

ISSN 2410-3934

Revista de Energía Química y Física

Volumen 3, Número 7 — Abril — Junio -2016

ECORFAN[®]



ECORFAN-Bolivia

Indización

Google Scholar

ResearchGate

REBID

Mendeley

RENIECYT

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 Energía Química y Física, Volumen 3, Número 7, de Abril a Junio - 2016, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD, Co-Editor: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. ISSN-2410-3934. 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 Junio 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

PEREZ- PERAZA, Jorge. PhD
Centre National de Recherche Scientifique-France

GONZALEZ-ALVARADO, Juan Manuel. PhD
Universidad Politecnica de Madrid- Spain

AVENDAÑO-ARRAZATE, Carlos Hugo. PhD
Universidad de Lerida- Spain

MENDEZ-MEDINA, Ruben Danilo. PhD
University of Bristol-England

ESCAMILLA-GARCIA, Erandi. PhD
University of Burgundy-France

FERNANDEZ-PALACIN, Fernando. PhD
Universidad de Cadiz-Spain

CARBAJAL-DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciences de Lille 1-France

VALENZUELA, Miguel. PhD
ESIQIE – IPN-Mexico

Consejo Arbitral

MVHG. PhD

Instituto Politecnico Naciona- Mexico

PRJF. PhD

CINVESTAV-IPN-Mexico

MRMA. PhD

Escuela Nacional de Ciencias Biologicas-IPN-Mexico

GOH. PhD

Facultad de Quimica, UNAM-Mexico

AMAJ. PhD

Universidad de Carabobo-Venezuela

LPC. BsC

Universidad JuarezAutonoma de Tabasco- Mexico

SMCJ. PhD

Universidad Autonoma Benito Juarez de Oaxaca-Mexico

MRMA. MsC

Universidad Nacional Experimental Politecnica de la Fuerza Armada Bolivarian-Venezuela

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Energía Química y Física.

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 opinion dela Editor en Jefe.

En el primer número es presentado el artículo *Análisis del corto circuito en instalaciones eléctricas industriales trifásicas mediante la Normativa IEC-NOM* por MOSQUEDA-VALADEZ, Armando, JURADO-PÉREZ, Fernando y LOZANO-LUNA, A. con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, como siguiente artículo está *Balance energético de la biomasa agrícola con procesos y tecnologías de vanguardia* por ORTIZ-LAUREL, Hipólito, RÖSSEL-KIPPING, Dietmar, DURAN-GARCIA, Héctor Martín´ y GONZÁLEZ-MUÑOZ, Liliana con adscripción en el Colegio de Postgraduados. LPI-3 Energía Alterna y Biomateriales y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí respectivamente, como siguiente artículo está *Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible* por GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y CARRILLO-LOERA, Miguel Ángel con adscripción en la Universidad Politécnica de Altamira, como siguiente artículo esta *Efecto del agente de transferencia de cadena, en los procesos de síntesis de emulsión y microemulsión de poli (metacrilato de butilo)* por NÚÑEZ-PÉREZ, F. A. † & MENDIOLA, J. A. con adscripción en la Universidad Politécnica de Lázaro Cárdenas Michoacán, como siguiente artículo está *Evaluación de la operación sub-óptima de estado estacionario de sistemas de potencia con cargas dependientes de voltaje* por GARCÍA-GUZMÁN, José Miguel, ACEVEDO-ARANDA, Rogelio, ORTEGA-HERRERA, Francisco Javier y GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio, como siguiente artículo está *Modelo estructural propuesto para el catalizador ZrO_2-SO_4-BaO* , por LUGO-DEL ANGEL, Fabiola, SILVA-RODRIGO, Rebeca, ESPINOSA-SOSA, Enrique, PULIDO-BARRAGAN, Eder con adscripción en la Universidad Politécnica de Altamira, como siguiente artículo está *Potencial mareomotriz como fuente de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México* por HERNÁNDEZ-ESCOBEDO, Quetzalcoatl, CRUZ-REYNA, Othoniel, CATELLANOS-MESSA, Luis y RUEDA-MARTÍNEZ, Fernando.

Contenido

Artículo	Pág
Análisis del corto circuito en instalaciones eléctricas industriales trifásicas mediante la Normativa IEC-NOM MOSQUEDA-VALADEZ, Armando, JURADO-PÉREZ, Fernando y LOZANO-LUNA A.	1-8
Balance energético de la biomasa agrícola con procesos y tecnologías de vanguardia ORTIZ-LAUREL, Hipólito, RÖSSEL-KIPPING, Dietmar, DURAN-GARCIA, Héctor Martín y GONZÁLEZ-MUÑOZ, Liliana	9-14
Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y CARRILLO-LOERA, Miguel Ángel	15-26
Efecto del agente de transferencia de cadena, en los procesos de síntesis de emulsión y microemulsión de poli (metacrilato de butilo) NÚÑEZ-PÉREZ, F. A. † & MENDIOLA, J. A.	27-37
Evaluación de la operación sub-óptima de estado estacionario de sistemas de potencia con cargas dependientes de voltaje GARCÍA-GUZMÁN, José Miguel, ACEVEDO-ARANDA, Rogelio, ORTEGA-HERRERA, Francisco Javier y GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio	38-45
Modelo estructural propuesto para el catalizador ZrO_2-SO_4-BaO LUGO-DEL ANGEL, Fabiola, SILVA-RODRIGO, Rebeca, ESPINOSA-SOSA, Enrique, PULIDO-BARRAGAN, Eder	46-53
Potencial mareomotriz como fuente de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México HERNÁNDEZ-ESCOBEDO, Quetzalcoatl, CRUZ-REYNA, Othoniel, CATELLANOS-MESSA, Luis y RUEDA-MARTÍNEZ, Fernando	54-64

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Análisis del corto circuito en instalaciones eléctricas industriales trifásicas mediante la Normativa IEC-NOM

MOSQUEDA-VALADEZ, Armando†, JURADO-PÉREZ, Fernando* y LOZANO-LUNA A.

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

Recibido Marzo 25, 2016; Aceptado Junio 02, 2016

Resumen

En la presente investigación se desarrolla un sistema para el análisis de estudios de corto circuito en los interruptores de potencia de una subestación principal dentro de un complejo industrial a la par con todos sus tableros de distribución principales y derivaciones de alimentación secundarios. Por lo cual se hace indispensable el levantamiento en campo de los diversos dispositivos y equipos para poder precisar el análisis de los cálculos de las corrientes de corto circuito en sistemas de baja tensión, Los análisis de los estudios de fallas en la red eléctrica se precisan en diferentes puntos y para diferentes fallas ya sean estas monofásica, bifásica o bien trifásica como se establece en la Normativa IEC - NOM.

Corto circuito (CC), Normativa IEC – NOM

Citación: MOSQUEDA-VALADEZ, Armando, JURADO-PÉREZ, Fernando y LOZANO-LUNA A. Análisis del corto circuito en instalaciones eléctricas industriales trifásicas mediante la Normativa IEC-NOM. Revista de Energía Química y Física. 2016, 3-7: 1-8.

Abstract

In this research a system for analyzing short-circuit studies switches a main power substation in an industrial par with all its main distribution boards and shunts secondary power complex develops. Whereby the field survey of the various devices and equipment to precise analysis calculations of short circuit currents in low voltage systems, it is essential analyzes of studies of failures in the power grid are specified in different points for different faults and whether they are single-phase, two-phase or three-phase as stated in IEC - NOM.

Short circuit CC IEC Standards - NOM

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: fejurado@itesi.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

El diseño del estudio de corto circuito considera como parte importante la instalación eléctrica, mediante la realización de éste, se determinan las corrientes que circulan por cada uno de los elementos que conforman el sistema eléctrico cuando se presenta un evento y/o falla. Las fallas en la red eléctrica se evalúan en diferentes puntos, para diferentes niveles de tensión y para diferentes tipos de falla: trifásica, monofásica, bifásica y bifásica a tierra.

Analizando todos los modelos de operación del sistema, para revisar las capacidades interruptivas de los equipos de desconexión y en caso necesario, especificar los equipos adecuados. De tal modo tomar en cuenta, algunos de los siguientes factores, corrientes nominales, sobrecorrientes provocadas por las descargas y los cortocircuitos.

Las corrientes de corto circuito están caracterizadas por un incremento instantáneo y muy por encima de la corriente nominal a diferencia con la corriente de sobrecarga la cual se caracteriza por un incremento sostenido de un intervalo de tiempo superior a la corriente nominal. En la Figura 1 se puede apreciar un sistema simple de una interrupción.

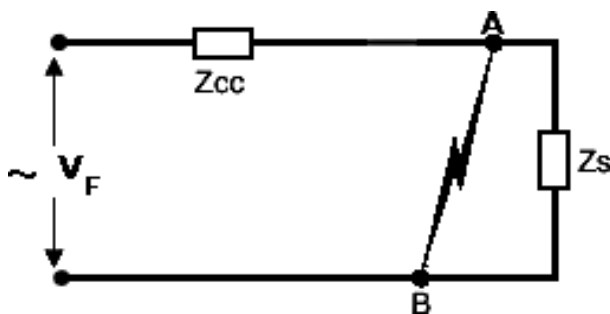


Figura 1 Esquema Simplificado de una Línea Eléctrica

En el presente trabajo se obtendrá el corto circuito por el método de punto a punto, en cada una de las entradas del tablero principal. Para tal efecto la corriente de corto circuito para el lado primario: E_{L-L}

$$\overline{I_{L-L}} = \frac{\overline{KVA} \times 1000}{\overline{E_{L-L}} \times 1.732} \quad (1)$$

$\overline{I_{L-L}}$, Corriente del transformador
 \overline{KVA} Poder del transformador de la fuente
 $\overline{E_{L-L}}$, Voltaje secundario del transformador

La impedancia de carga del sistema supera algunos de los componentes de una subestación por mencionar los transformadores cables etc. Como se describe a continuación:

$$\overline{Z_L} \gg \overline{Z_G} + \overline{Z_C}$$

$$\overline{I_L} \cong \frac{\overline{E}}{\overline{Z_L}} \quad (2)$$

La corriente de carga está limitada en esencia por la impedancia de carga. En un corto circuito franco se puede describir analíticamente (impedancia cero):

$$\overline{I_{CC}} = \frac{\overline{E}}{\overline{Z_G} + \overline{Z_C}} \quad (3)$$

La corriente queda limitada por las impedancias del sistema.

$$\overline{I_{CC}} \gg \overline{I_L} \quad (4)$$

Las corrientes cortocircuito producen esfuerzos muy importantes sobre algunos de los componentes de un sistema en la instalación.

Generalidades de los cortocircuitos

La energía del sistema es un factor primordial durante la ocurrencia del cortocircuito.

El tiempo es la otra variable a considerar, al igual en una descarga atmosférica, los cortocircuitos introducen un aumento desproporcional de corriente al sistema, pero difiere en cuanto a la duración, ésta va a depender de muchos factores como: la magnitud de la corriente, acción de los elementos de protección, características de la fuente, o verse reflejado el efecto del cortocircuito. La Figura 2 muestra los impactos de un cortocircuito efectuado en un sistema digital y mostrando además los tipos de cortocircuitos.

- Cortocircuito trifásico equilibrado.
- Cortocircuito entre dos fases aislado (sin conexión a tierra).
- Cortocircuito entre dos fases a tierra
- Cortocircuito monofásico fase-tierra y fase-neutro.
-

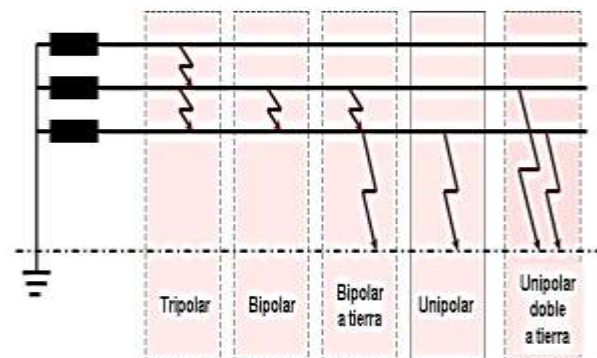


Figura 2 Tipos de cortocircuito

Consecuencias de los cortocircuitos

Puede existir un sin número de efectos ocasionados por cortocircuito, puede llegar a ser sumamente destructivo, una energía incontrolada provoca severo estrés tanto mecánico como térmico en el sistema, también se emiten pulsos electromagnéticos, radiación no ionizante, ruido, en fin una transformación tras otra de energía.

Dependiendo de la localización y severidad del corto, éste pudiera ocasionar:

- Baja tensión
- Sobre tensión (sobretudo en fallas asimétricas, (LT,LL,LLT))
- Inversiones del flujo de potencia (los motores aportar corriente en lugar de consumirla)
- Inestabilidad en generadores

En el sitio donde se produce el corto usualmente se concentra la mayor cantidad de daño, pero también pudiera afectar a los demás elementos de sistema eléctrico, En otras palabras sería una falla “pasante” pues no se ha producido en el equipo pero su magnitud si que pasa a través de este es por eso que los cortocircuitos presentan los siguientes efectos térmicos y estos son dependientes de la energía liberada por el efecto Joule, los cuales se determinan mediante la siguientes ecuaciones:

$$E_T = \int R \cdot i^2 dt \quad (5)$$

Así como el efecto termico tiene un punto de salida de tal modo el esfuerzo electrodinámico, entre conductores paralelos separados una d de distancia y recorridos por una corriente I , viene determinado por la Ley de Biot y Savart:

$$F = \mu\mu_0 \frac{I^2}{2\pi d} L \quad (6)$$

Si se presenta una corriente alterna, su fuerza máxima en conductores será proporcional al cuadrado del cortocircuito:

$$F_{MAX} \propto \frac{I_s^2}{d} L \quad (7)$$

- I_s , corriente de cresta máxima.
 L , longitud entre apoyos del conductor.
 d , distancia entre conductores.

Comportamiento de un circuito en Serie RL

En la siguiente Figura se puede apreciar un circuito en serie RL, y sus ecuaciones que lo describen.

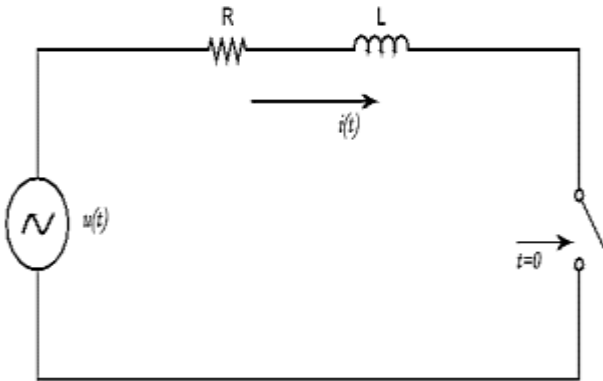


Figura 3 Circuito RL en serie

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi) \tag{8}$$

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} \tag{9}$$

A continuación se desarrolla un caso del circuito previamente mencionado.

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi - \theta) + K \cdot e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}, \theta = \text{Arctg}\left(\frac{L\omega}{R}\right) \tag{10}$$

En el desarrollo de las ecuaciones obtenemos el valor de K mediante las condiciones iniciales. De la corriente.

$$i(0) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(\varphi - \theta) + K = 0 \tag{11}$$

$$K = -\sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(\varphi - \theta) \tag{12}$$

De tal modo se obtiene la expresión de la corriente versus tiempo resultando así:

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \left[\text{sen}(\omega t + \varphi - \theta) - \text{sen}(\varphi - \theta) \cdot e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} \right] \tag{13}$$

Y determinando la componente alterna es:

$$i_a(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi - \theta), \tag{14}$$

Y la componente de continua es:

$$i_c(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(\varphi - \theta) \cdot e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t}, \tag{15}$$

La determinación del ángulo φ es para conocer el valor inicial de la tensión cuando se cierra el circuito.

$$u(0) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \text{sen}\varphi \tag{16}$$

Y el ángulo θ estará determinado mediante la reactancia ($L\omega$) y su resistencia R , así como su desfase de la tensión y su componente de corriente alterna.

$$i_c(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(\varphi - \theta) \tag{17}$$

En la siguiente Figura 4 se muestra la representación de un ciclo de la onda de corriente.

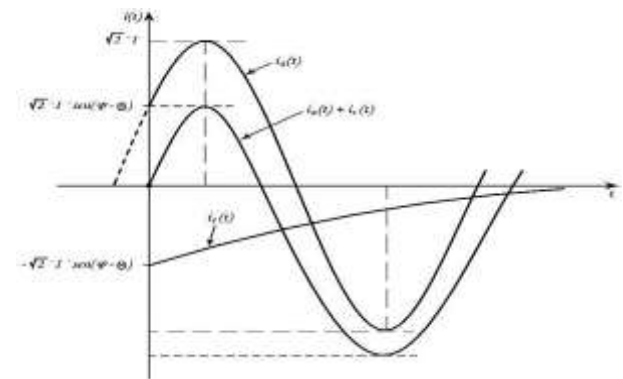


Figura 4 Corrientes i_a y i_c

Caso de estudio de una instalación eléctrica industrial.

A continuación se presenta el siguiente caso de estudio con componentes y valores prácticos de campo de una instalación eléctrica industrial, y que utiliza el método de punto a punto. Se realiza el desarrollo del estudio de cortocircuito, en cada una de las entradas de los tableros para lo cual se describen las siguientes características del sistema, este cuenta con una carga de 861 kw alimentada por varios transformadores los cuales dan un total de 2612.5 kva con voltajes de entrada y salida de 13.2 kv-440/254V y dicho estudio se realiza para un solo transformador de 500 kva.

Corriente de cortocircuito lado primario para un sistema trifásico:

Step I: Determinar la cantidad de corriente que puede circular a través del transformador en el lado primario.

$$\overline{I}_{f-1} = \frac{Kva * 1000}{E_{L-L} * 1.73}$$

$$\overline{I}_{FLA} = \frac{500 * 1000}{440 * 1.73} = 761.2 \text{ Amp.}$$

Se obtiene un valor de corriente de 761.2 A corriente a la cual estará sometido el interruptor térmico para la falla trifásica del transformador de 500 kva, y dicho valor se considera de utilidad en la selección del valor del interruptor principal del centro de carga.

De la siguiente forma se plantea el análisis para cortocircuito para el lado de baja del transformador de 500 kva.

Falla 1

Step II: Encontrar el multiplicador del transformador.

Este dato sirve para encontrar el Multiplicador, que es tomado de la impedancia del transformador.

$$M = \frac{100}{\%Z\text{-Transf.}}$$

$$M = \frac{100}{5.75} = 17.39 \text{ Amp.}$$

Step 3: Determinar la cantidad de corriente que soporta el transformador en el lado de alta tensión.

$$I_{sc} = I_{f,1} \times M$$

$$I_{sc} = 656 * 17.39 = 11.409 \text{ Amp.}$$

$$I_{cc} = 656 * 4 = 2.624 \text{ Amp.}$$

$$I_{3\phi} = 11.409 + 2.624 = 14.033 \text{ Amp.}$$

Step 4: Calculando el factor “f”

$$f = \frac{1.73 * L * I_{3\phi}}{C * E_{L-L}}$$

$$f = \frac{1.73 * 25 * 14.033}{3278 * 440 * 1.73} = 0.14$$

Step 5. Calculando el multiplicador

$$M = \frac{1}{1+f}$$

$$M = \frac{1}{1+0.14} = 0.87$$

Step 6. Calculando el valor de la corriente rms en el punto de la falla.

$$I_{s.c. \text{ RMS}} = 14.033 * 0.87 = 12.305 \text{ Amp.}$$

Así tomando en cuenta la contribución del motor con mayor demanda de corriente en el sistema.

$$I_{s.c. \text{ contrib. de motor}} = 4 * 0.7612 = 3.0448 \text{ Amp}$$

Por lo tanto la corriente para la falla No. 1 sería la siguiente:

$$I_{total \text{ s.c. RMS(Fault X1)}} = 12.305 + 3.0448 = 15.349 \text{ Amp}$$

Observe la falla trifásica del transformador de 500 kv en la Figura 5.

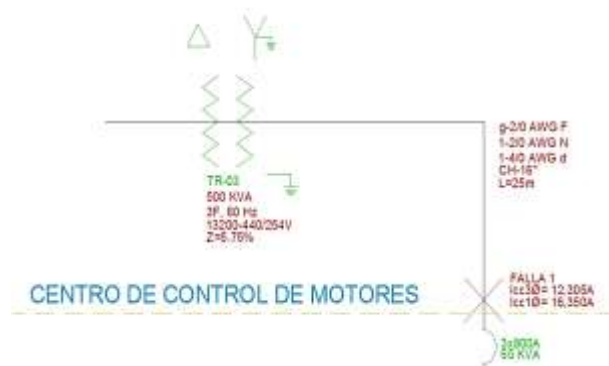


Figura 5 Esquema de falla trifásica del transformador

Falla No. 2

Partiendo en el mismo sentido base se realiza el cálculo de cortocircuito para las condiciones del sistema secundario en el transformador.

Step I: Calculando la corriente en el secundario para sistema trifásico.

$$f = \frac{I_{s.c. \text{ primario}} \cdot V_{\text{primario}} \cdot 1.732 (\%Z)}{100,000 \cdot kva_{\text{transf.}}}$$

$$f = \frac{1.732 \cdot 13200 \cdot 12.305}{100,000 \cdot 500} = 0.0056$$

Step II: encontrando el multiplicador

$$M = \frac{1}{1+f}$$

$$M = \frac{1}{1+0.0056} = 0.9944 \text{ Amp.}$$

Step III: Realizando el cálculo del cortocircuito para el sistema secundario.

$$I_{s.c. \text{ secundario}} = I_{s.c. \text{ primario}} \cdot M$$

$$I_{s.c. \text{ RMS}} = 15.304 \cdot 0.9949 = 15.2259 \text{ Amp.}$$

Y considerando la contribucion del motor con mayor demanda de corriente en el sistema, en la Figura 6 se presenta un esquemático de la falla en el secundario.

$$I_{s.c. \text{ con. del motor}} = 4 \cdot 761.2 = 3.0448 \text{ Amp}$$

$$I_{total \text{ s.c. RMS(Fault X2)}} = 15.2259 + 3.0448 = 18.2707 \text{ Amp}$$

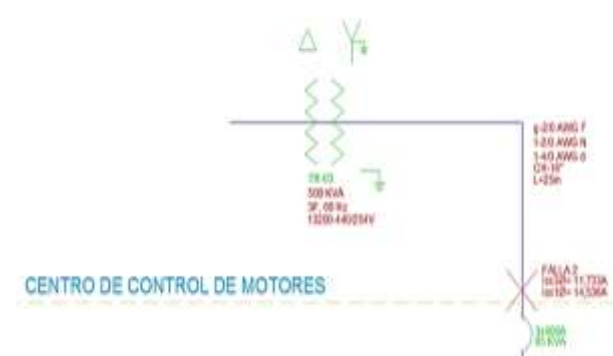


Figura 6 Falla en el secundario

El mismo proceso se realiza pero ahora para una sola fase del sistema secundario del transformador.

