

Volumen 4, Número 10 — Enero - Marzo - 2017

ISSN 2410-3454

Revista de
Aplicaciones de la
Ingeniería

ECORFAN®



ECORFAN-Bolivia

Indización

Google Scholar

Research Gate

REDIB

Mendeley

RENIECYT

ECORFAN-Bolivia

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Regional

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC

Director de la Revista

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD

Edición de Logística

REYES-VILLO, Angélica. BsC

Diseñador de Edición

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, Volumen 4, Número 10, de Enero a Marzo -2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD, Co-Editor: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. ISSN-En línea: 2410-3454 Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 31 de Marzo 2017.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Servicio Nacional de Propiedad Intelectual.

Consejo Editorial

GALICIA-PALACIOS Alexander. PhD
Instituto Politécnico Nacional- México

NAVARRO-FRÓMETA Enrique. PhD
Instituto Azerbaidzhan de Petróleo y Química Azizbekov-Rusia

BARDEY, David. PhD
University of Besançon-Francia

IBARRA-ZAVALA, Darío. PhD
New School for Social Research-U.S.

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

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

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

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

ROCHA-RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory-U.S.

RUIZ-AGUILAR, Graciela. PhD
University of Iowa-U.S.

TUTOR-SÁNCHEZ, Joaquín. PhD
Universidad de la Habana-Cuba

VERDEGAY-GALDEANO, José. PhD
Universidad de Granada-España

SOLIS-SOTO, María. PhD
Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca-Bolivia

GOMEZ-MONGE, Rodrigo. PhD
Universidad de Santiago de Compostela-España

ORDÓÑEZ-GUTIÉRREZ, Sergio. PhD
Université Paris Diderot-Pari- Francia

ARAUJO-BURGOS, Tania. PhD
Universita Degli Studi Di Napoli Federico II-Italia

SORIA-FREIRE, Vladimir. PhD
Universidad de Guayaquil-Ecuador

FRANZONI-VELAZQUEZ, Ana. PhD
Instituto Tecnológico Autónomo de México-México

OROZCO-GUILLÉN, Eber. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica-México

QUIROZ-MUÑOZ, Enriqueta. PhD
El Colegio de México-México

SALAMANCA-COTS, María. PhD
Universidad Anáhuac-México

Consejo Arbitral

MTT, PhD

Universidad de Granada-España

AH, PhD

Simon Fraser University-Canadá

AG, PhD

Economic Research Institute – UNAM-México.

MKJC MSc

Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca-Bolivia

MRCY, PhD

Universidad de Guadalajara-México

MEC, PhD

Universidad Anáhuac-México

AAB, PhD

Universidad Autónoma de Sinaloa-México

EDC, MSc

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-México

JRB, PhD

Universidad Panamericana-México

AGB, PhD

Instituto de Biotecnología UNAM-México

ACR, PhD

Universidad Nacional Autónoma de México- México

ETT, PhD

CICATA-Instituto Politécnico Nacional-México

FVP, PhD

GHC, PhD

JTG, PhD

MMG, PhD

Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Economía-México

FNU, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana-México

GLP, PhD
Centro Universitario de Tijuana-México

GVO, PhD
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo- México

IAA, MsC
Universidad de Guanajuato-México.

IGG, MsC
Centro Panamericano de Estudios Superiores-México

TCD, PhD
Universidad Autónoma de Tlaxcala-México

JCCH, MsC
Universidad Politécnica de Pénjamo-México

JPM, PhD
Universidad de Guadalajara-México

JGR, PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla-México

JML, PhD
El Colegio de Tlaxcala-México

JSC, PhD
Universidad Juárez del Estado de Durango-México

LCL Ureta, PhD
Universidad de Guadalajara-México

MVT, PhD
Instituto Politécnico Nacional-México

MLC, PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada-México

MSN, PhD
Escuela Normal de Sinaloa-México

MACR, PhD
Universidad de Occidente-México

MAN, MsC
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato-México

MTC, PhD

Instituto Politécnico Nacional –UPIICSA-México

MZL, MsC

Universidad del Valle de México-México

MEC, PhD

Universidad Autónoma de San Luis Potosí-México

NGD, PhD

UDLA Puebla-México

NAL, MsC

Universidad Politécnica del Centro- México

OSA, PhD

Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos-México

OGG, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana-México

PVS, PhD

Universidad Politécnica de Tecámac-México

MJRH, PhD

Universidad Veracruzana-México

SCE, PhD

Universidad Latina-México

SMR, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana-México

VIR, PhD

Instituto Mexicano del Transporte-México

WVA, PhD

Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo-México

YCD, PhD

Centro Eleia-México

ZCN, MsC

Universidad Politécnica de Altamira-México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Aplicaciones de la Ingeniería.

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

Como primer artículo está *Aspersor eléctrico con carga de panel solar* por FLORES-SÁNCHEZ, Verónica , ROBLES-MORALES, Javier, REAL-HERNANDEZ, Francisco Javier, LEYVA-GARCIA, Eduardo y VALLEJO-HERNÁNDEZ, Arely con adscripción Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, como siguiente artículo está *Consortio de Microorganismos para cosecha de electrones* por NIVÓN-PELLÓN, Alejandra & NIVÓN-BOLÁN, Carlos Alejandro, con adscripción Universidad Autónoma de Querétaro, como siguiente artículo está *Eficiencia de las celdas solares* por LESAGE, Frédéric, SANDOVAL-VILLEGAS, Juan Carlos, TOLOSA-GARMA, Irving, QUINTAL-VÁZQUEZ, José Francisco, AGUILAR-GÓMEZ, Alfredo y FUSTER, G., con adscripción Université du Québec en Outaouais y Universidad Tecnológica de Cancún, como siguiente artículo está *Medición de condición de operación y análisis de vibraciones* por SALAS, Alejandro, con adscripción Universidad Tecnológica de Querétaro.

Contenido

Artículo	Página
Aspersor eléctrico con carga de panel solar FLORES-SÁNCHEZ, Verónica , ROBLES-MORALES, Javier, REAL-HERNANDEZ, Francisco Javier, LEYVA-GARCIA, Eduardo y VALLEJO-HERNÁNDEZ, Arely	1-6
Consortio de Microorganismos para cosecha de electrones NIVÓN-PELLÓN, Alejandra & NIVÓN-BOLÁN, Carlos Alejandro	7-18
Eficiencia de las celdas solares LESAGE, Frédéric, SANDOVAL-VILLEGAS, Juan Carlos, TOLOSA-GARMA, Irving, QUINTAL-VÁZQUEZ, José Francisco, AGUILAR-GÓMEZ, Alfredo y FUSTER, G	19-27
Medición de condición de operación y análisis de vibraciones SALAS, Alejandro	28-33
<i>Instrucciones para Autores</i>	
<i>Formato de Originalidad</i>	
<i>Formato de Autorización</i>	

Aspersor eléctrico con carga de panel solar

FLORES-SÁNCHEZ, Verónica *†, ROBLES-MORALES, Javier, REAL-HERNANDEZ, Francisco Javier, LEYVA-GARCIA, Eduardo y VALLEJO-HERNÁNDEZ, Arely

Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Recibido Enero 28, 2017; Aceptado Febrero 04, 2017

Resumen

El café se originó en el este de África y se introdujo en México en 1796 en la región de Córdoba, Veracruz. Actualmente su cultivo se ha extendido a toda la República, siendo 12 los principales estados productores (Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, Nayarit, San Luis Potosí, Jalisco, Colima, Tabasco y Querétaro) que denominan su producción con 1, 285, 832.10 toneladas y cuyo valor de producción es de aproximadamente \$ 6.807 millones de pesos. México ocupa el quinto lugar en el mundo como productor de café y la producción se concentra en los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca, que representan el 94% de la producción y el 85% del área. En las plantaciones de café se desarrollan enfermedades que dañan el cultivo, una de las más comunes es la roya del café producida por el hongo *Hemileia vastatrix*. Este hongo ataca las hojas de café de todas las variedades comerciales de café que pertenecen a *Coffea arabica* tales como: Typica, Bourbon, Mundo Novo, Caturra, Garnica, Maragogipe, Catuai, Pluma Hidalgo; entre otros. La roya del café hizo su aparición en el cafetalero mexicano en 1981, en el área de Soconusco Chiapas en la frontera con Guatemala. Desde entonces, la enfermedad no ha causado los daños esperados que si ocurrieran en otros países. El 80% de los productores de café en México reducen el daño causado por las plagas antes mencionadas a través de la defoliación. Sin embargo, esta técnica, si se aplica en las primeras etapas de la formación o maduración del fruto, disminuye los rendimientos de la planta. Cuando la defoliación se lleva a cabo en etapas tardías, los cultivos presentan una reducción en los niveles de amarre de la fruta. Analizando la situación en la que se encuentran las plantaciones de café en México, se desarrolla el presente proyecto que consiste en un rociador eléctrico que fumiga y nebuliza las plantaciones de café, ahorrando \$ 6148.22 al mes en combustible.

