estructura. Por tal razón, se espera que este comportamiento sirva para que los materiales tengan un aceptable comportamiento electro-catalítico. El material electro-catalizador propuesto es una mezcla $H_3PMo_{12}O_{40}$ (ácido fosfomolibdico) y de platino. Se espera que las corrientes de intercambio determinadas en esta investigación permitan ser observadas por Voltamperometría cíclica.

POM's, Polioxometalatos, Voltamperometría cíclica, Tinta Catalítica

Abstract

In this document it is to establish a base, to produce working electrodes using zeolite support as a material extracted from a mine. For possible application in PEM fuel cells as an alternative to use instead Coal Vulcan. Los polyoxometalates (POMs) are promising molecules for electro-catalytic processes efficient and clean because of its redox properties, which are very flexible. Reduced forms of POM's can act as acceptors donores or several electrons maintaining its structure. For this reason, it is expected that this behavior serve to have an acceptable materials electro-catalytic behavior. The proposed electro-catalyst material is a mixture $H_3PMo_{12}O_{40}$ (phosphomolybdic acid) and platinum. It is expected that trade flows determined in this research allow to be observed by cyclic voltammetry.

POM's, polyoxometalates, cyclic voltammetry, Catalytic Ink

Citación: GARCÍA-GARCÍA, Raúl, CASTILLO-MARTÍNEZ, Luz, OAXACA-JIMÉNEZ, Hada y OROZCO-GAMBOA, Germán. Material soporte como posible sustituto del carbón vulcan para la elaboración de tintas catalíticas. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 91-96

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: rgarciag@utsjr.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los polioxometalatos son estructuras aniónicas constituidas con metales de transición en su estado más alto de oxidación. Son sustancias notables en varios aspectos, incluyendo sus múltiples propiedades en función de su tamaño, forma, densidad de carga, siendo las estructuras Keggin y Wells-Dawson las más estudiadas en el área de la electroquímica [1].

Los heteropoliácidos (HPA's) son un subconjunto de los polioxometalatos que han atraído la atención para aplicaciones electrocatalíticas [2]. Los HPA's son ácidos de Brønsted muy fuertes, además son muy conocidos por ser buenos conductores de protones. Como todos los POMs presentan un comportamiento redox muy reversible con rápidas transiciones multi-electrónicas, estas propiedades hacen que los HPA's sean candidatos atractivos como electrocatalizadores redox en varios procesos electroquímicos. Los HPA's tienen una estructura Keggin (figura. 1), la cual puede ser representada por la fórmula $[XM_{12}O_{40}]_x-8$.

En el centro del compuesto se encuentra el heteroátomo X (donde X = Si, P, etc, con estado de oxidación x), que tiene cuatro átomos de oxígeno unidos de forma tetraédrica. M es el átomo del óxido exterior que suele ser Mo o W. El tetraedro central, que contiene el átomo central o hetero-átomo, se encuentra rodeado por 12 octaedros de composición MO_6 .

La mayoría de átomos de oxígeno son compartidos por el átomo central y los átomos de los óxidos exteriores, a excepción de 12 átomos de oxígeno que están conectados a un solo átomo y son los más exteriores, etiquetados como O_t en la figura 1. Los HPA's pueden actuar como mediadores redox para la oxidación electroquímica de CO, como lo demostró Zhizhina. [3].

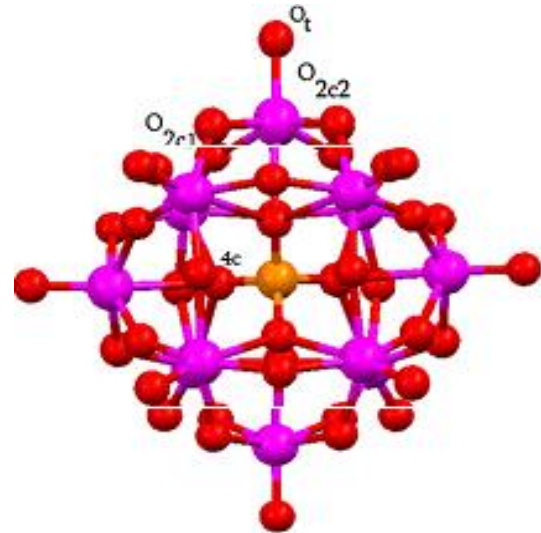


Figura 1 La estructura α -Keggin muestra una deformación geométrica octaédrica. La molécula se compone por átomos de oxígeno (rojos), átomos de Mo (morados) con un átomo de fosforo al centro (naranja). [3]

En el electro-catalizador de Pt-Ru, el Ru reacciona con el agua, produciendo hidroxilos adsorbidos sobre la superficie a potenciales menores que el Pt. La reacción de la especie Ru-OH con el CO enlazado al Pt, promoviendo así la oxidación de CO, lo que justifica el uso de electrodos bimetálicos. Por otra parte, los HPA's han demostrado mejorar la electro-oxidación del metanol en una disolución ácida acuosa en electrodos de Pt,[4] Pt-Ru [5] y Pt-Sn [6].