Falla Monofásica 1 ϕ Transformador de 500 kva

Falla 1

Step I

$$\overline{I}_{f-1} = \frac{Kva \cdot 1000}{E_{L-L}}$$

$$\overline{I}_{f-1} = \frac{500 \cdot 1000}{440} = 1,136 \text{ Amp.}$$

Step II

$$\text{Multiplicador} = \frac{100}{5.75} = 17.39 \text{ Amp.}$$

Step III

$$\text{Is. c.} = 1136 * 17.39 = 19.761 \text{ Amp.}$$

$$\text{Is. c. contrib. del motor} = 1,136 * 4 = 4,544 \text{ Amp.}$$

$$I = 19.761 + 4.544 = 24.305 \text{ Amp.}$$

$$f = \frac{2*25*24.305}{3278*254*3} = 0.48$$

$$M = \frac{1}{1+0.48} = 0.67$$

$$I_{\text{total s.c. RMS(Fault X1)}} = 24.305 * 0.67 = 16.305 \text{ Amp.}$$

Falla Monofasica 1 ϕ Transformador de 500 kva

Falla 2

$$\overline{I_{f-1}} = \frac{Kva * 1000}{E_{L-L}}$$

$$\overline{I_{FLA}} = \frac{500 * 1000}{440} = 1.136 \text{ Amp.}$$

$$M = \frac{100}{5.75} = 17.39 \text{ Amp.}$$

$$\text{Is. c.} = 1136 * 17.39 = 19.761 \text{ Amp.}$$

$$\text{Icc} = 1136 * 4 = 4.544 \text{ Amp.}$$

$$\text{Is. c. con. del motor} = 19.761 + 4.544 = 24.305 \text{ Amp.}$$

$$f = \frac{2*35*24.305}{3278*254*3} = 0.67$$

$$M = \frac{1}{1+0.67} = 0.59$$

$$I_{cc} \text{ 1}\phi\text{Falla 2} = 24.305 * 0.59 = 14.536 \text{ Amp.}$$

Falla Monofasica 1 ϕ Transformador de 500 kva

$$I_{cc} \text{ 1}\phi\text{Falla 2} = 24.305 * 0.59 = 14.536 \text{ Amp.}$$

Falla 3

$$f = \frac{2*125*14.536}{1160*254*1} = 12.33$$

M=

$$\frac{1}{1+12.33} = 0.07$$

$$I_{cc} \text{ 1}\phi\text{Falla 3} = 14.536 * 0.07 = 1.090 \text{ Amp.}$$

Conclusiones

El análisis del cortocircuito en específico en instalaciones industriales que impliquen subestaciones y por ende transformadores, involucra una gran cantidad de conceptos de diversos campos de la ciencia eléctrica, es por eso que para la investigación de este trabajo se debe comenzar con la parte básica.

Se deben de detallar las partes principales de estas ecuaciones enfocadas al cortocircuito, así como entender su funcionamiento abarcando por supuesto su principio de operación, de la misma manera se debe de conocer sus diversas clasificaciones y usos, y por último sus características eléctricas y de manufactura dentro una instalación eléctrica.

Al momento de realizar el cálculo de acuerdo al procedimiento de cada una de las normas (ANSI/IEEE) y con los datos proporcionados del transformador se llegó a la conclusión de que los criterios son muy similares en cuanto a la capacidad de soportar las corrientes de cortocircuito.

Es decir al llegar a obtener el resultado de la magnitud de la corriente de cortocircuito, los valores obtenidos por cada uno de los procedimientos de las normas no variaron en gran porcentaje una de la otra, por lo que se puede decir que son relativamente iguales.

Referencias

ANSI/IEEE, “Applications guide for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis”. October 16 1979.

NRF-022-CFE-2002 “Interruptores de potencia” March 11 2002

Wayne L. Carey, “Short Circuit Calculations” January 4 2016.

Balance energético de la biomasa agrícola con procesos y tecnologías de vanguardia

ORTIZ-LAUREL, Hipólito*†, RÖSSEL-KIPPING, Dietmar, DURAN-GARCIA, Héctor Martín y GONZÁLEZ-MUÑOZ, Liliana

*Colegio de Postgraduados. LPI-3 Energía Alternativa y Biomateriales
Universidad Autónoma de San Luis Potosí*

Recibido Mayo 16, 2016; Aceptado Junio 14, 2016

Resumen

Esta investigación hace uso del procedimiento para calcular el balance energético y permitir re-distribuir insumos y comprobar de la eficiencia de una posible conversión de energía. Se comparó la energía biológica contra la energía técnica y física para producir plantas de higuera (Ricinus communis L.) y su procesamiento. Los componentes grupales maduros de las plantas se evaluaron por su concentración energética. Aunque se suministra un 27% de energía adicional para la producción de higuera que, la que se obtiene de ella, una planta completa de higuera sin semillas genera el doble de energía que la conseguida del aceite de las semillas. Debe utilizarse toda la planta para propósitos energéticos. El uso directo como biomaterial del aceite de las semillas tiene un balance positivo del 15%, por lo que no debe convertirse en biocombustibles y así evitar derroches energéticos.

Aceite de semillas, Energía, Balance energético

Abstract

This research examines a procedure for calculating the balance of energy which allows relocating inputs effectively and verifying satisfactoriness of energy conversion. It was compared the biological energy against technical and physical energy, the latter both supplied to produce castor oil plants (Ricinus communis L.) and their processing after harvesting. Plants' mature sections were tested for their energy concentration. To produce a castor oil plant it was required 27% additional energy than serviceable energy coming from the whole plant. The same plant without seeds generates double amount of energy than usable oil from the seeds. The whole castor oil plant should be used to energy application purposes. Oil coming from the seeds should be utilized as biomaterial discouraging its promotion to be converted into biofuels, thus avoiding energy wastes.

Oil plant, Energy, Balance of energy

Citación: ORTIZ-LAUREL, Hipólito, RÖSSEL-KIPPING, Dietmar, DURAN-GARCIA, Héctor Martín y GONZÁLEZ-MUÑOZ, Liliana. Balance energético de la biomasa agrícola con procesos y tecnologías de vanguardia. Revista de Energía Química y Física 2016, 3-7: 9-14.

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: hlaurel@colpos.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

La agricultura ha proporcionado alimentos, fibras y materias primas para la sobrevivencia de los seres humanos. Sin embargo, la población mundial se incrementa a escala exponencial, estimándose que para el año 2050 habrá más de 9000 millones de habitantes, los cuales requerirán de alimentos suficientes. Por lo que, se requerirá producir el doble de alimentos de los valores actuales, consecuentemente, se requerirá del doble de energía y de agua.

Así que, para enfrentar este escenario es prioritario recurrir con mayor ímpetu, al uso de fuentes de energía alternas, así como al desarrollo y empleo de métodos más eficientes para racionalizar el uso de la energía y el agua, con el propósito de contribuir a la par con los efectos tecnológicos que se demandarán, respecto a la aplicación de las energías renovables, así como de las sustancias de energía química y el grado de intervención de la energía humana en todos esos procesos.

Se puede afirmar con confianza que, las pequeñas y medianas empresas agroindustriales son los sectores donde la aplicación de las energías renovables tiene el mayor potencial para su pleno desarrollo.

Aparentemente, la percepción de las posibles inconveniencias que generan el desarrollo de plantas de energía pequeñas se convierte en grandes ventajas en una estructura de demanda donde, la energía puede producirse localmente y descentralizada del marco convencional. Una energía con esta característica le permite ser aprovechada por las comunidades rurales dispersas, aisladas y con grandes necesidades de energía.

Para producir esta energía descentralizada, se parte de los insumos bioenergéticos disponibles como los residuos de las cosechas, mientras que la biomasa forestal y celulósica pueden ser empleados en la producción de biocombustibles, los que la población rural puede utilizar directamente; principalmente para calentar sus hogares y para el cocimiento de alimentos, además esos biocombustibles fácilmente disponibles, contribuyen a paliar la carencia de energía en el ambiente rural.

Actualmente, una primera estrategia es investigar la viabilidad y rentabilidad de esas fuentes alternas de energía, así como de la bioenergía renovable e igualmente, considerar a conciencia, las técnicas de vanguardia para el ahorro de agua y energía y su impacto en el futuro próximo. Incluyendo en esto último, la persistencia del incremento en la demanda pero usada con eficiencia y reduciendo los desperdicios. Hoy en día, casi todo requiere de energía, por lo que, la generación y administración de la energía es una preocupación mundial constante.

Alrededor del mundo, la agricultura utiliza aproximadamente del 70 al 75% del agua potable, por lo que, cualquier desarrollo en tecnología contribuirá a ese ahorro, por ejemplo, los sistemas de riego presurizado. De igual manera, un método que sirve para orientar sistemáticamente sobre los posibles ahorros de energía es mediante el cálculo de energía de cada proceso, el cual incluye el grado de contribución de cada componente, para de ahí, tomar las medidas de ajuste que correspondan. La implementación de este método permitirá regular los volúmenes de insumos que ingresan al proceso, así como monitorear la eficiencia en la conversión de energía cuando existe la demanda de un proceso productivo.

Día a día, el ser humano interactúa con flujos de energía, por lo que, el cálculo de los balances de energía debería predominar, en especial cuando se debe satisfacer la eficiencia y la rentabilidad. Respecto a las energías renovables, la prioridad se orienta a los cultivos energéticos, particularmente la biomasa energética; la planta completa, incluyendo los residuos.

Esta investigación se concentra en la obtención de bioenergía a partir de la biomasa de la planta de higuera (*Ricinus communis* L.).

Se infiere que, es fundamental entender las características y cualidades de los biocombustibles obtenidos; particularmente, en lo que se refiere al uso al que serán destinados. Iniciando con un balance de energía de todos los factores que intervienen para lograr que éstos cumplan con la mayor eficiencia y proponer la pertinencia de su aplicación en los procesos de generación de energía.

Materiales y Métodos

Cualquier proceso o tecnología empleados en la obtención de energías renovables se enfrenta a retos no previstos en su real magnitud. El seguir cualquiera de esos procedimientos implica necesariamente hacer uso de energía técnica y la cantidad requerida de ésta varía en función del proceso implementado, por lo que, la energía generada al final de la ruta ofrece cualidades diferentes a la energía técnica suministrada en un principio. Por lo tanto, es imperativo que al iniciar un proceso de esta índole, se lleve a cabo una comparación entre los valores de la entalpía entre los insumos bioenergéticos, junto con otras fuentes de energía (Tabla 1). Esto facilitará el seleccionar la fuente de energía más conveniente y eficiente para un proceso en particular.

Producto	Energía mínima (kcal/kg)	Energía máxima (kcal/kg)
Gasolina	9529.89	10095.36
Diesel	10145.55	10278.91
Biodiesel	8939.60	9212.02
Aceite de palma	8769.39	
Aceite de soya	8791.38	
Aceite de jatropha	8787.31	
Aceite de ricino (semilla de higuera)	9880.72 (8852.06)	
Alcohol etílico	6500.00	
Biogas	4500.00	

Tabla 1 Valores promedio del poder calorífico de algunos aceites vegetales y combustibles

La Tabla 1 muestra que la entalpía de los aceites vegetales es relativamente pequeña comparada con otras fuentes energéticas técnicas, por lo tanto, es más útil utilizar el aceite vegetal sin procesar, es decir, utilizarlo como biomaterial es más útil energéticamente y exhibe la mayor eficiencia.

Ya que, cuando el aceite vegetal es transformado en biodiesel alrededor de 27% de energía adicional es empleada en el proceso.

La Tabla 2 muestra que el balance de energía del cultivo de colza, el cual incluye además la energía técnica requerida para la generación de la energía química contenida en los agroquímicos, aunque no considera la energía interna contenida en esos componentes químicos.

Estos datos se utilizaron como referencia para el cultivo de higuera dado que el objetivo final de ambos cultivos es, utilizar el aceite generado en la elaboración de biodiesel.

	Energía (MJ/ha * ¹)	Energía (MJ/t.m.s.* ²)
Prácticas culturales	1632.64	1168.67
Carga	450.76	322.66
Fertilización	112.94	80.85
Rastreo	141.18	101.06
Cultivador	262.18	187.68
Siembra	166.39	119.10
Rastreo	141.18	101.06
Tratamientos de protección	254.12	181.90
Cosecha	262.18	187.68
Fabricación del fertilizante	5385.67	3855.17
Fabricación de pesticidas	658.40	471.29
Transportación	626.83	448.69
Total	8303.53	5943.83

Tabla 2 Balance de energía para la producción del cultivo de colza, cuyo aceite es destinado para transformarse en biodiesel

*¹se incluye la producción de semilla, coeficiente de 1.0089 *² aceite de colza, rendimiento de 1397 toneladas de materia seca/ha

Para el caso particular de la planta de higuierilla, la producción del cultivo requiere de tecnología, energía, insumos y la intervención humana. El objetivo primordial es generar energía química inmersa ésta dentro de la masa biológica, aunque los insumos de energía física y química son mayores que la energía requerida para los procesos no-biológicos.

Generalmente, se tienen al menos cuatro rutas típicas del consumo de energía durante la producción del cultivo:

- Energía técnica requerida para mecanizar la producción del cultivo, se estimó un valor de 2 413 072 kcal para operar en un terreno de una hectárea.
- Energía proporcionada por los seres humanos en el proceso, su trabajo se concentró en realizar todas las operaciones mecanizadas y en la toma de decisiones.

c) Energía química cuando se aplican los componentes químicos, en este caso no se aplicaron agroquímicos, solo se menciona la energía del proceso de la fotosíntesis convertida en energía química a través de la masa biológica, por lo tanto, no se incluye en el cálculo.

d) Energía técnica para el transporte de los medios que requerían traslado, estimándose en 86 686 085 kcal.

Esos tipos de energía pueden clasificarse en tres clases generales, desde el punto de vista tecnológico: a) fuentes o tipos de energía, b) para generar energía a usarse en tareas ejecutadas por el hombre y, c) energía contenida en los productos ó artículos generados, ó siendo el resultado de las actividades del hombre.

Resultados y Discusión

Los resultados finales de la medición de la energía técnica fueron obtenidos en un calorímetro (LEXO AC-350) para las secciones de la planta de higuierilla se muestran en la Tabla 3: a) la energía generada a partir del aceite por hectárea es 1 434.42 Mcalorías y b) la energía generada a partir de la planta completa de higuierilla por hectárea es 4 801.17 Mcalorías. Así, la energía generada por la planta completa de higuierilla junto con la energía del aceite de las semillas es 6235.59 Mcalorías. Por lo anterior, solamente el 29,86% de esta energía técnica generada a partir de la planta en la forma de masa biológica es igual a la energía química que puede ser proporcionada por el aceite, donde el 27% de esa energía es utilizada para el procesamiento de conversión a biodiesel. La Gráfica 1 muestra que las semillas de la planta de higuierilla tienen la mayor concentración de energía, mientras que la membrana exterior de las semillas y la cáscara de la vaina contribuyen muy poco.

Parte de la planta	Energía(cal/g)	Energía (%)
Semilla (44% de aceite)	6,331.14	35.2
Tallos	4,267.07	25.9
Raíces	4,900.03	10.0
Cáscara de las vainas y membrana exterior de las semillas (residuo cuando el 99.9% de aceite es extraído)	3,812.80	8.6
Hojas	3,637.72	20.3
Planta completa de higuierilla	4,589.75	100.0
Aceite	9,880.72 (8,852.06)	29.86

Tabla 3 Determinación de la concentración de energía para cada parte de la planta de higuierilla



Gráfico 1 Concentración promedio de energía de las varias secciones de la planta de higuierilla

Se determinó que el uso directo del aceite tiene un mejor balance de energía que su conversión a biodiesel, ya que en su proceso se consume un estimado del 27% (Ortiz Laurel et al., 2012). Igualmente, la planta completa de higuierilla procesada en un reactor de pirólisis tiene un mejor balance de energía, en el que se elimina el 27% de posible pérdida, por lo que, contiene el doble de energía de la proveída por el aceite. También, las semillas tienen la mayor contribución, ya que en el reactor de pirólisis se obtuvo de éstas 25% más energía que del aceite, además de ahorros al no emplearse energía en la preparación de las semillas para la extracción de aceite, así como del proceso mismo.

En promedio, la cantidad de materia seca de una planta de higuierilla de un año de edad es 0.984 kg, mientras que analizando cada una de sus secciones se tiene que: las semillas tienen un peso de materia seca de 0.212 kg; el tallo y las ramas pesan 0.342 kg; las hojas representan una cantidad de materia seca de 0.331 kg; mientras que el peso de la membrana de las semillas y las cáscaras de las vainas es de 0.126 kg. Esos valores fueron determinados de un muestreo al azar de un terreno sembrado con 1052 plantas de higuierilla.

Para complementar el objetivo de este estudio se realizó una colecta de semillas de higuierilla en varias zonas de la región central de México. En cada sitio, el peso de cada muestra de colecta fue similar, obteniéndose las consecuentes variaciones entre las semillas respecto a cantidad, tamaño, peso y color.

El propósito fue evaluar el poder calorífico de cada muestra y en base a los resultados, definir que factores contribuyen a esa posible diferencia y al final seleccionar aquellas plantas con mayor significancia en términos energéticos y realizar una investigación de su potencial genético.

Las semillas fueron evaluadas en un calorímetro (LECO AC-350), siguiendo el procedimiento del fabricante y los resultados del poder calorífico son mostrados en la Tabla 4. Esos valores promedio indican que no existe una diferencia significativa entre los valores para las diferentes semillas; siendo el valor promedio de 6474.12 cal/g con una desviación estándar de 1.98%. Por lo tanto, se puede afirmar que las diferentes semillas contienen la misma cantidad de energía sin importar la localidad de origen.

Conclusiones

El uso directo del aceite natural de las semillas de higuierilla tiene un mejor balance de energía que la obsesión de convertirlo en biodiesel. La transformación del aceite en biodiesel es causante de un 27% de pérdida en el balance. El procesamiento de la planta completa de higuierilla en un reactor de pirólisis tiene el mayor balance energético, además de que se genera el doble de energía que usando únicamente el aceite.

Sitios de colecta	Peso de muestras (g)	Calorías/g
Frac. Soledad, Ags	7.030	6416.9
Tecuán, Jalisco	7.079	6603,0
Calvillo, Ags	6.976	6513,6
Moctezuma, SLP	7.061	6434.7
Venado, SLP	7.058	6384.1
Corte Primero – Mexquitic, SLP	7.079	6420.2
Capulines, SLP	7.066	6546.9
Luis Moya, Zac	7.030	6418.6
El Orito, Zac	7.039	6447.4
Noria San Marcos, Zac	7.006	6501.3
Villa Hgo., Jal	6.998	6319.7
Encarnación de Díaz, Jal	7.039	6628.6
Salinas, SLP	6.992	6532.5
Milpillas, Mexquitic, SLP	7.005	6355.2
Ranchería Guadalupe, Mexquitic, SLP	7.057	6376.9
San José Gracia, Ags	7.043	6884.1
Tepezala, Ags	7.051	6497.4
Las Moras, Mexquitic, SLP	7.037	6379.1
Francia Chica, Cd. del Maíz, SLP	7.023	6346.9
San Antonio, Cd. del Maíz, SLP	6.993	6475.2

Tabla 4 Cantidad de poder calorífico de las semillas de higuierilla colectadas en la región central de México

Las semillas completas con las cáscaras y sus cubiertas son los mayores contribuyentes al alto valor energético, ya que la energía saliente del reactor de pirólisis fue 25% mayor al aceite solo. Además, se tiene un ahorro de energía ya que no se utiliza energía en el proceso de preparación de las semillas y en la extracción del aceite.

Referencias

González Muñoz, L “Cálculo del balance energético del cultivo de higuierilla (*Ricinus communis* L.)”, Tesis de Maestría Tecnológica en Biocombustibles. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, México, 2014,

Ortiz Laurel, H, et al., “Potencial para el uso directo de los aceites vegetales en los motores de combustión”, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2012, (4): 650-658.

Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible

GARCÍA-NAVARRO, Josefina*†, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y CARRILLO-LOERA, Miguel Ángel

Universidad Politécnica de Altamira

Recibido Mayo 02, 2016; Aceptado Junio 24, 2016

Resumen

En México se está impulsando el desarrollo y uso de las energías renovables e invirtiendo en los procesos de producción de energías sostenibles. El sur de Tamaulipas y norte de Veracruz cuentan con grandes sistemas lagunarios, en donde la formación de sedimentos en estas zonas es inevitable; una opción para aprovecharlos es biodegradarlos para producir energía eléctrica y disminuir la contaminación, esto se logra usando una Celda de Combustible Microbiana (CCM). El objetivo de este trabajo es determinar la cantidad de Materia Orgánica (MO) contenida en los sedimentos de tres lagunas costeras. El muestreo se hizo en el 2015 y las muestras se recolectaron con nucleador y draga. La MO se determinó por la técnica de titulación y los resultados se reportan en porcentaje de MO. Se encontraron los mayores promedios de porcentajes de materia orgánica en las lagunas de Pueblo Viejo (21.80%) y las Marismas de Altamira (10.87%), y el menor promedio de porcentajes en San Andrés (7.29%). Los resultados obtenidos de MO se compararon con datos de literatura científica y se determinó la factibilidad del uso de una CCM para el aprovechamiento de la materia orgánica contenida en los sedimentos de estas lagunas, para generar energía sostenible.

Materia orgánica, sedimentos, lagunas costeras

Abstract

In Mexico it is promoting the development and use of renewable energies and investing in the production processes of sustainable energy. Southern Tamaulipas and northern Veracruz have large lagoon systems, where sediment formation in these areas is unavoidable; one option is to take advantage biodegrade to produce electricity and reduce pollution, this is achieved using a Microbial Fuel Cell (MFC). The aim of this study is to determine the amount of organic matter (OM) in sediments of three coastal lagoons. The sampling was done in 2015 and samples were collected with corer and dredge. The OM was determined by titration technique and the results are reported in percentage of organic matter. The highest average percentage of organic matter in the lagoons of Pueblo Viejo (21.80%) and the Marshes of Altamira (10.87%) and the lowest average percentages in San Andrés (7.29%) were found. The results of OM were compared with data from scientific literature and the feasibility of using a CCM for the use of organic matter in sediments of these lakes to generate sustainable energy was determined.

Organic matter, sediments, coastal lagoons

Citación: GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y CARRILLO-LOERA, Miguel Ángel. Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible. *Revista de Energía Química y Física* 2016, 3-7: 15-26.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: josefina.garcia@upalt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

En México se está impulsando el desarrollo y uso de las energías renovables e invirtiendo en los procesos de producción de energías sostenibles, ya que el consumo de energía eléctrica es una necesidad cada día más imperante. A pesar de las diferentes formas de producirla, sigue siendo un reto disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y los impactos ambientales que causan cada una de las distintas formas de producción.

El Golfo de México cuenta con diversos sistemas lagunarios de gran importancia en toda la extensión de su territorio, y el área de estudio de este trabajo son tres lagunas costeras del Golfo de México. Las Marismas de Altamira y San Andrés en el sur del estado de Tamaulipas y la de Pueblo Viejo, en Veracruz.

La formación de sedimentos en estos cuerpos de agua es inevitable y una opción para aprovechar los sedimentos es biodegradarlos para producir energía sostenible.

Con base en lo anterior, la hipótesis de trabajo se establece como: Existe materia orgánica contenida en los sedimentos de tres lagunas costeras del sur de Tamaulipas y Norte de Veracruz, y los valores obtenidos de MO, son factibles para el uso de una CCM y obtener energía sostenible.

Se justifica el uso de los sedimentos marinos para generar energía, ya que una de las características más importantes de éstos, es su capacidad de intercambiar cationes con el medio acuático circundante. La capacidad de intercambio catiónico, mide la capacidad de un sólido, como los sedimentos, para absorber cationes (Stanley, 2006).

Estas propiedades del sedimento favorecen el uso de una Celda de Combustible Microbiana, con el aprovechamiento de la MO, que se define como un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999). Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera, 2000).

El carbono orgánico del suelo es el principal elemento que forma parte de la MO, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro (Martínez *et al* 2008). Por lo tanto la técnica de determinación de MO, se hizo por la técnica de titulación y los resultados se realizaron por la fórmula descrita por Gaudette *et al* 1974.

Son muy diversos los intereses por los cuales se analiza el material orgánico en los sedimentos; mientras los geoquímicos intentan dilucidar el papel que juega la fracción orgánica en el transporte, depositación y retención de elementos traza en sedimentos, los geólogos tratan de explicar algunos procesos sedimentarios considerando el material orgánico. Adicionalmente los biólogos investigan cómo influye la composición química de los sedimentos en los organismos bentónicos (Páez-Osuna, 1983). Por lo que en este trabajo se determinó la cantidad de materia orgánica contenida en los sedimentos superficiales de tres importantes lagunas costeras; dos del sur de Tamaulipas y una del norte de Veracruz, con el propósito de determinar si es factible el aprovechamiento de la MO contenida en este sustrato usando una Celda de Combustible Microbiana.

Ésta es un dispositivo que utiliza microorganismos para convertir la energía química presente en un sustrato en energía eléctrica (Revelo *et al* 2013), por lo que se genera energía sostenible, que podría alimentar eléctricamente a sensores de monitoreo que se ubicarían en los sedimentos de la lagunas y que recolectarían parámetros ambientales de estos ecosistemas.