Aspersor, Café, Niebla

Abstract

The coffee originated in East Africa and was introduced to Mexico in 1796 in the region of Cordoba, Veracruz. At the moment its cultivation has spread to all the Republic, being 12 major producing states (Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, Nayarit, San Luis Potosí, Jalisco, Colima, Tabasco and Querétaro) that denominate its production with 1, 285, 832.10 tons and whose production value is approximately \$ 6.807 million pesos. Mexico ranks 5th in the world as a coffee producer and production is concentrated in the states of Chiapas, Veracruz, Puebla and Oaxaca, which account for 94% of production and 85% of the area. In coffee plantations diseases that damage the crop are developed, one of the most common is coffee rust produced by the fungus *Hemileia vastatrix*. This fungus attacks coffee leaves of all commercial coffee varieties belonging to *Coffea arabica* such as: Typica, Bourbon, Mundo Novo, Caturra, Garnica, Maragogipe, Catuai, Pluma Hidalgo; among other. Coffee rust made its appearance in the Mexican coffee grower in 1981, in the Soconusco Chiapas area on the border with Guatemala. Since then, the disease has not caused the expected damages than if they occurred in other countries. 80% of coffee producers in Mexico reduce the damage caused by the aforementioned pests through defoliation. However, this technique, if applied in the early stages of fruit formation or maturation, decreases yields of the plant. When defoliation is carried out in late stages, the cultures present a reduction in the levels of mooring of the fruit. Analyzing the situation in which the coffee plantations in Mexico are located, the present project is developed which consists of an electric sprinkler that fumigates and nebulises the coffee plantations, saving an amount of \$ 6148.22 a month in fuel.

Sprinkler, Coffee, Mist

Citación: FLORES-SÁNCHEZ, Verónica, ROBLES-MORALES, Javier, REAL-HERNANDEZ, Francisco Javier, LEYVA-GARCIA, Eduardo y VALLEJO-HERNÁNDEZ, Arely. Aspersor eléctrico con carga de panel solar. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2017. 4-10: 1-6

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: veronica.flores@utcv.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El café es originario de África oriental y se introdujo a México en 1796 en la región de Córdoba, Veracruz, actualmente el cultivo de café se ha extendido a toda la República, siendo 12 los principales estados productores (Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, Nayarit, San Luis Potosí, Jalisco, Colima, Tabasco y Querétaro) que denominan su producción con 1, 285, 832.10 toneladas y cuyo valor de producción es de aproximadamente \$6,807 millones de pesos. México ocupa el 5° lugar a nivel mundial como productor de café y la producción se concentra en los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca, que representan el 94% de la producción y el 85% de la superficie.

En los plantíos de café se desarrollan enfermedades que dañan la cosecha, una de las más comunes es la roya del cafeto producida por el hongo *Hemileia vastatrix*. Este hongo ataca a las hojas de los cafetos de todas las variedades comerciales de café pertenecientes a *Coffea arabica* tales como: *Typica*, *Bourbon*, *Mundo Novo*, *Caturra*, *Garnica*, *Maragogipe*, *Catuai*, *Pluma Hidalgo*; entre otras.

La roya del cafeto hizo su aparición en la cafecultora mexicana en 1981, en el área del Soconusco Chiapas en los límites con Guatemala. Desde ese entonces la enfermedad no ocasiona los daños esperados que si ocurrieron en otros países. El 80% de los productores de café en México reduce el daño ocasionado por las plagas antes mencionadas, por medio de defoliaciones. Sin embargo, esa técnica, si se aplica en fases tempranas de formación o maduración de los frutos, disminuye los rendimientos de la planta.

La presencia de la roya y el cambio climático en 2015 generaron pérdidas económicas de 2 mil 430 millones de pesos para Veracruz, aseveró Fernando Celis, representante de la Coordinadora Nacional de Organizaciones Cafetaleras.

En el año 2015 el estado de Veracruz generaba un millón 100 mil sacos, la producción que hubo en 2013-2014 fue de 400 mil sacos. En total alrededor de 500 mil personas se vieron afectadas por esto, se trata de 90 mil productores, todos ellos tienen familias que mantener y dependen de la producción de café que no hubo.

A pesar de que los gobiernos de Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Guerrero solicitaron a la Sagarpa que se declarara una situación de emergencia y se tomaran medidas extraordinarias para enfrentar los daños por la roya del café, la dependencia federal decidió no declarar la emergencia con el argumento de que este hongo está presente desde hace décadas.

Con el objetivo de evitar la reducción del rendimiento de la planta de café a causa de la poda que se realiza para eliminar la “Roya Cafetera” se diseñó un equipo de aspersión que por medio de nebulización combata la plaga antes mencionada.

Uno de los métodos convencionales contra la roya consiste en arrancar las malezas para que no se acumule el agua y el hongo no pueda propagarse, sin embargo es costoso, tardado y poco efectivo.

Otra de las medidas de contención sugiere retirar del suelo las hojas muertas afectadas, ya que ahí se conserva el hongo, sin embargo el hongo se queda en el ambiente y se instala en la planta de café.

Con el aspersor se logrará penetrar en cada rincón del plantío en menos tiempos a un costo bajo, de igual forma se eliminarán los efectos no deseados de los métodos actuales.

En el presente artículo se muestra el trabajo realizado por docentes y alumnos de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, dividiéndolo en tres secciones.

En la introducción se presenta el panorama general de la producción de café y el problema de la Roya, en el apartado de metodología se muestra el trabajo de diseño y validación del aspersor, en la sección de resultados se muestra el impacto del prototipo, por último se expresan las conclusiones del proyecto realizado.

Metodología a desarrollar

Las corporaciones cafetaleras establecieron viveros propios los cuales son más resistentes a la Roya, sin embargo las organizaciones independientes optan por técnicas poco eficaces como la poda de la planra de café, en ese sentido el aspersor impulsado por energía solar es la alternativa.

En la técnica que se propone se seleccionan los componentes del aspersor, el panel solar o módulo solar es el dispositivo que captará la energía de la radiación solar para su aprovechamiento, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 A a 0,5 V (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un campo de normalmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficiencia de la celda) Anguiano J. (2012).

La bomba centrífuga ó rotodinámica, transforman la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete o impulsor, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor. Son máquinas basadas en la Ecuación de Euler (Zazueta, F. R, 1992).

Gracias a su diseño son durables y confiables y son ahorradoras de energía ya que usan 60% menos electricidad que las bombas de acoplamiento directo.

Por su potencia y fácil operación y manipulación son la elección perfecta para nuestro prototipo.

El cabezal doble estándar, de largo alcance es muy ligero y comodo para mejorar su manipulación, esta fabricado de acero inoxidable de un metro de largo para aumentar la distancia y el alcance de fuigacion, facilitando alcanzar por completo las plantas de café desde su copa asta las raíz, con esto se aumenta la erradicación de la plaga debido al método de fumigación.

El sistema anterior aunmenta la capacidad de riego, la distancia, el fácil uso y manipulación de la bomba, el ahorro de energía eléctrica, no contamina el medio ambiente, contribuye de manera eficaz a la eliminación de las plagas y la roya cafetalera.

Como parte de la validación del prototipo se debe de trabajar durante una jornada de trabajo con distiton operadores y evaluar los recursos ocupados y el impacto en el plantio de café.

Resultados

Durante las pruebas de validación se empleó una maquinas aspersora de capacidad de 50 litros de líquido de riego, que ocupa un litro de gasolina con aditivo. Para regar un litro de plagicida se necesitan 70 segundos ver la tabla 1.