Además, Nakajima [7] ha combinado Pt con HPA's, observando que estos materiales promueven el proceso de electro-oxidación de metanol. Por lo tanto, el enfoque de mezclar electro-catalizadores bimetálicos y HPA's es exitosa, sin embargo, en la presente investigación se desea contribuir con la determinación de las propiedades electro-catalíticas intrínsecas de los HPA's para oxidar metanol. Se considera que esta estrategia será de menor costo al eliminar las aleaciones.

Desarrollo experimental

La caracterización electroquímica de los electrodos, se realizó por la técnica de voltamperometría cíclica utilizando una celda electroquímica convencional de tres electrodos, con un volumen de 25 ml en un potenciostato BioLogic VSP controlado por el software EC-Lab®. El electrodo de trabajo (ET) que se utilizaron minas de Grafito (marca Faber-Castell) con un área geométrica de 0.159042 cm². Un electrodo de Hg|Hg₂SO₄|K₂SO₄ fue utilizado como electrodo de referencia (RE) y un alambre de platino (99.99%) en forma de espiral fue utilizado como un contra electrodo (CE). La disolución de soporte que se utilizó de H₂SO₄ 0.5 M, preparada con agua Millipore - Milli-Q Plus.

Todos los reactivos fueron de grado analítico adquiridos de fuentes comerciales y se usaron sin purificación adicional, el ácido sulfúrico (98.08%) de J.T. Baker, Nafión® 5% etanol por ElectroChem, Zeolita, gas de N₂ de alta pureza fue adquirido por Infra Praxiar México, ácido fosfomolíbico líquido (POM) Sigma-Aldrich 100%. El platino disperso sobre carbono vulcan Pt 20%w (Pt/CV) fue proveído por E-Tek (USA).

Para cada ET con aglomerado que se preparó se utilizó una mina de grafito distinta. A cada mina de grafito se le cubría homogéneamente la superficie, formando una capa, con una tinta distinta, la cual se colocaba con ayuda de una punta de micropipeta. Las tintas de los aglomerados fueron preparadas de la forma siguiente:

1. Tinta 1: en un volumen de 3 µL POM +1.8 µL de Nafión al 5%. Se sumergió la mina lo suficiente como para que por capilaridad todo el líquido cubriera la superficie.
2. Tinta 2: POM + Nafión+zeolita: se mezclaron 1mg de Zeolita, 3µL POM + 1.8µL Nafión y fueron sonicados durante 20 min.
3. Tinta 3: Pom + Zeolita: Se mezclaron 1mg de zeolita + 3 µL Nafión. Se sónico por 30 min.
4. Tinta 4: Pt/CV + POM+Nafión: 0.22 mg de Pt/CV al cual se le agregaron 3µL POM, 20 3 µLde Nafión y 40 µL de alcohol isopropílico está mezcla se sónico por 30 min.
5. Tinta 5: Zeolita+Pt+ Nafión + POM: a 0.5mg de zeolita se le agrego 3µL POM. Se sónica por 15 minutos y se agregan 0.22mg de Pt y30 µL de Nafión, inmediatamente la nueva mezcla se sonicó por otros 35 min.

Las tintas descritas anteriormente al evaporarse el disolvente forman un aglomerado depositado sobre la superficie de la mina de grafito. La caracterización electroquímica de los electrodos con aglomerados se realizó en el electrolito soporte 0.5 M H_2SO_4 , dicha disolución se burbujeo durante 20 min con gas nitrógeno antes de cada experimento, en los experimento se hizo fluir N_2 como atmósfera en el sobrenadante.

Resultados y discusión

En la figura 2 se muestra el voltamperograma cíclico de la tinta uno, se observa que a medida que pasan los ciclos, la corriente disminuye. La degradación es rápida en los primeros 15 ciclos, En el ciclo 45 el pico de 0.447 V del ciclo uno ya ha desaparecido, es decir el POM se había degradado en su totalidad.