Las CCM pueden generar energía eléctrica directamente a partir de sedimento marino, lodos activados, aguas residuales domésticas entre otras fuentes de materia orgánica.

Una de las ventajas de esta tecnología es que pueden generar electricidad, a la vez que realizan un tratamiento de aguas residuales.

La capacidad de este tipo de celdas dependerá del tipo de reactor y de la fuente de materia orgánica que se utilice (Logan y Regan, 2006).

El área de estudio comprende las lagunas costeras de las Marismas de Altamira y la de San Andrés en Tamaulipas y la de Pueblo Viejo, en el estado de Veracruz, estos tres embalses tienen una conexión con el mar, sujetas a diferentes niveles y tipos de contaminación, producto de diferentes actividades humanas.

Ubicadas en la llanura costera del Golfo de México, consideradas entre las lagunas más importantes de este gran ecosistema costero con desembocaduras de ríos caudalosos, clima costero semiárido, con gran diversidad de especies de organismos y alta producción pesquera (Contreras, 1993).

Las lagunas costeras se caracterizan por poseer un ambiente de cambio continuo derivado de los efectos hidrológicos ocasionados por el encuentro de dos masas de agua de diferente origen y representan el mejor índice de la calidad de la cuenca.

Dichas características, trae como resultado la presencia de diversos hábitats que permiten el establecimiento de organismos, poblaciones e inclusive comunidades con diferentes requerimientos.

El hecho de que existan áreas de influencia dulceacuícola permanente, propicia la colonización de organismos de origen acuático continental y, por otro lado, la entrada de agua de mar provee de especies de origen marino, estas condiciones favorecen la presencia de materia orgánica en los sedimentos de los embalses costeros.

Además hay presencia casi permanente de extensas áreas en donde las condiciones salobres de 10 a 25 ppm propician un entorno hidrológico ideal para el desarrollo de organismos típicamente estuarinos y/o muy bien adaptados a éste.

De manera general la cantidad de especies de peces por laguna varía en promedio entre 50 y 100, la de moluscos entre 50 y 90 y la de crustáceos entre 40 y 70.

Por otro lado las lagunas costeras están en su mayoría estrechamente ligadas con bosques de manglar, que constituyen hábitats muy ricos para las aves (se reconocen 1,038 especies de aves en México representando a 86 familias), reptiles y mamíferos (Contreras y Castañeda en Caso *et al* 2004 Vol. 1).

Los estuarios y lagunas costeras tienen la capacidad de mantener materia suspendida estableciendo un equilibrio sedimentario. Las propiedades de la consolidación, cohesión y floculación, así como los obstáculos que sufren las partículas para sedimentarse, son debidas principalmente al retraso por asentamiento y rozamiento, junto a un medio muy dinámico donde los vientos, las corrientes, las mareas y el tipo de partículas presentes, formarán zonas muy características.

La distribución de los sedimentos de una laguna está controlada principalmente por las condiciones hidrológicas.

En los canales de la laguna donde la velocidad es alta, los sedimentos arenosos predominan y las ramificaciones por corrientes están comúnmente desarrolladas.

En canales con corrientes de baja velocidad predominan los sedimentos limosos y lodosos (Contreras, 1993).

Por la importancia que representan las lagunas costeras de estudio en este trabajo, los resultados obtenidos de materia orgánica, apoyan a identificar si estos cuerpos de agua son factibles de aprovechar los sedimentos usando CCM y dar continuidad en otro trabajo para obtener energía sostenible a partir del aprovechamiento de la MO.

Metodología

Área de estudio

El área de interés en la cual se determinó la cantidad de materia orgánica de los sedimentos superficiales, comprende las lagunas San Andrés y Marismas de Altamira en Tamaulipas, y la de Pueblo Viejo en Veracruz, las cuales se muestran en la Figura 1.

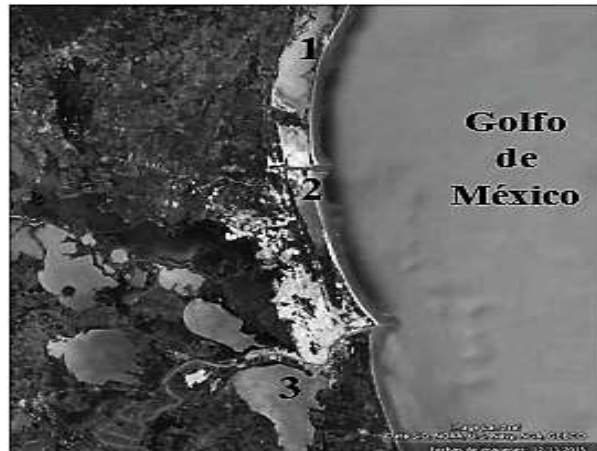


Figura 1 Área de estudio: 1. Laguna de San Andrés y 2. Marismas de Altamira, en Tamaulipas y 3. Pueblo Viejo en Veracruz

Muestreo

El periodo de muestreo se realizó por época del año en el transcurso del 2015, tomando en consideración los aspectos climáticos que marcan de manera importante la dinámica de los cuerpos lagunares. Se hicieron muestreos en tres temporadas, la época de seca (mediados de Marzo a Junio), la época de lluvia (Julio a Octubre) y en nortes (Octubre a principios de Marzo). Las fechas de muestreo, para las lagunas de estudio se muestran en la Tabla 1.

Laguna	Época seca	Época lluvia	Época norte
San Andrés	9 de mayo	26 de agosto	2 de diciembre
Marismas de Altamira	5 de mayo	15 de octubre	3 de diciembre
Pueblo Viejo	7 mayo	16 de octubre	4 diciembre

Tabla 1 Fechas de muestreo de las dos lagunas de estudio en las tres épocas del año en el transcurso del 2015

Determinación y ubicación de las estaciones de muestreo

En la determinación de las estaciones de muestreo en los embalses costeros, se consideraron características fisiográficas de las lagunas, como profundidad, conexiones con el mar, desembocaduras de ríos de agua dulce, descargas residuales y focos probables de contaminación, con el objetivo de encontrar materia orgánica en los sedimentos proveniente de varios orígenes. La ubicación de los sitios de muestreo se observan en las Tablas 2, 3 y 4.

Laguna	Estaciones de muestreo	Localización	Observaciones
San Andrés (SA), Tamaulipas	SA1	N 22°34'24.1" W 97°52'26.7"	En la desembocadura del Río Barberena
	SA2	N 22°39'06.5" W 97°51'4.6"	Sitio cercano al estanque acuícola ACUATAM y a las descargas registradas de CONAGUA
	SA3	N 22°42'46.7" W 97°51'03.3"	Cerca de la desembocadura del Río Tigre
	SA4	N 22°47'21.7" W 97°48'05.3"	En la descarga del estanque acuícola ACUACAM, el punto más al norte de la laguna a muestrear
	SA5	N 22°41'05.3" W 97°51'03.8"	En la barra de Chavarría, ubicado en la conexión con el mar de la laguna

Tabla 2 Localización y observaciones de las estaciones de muestreo de la Laguna de San Andrés, Tamaulipas

Laguna	Estaciones de muestreo	Localización	Observaciones
Marismas de Altamira (MA), Tamaulipas	MA1	N 22°27'30" W 97°52'00"	Parte Norte, aguas con mayor influencia marina, por la conexión con el mar
	MA2	N 22°25'30" W 97°51'30"	Cerca de un canal que viene de la Laguna el Conejo y que desemboca en las Marismas
	MA3	N 22°23'00" W 97°51'00"	Punto con menos influencia marina
	MA4	N 22°22'00" W 97°50'30"	En la parte sur de la laguna, entrando por el corredor urbano
	MA5	N 22°19'46" W 97°50'23.2"	Influencia, de lagunas de Madero, colindando con colonias de Altamira.

Tabla 3 Localización y observaciones de las estaciones de muestreo de la Laguna Marisma de Altamira

Laguna	Estaciones de muestreo	Localización	Observaciones
Pueblo Viejo (PV), Veracruz	PV1	N 22°11'00"	En el canal Malagana, donde desemboca el Río Pánuco.
		W 97°51'30"	
	PV2	N 22°11'04.2"	En la isla Matacuaya, donde se localizan los bancos de ostiones, para consumo de la población.
		W 97°55'10.9"	
	PV3	N 22°08'49.5"	Localizado en la cercanía de la descarga de la "Granja camaronícola Sabrivane".
		W 97°54'00.5"	

	PV4	N 22°06'32.9"	Cerca de la desembocadura del estero Tamacuil y el estero la Puerca.
		W 97°51'43.9"	
	PV5	N 22°09'15"	En la parte intermedia de la laguna al Este.
		W 97°51'30"	

Tabla 4 Localización y observaciones de las estaciones de muestreo de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz

Laguna de San Andrés, Tamaulipas

Estado: Tamaulipas^[1] Localización: En los 22° 47' y 22° 32' de latitud norte y los meridianos 97°54' y 97° 41' de longitud oeste.^[1] Extensión: 9700 ha. Se ubica en el litoral del Golfo de México, entre los municipios de Aldama y Altamira en Tamaulipas (Figura 2), el agua dulce de estos sistemas la proporcionan los ríos Tigre y Barberena. (Contreras, 1993). Es una laguna muy somera, con poca vegetación alrededor de la laguna, no presenta descargas urbanas en la mayoría de su litoral, pero si tiene dos descargas de granjas camaronícolas ubicadas por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA).



Figura 2 Ubicación de las estaciones de muestreo de la laguna de San Andrés, Tamaulipas

La laguna de San Andrés es un cuerpo acuático polihalino en su mayor parte, con un rango de salinidad entre 20 y 45‰, excepto en las zonas aledañas a las desembocaduras de los ríos Tigre y Barberena, en donde la salinidad es baja en época de lluvias. Esta conectada al Golfo de México por la Barra de Chavarría (punto de muestreo SA5).

En cuanto al parámetro de salinidad, los rangos en los que se encuentra la laguna son muy variados, ya que hay puntos con salinidad muy bajas, y unos con concentraciones muy altas, por ejemplo, en las áreas más someras de la laguna, donde hay mucha evaporación del agua. (Contreras, 1993). Es una laguna de alta actividad pesquera, se produce camarón, ostiones (*Crassostrea virginica*), jaiba y algunas especies de pescado, tiene varias cooperativas de pesca a su alrededor, dada la importancia de esta actividad.

Laguna las Marismas de Altamira, Tamaulipas

Estado: Tamaulipas^[1] Localización: 22°13' y 22°05' latitud norte y 97° 57' y 97°50' latitud oeste. Extensión: 9500 ha.

Se localiza en el municipio de Altamira, Tamaulipas, cuenta con la entrada de agua dulce, por medio de pequeñas lagunas que desembocan en ella, es de profundidad somera, con gran productividad pesquera, se encuentra jaibas, algunas especies de pescados (Figura 3).

Se encuentra en la zona industrial del puerto de Altamira, por tal razón en algunos puntos de la laguna hay descargas industriales, y se encuentra afectada por la zona conurbada de Madero, Tampico y Altamira.



Figura 3 Ubicación de las estaciones de muestreo de la laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas

Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz

Estado: Veracruz^[SEP] Localización: 22o 13'y 22o 05' latitud norte y 97o 57'. 97o 50' latitud oeste
Extensión: 9300 ha.

Se localiza en el municipio de Villa Cuauhtémoc, el norte del estado de Veracruz. Limita con el río Pánuco al norte, con el cual se comunica mediante un canal situado en su parte noreste; al este limita con Ciudad Cuauhtémoc y Tampico Alto (Figura 4).

En su interior existen varias islas pequeñas, y sobresale la Isleta Grande. Desembocan los ríos La Tapada, Pedernales, La Cuásima, La Puerca y Tamacuil, éste último es el más importante por su mayor tamaño; los restantes conducen gastos significantes únicamente en la época de lluvias.

La corriente del río Pánuco, es la más importante ya que condiciona en gran parte las características hidrológicas y fisicoquímicas del ecosistema. Este sistema estuarino-lagunar es somero, su profundidad mayor es de 1.5 metros y esta se presenta en la zona central.

En los extremos generalmente al norte, la profundidad disminuye y llega a un promedio de un metro. En su eje norte- sur hacia el este y en sentido este-oeste existen dos canales de navegación con profundidad media de 1.5 metros (Contreras, 1993).

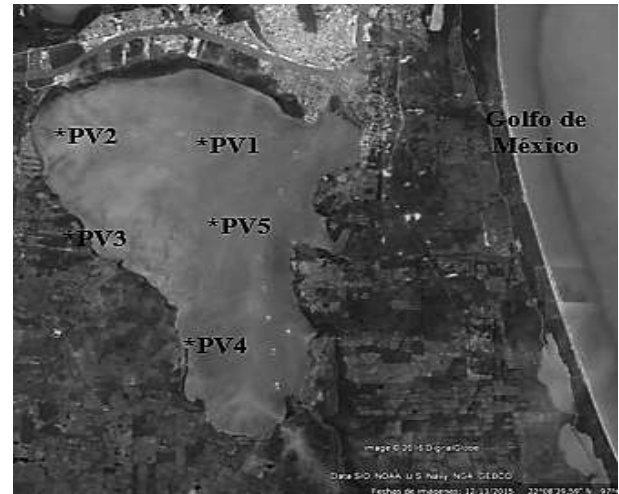


Figura 4 Ubicación de las estaciones de muestreo de la laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas

Técnicas de muestreo

Una técnica de muestreo de fondos someros, es el nucleador, es un tubo de PVC de aproximadamente 20 cm de diámetro, que permite realizar muestreos en zonas de baja profundidad (Figura 5). Este equipo es de fácil manejo, se introduce en el suelo de la laguna y se obtiene la muestra de sedimento superficial.

Las muestras del fondo de mayor profundidad se obtienen con unos equipos denominados dragas, esta técnica permite conocer los tipos de sedimento que conforman el fondo marino o de cuerpos costeros (Holme y Mc Intyre, 1971).

Estas dos técnicas de muestreo son publicadas por el Programa de Biología Internacional, (Internacional Biological Programme, IBP), dicho programa maneja todos los Métodos de estudio del bentos marino. Son las técnicas más utilizadas y referenciadas a nivel internacional, como es el caso de Francia, donde se utilizan en conjunto con el comité francés y la IBP (Lamotte y Bourliere, 1971).

Las dragas permiten una obtención superficial del sedimento, pero sin una preservación de los primeros centímetros de su estratigrafía ya que aparecen removilizados. Además, desde el punto de vista tecnológico su utilización y manejo a bordo es fácil por lo que puede ser empleado incluso en condiciones de mala mar (Grupo de Geología Marina del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona, 2005).



Figura 5 Técnicas de muestreo de sedimentos superficiales: Nucleador y Draga

Colecta y Preservación de la muestra.

El material y equipo de muestreo son frascos o bolsas de polietileno o polipropileno, draga, nucleador, hielera, hielo y cubetas.

Se tomaron de 300 a 500 g de sedimento con una draga de gravedad o nucleador, según la profundidad de la laguna, la muestra recolectada se vació en un tamiz y se puso en un frasco de plástico o bolsas Ziploc^{MR}. Las muestras se colocaron en una hielera y posteriormente se refrigeraron a $4 \pm 2^\circ \text{C}$, con una duración de seis meses.

Análisis para la determinación de materia orgánica por titulación

1. La muestra se seco en la estufa ($90-100^\circ \text{C}$) y se tamizó (Tamiz no metálico 0.2 mm).
 2. Se depositó de 0.2 a 0.5 g de sedimento en un matraz erlenmeyer de 250 ml, se le agregó 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N (con bureta volumétrica) y se agitó suavemente.
 3. Se agregó 20 ml de H_2SO_4 concentrado (con bureta volumétrica) y se agitó la mezcla por un minuto.
 4. En una campana de extracción, se calentó la muestra en parrilla de calentamiento a 90°C durante 10 minutos, colocando una cama de sal como base.
 5. Se diluyó la solución a 200 ml con agua destilada y se le agregó 10 ml de H_3PO_4 al 85%, 0.2 g de NaF (fluoruro de sodio) y 15 gotas de difenilamina.
 6. Se tituló la solución con sulfato ferroso de amonio 0.5 N hasta que presento una coloración verde brillante.
 7. Se corrió un blanco exactamente igual pero sin sedimento.
 - 8.-Los resultados se obtuvieron por la siguiente fórmula, descritas por Gaudette *et al* 1974.
- $$\% \text{ Carbono Orgánico} = 10 (1 - (T/S)) (1.0 \text{ N}) (0.003) (100/W)$$

Donde:

T = ml de la solución de sulfato ferroso de amonio gastados en la titulación de la muestra.

S = ml de la solución de sulfato ferroso de amonio gastados en la titulación del blanco estándar.

$0.003 = 12/4,000 =$ peso meq del carbono

1.0 N = normalidad de $K_2Cr_2O_7$

10 = volumen de $K_2Cr_2O_7$ en ml

W = peso de la muestra en gramos

Resultados

Laguna de San Andrés, Tamaulipas

Los resultados de materia orgánica en sedimento de la laguna de San Andrés, Tamaulipas, de las tres épocas del año, se presentan en la Tabla 5. El mayor porcentaje de MO, se presentó en época de seca, se observa que los puntos de mayor contenido de materia orgánica se dan en SA3, que es el sitio de muestreo localizado en la desembocadura del río Tigre, quizá ésta sea la fuente de materia orgánica de este punto.

Estación	Seca (% de MO)	Lluvias (% de MO)	Norte (% de MO)
SA1	10.45	8.66	6.69
SA2	9.29	9.03	7.06
SA3	11.2	9.82	8.26
SA4	10.75	8.59	7.34
SA5	9.23	7.29	7.14
Promedio	10.18	8.67	7.29

Tabla 5 Porcentaje de materia orgánica en sedimento de la laguna de San Andrés, Tamaulipas, de las tres épocas del año

Laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas

Los resultados de materia orgánica en sedimento de la laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas, de las tres épocas del año, se presentan en la Tabla 6. Se observa que el mayor porcentaje de materia orgánica se encuentra en la época de seca, no presentándose mucha variación entre los porcentajes entre estaciones de muestreo, de esta temporada.

Estación	Seca (% de MO)	Lluvias (% de MO)	Norte (% de MO)
MA1	10.73	9.51	9.29
MA2	11.81	10.47	7.49
MA3	12.94	10.11	10.09
MA4	9.75	9.71	8.32
MA5	9.14	8.31	6.54
Promedio	10.87	9.62	8.34

Tabla 6 Porcentaje de materia orgánica en sedimentos de la laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas, de las tres épocas del año

Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz

Los resultados de materia orgánica en sedimento de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz de las tres épocas del año, se presentan en la Tabla 7. Los valores más altos se presentan en época de lluvia, destacando como el mayor los porcentajes de la estación PV3, pudiendo ser la fuente de MO la cercanía de la descarga de la Granja camaronícola Sabrivane.

Estación	Seca (% de MO)	Lluvias (% de MO)	Norte (% de MO)
PV1	11.75	22.37	8.69
PV2	11.81	23.19	9.94
PV3	10.68	27.5	10.14
PV4	9.42	19.85	7.26
PV5	9.82	16.11	10.06
Promedio	10.69	21.80	9.15

Tabla 7 Porcentaje de materia orgánica en sedimentos de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz de las tres épocas del año

Conclusiones

Si se encontró materia orgánica en las tres lagunas de estudio en un rango de 7.29% y 21.80%, con lo que se confirma la presencia de materia orgánica en los sedimentos de éstos cuerpos de agua.

Se encontraron mayores porcentajes de MO en dos lagunas en las época de seca, un promedio de 10.87% para las Marismas de Altamira y 10.18% para San Andrés, y el caso de la laguna de Pueblo Viejo, el valor máximo de materia orgánica fue en época de lluvia, con un promedio máximo de 21.80%. Los menores porcentajes son en la época de norte, y el promedio mínimo de 7.29% lo presento la laguna de San Andrés.

Tomando como referencia la información de determinaciones de porcentaje de materia orgánica contenidas en muestras de sedimentos superficiales, reportados por Li, 2013 (Tablas 8), se concluye que: considerando los promedios de los porcentajes obtenidos en las tres épocas del año; dos de las lagunas de estudio, si contienen niveles de materia orgánica superiores a los obtenidos por Li, 2013 (Marismas y Pueblo Viejo).

Si se combina la información de las tablas 8 y 9 y comparándolo con las mediciones de MO obtenidas en este trabajo, se concluye que con los porcentajes de materia orgánica de la laguna de Pueblo Viejo y la de las Marismas de Altamira (promedios de), si se podría generar energía a pequeña escala, con los valores obtenidos de MO de dos de las lagunas de estudio. Y en términos generales en una CCM la producción de energía es muy baja, en algunos trabajos se describen aplicaciones asociadas a sistemas electrónicos de bajo consumo (Du et al., 2007).

Tipo de muestra del sedimento	Mediciones de porcentaje de materia orgánica		
	Primera %	Segunda %	Tercera %
Sedimentos superficiales	8	8.5	8.2

Tabla 8 Porcentaje de materia orgánica versus tipo de muestra. Fuente. Li, 2013

Tipo de muestra del sedimento	Mediciones de electricidad en mV		
	Primera (mV)	Segunda (mV)	Tercera (mV)
Sedimentos superficiales	108	110	99

Tabla 9 Electricidad producida versus tipo de muestra. Fuente. Li, 2013

Con lo anterior se determina la factibilidad del uso de una CCM para el aprovechamiento de la MO contenida en los sedimentos de las lagunas: las Marismas de Altamira en Tamaulipas y la de Pueblo Viejo en Veracruz. Se propone el uso de una Celda de Combustible Microbiana, ya que estas pueden generar energía eléctrica directamente a partir de sedimento marino, lodos activados, aguas residuales domésticas entre otras fuentes de materia orgánica.

Una de las ventajas de usar este tipo de celdas, es que pueden generar electricidad, a la vez que realizan un tratamiento de aguas residuales (Logan y Regan, 2006).

Además que las celdas de combustible microbianas son una alternativa a métodos convencionales de generación de electricidad, para aplicaciones a pequeña escala (Sacco, 2008), y presentan un potencial para suministrar energía a sensores ambientales en lugares remotos (Li, 2013).

En virtud de lo anterior, este trabajo tuvo por objetivo determinar la materia orgánica contenida en los sedimentos superficiales de tres lagunas costeras y dará continuación al proyecto de “Generación de energía sostenible a partir de una CCM aprovechando la materia orgánica contenida en sedimentos de las lagunas Marismas de Altamira en Tamaulipas y la de Pueblo Viejo en Veracruz”.

Referencias

- Aguilera, S.M., 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, 77-85 pp.
- Contreras, E. F. 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México 67 pp.
- Contreras, E. F. y Castañeda, L.O. 2004. Lagunas Costeras y Estuarios del Golfo de México: Hacia el establecimiento de índices ecológicos. En Caso M, Pisanty I, y Ecurra E. (Compiladores) Diagnóstico Ambiental del Golfo de México Vol. 1. México. 373-416 pp.
- Du, Z., Li, H. and Gu, T. A State of the Art Review on Microbial Fuel Cells: A Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy". *Biotechnology Advances*, Vol. 25, No. 5, 2007, 464- 482 pp.
- Gaudette, H. E., Flight W. R., Toner L. y Folger D. W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sediments Petrol.*, Estados Unidos de América. 44 (1): 249-253 pp.
- Grupo de Geología Marina del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona – CSIC, 2005. Técnicas de Análisis Granulométrico, Técnicas de Muestreo. http://www.icm.csic.es/geo/gma/tema2/2_4.htm
- Holme, N.A. y Mc Intyre. A.D. 1971. Methods for the Study of Marine Benthos. IBP Handbook. No. 16. International Biological Programme. Marylebone Road, London. 98-99 pp.
- Lamotte, M. y Bourliere, F. 1971. Problèmes d'Écologie: L'Echantillonnage des Peuplements Animaux des Milieux Aquatiques. Masson Et Cie, Éditeurs. Paris. 18-26 pp.
- Li J., 2013. An Experimental Study of Microbial Fuel Cells for Electricity Generating: Performance Characterization and Capacity Improvement. *Journal of Sustainable Bionergy Systems*. 3: 171-178.
- Logan B.E. y Regan J. M., 2006. Microbial fuel cells: Challenges and applications. *Environmental Science & Technology*. 40: 5172-5180.
- Martínez, E., Fuentes, E. J.P., Acevedo H. E., 2008. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. Vol.8. No.1 Temuco. On-line ISSN 0718-2791.
- Páez- Osuna, F, L. Fong-Lee, M, Fernández-Pérez, H, 1983. Comparación de tres técnicas para analizar Materia Orgánica en sedimentos, nota científica. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Revelo, D.M., Hurtado, N.H. y Ruiz, J.O., 2013. Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica. *Información Tecnológica*. Vol.24 (6). 17-28pp.