Muestra	Operador	Tiempo en segundos
1	A	68
2	B	71
3	A	70
4	B	69
5	A	70
6	B	70
7	A	68
8	B	70
9	A	69
10	B	70

Tabla 1 Tiempo de riego de un litro de plagicida con aspersora tradicional

Fuente Elaboración propia

Considerando una jornada de horas diarias se tiene un operador podría esparcir 411 litros, tal como se incide en la ecuación 1.

$$\frac{8 \text{ Hrs} * 60 \text{ Min} * 60 \text{ Seg}}{70 \text{ Seg}} = \frac{28800 \text{ Seg}}{70 \text{ Seg}} = 411. \quad (1)$$

A continuación se calcula la cantidad de gasolina que se necesita para trabajar una jornada de 8 horas.

$$\frac{411 \text{ Lts}}{50 \text{ Lts}} = 8.22 \text{ Lts} \quad (2)$$

De tal manera que en una jornada de 8 horas se debe gastar \$146.23 de gasolina, ver ecuación 3.

$$8.22 \text{ Lts} * 17.79 = 146.23 \quad (3)$$

Considerando el costo anterior por día, se tiene que en un mes se gasta aproximadamente \$3,509.61

Como parte del experimento se regó plagicida con la aspersora propuesta, después de 10 horas de pruebas con operadores distintos se tiene que el tiempo promedio de riego es de 40 segundos, ver tabla 2.

Día	Operador	Tiempo en segundos
1	A	38
2	B	41
3	A	40
4	B	39
5	A	40
6	B	40
7	A	38
8	B	40
9	A	39
10	B	40

Tabla 2 Tiempo de riego de un litro de plagicida con aspersora propuesta
Fuente elaboración propia

Para el análisis del costo fijo del tratamiento de la planta ocupando el aspersor de riego con panel solar se tiene que el costo de regar con un trabajador durante una jornada de 8 horas por un mes es de \$ 3509.61. Ver tabla 3.

Tipo	Aspersor Convencional	"EVO-SPRAY"
Tipo de Alimentación	Combustible	Energía Solar
Tipo de motor	Combustión interna	Eléctrico
Capacidad de Líquido	25 Lts	25Lts
Relación de tiempo de trabajo	1 Lt de gasolina por 50 de Líquido de riego	40 Seg por Lt de Líquido de riego.
Precio	\$2900.00	\$3300.00
Gasto al mes	\$3509.61	Se ahorra.

Tabla 3 Comparativo de costos del aspersor convencional VS aspersor propuesto
Fuente Elaboración propia

Con el objetivo de validar el aspersor estadísticamente se realiza un ANOVA, en donde se consideran 10 muestras de tiempo de trabajo de cada uno de los métodos de riego dando como resultado la siguiente tabla:

Muestra	Tiempo en segundos Aspersor propuesto	Tiempo en segundos Aspersor normal	Total	Suma
1	38	68		0
2	41	71		0
3	40	70		0
4	39	69		0
5	40	70		0
6	40	70		0
7	38	68		0
8	40	70		0
9	39	69		0
10	40	70		0
Suma	395	695	1090	59405
Suma ²	15602.5	48302.5	63905	

Tabla 4 Tiempos en segundos por tipo de aspersor
Fuente Elaboración propia

De desea comprobar a un nivel de confianza del 95% si ambos aspersores generan tiempos equivalentes de riego.

Se realiza el cuadrado de las observaciones y se tiene la tabla 5:

Muestra	Aspersor 1	Aspersor 2	
1	1444	4624	
2	1681	5041	
3	1600	4900	
4	1521	4761	
5	1600	4900	
6	1600	4900	
7	1444	4624	
8	1600	4900	
9	1521	4761	
10	1600	4900	
Suma de cuadrados	15611	48311	63922

Tabla 5 Suma de cuadrados

Fuente *Elaboración propia*

En la tabla 5 se muestra el cálculo de los cuadrados medios:

Cálculo de la suma de los cuadrados				
SCT	63922	menos	59405	4517
SC(Intra)	63922	menos	63905	17
SC(entre)	63905	menos	59405	4500

Tabla 6 Cuadrados medios

Fuente *Elaboración propia*

Para obtener los cuadrados medios se divide la suma de cuadrados entre los grados de libertad y se tiene que equivale a 2250, de igual forma se captura los cuadrados medios intra dividiendo la suma de cuadrados intra dando como resultado 0.94444.

De lo anterior se obtiene el estadístico F (2250/0.944) cuyo resultado supera el valor teórico de F con 2 y 18 grados de libertad, a un nivel de confianza del 95%. Por consiguiente se concluye que los dos métodos de riego generan tiempos distintos, siendo el propuesto el que más conviene.

Agradecimientos

Este estudio se realizó bajo el soporte de PRODEP y los productores de café de la zona centro del Estado de Veracruz.

Conclusión

Este prototipo es factible para la aplicación de los productos químicos a favor de la agricultura, debido a su alto índice de beneficios obtenidos en las pruebas que se realizaron, se tiene un factor de eficiencia mayor a los aspersores agrícolas ya existentes en el mercado, reduciendo los costos por no utilizar combustible y aditivos, de esta manera se elimina la contaminación en el medio ambiente, lo cual favorece en un 100% al plantío y su entorno.

Referencias

Anguiano J. (2012). Constante solar. Pag.15 - 17 Impacto de la temperatura de los módulos en la eficiencia de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Recuperado de: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI16030.pdf>

Anguiano J. (2012). Tipos de células fotovoltaicas p. 55, Impacto de la Temperatura de los Módulos en la Eficiencia de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red. Recuperado de: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI16030.pdf>

Arqueros, A. A. (1978). Costos de operación del riego por aspersión. Memoria de Título, Ing. Agron. Chillán: Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Barrientos, C. (1999). Manual de pequeñas obras de riego. Santiago: INDAP. Ministerio de Agricultura.

Blanco I. (2008). Instalación Solar Fotovoltaica Conectada a Red sobre la Azotea de una Nave Industrial. Recuperado de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6063/PFC_Israel_Blanco_Sardinero.pdf?sequence=1

Flores O. (2014). Green clinic with solar tracker. Mexico. 20 – 32 Pag.

Flores O. (2015). Reducción de la eficiencia energética del sistema fotovoltaico de la planta Aura Solar I. México. 850- 855 Pág.

Guerrero C. (2010). *Propuesta de Diseño de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red para una Casa Habitación en Xalapa*. Recuperado de: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32879/1/guerrerogutierrez.pdf>

Jara, J.; Holzapfel, E. A. (2000) Riego presurizado. Curso Formulación de Proyectos de Aspersión para la Ley n° 18.450. Temuco: Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Jutglar L. (2012) Generación de energía solar fotovoltaica. España. 210 Pág.

Moraga, G. J. (1996) Evaluación de un sistema de riego por aspersión. Proyecto de Título, Chillán: Universidad Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola. Riego y Drenaje.

Peri, G.; Hart, W. E. (1979), Norum, D. I. Optimal irrigation depths – a method of analysis. Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE, New York, v.105, n.4, p.341-355.

Prado C. (2008). *Diseño de un Sistema Eléctrico Fotovoltaico para una Comunidad Aislada*. Recuperado de <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0831t.pdf>

Sánchez M. Á. (2014). Energía Solar Fotovoltaica. México. 314 Pág.

Tarjuelo, M. J. (1999) El riego por aspersión y su tecnología. 2.ed., Madrid: Mundi-Prensa. 585p.

Walker, E. R. (1979) Explicit sprinkler irrigation uniformity: Efficiency model. Journal of Irrigation and Drainage Division, New York, v.105, n.2, p.129-136.

Zazueta, F. R. (1992) Sistemas fijos y portátiles de riego por aspersión. México: ICFA Internacional.