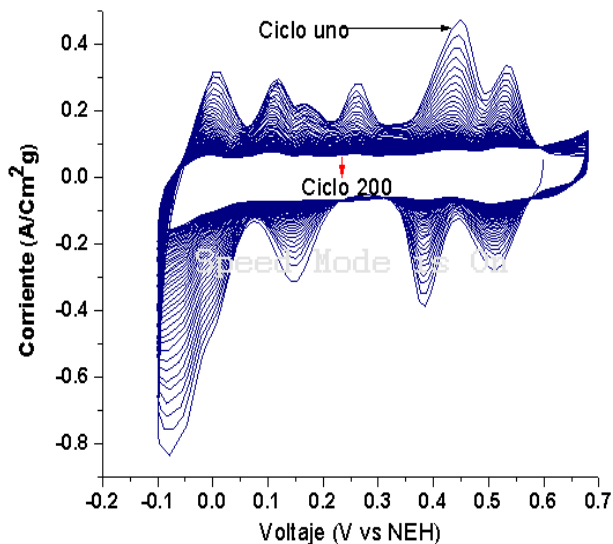


Figura 2 Voltamperograma cíclico del electrodo de trabajo modificado con 1.8 μL de Nafión al 5% y 3 μL de POM en una disolución 0.5M de H_2SO_4 a una velocidad de barrido de $100mV s^{-1}$ y 200 ciclos.

La figura 3 corresponde al voltamperograma cíclico de la tinta dos. Observando una degradación rápida en los primeros 10 ciclos, En este caso ya había desaparecido el pico ubicado en 0.453 V. La corriente de dicho pico siempre fue mayor comparado con el de la figura 2.

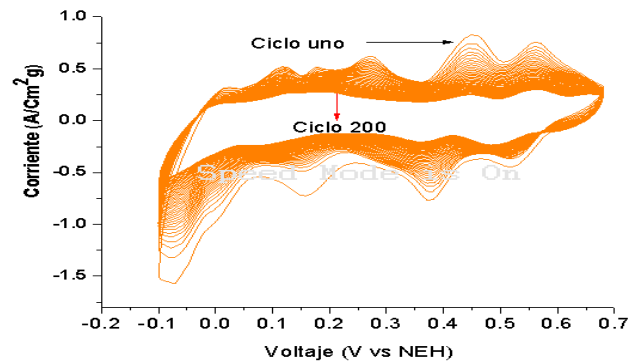


Figura 3 Voltamperograma cíclico del electrodo de trabajo modificado con 1.8 μL de Nafión al 5%, 3 μL de POM y 1 mg de zeolita, en una disolución 0.5M de H_2SO_4 a una velocidad de barrido de $100mV s^{-1}$ y 200 ciclos.

En la figura 4 se observa una degradación rápida en los primeros 30 ciclos, en el ciclo 200 aún se prolonga muy ligeramente el pico localizado en 0.4524 V. La corriente de pico es menor al de la figura 3.

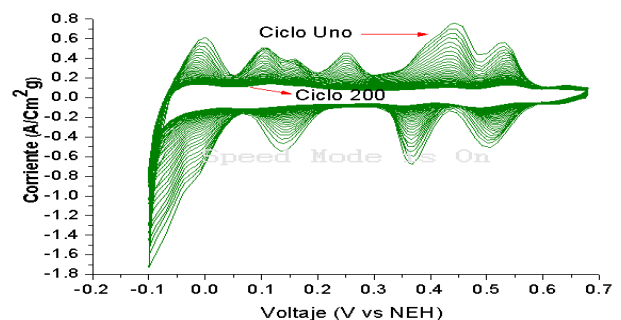


Figura 4 Voltamperograma Cíclico del electrodo de trabajo modificado con 20 μL de Nafión al 5%, 3 μL de POM, 40 μL de alcohol Isopropílico, 0.5 mg de carbón vulcan y 0.215 mg de platino en una disolución 0.5M de H_2SO_4 , velocidad de barrido de $100mV s^{-1}$ y 200 ciclos.

En la figura 5 se muestra el voltamperograma cíclico de la tinta cinco. La cual contiene zeolita en lugar de carbón vulcan. Se observa que existe un comportamiento muy parecido al de la figura 4.

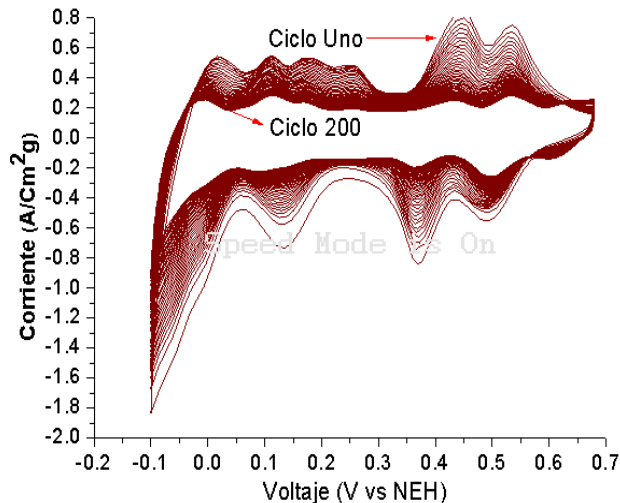


Figura 5 Voltamperograma cíclico del electrodo de trabajo modificado con 30 μL de Nafión al 5%, 3 μL de POM, 1 mg de Zeolita, 0.215 mg de Platino en una disolución 0.5M de H_2SO_4 a una velocidad de barrido de 100mV s^{-1} y 200 ciclos.