Rosell, R.A., 1999. Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile.

Sacco, N, Bonett, M.C. y Corton, E., 2008. Generación de Electricidad en una Celda de Combustible Microbiana Mediada Utilizando Micro-ánodos Descartables. Revista Iberoamericana de Sensores. Vol. 6. No. 2. Buenos Aires, Argentina.

Stanley E. M., 2006. Introducción a la Química Ambiental. Reverte. ISBN 8429179070.

Efecto del agente de transferencia de cadena, en los procesos de síntesis de emulsión y microemulsión de poli (metacrilato de butilo)

NÚÑEZ-PÉREZ, F. A.* † & MENDIOLA, J. A.

Universidad Politécnica de Lázaro Cárdenas Michoacán

Recibido Abril 11, 2016; Aceptado Junio 28, 2016

Resumen

En este trabajo se realizó la síntesis y caracterización del poli (metacrilato de butilo) mediante dos métodos de polimerización: emulsión y microemulsión. Utilizando dos tipos de agentes de transferencia de cadena: tetrabromuro de carbono (CBr₄) y tert butilmercaptano (tBM) a diferentes concentraciones. La reacción fue terminada con persulfato de potasio a una temperatura de 70 °C. Las caracterizaciones realizadas fueron: determinación de la conversión (gravimetría), medición del tamaño de partícula y su distribución (QLS), calorimetría diferencial de barrido (DSC). Los resultados obtenidos muestran que los tamaños tienden a disminuir con la adición del agente de transferencia cuando se polimeriza por microemulsión y aumenta cuando se polimeriza por emulsión (más evidente con el tBM).

Emulsión, microemulsión y caracterización

Citación: NÚÑEZ-PÉREZ, F. A. & MENDIOLA, J. A. Efecto del agente de transferencia de cadena, en los procesos de síntesis de emulsión y microemulsión de poli (metacrilato de butilo). Revista de Energía Química y Física 2016, 3-7: 27-37.

Abstract

In this paper there was realized the synthesis and characterization of the poly (butyl methacrylate) by means of two methods of polymerization: emulsion and microemulsion. Using two types of agents of transfer of chain: carbon tetrabromide (CBr₄) and tert Butyl mercaptan (tBM) to different concentrations. The reaction went terminated with potassium persulfate to a temperature of 70 °C. The realized characterizations were: determination of the conversion (gravimetry), measurement of the size of particle and his distribution (QLS), differential calorimetry (DSC). The obtained results show that the sizes stretch to diminish with the addition of the agent of transfer when it is polymerized by microemulsion and increases when it is polymerized by emulsion (more evident with the tBM).

Emulsion, microemulsion, characterization

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: phd_paco@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

La polimerización en microemulsión es de gran interés en las investigaciones de síntesis de polímeros. Esto se debe principalmente presenta una gran variedad de microestructuras, desde sistemas tipo monomero/agua, es de esperarse que el mecanismo de reacción, así como las características del producto final dependan de factores tan complejos como son el tipo de emulsificante, monómero, así como la composición de cada uno de ellos. Además, de que también influyen en la estructura de la microemulsión. Por otra parte, cuando se utilizan co-tensioactivos, los cuales son alcoholes de cadena corta, estos pueden actuar como agentes de transferencia de cadena y/o afectar la estabilidad del sistema por desorción del tensioactivo desde las partículas del polímero.

De esta manera, la polimerización en microemulsión es un método que permite producir nanopartículas coloidales que contienen polímero de alto peso molecular a rápidas velocidades de reacción. Con este proceso se pueden sintetizar polímeros con tamaños y propiedades diferentes a las obtenidas por otros métodos.

El metacrilato de butilo (BMA) es uno de los monómeros más comúnmente usados para llevar a cabo estudios de polimerización en emulsión (3.2 mM) a 70 °C (Geurts, J. M. *et al*, 1996), la cual es similar a la del estireno. El surfactante dodecil sulfato de sodio (SDS) y el iniciador persulfato de potasio (KPS) son probablemente los más extensamente estudiados en la polimerización en emulsión. Esto se debe a que el SDS es un surfactante formador de micelas y el KPS es un iniciador térmico que se disocia a altas temperaturas para formar radicales libres de sulfato.

En este trabajo se presenta la síntesis y caracterización del poli (metacrilato de butilo) mediante polimerización en emulsión y microemulsión, con la adición de dos agentes de transferencia de cadena (tetrabromuro de carbono y ter-butil mercaptano) a distintas concentraciones, desde 0.1 hasta 0.4 % masa con respecto al monómero, y el efecto que tiene tanto el tipo de agente de transferencia de cadena como la concentración del mismo sobre las propiedades mecánicas (tensión).

Al polimerizar el metacrilato de butilo, es de esperarse que se mejoren las propiedades mecánicas, debido a las características del mismo. Por otra parte, con el uso de agentes de transferencia de cadena existe la posibilidad de que otras reacciones ocurran además de las ya consideradas. Dentro de estas reacciones se encuentran las reacciones de transferencia de cadena, que consisten en que el radical polimérico reacciona con una especie química para terminar su crecimiento, pero a diferencia de la reacción de terminación donde se pierden radicales, en este caso se produce un radical libre que puede iniciar una nueva cadena polimérica. Las especies químicas con las que puede reaccionar un radical polimérico pueden ser: monómero, iniciador, modificador del peso molecular, polímero y otras sustancias químicas. Por otro lado en la formación de películas de látex, las moléculas deben de estar disponibles para difundirse a través de la interface entre las partículas para dar una buena adhesión entre las mismas.

Surfactante

El surfactante juega un rol importante en el proceso de nucleación de partículas en la polimerización en emulsión. Ya que estabiliza las partículas nuevas y las partículas en crecimiento durante la polimerización.

El número de partículas de polímero formadas durante la polimerización en emulsión es sensible a la cantidad de tensioactivo agregado. La velocidad de polimerización y el peso molecular del polímero son también afectados por la concentración del surfactante a través de la dependencia respecto al número y tamaño de partícula.

Conocidos también como tensoactivos, son agentes de actividad superficial, que se caracteriza por su tendencia a adsorberse en superficies e interfases. El termino interfase es el límite entre dos fases inmiscibles. La fuerza que conduce al surfactante a adsorberse en una interfase es menor que la energía libre de esa interfase. Usualmente se usa el término de tensión interfacial, en vez de energía libre interfacial por unidad de área.

La propiedad principal de los surfactantes en las polimerizaciones es que tienden a formar agregados llamados: micelas. La cual es un mecanismo de las moléculas para reducir la energía libre del sistema. Este es un fenómeno importante ya que el comportamiento de un sistema con micelas es muy diferente a uno que solo tiene moléculas de tensioactivo en solución.

Polimerización en microemulsión

Las microemulsiones son sistemas dispersos pseudoternarios de aspecto transparente, con energía libre de formación negativa, termodinámicamente estables.

Están constituidas por dos líquidos inmiscibles (aceite-agua) y e cantidades apropiadas de surfactante. Provocando una fase dispersa que oscila 10-200 nm de tamaños de partículas.

Recientemente la polimerización en microemulsión ha atraído la atención de muchos científicos como un proceso alternativo para la síntesis de polímeros, lo anterior ha sido observado en trabajos publicados sobre el tema. A continuación se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos por diferentes autores en algunos sistemas reportados en la literatura.

Stoffer y Bone (1980), reportan la polimerización de acrilato de metilo y metacrilato de metilo en microemulsiones preparadas con agua, dodecilsulfato de sodio (SDS), pentanol y monómero. Encontraron un comportamiento similar a la polimerización en solución. Estos resultados se atribuyen a que el monómero y el cotensioactivo se encontraban formando la fase continua, por lo tanto el sistema era bastante similar a una solución. También investigaron el efecto que tiene la adición de persulfato de amonio (iniciador) en la extensión de la región unifásica y encontraron que prácticamente no era alterada cuando se utilizaban concentraciones típicamente usadas en una polimerización.

Al sintetizar en emulsión de estireno, al adicionar tetrabromuro de carbono. Los efectos del agente de transferencia de cadena sobre la conversión, la distribución del tamaño de partícula y el peso molecular. Muestran un considerable efecto del agente de transferencia de cadena en la polimerización por radicales en una dispersión no acuosa. El estudio del comportamiento de entrecruzamiento de latices con alto contenido de sólidos usando metacrilato de n-butilo y N-metilol acrilamida donde el objetivo principal fue el de desarrollar una copolimerización en emulsión que despreciara el entrecruzamiento antes del proceso de curado y presentara altos contenidos de gel en el curado térmico. }

Además de verificar el efecto que presenta en el peso molecular la adición de una gente de transferencia de cadena (tetrabromuro de carbono).

Okubo et al. (2002), obtuvo tres tipos de polimerizaciones sembradas con metacrilato de n-butilo como monómero que fue llevado a cabo junto con una mezcla de partículas de estireno monodispersas de alrededor de 1.76 μm , fueron obtenidas partículas de composite de PS/poli (BMA)-(PBMA) de forma no esférica, por medio de una polimerización sembrada en dispersión.

Ramana Reddy et al. (2000), hicieron un estudio de las copolimerizaciones en emulsión y microemulsión del estireno y metacrilato de n-butilo, usando como tensioactivo: laurilsulfato de sodio, n-pentanol como co-tensioactivo y persulfato de potasio como iniciador de radicales libres, los valores obtenidos de las copolimerizaciones en emulsión y microemulsión fueron considerados con diferencias en sus diferentes fases debido a los sistemas estudiados.

Por ultimo Rabelero, M. (1996), presentó un método para producir nanolátex con alto contenido de sólidos (>40%) vía polimerización en microemulsión, mediante una serie de adiciones semicontinuas de monómero, extendiendo así la reacción de polimerización y obteniendo polímero con las características de este tipo de procesos, haciendo este proceso mas atractivo desde el punto de vista de su aplicación a nivel industrial.

Formación de las películas a partir del látex

La formación de películas a partir de látex de polímero y la determinación de sus propiedades, son las áreas de conocimiento que mas se ha desarrollado en años recientes.

Sobre todo por la aplicación de nuevas técnicas experimentales (Keddie, J. L. 1997; Winnik, M. A. 1997), tales como la dispersión de neutrones a bajos ángulos (SANS), microscopia electrónica de barrido (SEM), microscopia de fuerza atómica (AFM) y transferencia directa de energía no radioactiva (DET), las cuales permiten el monitoreo de la coalescencia de las partículas del látex y la interdifusión de las cadenas del polímero.

Las propiedades físicas y mecánicas de las películas delgadas son importantes. Esas propiedades son afectadas no solo por la naturaleza del polímero(s), sino también por el método de preparación tanto del polímero como de la película y su acondicionamiento. Las películas pueden ser homopolímeros amorfos o heterogéneos dependiendo de la manera en que son preparados a partir de polímeros simples, a partir de mezclas de polímeros o partículas de látex de polímeros tipo núcleo-coraza. Tal heterogeneidad puede proporcionar propiedades únicas, como la dispersión de un látex blando de baja temperatura de transición vítrea (T_g), de partículas con núcleo suave dentro de una matriz de polímero duro, las cuales pueden actuar para prevenir la propagación de la fractura a través del sistema, y actuar como un modificador de impacto (Miles, I. S. 1992).

Metodología

La síntesis se llevó a cabo en un reactor vidriado (marca Hell) de 1 litro de capacidad. Dicho reactor estaba equipado con un sistema de calentamiento/enfriamiento, agitación mecánica y un sistema de suministro de nitrógeno para mantener una atmósfera inerte. Los métodos de síntesis son por polimerización en emulsión y en microemulsión, a una temperatura de 70 °C.

La composición seleccionada para el proceso de polimerización en emulsión y en microemulsión fue determinada tomando como referencia el trabajo de Krishnan, S. (2002).

Las reacciones fueron termo-iniciadas con persulfato de potasio (1% con respecto al monómero). Además se agregó bicarbonato de sodio (NaHCO_3) como agente neutralizante (1% respecto al monómero).

La razón de agregar bicarbonato de sodio, es solo para qué interactúe en el medio acuoso como un agente neutralizante ya que la mezcla de reacción tiende a ser ácida.

La relación másica de BMA se mantuvo constante y se varió la relación del agente de transferencia de cadena con respecto al BMA, desde 0.1 hasta 0.4 % masa para cada sistema.

La tabla 1 lista las composiciones de las mezclas de reacción los ingredientes requeridos para sintetizar las homopolimerizaciones de los látices obtenidos.

Se tomaron muestras para determinar la conversión (aproximadamente 3 mL en una caja de Petri) y el tamaño de partícula (aproximadamente 3 mL en cada vial). También se evaluó el pH y se hicieron evaluaciones por microscopía electrónica de transmisión.

Una vez obtenidos los látices de homopolímero por microemulsión, se procedió a purificarlas.

Como primer paso se precipitaron los látices de homopolímero con un exceso de agente precipitante (metanol), una vez precipitados fueron lavados con agua bidestilada a 40 °C hasta eliminar las impurezas de tensioactivo.

Microemulsión (70 °C, 60 min)		Emulsión (70 °C, 120 min)	
Ingrediente	Cantidad (g)	Ingrediente	Cantidad (g)
Agua bidestilada (89%)	267.0	Agua bidestilada	268.0
BMA (10%)	30.0	BMA	31.35
SDS (1%)	3.0	SDS	0.378
KPS (1% respecto al monómero)	0.3	KPS	0.2268
NaHCO_3 (1% respecto al monómero)	0.3	NaHCO_3	0.2268
CBr_4 o tBM (0.1% respecto al monómero)	0.03	CBr_4 o tBM	0.03
CBr_4 o tBM (0.2% respecto al monómero)	0.06	CBr_4 o tBM	0.06
CBr_4 o tBM (0.3% respecto al monómero)	0.09	CBr_4 o tBM	0.09
CBr_4 o tBM (0.4% respecto al monómero)	0.12	CBr_4 o tBM	0.12

Tabla 1 Formulaciones para obtener los homopolímeros tanto en emulsión como en microemulsión

En el caso de los látices en emulsión, el procedimiento de purificación se modificó debido a que una de las características de la emulsión es el no precipitar, por lo que se le agregó el exceso de agente precipitante y el látex se dejó evaporar en un horno a temperatura constante de 50 °C, hasta la precipitación total. Posteriormente se formó una película, la cual fue triturada y lavada con agua bidestilada.

Una vez purificados los homopolímeros, se tomaron muestras de aproximadamente 1.0 g y se sometieron a una diálisis con agua bidestilada durante 48 horas. De aquí se tomaron muestras para realizar los análisis de calorimetría, espectroscopia de infrarrojo y pesos moleculares tanto para emulsión como para microemulsión.

Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la síntesis y caracterización de los homopolímeros de metacrilato de butilo, tanto en emulsión como en microemulsión. Con las variantes implicadas en este trabajo, como fueron el uso de los agentes de transferencia de cadena (ter-butilmercaptano y tetrabromuro de carbono), así como la adición del agente neutralizante bicarbonato de sodio. Los resultados están organizados de tal manera que primero se describen las caracterizaciones estructurales, las cuales dan información sobre la forma en que está configurado el polímero sintetizado.

Las caracterizaciones estructurales aplicadas fueron: grado de avance de la reacción (conversión); determinación del tamaño de las partículas y su distribución (dispersión quasi-elástica de luz y microscopía electrónica de transmisión); mediciones de pH del medio (potenciometría); la identificación de los polímeros obtenidos en la reacción se efectuó mediante espectroscopía de infrarrojo (FTIR); y calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Una vez que se estableció la estructura del homopolímero, se le aplicó un proceso de conformado (películas tanto delgadas como gruesas) que permitiera medir las propiedades mecánicas de los mismos (dureza, tensión) para todos los casos y comparar los resultados obtenidos entre sí.

Conversión

Todas las reacciones de homopolimerización se prepararon mediante un proceso "batch", y tanto en emulsión como en microemulsión se obtuvieron altas conversiones, como se muestra en la Tabla 2.

Sin embargo, las conversiones alcanzadas mediante polimerización en microemulsión fueron mayores (> 90%) que las de emulsión (> 82%).

En la Tabla 2 se reportan las conversiones alcanzadas para cada sistema como función de la cantidad de agente de transferencia de cadena agregado. Aquí se puede apreciar que para una misma concentración del agente de transferencia, la conversión de la emulsión disminuye, mientras que en microemulsión el efecto no es tan significativo.

También se puede apreciar que el incremento en la cantidad del agente de transferencia no manifiesta efectos importantes, ya que la conversión se mantiene en valores similares, lo mismo se aprecia para el tipo de agente de transferencia de cadena.

El único efecto que se puede destacar en la conversión es el hecho de que las emulsiones reportan menor conversión que las microemulsiones, para un mismo tiempo de reacción; el cual es debido a las características propias de ambos métodos de polimerización, es decir en emulsión las conversiones siempre estarán en el 80% y en microemulsión arriba del 90%

Tamaño de partícula

En la Tabla 2, se reporta el diámetro de partícula promedio obtenido de las reacciones llevadas a cabo, medido mediante dispersión quasi-elástica de luz (QLS). Como se puede apreciar, los diámetros de partícula obtenidos de las reacciones de polimerización en microemulsión son menores (< 37 nm) que los obtenidos de las reacciones de polimerización en emulsión (> 91 nm). Esto es de esperarse por las características propias de cada método de polimerización.

También se puede apreciar que cuando los látex son preparados por microemulsión, conforme se agrega mayor cantidad del agente de transferencia de cadena (ya sea CBr_4 ó tBM), hay una ligera disminución del tamaño de partícula (de 35.5 a 31.3 nm con CBr_4 , y de 35.5 a 30.3 nm con tBM), mientras que cuando estos materiales son preparados por emulsión, al agregar mayor cantidad del agente de transferencia de cadena, el tamaño de partícula tiende a aumentar, aunque esta tendencia no es uniforme para todas las composiciones de los agentes de transferencia.

Tipo y concentración del agente de transferencia de cadena	Emulsión	Microemulsión
	D_{p_z} (nm)	D_{p_z} (nm)
0 % CBr_4	113.9	35.5
0.1 % CBr_4	91.9	36.9
0.2 % CBr_4	128.7	35.7
0.3 % CBr_4	122.7	34.6
0.4 % CBr_4	125.1	31.3
0 % tBM	113.9	35.5
0.1 % tBM	147.8	31.8
0.2 % tBM	112.5	30.6
0.3 % tBM	129.5	30.7
0.4 % tBM	131	30.3

Tabla 2 Diámetros de partícula obtenidos en la reacción de homopolimerización de metacrilato de butilo en emulsión y microemulsión, como función del tipo y concentración de los agentes de transferencia de cadena (CBr_4 y tBM)

Con el interés de entender mejor el efecto de la concentración del agente de transferencia de cadena sobre el tamaño de partícula, se obtuvieron datos de QLS para elaborar las curvas de distribución de tamaño de partícula para cada composición. Estas curvas, que se muestran en los gráficos 1 a 5, incluyen también el efecto que sobre el tamaño de partícula tiene el agregar un agente neutralizante como lo es el bicarbonato de sodio (BCS). En todos los casos se aprecia que los látex tienen curvas de distribución anchas.

En los Gráficos 1 y 2, que se corresponden a la polimerización en microemulsión, se puede apreciar que conforme se agrega mayor cantidad del agente de transferencia, la curva de distribución se desplaza hacia valores menores del tamaño de partícula, pero éstas son más estrechas cuando se utiliza tetrabromuro de carbono (de 10 a 100 nm aproximadamente), y más amplias con terbutilmercaptano (de 5 a 140 nm aproximadamente), debido muy probablemente a la alta constante de transferencia.

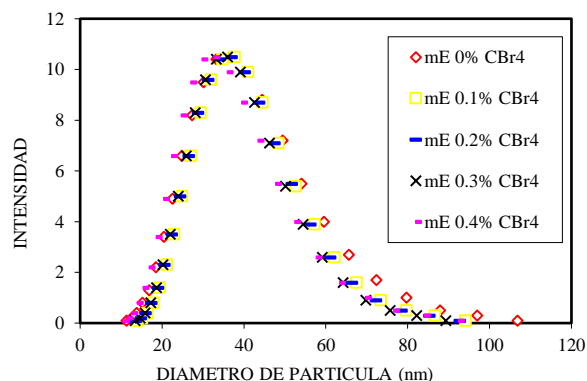


Gráfico 1 Efecto de la concentración del tetrabromuro de carbono sobre la distribución de los tamaños de partícula (D_{p_z}) del BMA obtenido mediante polimerización en microemulsión

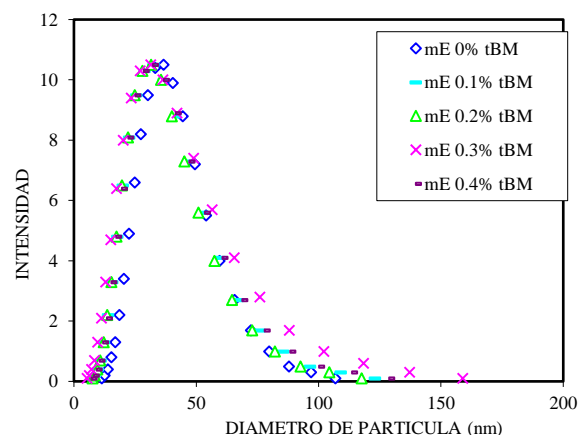


Gráfico 2 Efecto de la concentración del terbutilmercaptano sobre la distribución de los tamaños de partícula (D_{p_z}) del BMA obtenido mediante polimerización en microemulsión

Temperatura de transición vítrea

Para determinar las temperaturas de transición vítrea de los distintos homopolímeros preparados, se llevaron a cabo barridos de calorimetría diferencial de barrido.

Algunos de los termogramas obtenidos se muestran en los gráficos 3 y 4, mientras que en la Tabla 3 se reportan las temperaturas de transición vítrea de todos los materiales preparados.

Los termogramas muestran un solo escalafón de la línea base, indicio de que los materiales preparados presentan una única Tg, lo que confirma la síntesis del homopolímero de poli (metacrilato de butilo), independientemente del método de polimerización, del tipo y concentración del agente de transferencia de cadena y del agente neutralizante que fue adicionado.

Por su parte, la Tabla 3 muestra que cuando se polimeriza por emulsión en presencia de CBr_4 , las Tg's son menores que las obtenidas por microemulsión, mientras que cuando se utiliza tBM la tendencia es inversa, es decir, las Tg's son mayores en emulsión que en microemulsión.

También se puede apreciar que para un mismo agente de transferencia de cadena, el aumento en la concentración del mismo provoca ligeros incrementos de la Tg, independientemente del método de polimerización. Sin embargo, cuando se utiliza el agente neutralizante, este desplazamiento es mínimo.