Consorcio de Microorganismos para cosecha de electrones

NIVÓN-PELLÓN, Alejandra†* & NIVÓN-BOLÁN, Carlos Alejandro

Universidad Autónoma de Querétaro

Recibido Enero 9, 2017; Aceptado Febrero 14, 2017

Resumen

Un alternativa a los métodos convencionales para la generación de electricidad son las llamadas celdas de combustible microbianas CCM, estas son biosistemas en donde se genera una corriente eléctrica de un modo similar a una pila química de combustible pero con un catalizador biológico. Es decir, se obtiene energía eléctrica a partir de energía química gracias al metabolismo de algunos microorganismos (Bond y Lovley 2003) que degradan materia orgánica y algunos metales como sustrato (Pant et al., 2010). En teoría todo sustrato orgánico proveniente de mantos acuíferos como lagunas, aguas residuales o residuos orgánicos puede ser usados. Mientras que las condiciones sean las adecuadas para la supervivencia de los microorganismos, la CCM tiene el potencial de producir electricidad de forma indefinida (Franks y Nevin, 2010). El presente pretende dar a conocer el fundamento teórico y los alcances de uno de los proyectos de investigación llevados a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Abstract

An alternative to conventional methods for generating electricity are the so-called CCM microbial fuel cells, these are biosystems where an electric current is generated in a way similar to a chemical fuel cell but with a biological catalyst. That is, electrical energy is obtained from chemical energy thanks to the metabolism of some microorganisms (Bond and Lovley 2003) that degrade organic matter and some metals as a substrate (Pant et al., 2010). In theory, all organic substrates from aquifers such as lagoons, wastewater or organic waste can be used. As long as conditions are adequate for the survival of microorganisms, CCM has the potential to produce electricity indefinitely (Franks and Nevin, 2010). The present aims to publicize the theoretical basis and scope of one of the research projects carried out in the Engineering Faculty of the Autonomous University of Querétaro.

Citación: NIVÓN-PELLÓN, Alejandra & NIVÓN-BOLÁN, Carlos Alejandro. Consorcio de Microorganismos para cosecha de electrones. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2017. 4-10: 7-18

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: alenivon@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La relación entre generación de electricidad y procesos metabólicos fue estudiada por primera vez en el siglo XVIII, cuando Luigi Galvani observó el efecto de la electricidad en patas de rana y estableció la primera teoría de “electricidad animal” (Ieropoulos. et al. 2005).

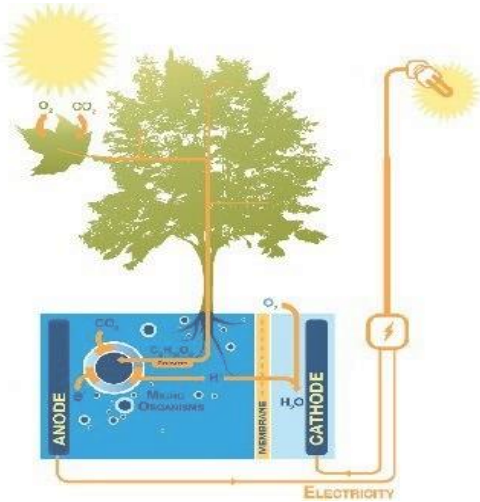


Figura 1 Representación gráfica de una Celda de Combustible Microbiana

En 1910, Potter demostró la producción de energía eléctrica en cultivos vivos tanto de *Escherichia coli* como *Saccharomyces spp*, usando electrodos de platino.

Con el descubrimiento de bacterias con capacidad de generar electricidad (microorganismos electrogénicos) nació el concepto de bioelectrogénesis, una nueva disciplina que se constituye como una fuente potencial de posibilidades en la búsqueda de nuevas alternativas a las energías convencionales (Borjas, 2012).

Hasta el momento el principal aporte de la bioelectrogénesis son las Celdas de Combustible Microbiano CCM, éstas emplean bacterias electroquímicamente activas (Cha et al., 2010) que convierten la energía química presente en un sustrato en energía eléctrica.

Esto es posible ya que algunos microorganismos transfieren los electrones producidos en su actividad metabólica, a través de biopelículas o de conductos proteicos denominados pili que sirven como nanoconductores, a un electrodo (ánodo) en lugar de a un aceptor natural de electrones como el oxígeno (Reguera et al., 2006).

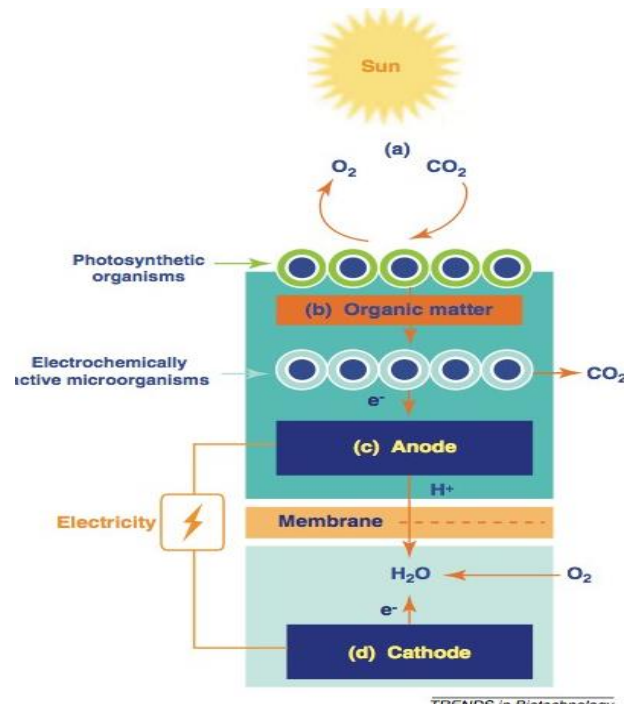


Figura 2 Modelo de una CCM, que incluye los principios básicos, a) fotosíntesis, b) transporte de materia orgánica al compartimento anódico en donde ocurre la oxidación de ésta, producción de electrones, c) reducción del oxígeno a agua en el compartimento catódico.

Fuente: Strik et al. (2011)

Un CCM está constituida básicamente por dos cámaras: una cámara anódica anaerobia y una catódica en contacto con el oxígeno. Ambas cámaras se encuentran separadas generalmente por una membrana de intercambio catiónico a través de la cual se crea un flujo de protones (del ánodo al cátodo) que, combinados con los electrones generados y con el oxígeno presente en la parte aerobia, forman agua (Strike et al. 2011), como se puede observar en la figura 2.

NIVÓN-PELLÓN, Alejandra & NIVÓN-BOLÁN, Carlos Alejandro. Consorcio de Microorganismos para cosecha de electrones. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2017

El ánodo puede ser conectado a través de una resistencia de carga (RL) o una batería al cátodo, vía un circuito eléctrico externo, a través del cual fluyen los electrones, originando una corriente (Fig. 2). Los electrones viajan del ánodo al cátodo debido a la diferencia de potencial redox que existe entre las soluciones catódica y anódica. Se ha demostrado que la transferencia directa de electrones desde las células microbianas hacia los electrodos ocurre con baja eficiencia (Park y Zekus, 2003), a menos que bacterias de algunos grupos especiales, principalmente geobacterias, sean utilizadas (Bond y Lovley, 2003). Dependiendo de las condiciones de la pila y del metabolismo del microorganismo, la diferencia de potencial que se obtiene puede oscilar normalmente entre 0.3-0.5 V según lo reportado por Franks y Nevin en 2010 utilizando sustratos orgánicos como la glucosa y el acetato en pruebas controladas en laboratorio.

Las llamadas celdas de combustible microbiana de tercera generación utilizan bacterias miembros de la familia Geobacteraceae y Shewanellaceae que presentan un tipo especial de citocromos unidos a su membrana, capaces de transferir electrones directamente a los electrodos (Ieropoulos, 2005) y (Yi.H, 2009).

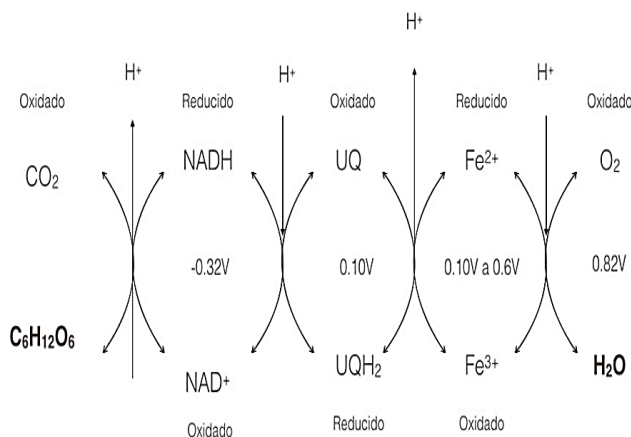


Figura 3 Reacciones acopladas en el proceso de oxidación de la glucosa

Fuente: elaboración propia, adaptado de ACS, 2005

Richter et al., 2008 han demostrado que cultivos mixtos de microorganismos fermentativos contribuyen a la generación de energía en la CCM ya que aportan subproductos que pueden ser utilizados como sustratos por otras poblaciones microbianas.