Conclusiones

En las tintas desarrolladas para el recubrimiento del electrodo de trabajo se obtuvo la mayor intensidad de corriente (0.8417 A/gCm^2) en la tinta cinco correspondiente a zeolita+Pt+Nafion+POM, sin embargo es muy parecido al resultado obtenido (0.8134 A/gCm^2) de la tinta 4 correspondiente Pt/CV+Nafion+POM. Por lo que se puede mencionar que la zeolita utilizada puede ser un sustituto del carbón Vulcan; para la elaboración de tintas catalíticas y a pesar de que la Zeolita es un material que adsorbe, no tiene la capacidad de aglomerarse en la puntilla y permanecer mas tiempo en ella, por lo que es indispensable utilizar el Nafión como medio para aglomerar compuestos y queden impregnados en el desarrollo y evaluación de futuros electrodos para celdas de combustible.

Referencias

- [1] Keyta Bineta, Nadjo Louis. (2007). Polyoxometalate-based homogeneous catalysis of electrode reactions: Recent achievements. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* (262), 190 – 215.
- [2] R.Ferrell Jack, Kuo Mei-chen, A. john. (2008). The use of heteropoly acids, $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ and $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$, for the enhanced electrochemical oxidation of methanol for direct methanol fuel cells. *Electrochimica Acta* (53), 4927-4933.
- [3] A.K. Cuentas-Gallegos, C. Frausto, L.A. Ortiz-Frade, G. Orozco. (2011). Raman spectra of hybrid materials based on carbon nanotubes and $\text{Cs}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$, *Vibrational Spectroscopy* 57 49–54

[4] A. R. J. Kucernak, C. J. Barnett, G. T. Burstein, K. R. Williams. (1995). Tungsten containing electrodes and electrolytes for low temperature methanol electrooxidation, *New Materials for Fuel Cell Systems 1*, Montreal, 337-351

[5] G.T. Burstein, C.J. Barnett, A.R. Kucernak, K.R. Williams. (1997), Aspects of the anodic oxidation of methanol, *Fuel cells and Catalysis. Today* (38) 425-437.

[6] A.S. Arico, H. Kim, A.K. Shukla, M.K. Ravikumar, V. Antonucci, N. Giordano, (1999), CO and CO/H₂ electrooxidation on carbon supported Pt-Ru catalysist in phosphotungstic acid (H₂PW₁₂O₄₀) electrolyte , *Electrochim. Acta* (28), 881-887.

[7] H. Nakajima, I. Honma, (2013), Electro-catalytic Applications of polyoxometalates, *Environmentally Bening catalysts*, 245-255

Diseño de un sistema de calentamiento solar para el descongelamiento de pescado

OVANDO-SIERRA, Juan*†, HUCHIN, Mauro, CASTILLO-TELLEZ, Margarita y ESTRADA-SEGOVIA, Manuel.

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campus V, predio s/n por Av Humberto Lanz Cárdenas y Unidad Habitacional Ecológica ambiental, Col. Ex Hacienda Kalá, C.P. 24085, San Francisco de Campeche, Campeche, México

Recibido Julio 8, 2016; Aceptado Septiembre 16, 2016

Resumen

La Industria pesquera o sector pesquero es una actividad económica e importante en el mundo, ya que es una fuente alimentaria para consumo humano o como materia prima de procesos industriales. Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción pesquera mundial es de 130.2 millones de toneladas. Además, de las capturas comerciales, 37.9 millones de toneladas fueron producidas en plantas acuícolas. En México la industria del procesamiento de pescado es de gran importancia, dado que su comercialización llega a ser una fuente importante de divisas. Para lograr conservar el pescado es necesaria la congelación, que evita casi totalmente el desarrollo de las bacterias ya que al bajar la temperatura de manera uniforme detiene los procesos bacteriológicos y enzimáticos que destruyen el alimento. Para llevar el pescado a procesamiento es necesario descongelarlo. Actualmente se utiliza vapor sobrecalentado producido por una caldera que utiliza combustóleo como energía primaria, lo que incrementa totalmente los costos de producción. En este trabajo se diseña un sistema eficiente que amortiza dichos costos y aprovecha el recurso solar, por se presenta un diseño de un sistema de calentamiento solar de contacto directo para el descongelamiento de pescado, específicamente de atún. Asimismo, se presenta una metodología para el dimensionamiento de sistemas de calentamiento solar para procesos industriales