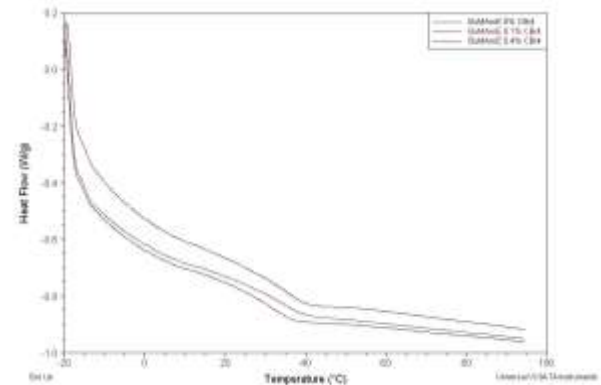


Gráfico 3 Termograma que muestra el efecto de la concentración de tetrabromuro de carbono sobre la temperatura de transición vítrea del homopolímero de BMA, obtenido mediante polimerización en microemulsión

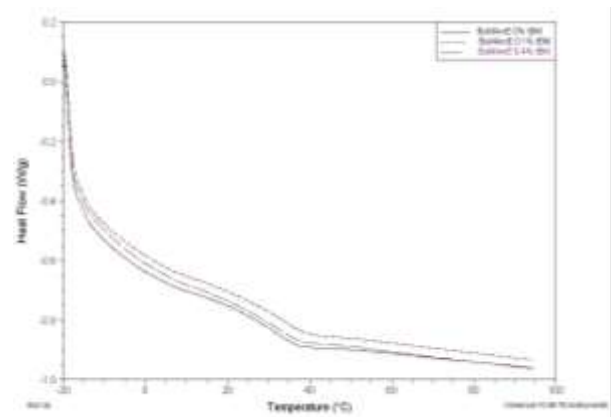


Gráfico 4 Termograma que muestra el efecto de la concentración de ter-butilmercaptano sobre la temperatura de transición vítrea del homopolímero de BMA, obtenido mediante polimerización en microemulsión

Concentración de agente de transferencia de cadena (BMA)	Microemulsión	Emulsión
	Tg (°C) Experimental	Tg (°C) Experimental
0% de CBr ₄	39.1	37.5
0.1% de CBr ₄	41.2	38.8
0.4% de CBr ₄	43.5	40.1
0% de tBM	39.1	37.5
0.1% de tBM	39.7	41.2
0.4% de tBM	40.4	42.6
0.1% de CBr ₄ + BCS	39.7	37.5
0.4% de CBr ₄ + BCS	40.8	41.5
0.1% de tBM + BCS	39.4	40.1
0.4% de tBM + BCS	40.6	40.8

Tabla 3 Temperaturas de transición vítrea, para diferentes composiciones de ter-butilmercaptano y tetrabromuro de carbono, tanto en polimerización en emulsión como en microemulsión

Espectroscopia de Infrarrojo

Con la intención de identificar la estructura del homopolímero sintetizado, se realizó un análisis por espectroscopia de infrarrojo. Como en todos los casos se sintetizó el mismo homopolímero, solo se reporta uno de los espectros obtenidos y que se corresponde al obtenido por polimerización en emulsión con 0.2% tBM.

Así, el Gráfico 5 muestra la presencia de las bandas espectrales típicas de la estructura química del BMA. En este espectro se puede apreciar que en 2959 y 3031 cm^{-1} aparece una banda intensa, asimétrica y simétrica respectivamente, del enlace C-H, la cual forma parte del grupo metilo.

En 1464 cm^{-1} aparece una banda de intensidad media la cual es provocada por las vibraciones de deformación asimétrica y de flexión del enlace C-H. El pico que aparece en 728 cm^{-1} se debe a movimientos de balanceo del enlace C-H, el cual forma parte de los grupos metilenos del esqueleto hidrocarbonado del PBMA.

Como lo han publicado Wiberley y Basset (1950), la vibración del grupo n-butilo unido al átomo de oxígeno (característico de la estructura del PBMA) provoca la banda que aparece en el intervalo de 728 a 714 cm^{-1} , la cual es de intensidad variable.

La banda debida a la vibración de estiramiento del grupo carbonilo (el grupo más polar incluido en el grupo éster del PBMA), aparece en 1798 cm^{-1} , y es de gran intensidad.

También intensas se resuelven las bandas de estiramiento antisimétrico y simétrico del grupo C-O-C que aparecen en 1147 y 1241 cm^{-1} , respectivamente. De acuerdo a lo anterior, la forma de estos espectros confirma la síntesis del PBMA para todas las formulaciones aquí preparadas.

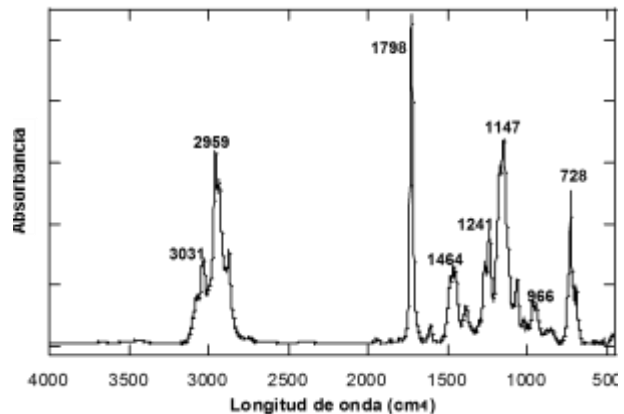


Gráfico 5 Espectro infrarrojo que muestra las típicas bandas del homopolímero de BMA, obtenido mediante polimerización en emulsión

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede apreciar que sí se logró la síntesis del poli(metacrilato de butilo) tanto por emulsión como por microemulsión.

Además de que se pudo establecer el efecto del tipo de agente de transferencia de cadena y la concentración del mismo, sobre el peso molecular y las propiedades mecánicas. Por otra parte fue posible preparar películas delgadas a partir de la evaporación del látex.

En general se obtuvieron altas conversiones, las cuales fueron mayores cuando se polimeriza por microemulsión (>90%) que las obtenidas cuando se polimeriza por emulsión (<88%) para un mismo tiempo total de reacción, lo cual es característico de cada método de polimerización.

También se aprecia que en todos los casos los látex son polidispersos, lo cual es de esperarse por la variación en la concentración de los agentes de transferencia lo que provoca una la disminución de la longitud de cadena. Si consideramos que al polimerizar por microemulsión cada partícula tiene pocas cadenas de polímeros, al disminuir la longitud de la misma es de esperarse que disminuya el tamaño de partícula, ya que hay gran cantidad de micelas vacías hacia donde pueden migrar otras cadenas.

Agradecimientos

PRODEP y CONACyT

Referencias

Ahmad, H., and Tauer, K., *Colloid Polym. Sci.* 281, 686-689. (2003).

Beuermann, S., Buback, M., Davis, T. P., Gilbert, R. G., Hutchinson, R. A., Kajiwara,

A., Klumpermann, B., Rusell, G. T., *Macromolecules Chemical Physic.* 201, 1335-1364 (2000).

Bicerano, J., *Prediction of Polymer Properties.* third edition., Ed. Marcel Dekker, Inc. (2002).

Bourrel, M. and Schechter, R. S., *Microemulsions and Related Systems.* (Dekker, New York, Basel) (1988).

Cairncross, R. A., *Modelling Drying During Low-Speed coating of Porous and Continuous Films,* IS & TS 50th Annual Conference. 554-558 (1997).

Canpolat, M., Pekcan, Ö., *Photon diffusion and energy transfer process during chain interdiffusion in films formed from fluorescence labelled high-T latex particles,* *J. Appl. Polym. Sci.* 38 (11), 2595-2602 (1997).

Canpolat, M., Pekcan, Ö., *Photon diffusion study in films formed from high-T latex particles,* *Polymer.* 36 (23), 4433-4438 (1995).

Canpolat, M., Pekcan, Ö., *The effect of solid content on latex coalescence and film formation: Steady-state energy transfer study with fluorescent labelled polymers,* *J. Appl. Polym. Sci.* 59 (11), 1699-1707 (1996).

Cansell, F., Henry, F., Pichot, C., *Study of polymer latex by dielectric measurements in the microwave domain: influence of latex characteristics,* *J. Appl. Polym. Sci.* 41, 547-563 (1990).

Carver, M. T., Hirsch, E., Witmann, J. C., Fitch, R. M. and Candau, F., *J. Phys. Chem.* 93, 4867 (1989).

Chevalier, Y., Pichot, C., Graillant, C. et al., *Film formation with latex particles,* *J. Colloid Polym. Sci.* 270 (8), 806-821 (1992).

Eckersley, S. T., Rudin, A., Film formation of acrylic copolymer latexes: A model of stage II film formation, chap. 1 in: Provder, Winnik and Urban (Eds.) ACS (Division of Polymeric Materials, Science and Engineering), International symposium Series No. 648, Film formation in Waterbone Coatings. 359-402 (1996).

Flory, P. J., Principles of Polymer Chemistry. Cornell Univ. Press. (1953).

Odian, G., Principles of Polymerization. Fourth edition., Ed. John Wiley and Sons, Inc. (2002).

Okubo, M., Miya, T., Minami, H. and Takekoh, R., Journal of Applied Polymer Science. Vol. 83, 2013-2021 (2002).

Paleos, C. M. and Malliaris, A., Journal of Macromolecules Science. Review. Macromolecules Chemistry Physics. C28 (3&4), 403 (1988).

Pan, S. X., Davis, H. T., Scriven, L. E., Substrate effects on binder migration in drying porous coatings, Coatings Conference Proceedings. TAPPI Press, Atlanta, Georgia, 115-133 (1996).

Patterson, G. D., Jue, P. K., Ramsay, D. J., Stevens, J. R., Journal Polymer Science. Part B: Polym. Phys. 32, 1137 (1994).

Evaluación de la operación sub-óptima de estado estacionario de sistemas de potencia con cargas dependientes de voltaje

GARCÍA-GUZMÁN, José Miguel*†, ACEVEDO-ARANDA, Rogelio, ORTEGA-HERRERA, Francisco Javier y GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

Recibido Mayo 09, 2016; Aceptado Junio 25, 2016

Resumen

En este trabajo se presenta la evaluación de la operación sub-óptima de estado estacionario de sistemas de potencia con cargas dependientes de voltaje mediante la solución del Despacho Óptimo de Generación (DOG) utilizando algoritmos genéticos. Los modelos de las cargas se integran en el análisis de Flujos de Potencia (FP) y los resultados se utilizan para calcular los coeficientes B y las pérdidas de potencia activa para ser utilizadas en la solución del DOG. Una vez que se obtienen las potencias de cada generador, estas se asignan a los nodos PV para ejecutar nuevamente el análisis de FP y continuar el mismo proceso iterativamente hasta que la diferencia de potencia activa en el nodo slack, obtenida mediante FP y DOG, sea menor a una tolerancia de precisión. Un caso de estudio es presentado con el sistema de potencia de prueba del IEEE. Los resultados muestran que la operación del sistema es más óptima cuando se integran los modelos de las cargas, ya que el costo de generación disminuye.

Operación sub-óptima, DOG, FP

Citación: GARCÍA-GUZMÁN, José Miguel, ACEVEDO-ARANDA, Rogelio, ORTEGA-HERRERA, Francisco Javier y GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio. Evaluación de la operación sub-óptima de estado estacionario de sistemas de potencia con cargas dependientes de voltaje. Revista de Energía Química y Física 2016, 3-7: 38-45.

Abstract

This paper presents the assessment of suboptimal steady state operation of power systems with voltage dependent loads by using the Optimal Dispatch (OP) which is solved with genetic algorithms. The load models are integrated into analysis Flow Power (PF) to determine a steady state operation point and the results obtained in this operating point are used to calculate B coefficients and active power losses to be used in the solution of the OD problem. Once the active power of each generator are obtained, these are assigned to the PV nodes to perform the analysis PF again and continue the same process iteratively until the difference of active power in the slack node, obtained by FP and OD is less to a precision tolerance. A case study is presented with the test power system of the IEEE. The results show that the system operation is more optimal when the model loads are integrated in the system, since the generation cost decreases.

Suboptimal operation, OD, PF

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: migarcia@itesi.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

La operación óptima de estado estacionario de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) recientemente se ha convertido en el centro de atención de las empresas suministradoras de energía e investigadores alrededor del mundo, ya que al operarse las redes de manera óptima se reducen los costos, el impacto ambiental o se incrementa la confiabilidad del sistema, dependiendo del objetivo requerido.

El problema de Despacho Óptimo de Generación es una de las funciones operativas, desde el punto de vista económico, más importantes de los sistemas de potencia modernos, ya que determina la combinación óptima de potencia activa de cada generador individual tal que se minimice el costo total de generación mientras se satisfacen las ecuaciones de balance de potencia y los límites de generación de las unidades.

Las funciones de costo de los generadores han sido representadas mediante funciones cuadráticas, bajo la consideración de que el costo incremental de cada generador se incrementa linealmente para encontrar una solución óptima.

El DOG con estas funciones de costo cuadráticas normalmente se resuelve por medio de métodos basados en gradiente (Wood & Wollenberg, 1984), sin embargo, las funciones de costo reales de los generadores consideran las zonas de operación prohibidas, puntos de válvula, múltiples combustibles, entre otros, lo que hace que dichas funciones sean altamente no lineales y en ocasiones discontinuas (Lee & Park, 2006).

El DOG con estas funciones no puede resolverse con los métodos tradicionales, de manera que en los últimos años se han desarrollado diversos métodos que permiten resolver el DOG considerando tales funciones, entre los cuales se encuentran los algoritmos genéticos (Walters & Sheble, 1993), programación evolutiva (Sinha et al, 2003), las redes neuronales (Lee et al, 1998), enjambre de partículas (Park et al, 2005), colonia de hormigas (Gopalakrishnan & Krishnan, 2013), entre otros. Los algoritmos genéticos son una técnica heurística-estocástica de optimización global que se ha utilizado para resolver problemas de optimización de sistemas de potencia, tales como el DOG o las diversas variantes de Flujos de Potencia Óptimos.

Por otro lado, los estudios de Flujos de Potencia son una herramienta elemental que permite evaluar la operación de estado estacionario de un SEP. La principal información obtenida de estos análisis comprende las magnitudes y ángulo de fase de los voltajes de las subestaciones, las potencias reactivas en los buses de generación y el flujo de potencia activa y reactiva en las líneas de transmisión, además de otras variables que son previamente especificadas.

Esta información es esencial para el continuo monitoreo del estado actual del sistema y para analizar la efectividad de planes alternos para futuras expansiones del sistema para satisfacer el incremento de la carga demandada (Kothari & Dhillon, 2015). En los estudios de FP convencionales, las demandas de potencia activa y reactiva son consideradas como valores constantes, sin embargo, las cargas que normalmente se encuentran en los SEPs, son del tipo residencial, industrial, municipal y comercial, y cómo se mencionó anteriormente, son dependientes de las variaciones de la magnitud del voltaje nodal y de la frecuencia (El-Hawary & Dias, 1987).

Los resultados finales del análisis de FP, tienen efectos muy significativos en el modelo de carga utilizado. Por tanto, el uso de un modelo de carga realista es muy importante para mejorar la calidad de los estudios llevados a cabo en un SEP (Haque, 1996).

Los modelos de carga tradicionalmente son clasificados en dos principales categorías: modelos de carga estática y modelos de carga dinámica (Kundur et al, 1994). Generalmente, las cargas estáticas son representadas mediante modelos exponenciales (Murty, 1977) y modelos compuestos o modelos ZIP (Kundur et al, 1994; IEEE Task Force, 1993). Ambos tipos de modelos se expresan en función del voltaje y de ciertos parámetros que hacen más exacto el modelado de las cargas en condiciones reales. Con la proliferación de la electrónica de potencia en las cargas se ha modificado el comportamiento de estas en función del voltaje (Bokhari et al, 2014).

La evaluación de la operación sub-óptima de estado estacionario de sistemas de potencia puede llevarse a cabo conjuntando el análisis de FP y DOG, además es posible evaluar dicha operación con cargas dependientes de voltaje y analizar los efectos que tiene el modelado de estas cargas en el punto óptimo de operación del SEP. Así, en este trabajo se presenta una propuesta de análisis que permite determinar puntos de equilibrio mediante los cuales se lleva a cabo la evaluación de la operación sub-óptima de sistemas de potencia considerando cargas dependientes de voltaje.

Esta propuesta integra a la formulación de FP y al problema de DOG en un mismo marco de solución iterativa a través del cálculo de los coeficientes de pérdidas B para obtener la potencia generada de los buses PV que son utilizados en la formulación de flujos de potencia convencional.

Es importante mencionar que la solución del despacho óptimo de generación se lleva a cabo utilizando el algoritmo genético de la herramienta de optimización global de Matlab®.

Formulación general del análisis de Flujos de Potencia convencional

El análisis de FP establece que en cualquier nodo k de un SEP la suma de la potencia generada (P_{Gk} , Q_{Gk}) la potencia demandada (P_{Dk} , Q_{Dk}) y la potencia intercambiada con los distintos nodos del sistema ($\sum P_i^{iny j}$, $\sum Q_i^{iny j}$) es cero. De manera que el balance de potencia activa y reactiva en el nodo k se puede modelar como sigue:

$$\Delta P_i = P_{Gi} - P_{Di} - \sum_{j=1}^{N_b} P_i^{iny j} = 0 \quad (1)$$

$$\Delta Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} - \sum_{j=1}^{N_b} Q_i^{iny j} = 0 \quad (2)$$

La expresión anterior representa un sistema de ecuaciones, el cual es resuelto aquí mediante el método de Newton-Raphson.

Modelos estáticos de carga dependientes de voltaje

Como se mencionó, las cargas eléctricas estáticas dependen del voltaje que las alimenta, de modo que este tipo de cargas son representadas mediante modelos exponenciales y compuestos. En el presente trabajo solo se consideran el último modelo estático debido a que el principal interés es la evaluación del mismo comportamiento de estado estacionario del sistema de potencia. El modelo compuesto representa la carga dependiente voltaje como una combinación de una carga de impedancia constante (Z), una carga de corriente constante (I) y una carga de potencia constante (P), por lo que también es conocido de manera común como modelo ZIP.

Este modelo expresa la potencia activa y reactiva en función del voltaje nodal como se muestra enseguida:

$$P = P_0 \left(p_1 (V/V_0)^2 + p_2 (V/V_0) + p_3 \right) \quad (3)$$

$$Q = Q_0 \left(q_1 (V/V_0)^2 + q_2 (V/V_0) + q_3 \right) \quad (4)$$

En estos modelos P_0 indica valor nominal, mientras que P_i y Q_i ($i=1, 2, 3$) representan los coeficientes de impedancia, corriente y potencia constante para la potencia activa y reactiva, respectivamente. La selección del valor de los coeficientes de este modelo depende del porcentaje de elementos conectados a cada sistema en particular. En éste reporte se toman los siguientes valores para los coeficientes asociados con las cargas activas: $p_1=0.35$, $p_2=0.13$ $p_3=0.52$; mientras que para los coeficientes de las cargas reactivas se consideran los siguientes valores: $q_1= 0.56$, $q_2=0.08$, $q_3=0.36$ (Nam et al, 2013).

Incorporación de los modelos de cargas dependientes de voltaje en el análisis de FP

La incorporación de los modelos compuestos de cargas dependientes de voltaje en la solución de FP modifica el jacobiano en los siguientes elementos de la diagonal principal.

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_i} = \frac{\partial}{\partial V_i} \left(P_0 \left(p_1 (V/V_0)^2 + p_2 (V/V_0) + p_3 \right) \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = \frac{\partial}{\partial V_i} \left(Q_0 \left(q_1 (V/V_0)^2 + q_2 (V/V_0) + q_3 \right) \right) \quad (6)$$

Es importante mencionar que las Ecuaciones (3)-(4) se sustituyen en (1) y (2), respectivamente, y se utilizan los elementos del jacobiano anteriores en el análisis de FP, el cual es resuelto por medio del método de Newton-Raphson.

Formulación general del Despacho Óptimo de Generación

El problema de Despacho Óptimo de Generación es un problema de optimización no lineal restringido que puede expresarse mediante la minimización del costo del combustible de las unidades de generación térmicas sujeta a una restricción de igualdad, que modela el balance de potencia activa, y n_g restricciones de desigualdad, que representan los límites operacionales de generación de las máquinas. Matemáticamente, la formulación general del DOG es dada como sigue:

$$\min F(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^{n_g} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (7)$$

$$\text{sueto a } \sum_{i=1}^{n_g} P_{Gi} = P_D + P_L \quad (8)$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (9)$$

Donde a_i , b_i y c_i son los coeficientes de la función cuadrática de costo del generador i del conjunto de n_g de generadores. La función $F(P_i)$ corresponde a la función objetivo o costo total de generación medida en (\$/hr), los términos P_i , P_D y P_L representan la potencia activa de salida del generador i , la potencia activa demandada y las pérdidas de potencia activa en los elementos de transmisión, respectivamente, mientras que los límites inferior y superior de generación de potencia activa del generador i son denotados por P_i^{\min} y P_i^{\max} , en forma respectiva.

Resulta obvio, pero no menos importante señalar que las ecuaciones (7), (8) y (9) corresponden a la función cuadrática de costo de generación, las restricciones de igualdad y las restricciones de desigualdad del problema de optimización.

Las pérdidas de transmisión P_L , en la Ecuación (8), son representadas mediante una expresión cuadrática que es función de la potencia activa inyectada a los buses. Esta expresión es llamada fórmula de Kron (Kron, 1952) y es dada por:

$$P_L = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_{Gi} B_{ij} P_{Gj} + \sum_{i=1}^{ng} B_{0i} P_{Gi} + B_{00} \quad (10)$$

Donde P_i y P_j son la potencia activa inyectada en el bus i y j , respectivamente, y los coeficientes B son representados por el término B_{ij} . Los coeficientes B son considerados como constantes y son calculados con un algoritmo computacional desarrollado como parte del trabajo. El problema de optimización no lineal restringido se convierte en un uno sin restricciones mediante el método de los multiplicadores de Lagrange, con el cual se obtiene la siguiente función objetivo aumentada llamada también función lagrangiana:

$$L(P_{Gi}, \lambda) = F(P_{Gi}) + \lambda \left(P_D + P_L - \sum_{i=1}^{ng} P_{Gi} \right) \quad (11)$$

Las condiciones de optimalidad de la función objetivo anterior son,

$$\frac{\partial L}{\partial P_{Gi}} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \quad (12)$$

Estas condiciones permiten obtener los siguientes conjuntos de ecuaciones:

$$2(a_i + \lambda B_{ii})P_{Gi} + \lambda \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{ng} 2B_{ij}P_{Gj} = \lambda - \lambda B_{0i} - b_i \quad (13)$$

El sistema de ecuaciones (13) se resuelve para obtener la solución del DOG, el cual consiste en determinar el valor de P_i y λ .

En este trabajo el multiplicador de Lagrange o costo incremental y la potencia generada son determinadas utilizando el algoritmo genético de la herramienta de optimización global de Matlab.

El análisis propuesto en este trabajo para llevar a cabo la evaluación sub-óptima de SEPs integra las dos formulaciones antes descritas en un mismo marco de solución iterativa en el que la diferencia de potencia activa en el nodo slack es considerada como parámetro de convergencia de dicha propuesta. El procedimiento general del análisis propuesto de ilustra en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 1.

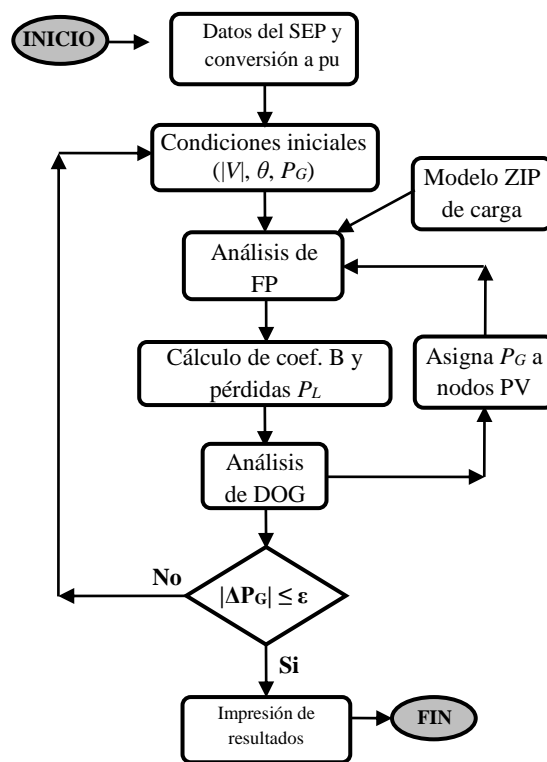


Figura 1 Diagrama de flujo para la evaluación sub-óptima de la operación de SEPs

En esta propuesta, primero se resuelve el FP y luego el DOG en cada iteración, utilizando los coeficientes de pérdidas B como enlace entre ambos estudios. Una vez que se obtienen las potencias de cada generador mediante el despacho óptimo, estas se asignan a los nodos PV para ejecutar nuevamente el análisis de FP y continuar el mismo proceso iterativamente hasta que la diferencia de potencia activa en el nodo slack, obtenida mediante FP y DOG, sea menor a una tolerancia de convergencia especificada de acuerdo a la siguiente expresión:

$$|\Delta P_G| = |P_{G,FP} - P_{G,DOG}| \leq \varepsilon \quad (14)$$

Donde $P_{G,FP}$ y $P_{G,DOG}$ son la generación de potencia activa obtenida mediante el análisis de FP y DOG, respectivamente, y ε es la tolerancia de convergencia especificada.