Lo anterior permite el establecimiento de interacciones sintróficas que consisten en que ciertos microorganismos hidrolizan y fermentan compuestos orgánicos complejos y otros utilizan los subproductos para la generación de corriente, estableciéndose una estructura jerárquica con microorganismos dominantes dependiendo del sustrato empleado (Kiely et al., 2011).

En base a lo anterior se recomienda, a nivel práctico, emplear cultivos mixtos como lodos anaeróbicos y otras fuentes de comunidades microbianas ya que estos generan mejores potenciales eléctricos y su manejo es más económico y menos exigente (Du et al., 2007). Según Schulz y Schoröderlas en 2003 y Sharma y Kundu en 2010 las bacterias más comunes en las mencionadas comunidades microbianas pertenecen a los géneros Shewanella, Geobacter, Proteobacter y Pseudomonas, se destacan las especies *S. putrefaciens*, *P. aeruginosa*, *G. sulfurreducens* y *G. metallireducens*.

El estudio de biocátodos capaces de usar no solamente oxígeno sino también otros contaminantes como posibles aceptores de electrones, permite la remoción de nutrientes y la biorremediación conjuntamente con la generación de electricidad (Huang et al., 2011).

Teniendo en cuenta este fenómeno, las posibles aplicaciones de una CCM se pueden dividir en dos: la producción de energía eléctrica a partir de energía química y la biorrecuperación de suelos y aguas (Borjas, 2012).

Por sus características las CCM pueden ser una tecnología utilizada en tratamiento de aguas residuales (He et al., 2013), en bioremediación de compuestos xenobioticos o metales pesados debido a que diversos microorganismos pueden reducir diferentes compuestos volviéndolos ambientalmente más amigables como es el caso del Cr(VI) y la eliminación de cloro (Huang et al., 2011) y (Lovley, 2011); en el futuro podrían ser utilizadas en lugares remotos donde haya demanda de consumos básicos de energía eléctrica. (Du et al., 2007, Pant et al., 2010),

En la actualidad grupos de investigadores trabajan para hacer mas eficiente esta tecnología, su vasta aplicación ha creado grandes expectativas en la comunidad científica ya que es posible producir energía limpia mediante la explotación de la biomasa que existe en las aguas residuales domésticas e industriales. Al utilizar la materia orgánica de las aguas residuales como combustible simultáneamente con la producción de energía, se podría conseguir depuración de las aguas contaminadas, por otro lado se ha reportado que las CCM operan eficientemente a temperatura ambiente e incluso a temperaturas invernales en países nórdicos (Strike et al, 2013) y producen cantidades ínfimamente menores de CO₂ a las reportadas por cualquier otra tecnología actual que opere con combustibles fósiles para la generación de energía (Rabaey et al., 2003).

Propuesta

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro se ha propuesto realizar estudios con respecto a las Celdas de Combustible Microbianas, como parte del proyecto FOMIX UAQ CONACyT “Diseño, construcción y puesta en marcha de un campo experimental de energías híbridas solar, eólica y bioenergéticas”.

Mismo que comenzó en el 2015 utilizando cultivos mixtos adaptados a la temperatura ambiente del estado de Querétaro, complementando con microalgas que generen suficiente materia orgánica para la alimentación de bacterias capaces de transferir electrones al ánodo.

Se propone el diseño y prototipado de una CCM de bajo costo construcción por un ánodo y un cátodo dentro de cámaras separadas por fibras inoculadas con microalgas con el fin de estabilizar la diferencia de potencia, aumentar la eficacia de la reacción de oxidación descrita para la CCM y dotar de materia orgánica a la celda que en descomposición pueda servir de sustrato para las bacterias productoras de electrones.

Las micro algas producirán oxígeno en la cama anódica como parte de su metabolismo y este actuará como aceptor final en el transporte de electrones (Strik, 2008). Este sistema de electrodos estará unido a una batería permitiendo almacenar los electrones producidos en las celdas prototipo. Con el fin de probar si la energía producida por las CCM conectadas a una batería pueda prender focos LED e iluminar el espacios por la noche.

Se considera el impacto ambiental como el principal motor para la investigación y desarrollo en biosistemas generadores de electricidad, es una oportunidad para incentivar proyectos innovadores en la generación de herramientas básicas en el uso cotidiano que desplacen a aquellas que dañan al medio ambiente o bien que tienen un impacto ambiental superior.

La aplicación de los biosistemas generadores de electricidad a la iluminación de áreas comunes, alumbrados y señalamientos en lugares públicos, permitirá el fomento y aprovechamiento de espacios verdes para la recreación.

La implementación de la tecnología de biosistemas generadores de electricidad en áreas urbanas podrá permitir el ahorro de energía eléctrica de alto impacto ambiental en señalamientos y alumbrado de caminos en áreas comunes. La tecnología desarrollada con los biosistemas generadores de electricidad puede implementarse en áreas rurales que no tiene acceso a la red de energía eléctrica, logrando beneficiar a sectores alejado o de difícil acceso.

Propuesta Metodológica

El estudio de las CCM se dividió en 5 etapas: Acercamiento a la construcción y funcionamiento de una CCM; recolección de muestras de lodos, adaptación y estandarización de las mismas; estudio del material para electrodos, forma y disposición en las medias celdas de la CCM; uso de agentes biológicos productores de oxígeno en la cámara catódica y prueba de rendimiento de la celda y por último ejercicio de crowdsourcing para la construcción de CCM en diferentes partes del mundo.

Para la primera etapa y como primer acercamiento se hizo la construcción en el laboratorio de Celdas de Combustible Microbiano (CCM) de manera que se pueda apreciar la existencia del metabolismo microbiano y la diferencia de potencial a partir de este. Se utilizaron diferentes tipos de lodo y materiales para electrodos como grafito, aluminio, cobre, plata, fierro galvanizado y sustratos agregados al lodo como miel, azúcar, mermelada, composta (MoodWhat, 2016). Se pidió a los estudiantes llenaran un envase de 200 – 250 ml de lodo especificando su procedencia y que se mezclara con alguna fuente de glucosa o fructosa o ambas como miel, mermelada etc...

Se introdujo el ánodo que anteriormente se convino en clase y se probó la diferencia de potencial que se generaba al sumergir un cátodo aéreo en la superficie humedad de la celda.

En la siguiente etapa, se recolectaron muestras de lodos de distintos mantos acuíferos ubicados en el estado de Querétaro y su adaptación a medio ambiente casa habitación.

La toma de muestra de lodos se hizo del fango cubierto totalmente de agua, generalmente a 15 o 20 cm de profundidad.

Esta toma de muestra se realizó con el correspondiente equipo de protección, tapaboca, guantes, bata de laboratorio y botas de caucho para evitar el contacto con piel y boca ya que se han tomado muestras con un olor desagradable que denota crecimiento bacteriano, producción de azufre y gran cantidad de materia orgánica.

Al tomar la muestra se tomo la temperatura inmediatamente y se prosiguió a adaptarlas a temperatura de 22-24°C, mismas que trataron de mantenerse constantes y en agitación con ayuda de una incubadora marca INCU-SHAKER de 10L de capacidad . Los lodos estuvieron en adaptación 24 horas antes de hacer las pruebas pertinentes para la medición de diferencia de potencial.

Durante la tercera etapa, haciendo uso de las “muestras de lodo estandarizadas” se realizaron pruebas de rendimiento de electrodos tanto de materiales como de forma y ubicación de ánodo y cátodo en la media celda, fue aquí en donde se observó y reportó el crecimiento de biopelícula alrededor de los electrodos.

Se probaron diferentes materiales para el cátodo: Plata, Cobre, Grafito, Fe galvanizado, estos sin darle forma alguna al alambre solo se introdujo dentro del lodo. Se observo que la mejor conductividad era con el Fe galvanizado y se procedió a darle algunas formas al alambre para ver si se podía mejorar obtener mejor rendimiento en la diferencia de potencial.

En la cuarta etapa se introdujo para las pruebas alga espirulina *Spirulina maxima* en la cámara catódica como agente productor de oxígeno que promueva la eficacia de la reacción de oxidación descrita para la CCM. Se ensamblaron CCM para la prueba de la generación de una celda de combustible simbiótica utilizando envases con 200 ml de lodo estandarizado un alambre de fierro en espiral con terminación en el centro con fama cóncava introducido en el lodo sin salida a la cámara catódica y alambre de cobre inserto en fibra como ánodo. En la cámara anódica se introdujo alga espirulina inoculada en diferentes formas para probar diferencia de potencial y duración de la celda.