Diseño, calentamiento solar, pescado

Abstract

The fishing industry or fisheries sector is an important economic activity in the world because it is a food source for human consumption or as raw material for industrial processes. According to statistics from the Food and Agriculture Organization (FAO), world fish production is 130.2 million tons. In addition, commercial catches, 37.9 million tons were produced in aquaculture plants. In Mexico the fish processing industry is of great importance, since marketing becomes an important source of foreign exchange. To achieve preserving fish freezing, which almost completely prevents the development of bacteria as the temperature drops evenly stops bacteriological and enzymatic processes that destroy food is required. To bring the fish to thaw processing is required. Currently used superheated steam produced by a boiler that uses fuel oil as primary energy, which totally increases production costs. This paper presents an efficient system that pays these costs and take advantage of the solar resource is designed, presents a design of a solar heating system with direct contact to the unfreezing of fish, particularly tuna. In addition, a methodology for sizing solar heating systems for industrial processes is presented.

Design, solar warming, fish

Citación: OVANDO-SIERRA, Juan, HUCHIN, Mauro, CASTILLO-TELLEZ, Margarita y ESTRADA-SEGOVIA, Manuel. Diseño de un sistema de calentamiento solar para el descongelamiento de pescado. Revista de Tecnología e Innovación 2016, 3-8: 97-10

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: mcastill@uacam.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

México es un país que cuenta con una gran extensión de litorales. Según datos proporcionados por el INEGI se tiene un volumen de captura de 1'530,000 Toneladas de diversas especies, de las cuales se procesan alrededor de 830,000 toneladas. De estos productos el 30% se congela y el 40% son enlatados.

Actualmente el uso de la energía solar térmica para la producción de calor útil se emplea en diversos sectores como son: vivienda, uso de la agroindustria y para los procesos industriales (producción de electricidad y concentración para la producción de calor útil).

El consumo de combustibles fósiles producto del calentamiento de agua es de gran consideración, así como también la generación del CO₂, elemento que influye en el calentamiento global de la tierra.

Las empresas dedicadas al enlatado de productos, requieren eficientar sus procesos para que los costos de operación disminuyan y los precios de sus productos sean competitivos en el mercado. Así mismo la contaminación, producto de la quema de combustibles fósiles, disminuye en los procesos al emplear energía solar y por ende la producción de CO₂. Lo anterior beneficia a las plantas productoras de productos enlatados debido a que están comprometidas con la sustentabilidad. En este trabajo se plantea la utilización de la energía solar para procesos industriales, específicamente se propone el diseño de un sistema solar de contacto directo para el descongelamiento de pescado.

Desarrollo del proceso

Planta solar térmica

Una instalación solar térmica es un conjunto de elementos y componentes encargados de realizar las funciones de captar radiación solar, transformándola directamente en energía calorífica cediéndola a un fluido de trabajo, la cual se puede almacenar de manera eficiente o transferirla directamente a un proceso, este sistema puede estar integrado a un sistema convencional de energía dentro de la misma instalación.

Equipos y componentes de las instalaciones solares térmicas

Conjunto de paneles solares térmicos: son los encargados de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se caliente el fluido de trabajo.

Depósito de almacenamiento: si el sistema lo requiere, ya que existen sistemas que la transferencia de calor es directamente al proceso.

Tuberías, bombas, válvulas, accesorios etc.: constituyen el circuito hidráulico encargado de establecer el movimiento del fluido caliente al proceso o tanque de almacenamiento.

Equipos de regulación y control: se encargan por un lado de asegurar el buen funcionamiento del sistema para proporcionar la máxima energía térmica y actúa como protector de diversos factores de funcionamiento del sistema.

Equipo de energía convencional: si se requiere, (caldera, boiler, etc.), se utiliza para completar la contribución solar, suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la cantidad del suministro.

Planteamiento del sistema solar

La industria pesquera captura toneladas de diferentes tipos de pescados, los cuales deben ser congelados a bajas temperaturas para su conservación. Posteriormente, el producto deberá ser descongelado para su procesamiento, enlatado y venta. Existen varias formas de descongelar el producto (Planck): En hielo picado en aire, agua corriente y agua caliente.