Casos de estudio

La evaluación de la operación sub-óptima es llevada a cabo mediante un caso de estudio en el que se utiliza el sistema de potencia de prueba de 5 nodos del IEEE. En el caso de estudio se considera una tolerancia de convergencia de 1×10^{-9} para el análisis de FP y 20 generaciones para el DOG con los parámetros de optimización preestablecidos en la herramienta de Matlab, mientras que para el análisis propuesto en este trabajo se utiliza una precisión en la diferencia de potencia activa en el nodo slack de 1×10^{-6} .

En este caso de estudio primero se determina el punto de operación sub-óptimo con cargas fijas y después se determina otro punto de operación con el modelo compuesto de dichas cargas. Con estos puntos de operación es posible evaluar la operación sub-óptima del SEP en cuestión.

Los dos puntos sub-óptimos de operación de estado estacionario del sistema de 5 nodos son presentados en la Tabla 1.

Nodo	Carga fija		Modelo compuesto	
	V	θ (°)	V	θ (°)
Nodo 1	1.060	0.000	1.060	0.000
Nodo 2	1.000	-0.029	1.000	-0.044
Nodo 3	0.973	-3.757	0.973	-3.814
Nodo 4	0.985	-3.289	0.985	-3.325
Nodo 5	0.989	-3.086	0.988	-3.117

Tabla 1 Punto sub-óptimo de operación de estado estacionario del sistema de 5 nodos

Los resultados mostrados en la Tabla 1 muestran que los voltajes nodales se modifican tanto en magnitud como en ángulo cuando se integran los modelos de las cargas dependientes de voltaje.

Este cambio en el voltaje nodal provoca una redistribución de los flujos de potencia en los elementos de transmisión modificando el valor de las pérdidas y la generación de potencia activa, cambiando con ello el costo de generación, tal como lo muestra la Tabla 2, donde se muestran los resultados obtenidos mediante la propuesta de análisis de este trabajo con cargas fijas y con los modelos compuestos de carga.

Se debe notar que para este sistema de potencia el costo de generación, la generación y pérdidas totales de potencia activa son menores cuando se integran los modelos de cargas exponenciales, sin embargo, estos resultados pueden cambiar con otros sistemas de potencia de gran escala, lo cual es sujeto de estudio para trabajos posteriores.

Parámetro	P _i (MW) (Fija)	P _i (MW) (ZIP)
Generador 1	65.376	64.112
Generador 2	104.933	103.785
total (F, \$/hr)	760.189	750.405
Demanda total (MW)	165.000	162.706
Pérdidas totales (MW)	5.31	5.198
Generación total (MW)	170.309	167.707
Demanda total (MVAR)	40.000	39.371
Pérdidas totales (MVAR)	-13.222	-13.570
Generación total (MVAR)	26.778	24.658

Tabla 2 Resumen de resultados del punto sub-óptimo de operación de estado estacionario del sistema de 5 nodos

Conclusiones

Una propuesta de análisis que permite evaluar la operación sub-óptima de estado estacionario de sistemas de potencia con cargas dependientes de voltaje ha sido presentada. La propuesta integra en el análisis de flujos de potencia y al problema de despacho óptimo de generación en un mismo marco de solución a través del cual se determinan puntos de operación de estado estacionario de sistemas de potencia.

La integración de los modelos compuestos de cargas en el análisis de FP modifica los resultados de las pérdidas y de la potencia generada y demandada, lo cual es debido a una redistribución de los flujos de potencia, que a su vez es ocasionada por un cambio en la magnitud y ángulo del voltaje nodal. Se debe notar que en el caso de estudio presentado y desde una perspectiva de operación óptima, el punto de operación con el modelo compuesto de carga es mejor que con cargas fijas, ya que la potencia activa generada y los costos de generación son menores.

De esta manera, se puede concluir de forma general que los modelos de cargas dependientes de voltaje permiten llevar a cabo una evaluación más real del estado de la operación de un SEP.

Por otro lado, es importante mencionar que con la propuesta de análisis presentada en este trabajo se determinan puntos sub-óptimos de operación de estado estacionario y no puntos óptimos, ya que estos últimos son obtenidos mediante la formulación de flujos de potencia óptimos.

Referencias

Bokhari, A., Alkan, A., Dogan, R., & Diaz, M. (2014). Experimental Determination of ZIP Coefficients for Modern Residential, Commercial and Industrial Loads, IEEE Transactions on Power Delivery, 29(3).

El-Hawary, M. E., & Dias, L. G. (1987). Incorporation of load models in load-flow studies: form of model effects, IEE Proceedings C-Generation, Transmission and Distribution, 134(1).

El-Hawary, M. E., & Dias, L. G. (Enero, 1987). Incorporation of load models in load-flow studies: form of model effects. IEE Proceedings C-Generation, Transmission and Distribution, 134(1), pp. 27-30.

Gopalakrishnan, R. & krishnan, A. (2013). An Efficient Technique to Solve Combined Economic and Emission Dispatch Problem Using Modified Ant Colony optimization, Sadhana, 38(4), pp. 545-556.

Haque, M. H. (1996). Load flow solution of distribution systems with voltage dependent load models. Electric Power Systems Research, 36(3), 151-156.

IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance. (1993). Load Representation for Dynamic Performance Analysis, IEEE Transactions of Power Systems, 8(2).

- Kothari, D. P. & Dhillon J. S. (2015). Power System Optimization. Nueva Delhi: PHI Learning.
- Kron, G. (1952). Tensorial Analysis of Integrated Transmission System, Part II: Off-Nominal Turns Ratios, AIEE Transactions, 71(1), pp. 505-512.
- Kundur, P., Balu, NJ. & Lauby, MG. (1994). Power system stability and control. New York: McGraw-Hill.
- Lee, k. Y. & Park, J. B. (2006). Application of particle swarm optimization to Economic Dispatch Problem: Advantages and Disadvantages. IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, 6(1), pp. 1-5.
- Lee, K. Y., Yome, S. & Park, J. H. (1998). Adaptive Hopfield Neural Network for Economic load Dispatch, IEEE Transactions on Power Systems, 13(2), pp. 519-526.
- Murty, P. S. (1977). Load modelling for power flow solution. J. Inst. Eng., 58(3).
- Nam, S., kang, S., Lee, J., Choi, E., Ahn, S. & Choi, J. (2013). EMS Data-Based Load Modeling to Evaluate the Effect of Conservation Voltage Reduction at National Level, Energies, 6.
- Park, J. B, Lee, S., Shin, J. R. & Lee, K. Y. (2005). A Particle Swarm optimization for Economic Dispatch with Nonsmooth Cost Functions, IEEE Transactions on Power Systems, 20(1), pp. 34-42.
- Sinha, N., Chakrabarti, R. & Chattopadhyay, P. K. (2003). Evolutionary Programming Techniques for Economic load Dispatch, IEEE Transactions on Evolutionary Computations, 7(1), pp. 83-94.
- Walters, D.C. & Sheble, G. B. (1993). Genetic Algorithm Solution of Economic Dispatch with the Valve Point Loading, IEEE Transactions on Power Systems, 8(3), pp. 1325-1332.
- Wood, A. J. & Wollenberg, B. F. (1984). Power Generation, Operation, and Control. New York: John Wiley & Sons.

Modelo estructural propuesto para el catalizador ZrO_2-SO_4-BaO

LUGO-DEL ANGEL, Fabiola*†, SILVA-RODRIGO, Rebeca, ESPINOSA-SOSA, Enrique, PULIDO-BARRAGAN, Eder

Universidad Politécnica de Altamira

Recibido Mayo 09, 2016; Aceptado Junio 29, 2016

Resumen

Se sintetizó y evaluó el catalizador bifuncional Pt/ZrSO₄-BaO, en la isomerización de n-heptano. Se sintetizaron mediante el método sol-gel y se estudió el efecto de la adición de bario (2, 3, 5 y 10% en peso). Los materiales sintetizados se caracterizaron mediante, Difracción de rayos x, Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR), adsorción de piridina analizada por espectroscopia de infrarrojo. Los resultados revelaron que la adición del dopante BaO, actúa como promotor textural y químico de acuerdo a resultados de selectividad, con la adición de bario en la reacción de isomerización de n-heptano no existe formación de coque y los productos son más selectivos a productos de interés de mayor número de octano. Además que con la adición de este promotor no se pierden los grupos sulfato después de la reacción y todas las reacciones presentaron activación comparadas con la circonia sulfatada que durante el transcurso de la reacción mostró desactivación.

Isomerización de n-heptano, Modelos estructurales, promotores texturales, químicos

Citación: LUGO-DEL ANGEL, Fabiola, SILVA-RODRIGO, Rebeca, ESPINOSA-SOSA, Enrique, PULIDO-BARRAGAN, Eder. Modelo estructural propuesto para el catalizador ZrO_2-SO_4-BaO . Revista de Energía Química y Física 2016, 3-7: 46-53.

Abstract

She was synthesized and evaluated the bifunctional catalyst Pt / ZrSO₄-BaO, in the isomerization of n-heptane. They were synthesized by the sol-gel method and the effect of the addition of barium (2, 3, 5 and 10 wt%) was studied. The synthesized materials were characterized by, XRD, Infrared Spectroscopy Fourier Transform (FTIR), pyridine adsorption analyzed by infrared spectroscopy. The results revealed that the addition of dopant BaO, acts as textural and chemical promoter according to results of selectivity, with the addition of barium in the isomerization reaction of n-heptane no coke formation and the products are more selective products interest higher octane number. Also with the addition of this promoter not lost the sulfate groups after the reaction and all reactions showed activation compared to the sulfated zirconia during the course of the reaction showed deactivation.

The isomerization of n-heptane, structural models, textural and chemical promoters

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: fabiola.lugo@upalt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

La isomerización de parafinas ligeras, es una de las reacciones más deseadas en la reformación catalítica de nafta para producir gasolina de alto número de octano. Los isómeros ramificados tienen la propiedad de mejorar el número de octano de las gasolinas. Al mezclar estos isómeros con productos de alquiladoras se obtienen gasolinas balanceadas, mejorando las características antidetonantes y de rendimiento del combustible. Cabe hacer mención que la isomerización de parafinas ligeras es una reacción demandante de acidez, por ello, cobra suma importancia el estudio de las propiedades ácidas de los catalizadores enfocados a esta reacción.

Por otro lado, las propiedades fisicoquímicas de un catalizador son afectadas por el método de preparación, condiciones de síntesis y temperatura de calcinación. Una ruta tradicional para la obtención de la ZrO_2 es el método sol-gel por que ofrece sólidos con alta pureza y gran homogeneidad, así como propiedades finales controladas. Numerosos modelos de estructuras se han reportado para los sitios ácidos, en óxidos de metal sulfatado. Hino y Arata, encontraron que la estructura superficial es el sulfato (SO_4) combinado con los elementos del Zr en el enlace del estado bidentado.

El sitio del ácido de Lewis (Zr^{4+}) llega a ser notablemente más fuerte por el efecto inductivo del enlace $S=O$ en el complejo. Se ha demostrado que si las moléculas de agua están presentes, los sitios del ácido de Lewis se convierten en sitios ácidos de Brönsted como resultado de la captación de moléculas de agua. Y los sitios de Brönsted se convierten a los sitios de Lewis si las moléculas de agua se quitan.

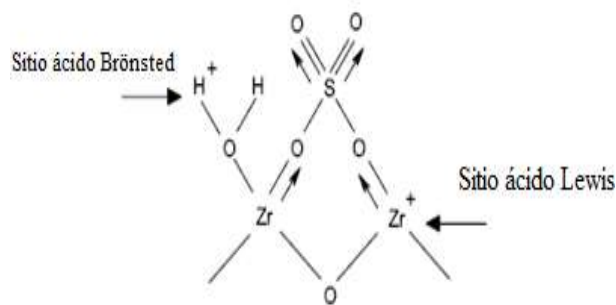


Figura 1 Modelo de Hino y Arata para el sitio activo de zirconia sulfatada que contiene los sitios ácidos de Lewis y de Brönsted [1]

Descripción del Método

Síntesis de los óxidos mixtos.

Los reactivos butóxido de zirconio y alcohol terbutílico, en la relación estequiométrica adecuada, se mezclaron en una cámara inerte (unidad aislada del medio ambiente, en la cual se deja pasar previamente durante 15 min. un gas inerte N_2 ó He) ya que el alcóxido reacciona con la humedad. Estos se deben verter en un matraz de tres bocas se homogenizan una hora con agitación constante y temperatura ambiente después de terminado este tiempo se aumenta la temperatura a $70^\circ C$.

Posteriormente se disuelve con agua y la $\frac{1}{4}$ parte del alcohol terbutílico las cantidades de nitrato de bario (según datos obtenidos de la relación estequiométrica para obtener en cada material el porcentaje en peso deseado de BaO). Siguiendo con la síntesis del material una vez disuelto el nitrato de bario se adiciona gota a gota mediante un embudo de adición en el matraz de tres bocas, se deja agitando a $70^\circ C$ y reflujo durante 2h. Al término de las 2h se desconecta el sistema de calentamiento y agitación dejando enfriar el gel a temperatura ambiente durante 24h (añejamiento) después se seca en una estufa por 24h a $120^\circ C$ obteniendo un sólido poroso (xerogel).

Caracterización de los óxidos mixtos.

La identificación de los tipos de sitios ácidos (Brönsted y/o Lewis) fue mediante la espectroscopia de infrarrojo con piridina adsorbida (FTIR) en un equipo marca Nicolet 170 SX con transformada de Fourier. Las estructuras cristalinas encontradas se determinaron mediante Difracción de Rayos X.

El equipo utilizado para esta técnica fue un difractor de rayos X Bruker AXS modelo D8 Advance, equipado con cátodo de rayos X de Cu $K\alpha_1$ (1.5406 Å) que opera a 35 kV y 25 mA.

Los espectros de difracción de un material cristalino también nos permiten determinar el tamaño de cristal (τ) a partir de la fórmula de Debye-Scherrer, ($\tau = 0.9\lambda/\beta\cos\theta\beta$), donde τ es el tamaño del grano del cristal, λ es la longitud de onda del haz incidente, β es el ancho medio de la banda de difracción y $\theta\beta$ es la mitad del ángulo de Bragg.

El tamaño de cristalito fue obtenido por el método de ancho de pico a media altura (“line broadening”).

Así, la medición del tamaño del cristalito se realizó considerando el ancho a media altura de los picos correspondientes a los planos de difracción para la zirconia tetragonal.

Actividad Catalítica.

La isomerización del n-heptano fue estudiada en un reactor multicanal de lecho fijo (Multi Channel fixed bed reactor: MCFBR). Este sistema consiste en una sección de seis reactores y cada uno contiene 8 microreactores, de aproximadamente 4mm de diámetro interno y 47 mm de longitud.

Los 6 reactores están conectados independientemente con seis cromatografos (Agilent GC system 6850 series) equipados de una columna capilar marca Supelco SPB-1(100% dimetilsiloxano) de 100m de longitud, 0.32mm de diámetro interno y de 0.25 milímetros de espesor de film, y un detector de ionización a la llama sin elemento calefactor (FID) para el análisis de productos.

Los microrreactores fueron cargados con 100mg de catalizador diluidos con 200mg de carburo de silicio inerte. El tratamiento previo de los catalizadores fue realizado in situ antes de la prueba de actividad y consistió en un programa de secado-reducción, secando las muestras a 260°C por 2h en flujo de helio(100 ml/min) y para la reducción se utilizó una temperatura de 450°C y flujo de hidrógeno(100ml/min) por 3h. Se ajustó la relación H_2/C_7 en 1.47 mol de radio.

La reacción se realizó a 180, 200 y 240°C con una presión de 100 psia y WHSV de 3.7h con una mezcla de 100ml/min de H_2 y 0.4ml de n-heptano que se alimentó con una bomba dosificadora HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia). Como el objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la adición de bario, sobre la actividad y selectividad de los mismos se utilizó un catalizador comercial de referencia denominado Hysopar este es un catalizador para isomerización basado en zeolita mordenita promovido con platino (0.3-0.4% en peso) con tamaño de partícula de 1.5mm.

Resultados y discusión

Con la difracción de rayos X, se comprueba que los materiales son altamente cristalinos y que están compuestos por una mezcla de fases, las cuales se comparan a continuación.

La tabla 1 muestra las fases cristalinas y los valores del tamaño del cristal de cada uno de los materiales.

El tamaño del cristal, fue evaluado por medio de la ecuación de Scherrer, usando la banda [1 1 1] del espectro de rayos X correspondiente a la fase tetragonal del óxido de circonio.

El tamaño del cristalita se reduce al sulfatar la circonia, esto puede ser debido a una fuerte interacción entre el ZrO_2 y el grupo sulfato (SO_4^{2-}) la cual limita la difusión en estado sólido, impidiendo con ello, el crecimiento del cristal.

La influencia del óxido de bario no presenta ningún cambio con las concentraciones 2, 3 y 5% en peso con respecto a la circonia sulfatada, sin embargo con la concentración de 10% en peso de BaO tuvo un incremento aproximado del 60% lo que indica que el efecto del BaO sobre la zirconia sulfatada es el de aumentar la cristalinidad.

catalizador	Fase cristalina	Dhkl (Å)
Z	Monoclínica Tetragonal	118
ZS	Tetragonal	88
ZS2Ba	Monoclínicatetragonal (Zr) Ortorrómica (BaSO ₄)	90
ZS3Ba	Monoclínicatetragonal (Zr) Ortorrómica (BaSO ₄)	88
ZS5Ba	Monoclínica-tetragonal Ortorrómica	89
ZS10Ba	Monoclínica-tetragonal Ortorrómica	147

Tabla 1 Fases cristalinas y tamaño del cristal derivadas de DRX

Dhkl = tamaño del cristal evaluado por la ecuación de Scherrer

El gráfico 1 muestra los resultados del óxido de circonio y óxido de circonio sulfatado sometidos a Difracción de Rayos X.

El material cristalino óxido de circonio presenta la mezcla de fases tetragonal y monoclínica, de acuerdo a la tarjeta de la J.C.P.D.S., la tetragonal que corresponde a los planos más intensos [1 1 1], [2 0 0], [2 2 0], [3 1 1] correspondientes a 30.1, 35.3, 50.3 y 59.7° en la escala 2θ de la tarjeta PDF card: 170923. Y la fase monoclínica de Baddeleyite (ZrO_2) con líneas de difracción de menor intensidad en 2θ = 24, 28 y 31.5, según la tarjeta PDF card: 241165. El difractograma del soporte ZS correspondiente al óxido de circonio sulfatado. En el cual se observa que solo presenta la fase tetragonal.

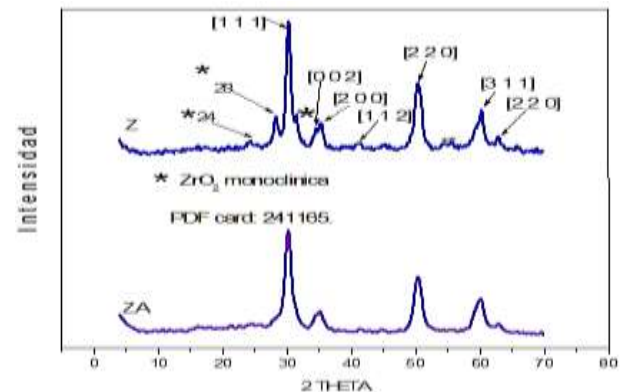


Gráfico 1 Difractogramas de Rayos X del óxido de circonio puro (Z), sulfatado (ZS)

En el análisis de los Difractogramas de los catalizadores, modificados con óxido de bario (Gráfico 2) aparecen las señales correspondientes al óxido de circonio con una mezcla de fases igual que la circonia pura (monoclínica y tetragonal), estando presente también la fase ortorrómica [3.10] del sulfato de bario (BaSO₄) de acuerdo a la tarjeta de la J.C.P.D.S., que corresponde a los planos más intensos [0 2 1], [2 1 0], [1 2 1] [1 4 0], correspondientes a 34.4, 33.2, 31, 25.7 y 21° en la escala 2θ de la tarjeta PDF card: 024-1035, lo que puede indicar que el óxido de bario se encuentra muy disperso en la superficie de la circonia sulfatada y muy detectable por DRX.

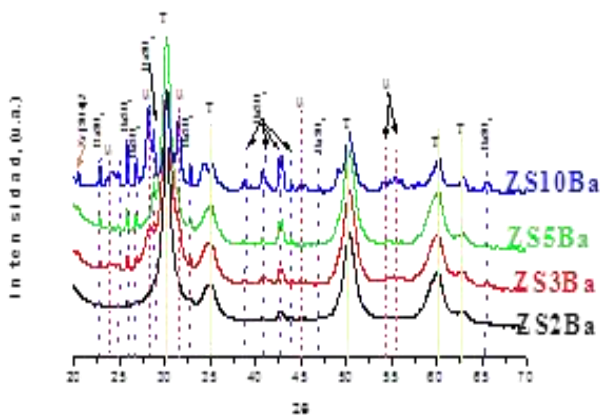


Gráfico 2 Difractograma de Rayos X del óxido de circonio con BaO

El Gráfico 3 muestra el espectro del óxido de circonio antes y después de la calcinación.

El óxido de circonio sin calcinar (Zsc) presenta una banda de absorción fuerte entre $3500-3200\text{ cm}^{-1}$, junto también a los sobretonos de las bandas de sustitución a 1600 cm^{-1} , las cuales son asignadas a vibraciones de alargamiento del O-H es decir a aquellos grupos enlazados con la red de zirconio además de los correspondientes al OH del agua y alcohol terbutílico ocluidos. En la región de 1375 y 1450 cm^{-1} aparecen bandas debidas a las vibraciones de flexión de los enlaces C-H de los grupos orgánicos residuales.

También se pueden observar pequeños hombros a los 2935 y 1062 cm^{-1} atribuidos a estiramientos C-O-C y C-O debido a la formación de éter durante la síntesis de la circonia sol-gel observándose que desaparecen dichos hombros al calcinar el material ya que el efecto de la temperatura ayuda a la oxidación total de la materia orgánica presente.

Las bandas que aparecen en la región del espectro de $800-400\text{ cm}^{-1}$ son generadas por las vibraciones de estiramiento de Zr-OH.

El óxido de circonio calcinado (Z) muestra a 3416.68 cm^{-1} una banda (de menor intensidad que la del material Zsc) correspondiente a los grupos OH del sistema., en tanto que a 749.99 , 604.66 y 503.11 cm^{-1} aparece la banda bien definida correspondiente al óxido de circonio confirmando con esto que los grupos OH enlazados al soporte son ácidos.