Como un ejercicio de crowdsourcing en una quinta etapa se hizo llegar una invitación por medios electrónicos a conocidos que radican en diferentes partes del mundo, la mayoría de ellos en hemisferio norte, para solicitarles que nos apoyaran en la construcción de tres CCM y tomaran las lecturas de potencial eléctrico y flujo de electrones en un periodo de un mes, de la misma manera se les envió una guía para la construcción de las mismas que refiere los materiales y paso por paso el modo de ensamblar y construir una CCM como la anteriormente probada con lodos de un ojo de agua ubicado en el municipio del Marquez del estado de Querétaro.

Se solicitó a las personas que aceptaron participar en éste ejercicio que durante la semana del 5 al 11 de febrero (2017) recolectaran lodo del fondo de algún ojo de agua preferentemente de agua no corriente o sin caudal cercano a su localidad, para la toma de muestra se indicó adentrarse alrededor de un metro y medio y que además registraran la temperatura ambiente en el momento. Se recomendó que esta actividad se hiciera entre las 12:00 del día y las 16:00 horas ya que el sol habría calentado la masa de agua lo que activaría el metabolismo bacteriano.

Una vez echa la recolección les pedimos a los participante de la prueba que el agua con lodo la mantuvieran a temperatura ambiente de casa habitación y construyeran utilizando los materiales indicados tres Celdas de Combustible Microbiano.

Después de armar tres CCM por participante se solicitó que 24 horas después se hiciera mediación del voltaje y amperaje producido por cada celda, registraran los datos y nos los hicieran llegar, lo mismo después de 7, 14, 21 y 28 días.

Cada grupo de tres celdas construidas en una región del mundo se le ha reconocido como tratamiento ya que se utilizó un tipo de lodo caracterizado por la microbiota de la región, la temperatura, la concentración de nutrientes, la calidad del agua etc, que determinan las colonias de microorganismos y la concentración de cada uno específicamente, así como la eficiencia en conjunto en la deposición de electrones en el ánodo para su posterior flujo por el circuito.

De los datos registrados se obtuvieron parámetros estadísticos para describir los tratamientos por región, se realizó un análisis estadístico ANOVA para conocer si existe diferencia estadística debida a los tratamiento y posteriormente se hizo una prueba de Tukey que permite identificar si existe diferencia estadística significativa entre tratamientos.

Resultados

Primera etapa

Como puede apreciarse en la tabla 1, se usaron una diferentes sustratos y materiales para el ánodo, manteniendo el cátodo de cobre.

Las celdas necesitan ser alimentadas constantemente si se pretende propiciar el crecimiento de MO que consumen glucosa y fructosa.

Se observó también que las celdas se deshidratan de una semana a otra, la deshidratación impide la lectura de la diferencia de potencial hasta que se humedece nuevamente.

N	Can t./ vol.(ml)	Mate ria: gluco se	Materi al: ánodo	Proced en cia del lodo	Fecha: introduc ción del ánodo	Diferencia potencial (V)		
						05/10/15	12/10/15	19/10/15
1	200	Azúca r	Grafito	maceta	30/10/15	0,09	0,05	0
2	250	Miel	Alumin io	maceta	01/10/15	0,59	0,05	0
3	200	Merm elada	Grafito	maceta	30/10/15	0,59	0,15	0
7	200	Merm elada fresa	Alumin io silicio	maceta	31/10/15	0,05 0,07	0,52	0
8	200	Merm elada fresa, espesa	Fierro	Tierra UAQ	29/10/15	0,97	0,45	0
9	200	Merm elada fresa	Al y silicio	maceta	29/10/15	0,72	0,47	0

Tabla 1 Primera etapa. Resultado de la construcción de celdas de CCM con lodo, diferente material para electrodos y sustrato añadido

El metabolismo de la fermentación de la glucosa y fructosa llevada a cabo por levaduras mayoritariamente no es una alternativa para la construcción de una CCM que sea autosustentable ya que la diferencia de potencia disminuye radicalmente a los 21 días.

Esto es congruente con lo encontrado en la literatura que señala que recientemente se ha demostrado en cultivos mixtos que los microorganismos fermentativos pueden tener poca o nula capacidad para transferir electrones al ánodo.

Sin embargo, su metabolismo contribuye a la generación de energía en la CCM (Richter et al., 2008) ya que aportan subproductos que pueden ser utilizados como sustratos por otras poblaciones microbianas, permitiendo el establecimiento de interacciones sintróficas.

Kiely et al. (2011) discuten diversas publicaciones que caracterizan la comunidad microbiana de los sistemas bioelectroquímicos destacan procesos sintróficos específicos que capacitan a una biopelícula para la generación de corriente eléctrica a partir de un sustrato.

La sintrofia consiste en que ciertos microorganismos hidrolizan y fermentan compuestos orgánicos complejos y otros utilizan los subproductos para la generación de corriente.

De esta primera etapa se concluye que se necesita encontrar una muestra de lodo con bacterias endógenas que estén produciendo una cantidad congruente de electrones por un periodo de tiempo más prolongado.

Segunda etapa:

En la siguiente tabla se encuentran los resultados obtenidos en la etapa dos: lugar de la recolección de muestras de lodos, temperatura de recolección, descripción física del lodo y diferencia de potencial obtenido al momento de armar la celda el mismo día.

La diferencia de potencial se midió utilizando un ánodo de Fe/Zn y cátodo de cobre.

Las coordenadas de los ojos de agua mencionados en las tablas son los siguientes:

Ojo de agua Residual La Griega, Querétaro. 20.672689, -100.240084; Presa Juriquilla Querétaro: Juriquilla, Querétaro. 20.695597, -100.456327 y Presa Santa María Begoña: Santa María Begoña, Querétaro. 20.751840, -100.317845.

Muestra	Fecha de recolección	Ubicación	Temperatura de toma de muestra/ °C	Observaciones	Descripción física del lodo	Diferencia de potencial (V)
1	2 de diciembre 2015	Presas de Juriquilla Santa Rosa Querétaro	29	El lodo no se encontraba cubierto por agua	Lodo café oscuro, se deshidrata con facilidad	max 0.9
2	15 de diciembre del 2015	Presas de Juriquilla Santa Rosa Querétaro	26	El lodo estaba totalmente cubierto por (5 cm) de agua		max 0.94
3	8 de enero 2016	Saldarriaga Querétaro	10	El lodo estaba cubierto por 15 a 20 cm de agua	El lodo parte tener buena cantidad de materia orgánica pasto sobre todo	max 0.64
4	20 de enero 2016	Presas Santa María Begoña	5	El lodo estaba cubierto de agua 15 20 cm	Alga, arena parda, conchas Temperatura de toma de muestra muy baja.	max 0.56
5	6 de marzo	Corregidora Querétaro	12	El lodo estaba cubierto de agua 10 cm	Lodo café claro, temperatura de toma de muestra baja	max 0.76
6	8 de abril	Laguna con agua residual La Griega	27	El lodo estaba húmedo pero se tomo de la superficie del canal de salida.	Mal olor (sulfídrico), poca consistencia, color verdoso	max 0.97
7	8 de abril	Presas Santa María Begoña	24	El lodo estaba cubierto de agua 15 cm	Alga, arena parda, conchas	max 0.96
8	8 de abril	Presas Santa María Begoña	22	El lodo estaba cubierto de agua 30 cm	Alga, arena parda, conchas	max 1V

Tabla 2 Segunda etapa. Resultado de la construcción de celdas de CCM con lodo, diferente material para electrodos y sustrato añadido

Fuente Elaboración propia

Las bacterias productoras de electrones son bacterias por lo general mesófilas que gustan de temperaturas superiores a los 25°C.

Aunque la toma de muestra se trato de hacer siempre a las 11am, las variaciones climáticas influyeron en la variación de la temperatura al momento de tomar la muestra.

Aquellas muestras que no alcanzaron una mínima de diferencia de potencial de 0.85 V a los 5 días de haber introducido el cátodo se desecharon como posibles candidatos para la construcción de más CCM.