Independientemente del método usado para el descongelamiento, se han llegado a las siguientes conclusiones:

1. El método de descongelación no tiene influencia en el sabor y en la conservación de los pescados.
2. Una vez descongelados los pescados tienen que vaciarse lo antes posible. Entonces se conservan en iguales condiciones de almacenamiento durante el mismo tiempo.
3. Durante la descongelación, hay que proteger cuidadosamente los pescados congelados de presiones mecánicas.

En la planta procesadora ubicada en la ciudad de Tapachula, Chiapas, el descongelamiento del pescado se lleva a cabo mediante agua caliente a 30 °C. Dicha agua caliente se obtiene al extraer vapor de una caldera a base de combustóleo y transferir el calor a un depósito de agua.

El depósito cuenta con un circuito hidráulico conformado por tres bombas y elementos necesarios que permiten la distribución del agua hacia el producto para su descongelación.

Con el objeto de minimizar los costos en el consumo energético del proceso de descongelamiento, se propuso la sustitución de la caldera por un sistema fototérmico a base de colectores solares de plástico para calentar 250 m³ de agua necesaria, a una temperatura de 30°C, consiguiendo descongelar el producto mediante contacto directo. Dicho sistema solar, permitirá generar ahorros significativos al sustituir el combustóleo por energía solar.

Dimensionamiento del sistema solar

Energía solar disponible

La ciudad de Tapachula se encuentra ubicada a una latitud de 14.9°N y a una longitud de 92.3°E, a una altitud media de 171 msnm (INEGI, 2011). Cuenta con un nivel de irradiación mínimo de 5.46 kWh/m²/día en el mes de septiembre y una máxima de 7.21 kWh/m²/día en el mes de marzo. La humedad relativa promedio anual es de 66.4 % como se puede observar en la tabla 1 según la NASA.

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar diaria	Radiación solar diaria	Velocidad del viento
	°C	%	KWh/m ² /d	MI/m ² /d	m/s
Enero	25.8	54.30	6	21.6	6.4
Febrero	26.3	55.10	6.62	23.83	5.6
Marzo	26.7	58.30	7.21	25.96	4.6
Abril	27	64.70	7.2	25.92	3.6
Mayo	26.5	73.50	6.27	22.57	3.2
Junio	26.1	77.30	5.66	20.38	3.6
Julio	26.3	73.00	6.17	22.21	3.8
Agosto	26.3	73.40	6.18	22.25	4.3
Septiembre	25.6	78.30	5.46	19.66	3.8
Octubre	25.9	71.60	5.83	20.99	4.6
Noviembre	26.3	60.90	5.78	20.81	5.5
Diciembre	26.1	55.50	5.67	20.41	6.5
Anual	26.2	66.30	6.17	22.21	4.7

Tabla 1 Condiciones Climatológicas en Tapachula.

Necesidades energéticas

La necesidad o demanda energética (Junkers, 2008) requerida para calentar el agua es de ec. 1:

$$E = mCp\Delta T = 2900 kWh \quad (1)$$

Donde:

$$m = masa\ de\ agua = 250,000\ kg$$

$$C.p = calor\ específico = 0.00116\ kCal/kg^{\circ}$$

$$\Delta T = salto\ térmico = 10\ ^{\circ}C$$

Diagrama del proceso

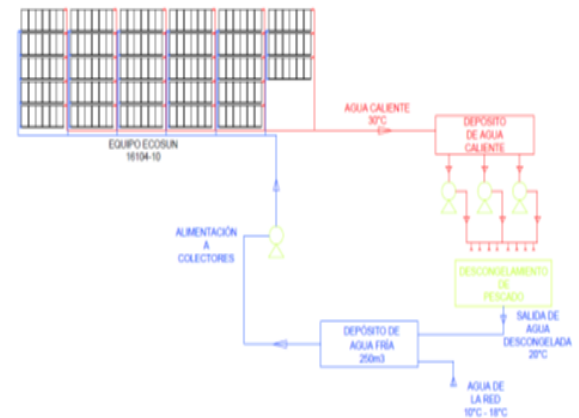


Figura 1 Sistema propuesto

El salto térmico es la diferencia entre la temperatura del agua de la red (Se consideró 20 °C) y la temperatura a la que se calentará el agua (30 °C). La necesidad energética representa la cantidad de energía que se requiere para calentar los 250 m³ de agua.

Parámetros de diseño

Parámetros de diseño	Valores
Temperatura agua deseada	30 °C
Temperatura ambiente	29.2 °C
Humedad relativa	66.3 %
Velocidad del viento	4.7 m/s
Agua a calentar	250 m ³

Tabla 2 Parámetros de diseño.

Rendimiento del colector empleado.