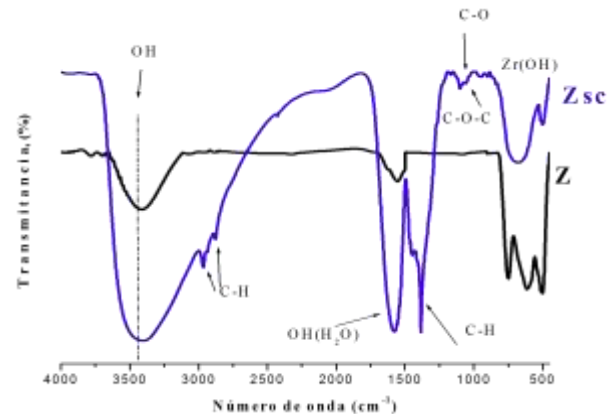


Gráfico 3 Espectros de infrarrojo del ZrO_2 sin calcinar (Zsc) y calcinado (Z)

Los espectros de infrarrojo correspondientes a $\text{ZrO}_2\text{-SO}_4$ se ilustran en el Gráfico 4. El espectro de infrarrojo del óxido de circonio sulfatado sin calcinar (ZSsc) presenta la banda de los enlaces C-H que desaparece después de la calcinación. Las bandas a 1241.81 , 1148.39 , 1054.98 cm^{-1} caracterizan la presencia del ion sulfato bidentado coordinado a Zr^{4+} (grupos sulfatos). Existe también la presencia de un pequeño hombro a los 1390 cm^{-1} indicio de los iones sulfato de carácter covalente con estiramiento de vibraciones asimétricas del tipo S=O [3.31-3.33], presentándose también, estas bandas en el soporte después de la calcinación (ZS).

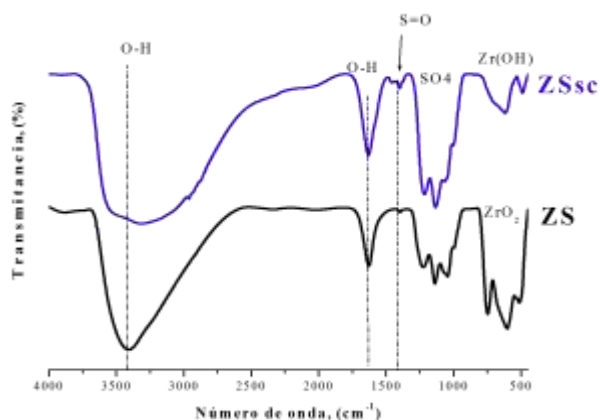


Gráfico 4 Espectros de infrarrojo del ZrO_2-SO_4 sin calcinar (ZSsc) y calcinado (ZS)

Los espectros de FTIR de los soportes ZrO_2-SO_4-BaO se ilustran en la Gráfico 5, presentan los mismos grupos funcionales desapareciendo las bandas correspondientes al C-H y NO_3^- , Ardelean y col.[3.38], han reportado que la posición de la banda característica Ba-O es aproximadamente a 474 cm^{-1} , coincidiendo con las bandas M-O donde el metal puede ser del bario y circonio.

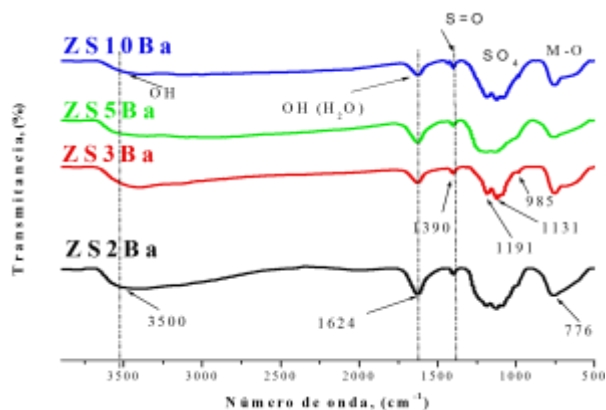


Gráfico 5 Espectros de infrarrojo del ZrO_2-SO_4-BaO

Los resultados de acidez mediante FTIR-piridina de los materiales analizados se muestran en las tablas 2, todas las muestras exhiben la presencia de sitios Brönsted y Lewis considerando importante el comportamiento a la temperatura de 200 ya que a 180°C se lleva a cabo la reacción de isomerización del n-heptano. La relación B/L mencionada en las tablas se debe a que Nascimento y col., reportaron que la presencia simultánea de los sitios Brönsted y Lewis es necesaria para la generación de la acidez y que dicho cociente esta correlacionado con la actividad catalítica, con máxima actividad cuando el cociente se acerca a uno.

T = 200 (°C)				
Catalizador	µmoles de piridina/g			Relación B/L
	Sitios Brönsted	Sitios Lewis	Sitios Totales	
ZS2Ba	84	52	136	1.61
ZS3Ba	63	74	137	0.85
ZS5Ba	151	69	220	2.18
ZS10Ba	83	46	129	1.80

Tabla 2 Acidez Brönsted y Lewis de ZrO_2-SO_4-BaO

Numerosos modelos de estructuras se han reportado para los sitios ácidos, en óxidos de metal sulfatado. Particularmente la caracterización superficial de la acidez del circonio sulfatado demuestra que su superficie contiene acidez Brönsted muy fuerte así como sitios del ácido de Lewis. De los resultados antedichos y las evidencias se sugieren las estructuras para los sitios ácidos y como están entrelazados los dopantes en la estructura de la circonia, sulfatada. La figura 7 muestra la estructura para los sitios ácidos del ZrO_2-SO_4-BaO , los sitios ácidos Brönsted, resultan del debilitamiento del enlace O-H por efecto inductivo de los grupos vecinos del sulfato, mientras que los sitios del ácido de Lewis (Zr^+) son electrónicamente centros deficientes de Zr^{+4} como resultado de la naturaleza electrón que se retira del grupo sulfato.

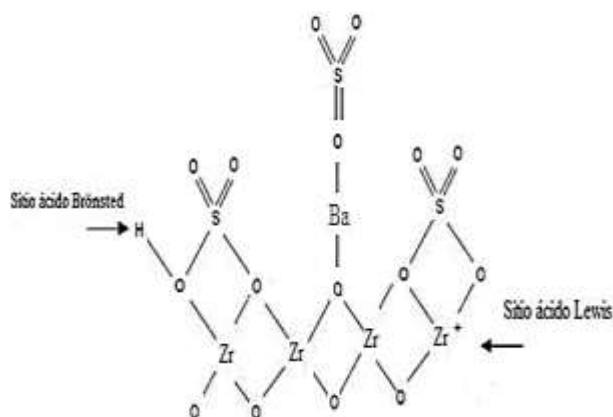


Figura 2 Modelo estructural propuesto para el soporte ZrO_2-SO_4-BaO

El catalizador de referencia (Hysopar) utilizado en esta investigación se sometió a las mismas condiciones solo que a temperaturas de 180 y 200°C no presentó actividad. A 240°C alcanza una conversión de 47% y la selectividad hacia 2,3 dimetil pentano con un 35% y 3 metil hexano con un 37%, un 8% de 2 metil hexano, 7% de 2,4 dimetil pentano, observando que solo presentó 0.76% del isómero de mayor octanaje 2, 2, 3 trimetil butano.

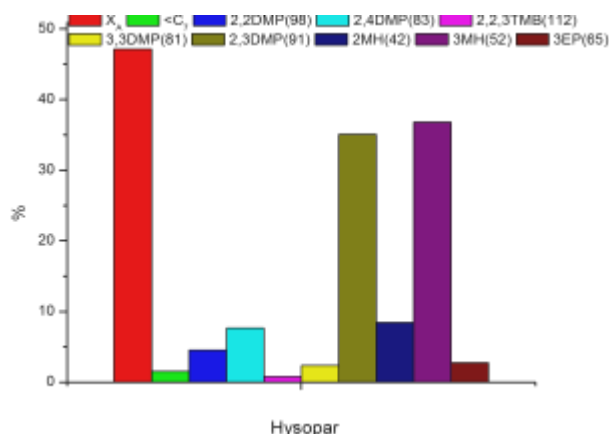


Gráfico 6 Distribución de productos de reacción del catalizador Hysopar a 240°C

A 200°C de reacción con catalizadores Pt/ZrO₂-SO₄-BaO, se presentan conversiones de 6, 35, 40 y 44% de n-heptano, respectivamente conforme aumenta la concentración del dopante óxido de bario, con el mismo efecto de disminución de productos de craqueo y aumento de productos de mayor octanaje, el catalizador Pt/ZS10Ba, tiene un 68% de selectividad hacia productos de número de octano mayor al 91.

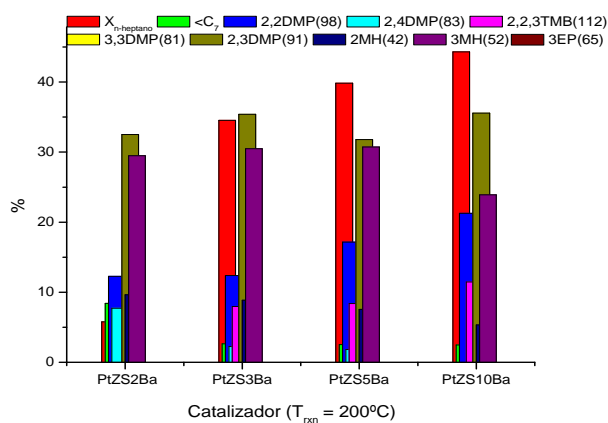


Gráfico 7 Distribución de productos de reacción de la serie Pt/ZrO₂-SO₄-BaO a 200°C

Conclusiones

La actividad de la circonia sulfatada está correlacionada claramente con el número de sitios fuertes del ácido de Brønsted. La adición de óxido de bario a la ZrO₂-SO₄ resulta una mezcla de fases, siendo las fases principales encontradas la tetragonal y monoclinica de la ZS, y la fase ortorrómbica del sulfato de bario, observándose mejor definición con 10% de BaO (ZS10Ba).

Los espectros de FTIR absorción de piridina absorbida en ZrO₂-SO₄-BaO, indican la presencia de ambos sitios Brønsted y Lewis, en la superficie de los catalizadores.

En el infrarrojo fue observada una banda a 1390 cm^{-1} asignada a simetrías S=O. En los resultados de DRX, del catalizador dopado con el metal alcalinotérreo (BaO), los resultados de DRX revelaron que este reacciona con el ion sulfato, formando la estructura cristalina ortorrómbica del sulfato de bario, por lo que se deduce que se encuentra en la superficie del soporte.

Referencias

B. Tyagi, M.K. Mishra, R.V. Jasra, Catal. Commun., 7, 2006, 52-57.

B.M. Reddy, P.M. Sreekanth, Y. Yamada, Q. Xu, T. Kobayashi, Appl. Catal. A. Gen 228 (2002), 269.

Barret C. "Estructure of Metals". McGraw-Hill Book Company, Inc. New York 1957.

J.A. Montoya de la Fuente^{1*}, M.L. Hernández-Pichardo² y P. del Angel V.1. (31 de Octubre 2012). Isomerización de n-heptano empleando catalizadores de Pt/circonia-tungstatada. Rev. Mex. Ing. Quím [online], 11 no.3, 439-445. ISSN 1665-2738.

K. Arata and M. Hino, Mater. Chem. Phys. 26(1990) 213-237.

L. J. Rodriguez, A. Castillo Mares, R. García Alamilla, R. Silva Rodrigo, G. Sandoval Robles, A. Robles Andrade. Revista Mexicana de Ingeniería Química, Año/vol. 5, número 003 (2006), 331.

Olindo R., Pinna F., Strukul G., Canton P., Riello P., Cerrato G., Meligrana G., Morterra C., 2000 Stud. Surf. Sci. Catal. 130, 2375.

P. Nascimiento, C. Akrapoulou, M. Oszagyan, G. Coudurier, C. Travers, J.F. Joly y J.C. Vedrine, New Frontiers in Catalysis (1992), 19-24

R. Silva-Rodrigo, E.L. Cruz-Domínguez, F.E. Lugo-del Angel, J. Navarrete-Bolaños, R. García-Alamilla, A. Olivas-Sarabia, J.A. Melo-Banda, L.C. Cruz-Netro, G. Zamora-Ramírez, A. Castillo-Mares. (15 July 2015,). Studies of sulphated mixed oxides (ZrO₂-SO₄-La₂O₃) in the isomerization of n-hexane. Catalysis Today, 250, 197-208.

T. Tsuzuki, P. G. M. Cormick, J. Am Ceram. Soc. 84 (2001) 1453.

Potencial mareomotriz como fuente de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México

HERNÁNDEZ-ESCOBEDO, Quetzalcoat†*, CRUZ-REYNA, Othoniel, CATELLANOS-MESSA, Luis y RUEDA-MARTÍNEZ, Fernando

Recibido Febrero 5, 2016; Aceptado Marzo 31, 2016

Resumen

En la actualidad con la generación de energía mediante fuentes renovables de energía pretenden contrarrestar los efectos nocivos de los combustibles fósiles. En diversos puntos del planeta se han fijado la atención en un abundante recurso natural: los mares. Las mareas son una interesante fuente de energía actualmente poco estudiada en México. En este trabajo el objetivo principal es una evaluación preliminar del potencial mareomotriz generado al sureste del Golfo de México. El estudio se basa en datos registrados cada hora durante 3 años, por el Servicio Mareográfico Nacional de la UNAM. Se analizan estadísticamente los datos con la finalidad de validarlos y en base a los niveles de mareas obtener un cálculo inicial de la potencia eléctrica generada mediante un embalse hipotético en la costa de Coatzacoalcos. El embalse se presenta con dos configuraciones distintas para tener un mejor prospecto de generación de energía y así determinar la posibilidad de implementar un sistema de generación que aproveche este recurso natural, el primer embalse se diseñó con un área de 1000 m² y el segundo con 2000 m² generando una potencia eléctrica de 89 kW y 183 kW, respectivamente.

Energías renovables, mareomotriz, Golfo de México, potencia eléctrica generada

Abstract

Now, the electric generation through renewable energy sources has an objective, decreased the harmful effects of fossil fuels. In the planet some people has studied and focused in a huge source: the sea. Tidal are an interesting source of energy, unfortunately fewer studied in Mexico. In this work the main objective is to assess tidal power at southeast of Gulf of Mexico. This study is based in 3 years of data recording every 1 hour; the source of data is the Servicio Mareografico Nacional through UNAM. Statistically analysed with the objective of determine the power output generated design an hypothetic dam at the coast. This dam is presented in two versions to identify the best configuration; the first one is designed of 1000 m² and the second one of 2000 m², generating 89 kW and 183 kW respectively.

Renewable energy, tidal, Gulf of Mexico, power generation

Citación: HERNÁNDEZ-ESCOBEDO, Quetzalcoatl, CRUZ-REYNA, Othoniel, CATELLANOS-MESSA, Luis y RUEDA-MARTÍNEZ, Fernando. Potencial mareomotriz como fuente de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México. Revista de Energía Química y Física 2016, 3-7: 54-64.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: qhernandez@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

En el mundo existen adelantos en el desarrollo de las energías renovables para contrarrestar el uso y dependencia de los combustibles fósiles. En especial en la energía eólica (Huckerb, 2011), solar (De Richter, et al. 2013), geotérmica (Fridleifsson, 2001), biomasa (Gurunga, et al. 2012) e hidráulica (Liu, et al. 2013). Sobre la energía de las mareas se han hecho esfuerzos en las universidades y en la industria de la generación de energía para evaluarla. La energía mareomotriz tiene el potencial de desempeñar un papel valioso en un futuro de energía sostenible. Es una fuente de energía muy predecible, que sólo depende de la fuerza gravitacional de la luna y el sol y las fuerzas centrífugas creadas por la rotación del sistema Tierra-Luna (Liu, et al. 2013).

Para almacenar la energía de las mareas se necesita construir una presa en un lugar donde existan mareas altas (Stopaa, et al. 2013) y para la extracción de la energía se utilizan sistemas similares a los utilizados para transformar la energía eólica en energía eléctrica (Zhou, et al, 2013), un gran arreglo de turbinas y un fuerte flujo de agua a lo largo de una barrera pueden hacer significantes contribuciones para satisfacer la demanda de electricidad mediante la energía renovable de las mareas (Xia, et al. 2010).

En el diseño de barreras para el almacenamiento de agua se pueden causar impactos ecológicos significativos especialmente en las zonas de alimentación de aves cuando se construyen en los estuarios o bahías costeras (Bryden, et al. 2007), aun así se considera que con los avances tecnológicos en ingeniería y el aumento del costo de la energía tradicional podría significar que los recursos energéticos marinos serán económicos en los próximos años.

Se ha demostrado que la altura deseable de las mareas para la generación de energía debe ser mayor que 4m (Rajagopalan y Nihous, 2013). Un proyecto exitoso es el de la planta La Rance en Francia (Andre, 1978; Frau, 1993; Charlier, 2007) que genera 240MW de electricidad, también se han realizado estudios como el de la barrera en el estuario del río Severn en el Reino Unido el cual podría alcanzar una producción de energía anual de 15.6 TWh (Crothers, et al. 1994; Sathiamoorthy y Probert, 1994; UK Department of Trade and Industry, 2002; Kerr, 2007) y en Indonesia donde se pronostica una generación de energía eléctrica en el estrecho Alas de 330 GWh (Blunden, 2013).

La energía cinética es aprovechada por convertidores de energía de corriente marina, se han hecho diferentes modelos para evaluar su eficiencia, diseño y su viabilidad económica. La extracción de energía con turbinas marinas puede ser una manera respetuosa del medio ambiente para generar energía eléctrica renovable sin emisiones de gases de efecto invernadero.

El impacto ambiental en muchos casos se presume pequeño. Es probable que este dependa de las condiciones específicas del sitio, así como en la tecnología elegida. El problema que existe con respecto a la mayoría de las energías renovables es su intermitencia y poca fiabilidad, lo cual afecta a la generación de energía y a su viabilidad económica, lo que hace a la energía mareomotriz una energía constante y la cual podría proporcionar una carga base. Tal sistema requiere una costa donde la fase de marea varía con la localización geográfica.

Materiales y métodos

Fuente de datos

Se analizaron lecturas de los niveles de las mareas durante diversos años en diferentes puntos de la costa del estado de Veracruz, México, dichas estaciones de medición se encuentran ubicadas en los puertos de Tuxpan, Alvarado, Veracruz y Coatzacoalcos, su ubicación específica se muestra en la Tabla 1. Tales unidades de medición (mareógrafos) son instaladas, operadas y monitoreadas por el Servicio Mareográfico Nacional (SMN) del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (SMN, 2013), instituto que recopila datos de mareas a lo largo de las costas de México para su almacenamiento y análisis diverso.

Puerto	Clave	Latitud	Longitud
Alvarado	400A- Alvarado, México	18° 46.1 N	95° 45.3 W
Coatzacoalcos	405A - Coatzacoalcos, México	18° 8.6' N	94° 24.7' W
Tuxpan	404A - Tuxpan, México	20° 58.1 N	97° 18.7 W
Veracruz	250A - Veracruz, México	19° 11.5 N	96° 7.4 W

Tabla 1 Posición geográfica de los puntos analizados

La estación 405A presenta datos de lecturas reales desde el año 1970 hasta el año 1986, sólo se analizan los 3 últimos años ya que son los que están completos, con la posibilidad de generar predicciones para años fuera de éste periodo en diversos intervalos de tiempo, acorde a las necesidades de análisis. La Fig. 1 esquematiza la ubicación geográfica de las 4 estaciones presentes en el estado de Veracruz.



Figura 1 Visualización de las estaciones analizadas en Veracruz

Análisis de datos

Fue necesario organizar la información de alturas de mareas, dadas en milímetros (mm), en intervalos de tiempo que dieran un panorama general del comportamiento de las mismas, sin restar importancia al análisis puntual de los datos que brindan la base necesaria para el modelado y estimación de resultados.

Es por esto que dentro de las diversas variantes en periodos de muestreo, se optó por visualizar las lecturas de los niveles de mareas en periodos de una hora durante las 24 horas los 365 días del año para los 16 años analizados presentes en la estación mencionada, sin embargo aquí solo se analizarán los años de 1983, 1984 y 1986.

Los datos se organizaron mediante Microsoft Office Excel. De los datos tabulados, se obtuvieron los promedios de lecturas por hora durante todos los días de cada mes, el promedio durante las primeras y últimas doce horas del día, así como las desviaciones estándar, para permitirnos validar la fiabilidad de los datos presentados, y los valores máximos, que servirán de referencia para el cálculo de potencia, y mínimos de marea.

Análisis inicial y métodos estadísticos.

Los datos se analizarán mediante el estudio de regresión lineal, coeficiente de determinación (R^2) y de correlación (ρ).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

La regresión lineal o ajuste lineal es un método matemático (ecuación 1) que modela la relación entre una variable dependiente Y , las variables independientes x_i , β_0 y β_1 son constantes desconocidas (parámetros del modelo de regresión) y un término aleatorio ε_i que es la perturbación aleatoria que recoge todos aquellos factores de la realidad no controlables u observables y que por tanto se asocian con el azar.

El coeficiente de determinación (R^2) es un valor que, dentro de un contexto estadístico, predice resultados futuros dentro de un grupo de datos, o valida una hipótesis de esos mismos datos. El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por la ecuación 2.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

Donde $(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ es la variación de los valores estimados de Y alrededor de su media, que se denomina suma de cuadrados debido a su regresión, y $(Y_i - \bar{Y})^2$ representa la variación total de los valores reales de Y respecto de su media muestral.

En estadística, el coeficiente de correlación (ρ) es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas.

De manera menos formal, podemos definir ρ como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas. Cuando ρ es positiva (o directa) los valores más altos en una variable tienden a coincidir con los más altos de la otra variable, y cuando es negativa (o inversa) los valores más altos en una variable tienden a coincidir con los más bajos de la otra variable.

Determinación de la potencia teórica.

La energía potencial de un sistema de las mareas en cada ciclo de marea (un flujo y una inundación) se puede simplificar y estimado por la ecuación 3.

$$E = \eta * \rho * g * h * q \quad (3)$$

Donde E es la energía potencial del sistema de mareas en cada ciclo de marea (J/ciclo), η es la eficiencia del sistema (hidro turbina), ρ es la densidad del agua de mar (kg/m^3), g es la aceleración de la gravedad (m/s^2), h es la diferencia entre el nivel medio del agua en la cuenca y del mar (m), y q es el caudal de agua de mar que fluye a través de la turbina en cada ciclo (m^3).

Con el fin de estimar E , primero, se puede asumir que la eficiencia del sistema es 100%, lo que significa el resultado de este cálculo es la máxima potencia disponible y la potencia potencial explotable no real.

El caudal de agua de mar que fluye a través de la turbina en cada ciclo de flujo y reflujo en el caso sencillo cuando el área de la cuenca es uniforme durante las mareas altas y bajas se puede calcular utilizando la ecuación 4.

$$q = A * H \quad (4)$$

Donde A es el área de la cuenca del bombardeo (m^2) y H es la amplitud de la marea máxima (m). Y, por último, la amplitud de la marea media es igual a la mitad de la distancia máxima de las mareas, $h = H/2$. Esto es debido al hecho de que a medida que el flujo pasa a través de la turbina, la diferencia entre el agua en la cuenca y al nivel del mar se reduce.

Es con la ecuación 3 que se obtuvieron los índices de potencia mostrados en la Tabla 3, valores que representan el potencial de generación contemplando solo el embalse y la diferencia de alturas, en un próximo estudio se pretende estimar una potencia más exacta, considerando un arreglo de varias turbinas de bulbo de doble flujo que permitan incrementar la generación de energía en éste estudio (Xia, et al. 2010).

Aprovechamiento de las mareas.

La energía mareomotriz es una de las energías más disponibles de los mares. A diferencia de la mayoría de las otras energías renovables, que directa o indirectamente se derivan de la energía solar, esta energía es creada por las fuerzas gravitacionales de la Luna y el Sol en las aguas de la Tierra y la rotación de la Tierra. Una de las ventajas que ofrece la energía de las mareas sobre la energía solar y eólica es su previsibilidad. Se estima que hay alrededor de 100 GW de energía de las mareas en los organismos mundiales de agua, de las cuales sólo una fracción es explotable, ya que se produce en los golfos y estuarios (Pelc y Fujita, 2002).

Para aprovechar la energía de las mareas apropiadamente, se han estudiado diversas configuraciones de sistemas, bien sea por medio de represas similares a los sistemas hidroeléctricos ampliamente conocidos.