Tercera etapa

En la tabla 3 se muestran los promedios de tres celdas construidas por cada arreglo de electrodos usado, las celdas fueron construidas con “lodos estandarizados” en incubadora a 32°C con agitación durante 24 horas.

La diferencia de potencial se midió todos los días durante una semana y se registró el máximo promedio entre las tres celdas por tratamiento.

Tratamiento	Arreglo de electrodos en la CCM	Max diferencia de potencial promedio detectada en CCM por tratamiento.
1	Cátodo de plata , ánodo de cobre	0.97
2	Cátodo de Fe galvanizado, ánodo de cobre	0.98
3	Cátodo de grafito , ánodo de cobre	0.78

Tabla 3 Tercera etapa. Diferencia de potencial reportada con los distintos materiales probados para el uso de ánodo y cátodo en la CCM

Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionados los materiales para el ánodo y cátodo, se probaron distintos acomodos en las medias celdas. A continuación se muestran algunas de las formas dadas a los electrodos probados:

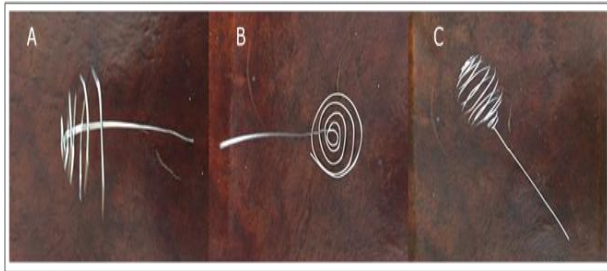


Figura 4 A. Electrodo en espiral con forma cóncava, B. Electrodo en espiral plano con salida por el centro y C. Electrodo en espiral con forma de esfera

Cada arreglo se probó por triplicado, en la tabla que sigue se muestra la máxima diferencia de potencial promedio por tratamiento en el lapso de una semana.

Tratamiento	Diferentes formas de construcción del ánodo y disposición en la cámara anódica de la CCM	Max diferencia de potencial detectada
1	Alambre de hierro sin forma alguna introducido en el lodo salida por la cámara anódica	0.95
2	Alambre de hierro sin forma alguna introducido en el lodo salida a la cámara catódica.	0.97
3	Alambre de hierro en espiral con terminación en el centro introducido en el lodo salida a la cámara catódica.	0.99
4	Alambre de hierro en espiral con terminación al final de la espiral introducido en el lodo salida a la cámara catódica.	0.98
5	Alambre de hierro en espiral con terminación en el centro con forma cóncava introducido en el lodo y con salida a la cámara catódica.	1.00

Tabla 4 Tercera etapa. Diferencia de potencial reportada utilizando diferentes formas en la construcción del ánodo de Fe galvanizado y cátodo aéreo de cobre.

Fuente: Elaboración propia

Se observó que la forma y extensión del ánodo es definitiva en la producción de diferencia de potencial y corriente en el sistema: tiene mayor eficiencia en el ánodo en espiral que si se deja solo varilla vertical de hierro galvanizado; también se observó que mientras más extendido se encuentre el electrodo mayor será la diferencia de potencial y corriente eléctrica producida.

ISSN 2410-3454

ECORFAN® Todos los derechos reservados

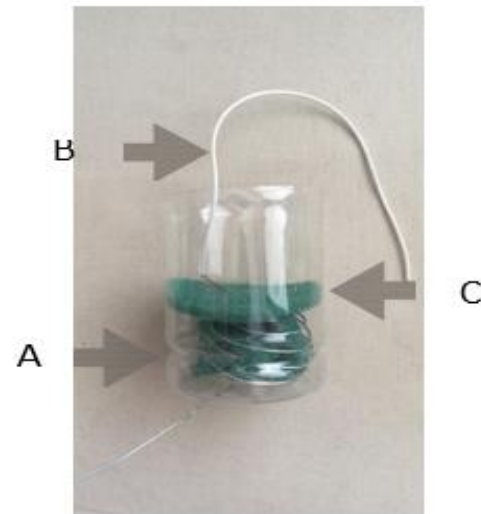


Figura 5 Elementos de la CCM: A) ánodo de Fe/galvanizado en forma de espiral cóncava, B) cátodo de cobre sobre fibra, C) contenedor de pet reciclado

Fuente: Elaboración propia

Se reiteró que tiene mayor diferencia de potencial registrada con el ánodo de hierro galvanizado en espiral y salida por abajo de la cámara anódica en comparación con el ánodo en espiral con salida por la cámara catódica. Lecturas de voltaje por encima de 0.9 V a los 20 minutos de haber introducido el cátodo de hierro galvanizado en espiral. La diferencia de potencial se eleva y estabiliza a los tres días, que coincide con la formación visible bio-película sobre el cátodo de hierro.

Cuarta etapa

Para las pruebas se introdujo microalga espirulina *Spirulina maxima* en la cámara catódica como agente productor de oxígeno. El oxígeno es el aceptor final de los electrones producidos por las bacterias que depositan sobre el ánodo y viajan por el circuito eléctrico hasta llegar al cátodo.

A continuación se muestran los tres grupos de tres celdas cada uno y los promedios presentados al hacer mediciones mensuales de voltaje.

Las celdas se construyeron usando fibra inoculada de alga espirulina por una semana para dividir la cámara anódica de la catódica.

Grupo	vol. (ml) total de	Material ánodo/ procedencia del lodo	Fecha de construcción de la celda	Diferencia de potencial (Volts)			
				02/7/ 16	2/8/ 16	2/9/ 16	
1	300	Fe/Cu	Estandarizado	30/6/16	0.96	0.98	0.90
2	250	Fe/Cu	Estandarizado	01/6/16	0.95	0.97	0.92
3	200	Fe/Cu	Estandarizado	0/6/16	0.99	1	0.89

Tabla 5 Cuarta etapa. Diferencia de potencial reportada al inocular micro algas y ponerlas en actividad en la cámara catódica

Fuente: Elaboración propia

Los tres grupos de CCM se mantuvieron a temperatura ambiente constante (22-23°C) y se mantuvo el agua 0.5 cm arriba de la fibra inoculada de *Spirulina maxima*. Por lo que ambas cámaras estuvieron sumergidas en agua procurando, la cámara catódica esté en contacto con el oxígeno y gases del ambiente.

La introducción de las microalgas permite mantener el flujo de oxígeno constante como receptor final de electrones en la celda de combustible microbiana, y la producción de fuentes de alimentación principalmente para las geobacterias que colonizan la cámara anódica.

La introducción de las microalgas a la celda de combustible microbiana ha permitido aumentar el tiempo de vida útil de las CCM probadas en laboratorio ya que anteriormente se había registrado una caída de la diferencia de potencial al mes y una semana en la mayoría de las CCM construidas dando valores entre 0.35 V y 0.55 V.

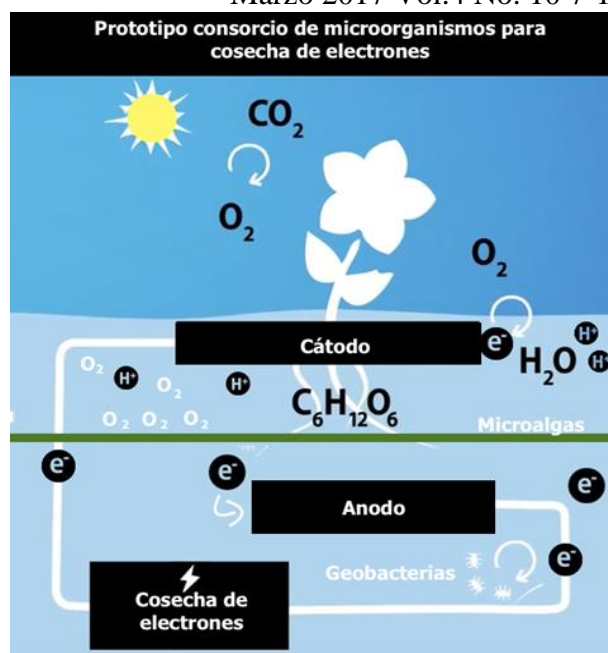


Figura 5 Modelo del funcionamiento del biosistema productor de electricidad

Fuente: Elaboración propia basado en imagen de plant-e

Conclusiones

Se pudieron probar distintos materiales para el arreglo de electrodos, el ánodo de hierro galvanizado y el cátodo de cobre se verificaron como el mejor arreglo para que a partir de una muestra de lodo estandarizado, con bacterias endógenas, a temperatura constante de 20 a 22°C exista producción constante de electrones con una diferencia de potencial de 1V, el amperaje se reporta entre 0.30 y 0.35 mA. La introducción de las microalgas *Spirulina maxima* a las CCM ha permitido ampliar su vida útil de un mes y medio a tres meses con actividad constante, con posibilidad de mantener la vida útil de la celda aun más tiempo con los cuidados pertinentes.