En este caso el colector a emplear será el modelo Ecosun® 16104-10 (Módulo solar, 2012), que tiene un área de captación de 3.8 m². La ecuación de rendimiento correspondiente al modelo, lo proporciona el “Florida Solar Energy Center” (Florida solar energy center, 2008) ec. 2

$$\eta = 0.94 * 0.873 - 0.01978 \left(\frac{T_m - T_a}{k * G} \right) = 80\% \quad (2)$$

Donde:

T_m
= temperatura media del agua deseada
= 30 °C

T_a = temperatura ambiente = 28.9 °C

G = irradiación promedio = 0.6 kW/m²

k = factor de corrección por inclinación
= 1.09

La ecuación de eficiencia será afectada por las pérdidas causadas por orientación e inclinación (Solarweb.net, 2006). Por lo anterior, es necesario afectar la irradiancia mediante el valor k y el valor de 0.94 correspondiente a días nublados u otros factores que afecten las condiciones.

La eficiencia del colector bajo las condiciones de la ciudad de Tapachula es del 80 %.

Características del Panel solar

Modelo Ecosun	16104-10
Tamaño Nominal cm	305x122
Longitud de Cabezal cm	128.3
Diámetro Exterior cm	4.8
Diámetro Interior cm	3.8
Área de Captación m ²	3.8
Peso Vacío kg	7.75
Peso Lleno kg	18.87
Peso Lleno m ²	5.54
Capacidad de Fluidos litros	10.98
Flujo Máximo l/min	37.8
Flujo Mínimo l/min	9.5
Flujo Recomendado l/min	15
Presiones Máxima de trabajo kg/cm ²	6
Presiones Recomendada de trabajo kg/cm ²	2.5

Tabla 3 Características del panel solar

Energía proporcionada por el colector

La energía proporcionada por el colector dependerá de la energía útil y del rendimiento del colector. La energía útil está en función del factor de corrección por inclinación y de la irradiación ec. 3. Considerando el mes de enero, la energía del colector es de:

M	Irradiación corregida (kWh/m ²)	Factor de corrección por inclinación (k)	Energía útil (kWh/m ²)	Irradiancia (kWh/m ²)	Rendimiento del colector	Energía proporcionada por el colector (kWh/m ²)	Superficie colectora (m ²)	No. Colectores
Enero	6.64	1.09	6.8	1.23	0.801	5.45	532.31	140.08
Febrero	6.94	1.06	6.92	1.43	0.816	5.65	513.58	135.15
Marzo	7.12	1.02	6.83	1.48	0.823	5.62	515.98	135.78
Abril	6.69	0.98	6.17	1.46	0.839	5.18	560.29	147.44
Mayo	5.61	0.94	4.96	1.19	0.824	4.09	709.76	186.78
Junio	5	0.93	4.37	1.06	0.739	3.47	836.1	220.03
Julio	5.47	0.94	4.83	1.05	0.805	3.89	745.47	196.18
Agosto	5.66	0.98	5.21	1.11	0.803	4.19	692.76	182.3
Septiembre	5.23	1.03	5.07	1.14	0.797	4.04	717.92	188.93
Octubre	5.93	1.07	5.96	1.41	0.8	4.77	608.25	160.07
Noviembre	6.26	1.11	6.53	1.45	0.804	5.25	552.6	145.42
Diciembre	6.35	1.11	6.62	1.55	0.789	5.23	554.55	145.93

Tabla 4 Resultado del estudio de los colectores

$$E = \left(6.8 \text{ kWh/m}^2\right) (80\%) = 5.45 \text{ kWh/m}^2 \quad (3)$$

Determinación de la superficie de captación

Conocido el rendimiento del colector y la energía proporcionada por el colector, se determina la cantidad de colectores necesarios:

$$m^2 = \frac{\text{Necesidad energética}}{\text{Energía colector}} = \frac{2900 \text{ kWh}}{5.45 \text{ kWh/m}^2} = 532.31 m^2 \quad (4)$$

No. Colectores = Superficie colectora (m²) /superficie útil de cada colector = 532.31m²/3.8m² ≈ 140 colectores

Por lo tanto, se necesitan 140 colectores en el mes de enero para cubrir la necesidad energética tomando en cuenta las condiciones climatológicas de la ciudad de Tapachula. Si empleamos el procedimiento anteriormente descrito para calcular el número de colectores a emplear en los diferentes meses del año, obtenemos los siguientes resultados (Tabla 4):

Costo con mínimo de colectores

Precio unitario de colector	\$ 4,188.25
Costo de 140 colectores	\$ 586,355.00
Equipo de bombeo	\$ 29,990.00
Tubería y accesorios	\$ 21,518.00
Costo estimado de instalación	\$ 205,224.00
Costo del proyecto	\$ 843,087.00
Rendimiento promedio	80%