Otro método es colocar turbinas de corriente, similares a los generadores eólicos, en puntos estratégicos de una cuenta donde se amplifican las velocidades de las corrientes, originadas por el movimiento de la masa de agua por las mareas, debido a las características geográficas de esos sitios; y un sistema más, embalses mar adentro, aislados, llamados Tidal Lagoons (Peater, 2014) que son, esencialmente, piscinas de un par de km^2 de área a unos cientos de metros de la costa donde se establecen las instalaciones eléctricas para almacenamiento, transformación y transporte de la energía producida.

Embalse tipo.

Como punto de partida para obtención de valores de potencia preliminares (Tabla 3), se propuso un embalse tipo tomando como referencia proyectos previos en investigación y/o desarrollo. De todos éstos métodos de explotación de las mareas, en este caso en particular se seleccionaron las denominadas Tidal Lagoons ya que representan el formato más viable para su instalación en la costa de Coatzacoalcos, Veracruz ya que son los embalses más sencillos de construir. Es por esto que los posteriores cálculos se realizaron en base a dos embalses hipotéticos de 1000 y 2000 m^2 de área de laguna, ambos a una distancia de 180 m de la línea costera. Embalse con un diseño geométrico cuadrangular con paredes de roca y concreto, para una mayor facilidad de construcción con una altura por encima del nivel del mar de 3 m para dar margen al llenado por marea viva, con los niveles de marea contemplados en el estudio, y dejando un margen de aproximadamente 1.5 m para variaciones de las mareas por su propio comportamiento, o bien por condiciones meteorológicas como lluvia y vientos que puedan afectar la integridad del volumen de agua contenido en la laguna.

La Fig. (2) representa ambos embalses hipotéticos junto con la ubicación geográfica de los mismos, punto inicial de éste estudio, solo presentando el área de interés, más no un esquema final de proyecto que incluya la ingeniería propia de construcción y generación de energía.



Figura 2 Embalses propuestos

Resultados

Validación de modelo matemático inicial. Como primer resultado tenemos la aproximación del modelo matemático mediante Excel el cual, por presentar una parte de los resultados, se muestra en la Tabla 2 que indica los valores de los coeficientes de correlación y determinación que indican en nivel de fiabilidad del modelo matemático inicial para el comportamiento de mareas en Coatzacoalcos.

	1983		1986	
	R	R ²	R	R ²
ENE-FEB	0.883	0.779	0.949	0.901
FEB-MAR	0.723	0.522	0.632	0.4
MAR-ABR	0.645	0.416	0.805	0.649
ABR-MAY	0.917	0.84	0.878	0.772
MAY-JUN	0.957	0.917	0.908	0.825
JUN-JUL	0.963	0.928	0.958	0.918
JUL-AGO	0.895	0.801	0.956	0.914
AGO-SEP	0.764	0.584	0.684	0.468
SEP-OCT	0.715	0.511	0.71	0.505

Tabla 2 Coeficiente de correlación y de determinación

La información presentada en la Tabla 2 refuerza en su mayoría la hipótesis generada del estudio de R², al contar con valores de ρ desde 0.632 hasta 0.958, se puede concluir que el modelo, y la relación que presentan las mareas a las mismas horas de un mes respecto a las del mes sucesor es alta, esto es, la relación de los niveles de marea a lo largo del año son altos y constantes. Si bien, los valores de correlación representan un amplio rango, el aspecto generalizado de los valores asemeja la tendencia de los demás años. De lo que se concluye que tal y como se supone, las mareas son fenómenos predecibles y repetitivos en ciclos establecidos, lo cual avala el potencial de ésta fuente como generador de energía alternativa, al presentar una correlación alta se corrobora una estabilidad en los niveles de marea que podrían aprovecharse.

Se utilizaron aproximaciones de Fourier que generaron valores para los niveles de mareas muy cercanos a los obtenidos del SMN, sin embargo, las medias empleadas para el cálculo de potencia fueron las obtenidas por Fourier ya que representan una tendencia más suave y estable que considera todas las posibles variaciones de alturas a lo largo del periodo de muestreo.

En la Tabla 3 se muestran los coeficientes de determinación de los ajustes de Fourier finales, los cuales indican la confiabilidad de los modelos obtenidos, las ecuaciones no son mostradas por guardar sencillez en la presentación de la información.

Año	Mes	SSE	RMSE	R2
1983	Enero	9378	25	0.9646
	Febrero	6890	26.25	0.9323
	Marzo	12420	30.91	0.8974
	Abril	3080	16.02	0.9127
	Mayo	2980	15.14	0.9099
	Junio	2069	13.13	0.9676
	Julio	2937	15.03	0.9812
	Agosto	4961	19.53	0.9631
	Septiembre	10070	26.82	0.9784
	Octubre	15500	34.54	0.8623
	Noviembre	5233	20.88	0.9798
	Diciembre	8818	26.04	0.9716
1984	Enero	7768	24.45	0.9662
	Febrero	2836	16.06	0.9843
	Marzo	7500	24.02	0.8494
	Abril	1472	9.591	0.9836
	Mayo	4993	17.14	0.9824
	Junio	4923	17.54	0.9868
	Julio	2905	13.07	0.9975
	Agosto	2389	11.86	0.9703
	Septiembre	5096	20.61	0.7924
	Octubre	10290	24.61	0.9845
	Noviembre	6734	21.93	0.9701
	Diciembre	9391	26.88	0.9578
1986	Enero	4297	18.18	0.9736
	Febrero	7358	27.13	0.9375
	Marzo	12760	31.33	0.872
	Abril	5434	19.7	0.9125
	Mayo	4120	17.8	0.9593
	Junio	1925	12.67	0.9905
	Julio	3414	15.09	0.8521
	Agosto	5832	21.18	0.9421
	Septiembre	3331	16.66	0.9533
	Octubre	8326	25.31	0.9603
	Noviembre	10110	29.03	0.9672
	Diciembre	11490	29.73	0.8267

Tabla 3 Estadísticas generales

Alturas medias.

Para calcular un estimado de potencia, es necesario determinar las alturas medias que se tomarán como base para dichos cálculos.

Las alturas seleccionadas no son la diferencia de los máximos y mínimos, sino el promedio de alturas arrojado por la aproximación de Fourier, que en nuestro caso representa el nivel de altura que alcanza la marea, alrededor de 0.4 m, considerando un punto cero de referencia establecido por el mareógrafo. Se considerará así en función de que al tomar la media de las lecturas se consideran todas las variaciones, alturas máximas y mínimas de todo el mes, es decir la variación total de alturas y no el valor puntual de una sola lectura para los mismos periodos que indica un valor mínimo de altura, el cual no es representativo para el cálculo de potencia.

Es decir, para Marzo de 1983, las alturas máximas y mínimas son de 2.316 y 1.859 m, respectivamente, lo que da una diferencia de altura de tan solo 0.4 m, mientras que al considerar la media para éste mismo mes, tenemos una altura de 1.908 m, altura que representa la variación general de alturas durante el mes, es decir, todas las diferencias para cada día.

Los gráficos (1, 2 y 3) representan las alturas medias obtenidas posterior al ajuste por medio de Fourier del comportamiento de mareas para cada año, dichas alturas son las consideradas en el cálculo de potencia, todas para los mismos meses en los 3 años, donde se nota aprecia el comportamiento homogenizado que estima el análisis de Fourier.

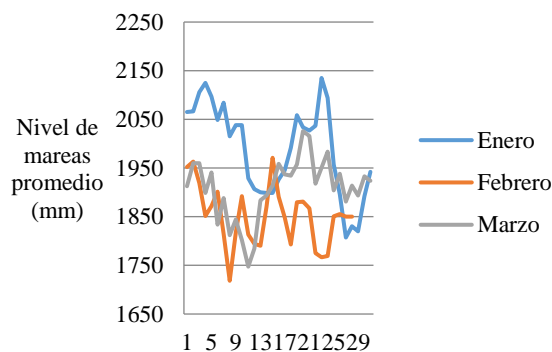


Gráfico 1 Alturas promedio de los meses de enero, febrero y marzo de 1983

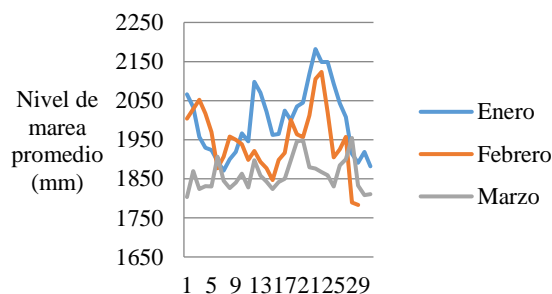


Gráfico 2 Alturas promedio de los meses de enero, febrero y marzo de 1984

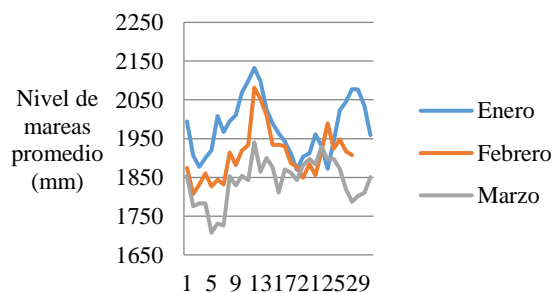


Gráfico 3 Alturas promedio de los meses de enero, febrero y marzo de 1986

En los gráficos 4, 5 y 6 se muestra el comportamiento y alturas de las mareas para los 3 años estudiados; organizados por cuatrimestres para una mejor interpretación, en las gráficas se observa el comportamiento de los datos crudos, identificados de color azul, (base de datos SMN) comparado con el comportamiento de la aproximación de Fourier; en color verde, éstos últimos representan la base del cálculo de potencia teórica aquí presentado.

Es necesario recalcar que es en este punto donde se puede observar la similitud y el suavizado de los datos originales a los tratados matemáticamente, comparación que respalda visualmente lo dicho previamente al respecto del modelado de matemático.

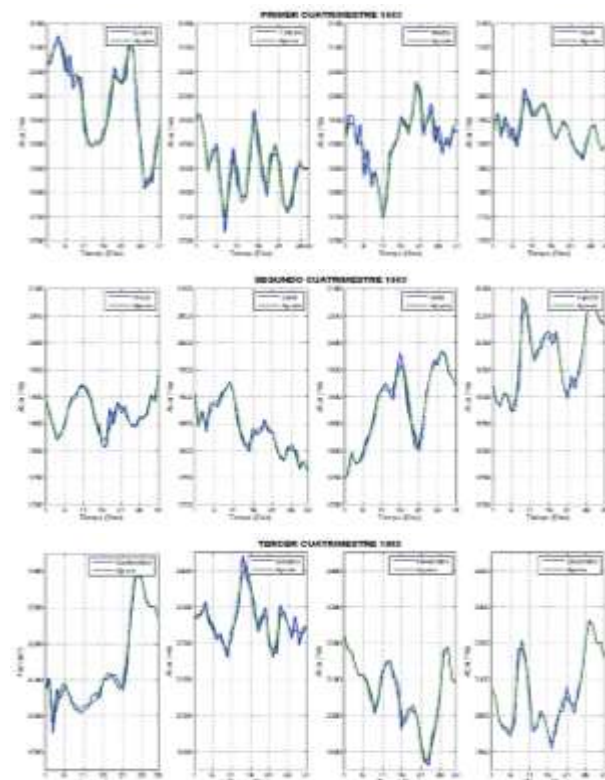


Gráfico 4 Comparación de niveles de mareas reales y modeladas para 1983

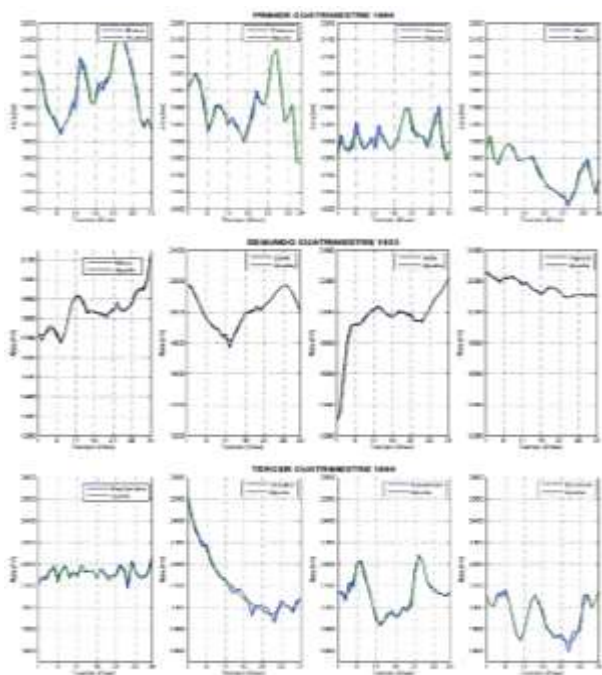


Gráfico 5 Comparación de niveles de mareas reales y modeladas para 1984

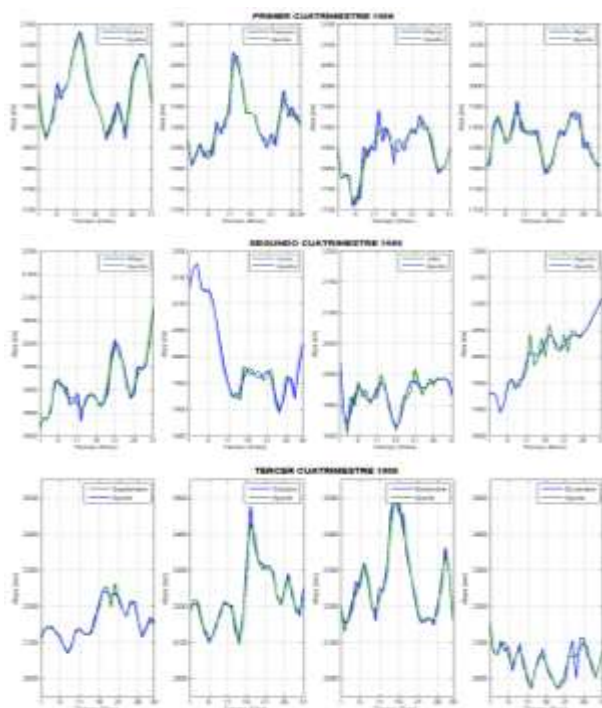


Gráfico 6 Comparación de niveles de mareas reales y modeladas para 1986

Potencia generada.

Año	Mes Analizado	Área del embalse	Altura media (m)	Potencia media generada (W)	Potencia media anual (kW)
1983	Enero	1000	1.987	248.243	89.976
	Febrero	1000	1.851	215.255	
	Marzo	1000	1.908	228.746	
	Abril	1000	1.932	234.57	
	Mayo	1000	1.871	219.99	
	Junio	1000	1.84	212.824	
	Julio	1000	1.881	222.272	
	Agosto	1000	1.976	245.367	
	Septiembre	1000	2.134	286.309	
	Octubre	1000	2.26	320.861	
	Noviembre	1000	2.065	267.936	
	Diciembre	1000	2.062	267.154	
1984	Enero	1000	1.999	251.189	90.179
	Febrero	1000	1.948	238.505	
	Marzo	1000	1.864	218.344	
	Abril	1000	1.764	195.461	
	Mayo	1000	1.825	209.275	
	Junio	1000	2.014	254.992	
	Julio	1000	1.926	233.025	
	Agosto	1000	2.163	294.071	
	Septiembre	1000	2.156	292.054	
	Octubre	1000	2.115	281.146	
	Noviembre	1000	2.063	267.405	
	Diciembre	1000	1.957	240.63	
1986	Enero	2000	1.961	483.427	183.858
	Febrero	2000	1.908	457.608	
	Marzo	2000	1.84	425.405	
	Abril	2000	1.871	440.068	
	Mayo	2000	1.908	457.735	
	Junio	2000	2.002	503.816	
	Julio	2000	1.905	455.929	
	Agosto	2000	1.938	472.042	
	Septiembre	2000	2.157	585.036	
	Octubre	2000	2.224	621.734	
	Noviembre	2000	2.259	641.656	
	Diciembre	2000	2.049	527.654	
	Enero	2000	1.961	483.427	

Tabla 4 Comparación de la potencia calculada con diversas áreas de embalses

Conclusiones

Como objetivo principal de este trabajo se estimó una potencia eléctrica generada de hasta 360 kW por los tres años analizados en la costa de Coatzacoalcos, equivalente a 9.12 MWh, lo que representa 1.5 toneladas de CO₂ no emitidas a la atmósfera producido por la quema de combustibles fósiles como el carbón.

Los niveles de generación de energía calculados en éste trabajo comparados con los estudios mencionados, presenta un índice de generación de sólo 0.15 % comparado con la energía generada en La Rance (Andre, 1978; Frau, 1993; Charlier, 2007), un 0.00006 % respecto al río Severn (Crothers, et al. 1994; Sathiamoorthy y Probert, 1994; UK Department of Trade and Industry, 2002; Kerr, 2007) y un 0.003% de la energía generada en el estrecho de Alas (Blunden, 2013), considerando éstos proyectos como ejemplos de rangos de energía aprovechables económicamente viables, vemos que el costo de explotar las mareas en la costa de Coatzacoalcos sería mucho mayor al ahorro en consumo de energía eléctrica que podría obtenerse ya que los niveles de marea no permiten un gran potencial de generación, sin embargo estos resultados, si bien no representan un panorama ventajoso, cumplen con la finalidad del estudio presentado en este escrito, el cual tenía como objetivo principal determinar la cantidad de energía generada y sentar un precedente tangible de la viabilidad o imposibilidad de usar las mareas en Coatzacoalcos como una fuente de energía alterna.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido desarrollado al amparo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) en conjunto con la Universidad Veracruzana y su programa PROMEP que involucra a académicos y estudiantes involucrándolos en investigación para la “Determinación del potencial mareomotriz como fuente alternativa de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México”. Así como al soporte del SMN de la UNAM al brindar los datos necesarios para el presente estudio.

Referencias

- Andre, H. (1978). Ten years of experience at the La Rance tidal power plant. *Ocean Management*, Vol (4), p. 165-178.
- Blunden, L.S, Bahaj, A.S, Aziz, N.S. (2013). Tidal current power for Indonesia? An initial resource estimation for the Alas Strait”. *Renewable Energy*. Vol. (49), p.137-142.
- Bryden, I.G., Couch, S.J. & Owen, A., et al. (2007). Tidal current resources assessment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A: Journal of Power and Energy*, Vol. (221), p. 125- 135.
- Charlier, RH. (2007). Forty candles for the Rance River TPP tides provide renewable and sustainable power generation. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. (11), p. 2032–2057.
- Crothers, JH, Little, C, Mettam, C. (1994). Evolution and change in the Bristol Channel and Severn Estuary: introduction to the proceedings. *Biological Journal of the Linnean Society*, Vol. (51), p. 1–3.
- De Richter, R., Ming, T. & CaillolS. (2013). Fighting global warming by photocatalytic reduction of CO₂ using giant photocatalytic reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. (19), p. 82- 102.
- Frau, JP. (1993). Tidal energy: promising projects. La Rance, a successful industrial scale experiment. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol (3), p. 552–558.

- Fridleifsson, B. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. (5), p. 299-312.
- Gurunga, A., Van-Ginkel, S. & Woo-Chang K, et al. (2012). Evaluation of marine biomass as a source of methane in batch tests: A lab-scale study. *Energy*, Vol. (43), p. 396-401.
- Huckerb, J. (2011). *Marine Energy: Resources, Technologies, Research and Policies. Operational Oceanography in the 21st Century*, Vol. (20), p. 695.
- Kerr, D. (2007). Marine energy. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol. (1853), p. 971-992.
- Liu, J., Zuo, J. & Sun, Z., et al. (2013). Sustainability in hydropower development-A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. (19), p. 230-237.
- Peater, U. Tidal Electric Inc. <http://www.tidalelectric.com/#the-project-alaska> [Consultado 10.02.14]
- Pelc, R. & Fujita, R.M. (2002). Renewable energy from the ocean. *Marine Policy*, Vol. (26), p. 471-9.
- Rajagopalan, K., Nihous, G. (2013). Estimates of global Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) resources using an ocean general circulation model. *Renewable Energy*, Vol. (50), p. 532-540.
- Sathiamoorthy, M, Probert SD. (1994). The integrated Severn barrage complex: harnessing tidal, wave and wind power. *Applied Energy*, Vol. (49), p. 17-46.
- Servicio Mareográfico Nacional. Mexico. <http://www.mareografico.unam.mx:8080/Mareografico/>. (Consultado 18.09.13)
- Stopaa, J., Filipot, J.F. & Li, N., et al. (2013). Wave energy resources along the Hawaiian Island chain. *Renewable Energy*, Vol. (55), p. 305- 321.
- The Severn Barrage—definition study for a new appraisal of the project. (2002). UK Department of Trade and Industry. ETSU report no. T/09/00212/00/REP.
- Xia, J.J., Falconer, R.A., Lin, B. (2010). Impact of different renewable energy projects in tidal hydrodynamic processes in the Severn Estuary, UK. *Océano Modeling*, Vol. (32), p. 86-104.
- Xia, J.Q, Falconer, R.A. & Lin, B.L. (2010). Impact of different tidal power projects on the hydrodynamic processes in the Severn Estuary. *Ocean Modelling*, Vol. (32), p. 86-104.
- Zhou, Z., Benbouzid, M. & Charpentier, J., et al. (2013). A review of energy storage technologies for marine current energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. (18), p. 390-400.

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)

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

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

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.

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]

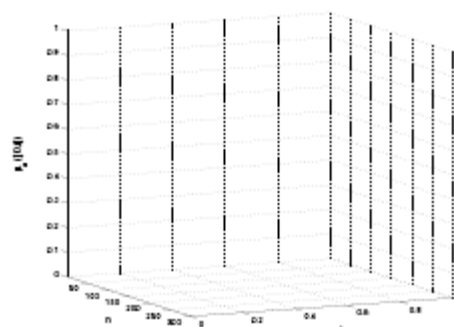


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

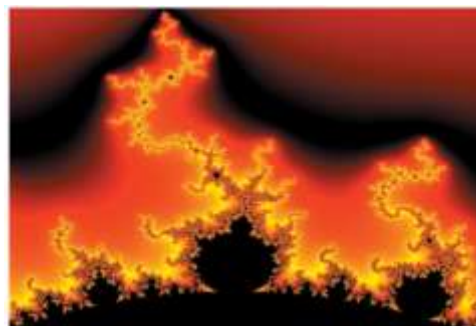


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

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

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 a ____ de ____ del 20____

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

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20____

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

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

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Energía Química y Física

“Análisis del corto circuito en instalaciones eléctricas industriales trifásicas mediante la Normativa IEC-NOM”

MOSQUEDA-VALADEZ, Armando, JURADO-PÉREZ, Fernando y LOZANO-LUNA A.

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

“Balance energético de la biomasa agrícola con procesos y tecnologías de vanguardia”

ORTIZ-LAUREL, Hipólito, RÖSSEL-KIPPING, Dietmar, DURAN-GARCIA, Héctor Martín' y GONZÁLEZ-MUÑOZ, Liliana

Colegio de Postgraduados. LPI-3 Energía Alterna y Biomateriales

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

“Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible”

GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y CARRILLO-LOERA, Miguel Ángel

Universidad Politécnica de Altamira

“Efecto del agente de transferencia de cadena, en los procesos de síntesis de emulsión y microemulsión de poli (metacrilato de butilo)”

NÚÑEZ-PÉREZ, F. A. † & MENDIOLA, J. A.

Universidad Politécnica de Lázaro Cárdenas Michoacán

“Evaluación de la operación sub-óptima de estado estacionario de sistemas de potencia con cargas dependientes de voltaje”

GARCÍA-GUZMÁN, José Miguel, ACEVEDO-ARANDA, Rogelio, ORTEGA-HERRERA, Francisco Javier y GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio

“Modelo estructural propuesto para el catalizador ZrO_2-SO_4-BaO ”

LUGO-DEL ANGEL, Fabiola, SILVA-RODRIGO, Rebeca, ESPINOSA-SOSA, Enrique, PULIDO-BARRAGAN, Eder

Universidad Politécnica de Altamira

“Potencial mareomotriz como fuente de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México”

HERNÁNDEZ-ESCOBEDO, Quetzalcoatl, CRUZ-REYNA, Othoniel, CATELLANOS-MESSA, Luis y RUEDA-MARTÍNEZ, Fernando