Tabla 5 Costo mínimo de colectores

Costos considerando un promedio de colectores

Precio unitario de colector	\$ 4,188.25
Costo de 165 colectores	\$ 691,061.25
Equipo de bombeo	\$ 29,990.00
Tubería y accesorios	\$ 21,518.00
Costo estimado de instalación	\$ 241,871.40
Costo de proyectos	\$ 984,440.68
Rendimiento promedio	80%

Tabla 6 Costos considerando un promedio de colectores

Conclusiones

En la tabla 5 y 6 se proponen dos alternativas, la primera es considerando el mínimo de colectores de acuerdo a la energía proporcionada por el colector, condiciones de irradiación y de diseño (Tabla 4), y en la segunda es considerando un promedio de todos los meses del año en cuanto a la energía proporcionada del colector, como se puede ver en las Tablas 5 y 6, al incrementar del número de colectores se incrementa el costo de inversión un 15 %.

Actualmente para el descongelamiento del pescado se utiliza un sistema tradicional con caldera de vapor, utilizando combustóleo como elemento primario, por lo que los costos de operación son muy elevados.

En un sistema de calentamiento solar como el que se propone los costos de operación en cuanto a uso de combustibles fósiles es 0 %, la inversión inicial se puede amortizar a un periodo de no más de 10 años, buscando estrategias de inversión, como pueden ser fideicomisos, banco mundial, secretaría de economía, préstamos bancarios, etc.

El proyecto actualmente se encuentra en proceso de revisión por parte de los ejecutivos de la empresa, sin embargo, es necesario e importante implementar en el sector industrial el uso de sistemas fototérmicos que deben ser considerados no como una inversión, si no como elementos que contribuyen a mitigar el impacto ambiental hacia el medio ambiente al producir menos CO₂.

Referencias

- Florida solar energy center. (2008). *ORACLE*. Recuperado el 20 de Octubre de 2013, de
- INEGI. (2011). *Información por entidad*. Recuperado el 20 de Enero de 2013, de
- Junkers. (11 de Abril de 2008). *Frio y calor. Guia de instalacion de sistewmas solares*. Roberto Bosh España , S.LU. Bosh Termotecnica. Hnos, Garcia Nobilegas,19. 28037.Madrid. Recuperado el 20 de Febrero de 2013
- Junkers. (Enero de 2015). *Guia de instalacion de agua caliente sanitaria*. Roberto Bosch, España, S.A. Venta Termodinamica. Hnos, Garcia Nobilegas, 19.28037. Madrid.

Modulo solar. (2012). *Catálogo de productos.* Poli HEAT. Ecosun. Av. Atlacomulco136 Col. Acapantzingo, Cuernavaca, Mar. 62440. Recuperado el 12 de Enero de 2013,

Nacional, S. M. (s.f.). *SMN:EMAS.* Recuperado el 01 de Noviembre de 2013,

Planck, R. (s.f.). *El empleo del frío en la industria de la alimentación.* Reverte.

Solarweb.net. (2006). Recuperado el 4 de Junio de 2013, de <http://www.solarweb.net/forosolar/solar-termica/5277-climatizar-piscina-descubierta.html>

Vicente, A. M. (2009). *Energía solar térmica y de concentración, manual práctico de diseño, instalación y mantenimiento.* AMV.

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)

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

Keyword

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.

Instrucciones para Autores

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

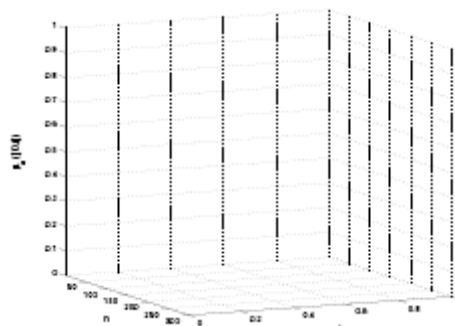


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

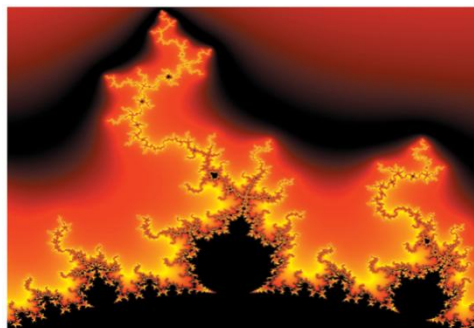


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

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

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

Referencia

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca ____ 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 ____ 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 Tecnología e Innovación