Entre las observaciones mas destacadas de este trabajo se puede decir que la forma del ánodo es determinante para tener una mayor eficiencia de la CCM, el alambre de 1mm de hierro galvanizado con forma de media esfera y salida por la cámara anódica resulto ser el mejor arreglo.

Es necesaria una fuente de celulosa o glucosa para mantener activa la celda, la inclusión de microalgas en la cámara catódica como agente productor de oxígeno como aceptor final de los electrones del circuito eléctrico, permite que las células de *Spirulina* maximamente alimenten al morir a las geobacterias de la cámara anódica manteniendo su metabolismo activo.

Utilizando botellas de pet recicladas, cátodo de cobre, ánodo de hierro galvanizado y una fibra para separar las medias celdas se ha conseguido un costo de construcción de la celda cien veces menor al de los prototipos reportados en la literatura, ya que comúnmente se usan cajas de acrílico a la medida, membranas iónicas para separar las medias celdas y ánodos de platino.

Referencias

American Chemical Society, 2005. Química: un proyecto de la American Chemical Society. España, Ed. Reverté

Bond, D.R., Lovley, D.R. 2003 Electricity production by *Geobacter sulfurreducens* attached to electrodes. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 1548-55

Borjas H. Z. 2012 Biodegradación electrónica de acetato en pilas de combustible Microbianas. universidad Rey Juan Carlos, Alcala de Hnares España.

Cha, J., S. Choi, H. Yu, H. Kim y C. Kim, Directly applicable microbial fuel cells in aeration tank for wastewater treatment, *Bioelectrochemistry*: 78(1), 72-79 (2010).

Park ML, M.V. Guettler, M.K. Jain and J.G. Zeikus. 1999 "Microbial utilization of electrically reduced neutral red as the sole electron donor for growth and metabolite production", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 67, No. 7, pp.2912-2917, July, 1999

F. Scholz and U. Schoröder. 2003. "Bacterial batteries", *Nature*, Vol.21, No.10, pp.1151-1152, October, 2003

Franks Ashley E., Kelly P. Nevin. 2010. Microbial Fuel Cells, a current review. *Appl. Energies*. 3, 899-919.

Huang L., J.M. Regan y X. Quan, Electron transfer mechanism, new applications, and performance of biocathode microbial fuel cells, *Bioresource Technology*: 102(1), 316-323 (2011).

He, Y-R y otros nueve autores, Electricity generation from dissolved organic matter in polluted lake water using a microbial fuel cell (MFC). *Biochemical Engineering Journal*: 71(No.), 57-61 (2013).

Ieropoulos I. A., J. Greenman, C. Melhuish and J. Hart. 2005 "Comparative study of three types of microbial fuel cell". *Enzyme and Microbial Technology*, Vol.37, pp.38-245, March, 2005.

Kiely, P.D., J.M. Regan y B.E. Logan, The electric picnic: Synergistic requirements for exoelectrogenic microbial communities, *Current Opinion in Biotechnology*: 22(3), 378-385 (2011).

Logan, B.E. y J. M. Regan, Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells, *Trends in Microbiology*: 14(12), 512-518 (2006).

Lovley, D.R., Powering microbes with electricity: direct electron transfer from electrodes to microbes, *Environmental Microbiology Reports*: 3(1), 27-35 (2011).

Lovley, D.R., 2008 The microbe electric: conversion of organic matter to electricity, *Current Opinion in Biotechnology*: 19(6), 564-571.

Du, Z., H. Li y T. Gu. 2005 A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy, *Biotechnology Advances*: 464-482.

Pant, D., G. Van Bogaert, L. Diels y K. Vanbroekhoven. 2010 A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production, *Bioresource Technology*: 101(6), 1533-1543

Park, D.H y J.G. Zeikus, Improved fuel cell and electrode designs for producing electricity from microbial degradation, *Biotechnology and Bioengineering*: 81(3), 348–355 (2003).

Sharma, V. y P.P. Kundu, Biocatalysts in microbial fuel cells, *Enzyme and Microbial Technology*: 47(5), 179- 188 (2010).

Strik D, Timmers R, Helder M, Steinbusch K and Buisman C. 2011. Microbial solar cells: applying photosynthetic and electrochemically active organisms. *Trends in Biotechnology*, Vol. 29, No. 1. Jan- 2011.

Strik PBTB, Terlouw H. Hamelers HVM, Snel JFH, Buisman CJN. 2008 Renewable sustainable biocatalyzed electricity production in a photosynthetic algal microbial fuel cell (PAMFC) . *Appl Microbiol Biotechnol*

Rabaey, K., G. Lissens, S. Siciliano y W. Verstraete, A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency, *Biotechnology Letters*: 25(3), 1531–1535 (2003).

Reguera, G. 2006, Biofilm and nanowire production leads to increases current in *Geobacter sulfurreducens* fuel cells, *Applied Environmental Microbiology*: 72(11), 7345-7348 (2006).

Richter, H. et al. Electricity generation by *Geobacter sulfurreducens* attached to gold electrodes, *Langmuir*: 24(8), 4376-4379 (2008).

Yi, H. et al, Selection of a variant of *Geobacter sulfurreducens* with enhanced capacity for current production in microbial fuel cells, *Biosensors and Bioelectronics*: 24(12), 3498-3503 (2009).

Eficiencia de las celdas solares

LESAGE, Frédéric †*, SANDOVAL-VILLEGAS, Juan Carlos'', TOLOSA-GARMA, Irving'', QUINTAL-VÁZQUEZ, José Francisco'', AGUILAR-GÓMEZ, Alfredo'' y FUSTER, G''

Université du Québec

Universidad Tecnológica de Cancún

Recibido Enero 20, 2017; Aceptado Febrero 11, 2017

Resumen

La eficiencia de los paneles solares, por especificación de fabricantes, es del 18% para paneles policristalinos y 24% para monocristalinos. La eficiencia depende de varios factores, siendo el más importante la cantidad de irradiación solar. Otros factores importantes pero en menor medida son la ubicación, ángulo de inclinación del panel solar, nubosidad, polvo y temperatura de la celda. En el presente trabajo se analiza el efecto que tiene la variación de la temperatura en una celda solar con respecto a la eficiencia de producir energía. El estudio se realizó en la ciudad de Cancún Quintana Roo en un período de una semana, empleando una celda solar policristalina con dimensiones de 50x50 mm, 0.5 V a 0.05 W. La celda solar se conectó a un equipo de medición para registrar su temperatura y su voltaje en circuito abierto y con una carga controlada de CD de 0.05 watts, las mediciones arrojaron que con una irradiación promedio de 801.67 W/m² y un rango de temperatura de 22.1 a 56.4°C la generación de energía, tienen una relación dependiente con respecto a la temperatura, es decir, cuando la temperatura aumenta, la eficiencia disminuye.

Panel Solar, Eficiencia, Temperatura, Voltaje, Potencia

Abstract

The efficiency of photovoltaic solar panels (PV) is 18% for polycrystalline panels and 24% for monocrystalline. This efficiency depends on several factors, the most significant being the quantity of solar irradiation. Also important, but to a lesser degree, is the position and the angle of inclination of the PV, the quantity of dust suspended in the atmosphere, and the surface temperature of the PV. This document investigate how varying surface temperatures affect the overall efficiency of a solar panel to produce electricity. This experiment, conducted over one week, was developed in Cancun Quintana Roo, México, utilizing a polycrystalline solar cell, 50x50mm, 0.5V a 0.05W, which was connected to measuring equipment to record its surface temperature, its voltage in open circuit, and its voltage with a controlled DC load of 0.05 watts. The average measurements of solar irradiation and temperature were: 801.67 W/m² of solar irradiation and the temperature range was between 22.1 and 56.4 °C. This study will show how the electric power output of a polycrystalline solar cell correlates with changes in its surface temperature, that is to say, when temperature increases, power output decreases.

Photovoltaic Panel, Efficiency, Temperature, Voltage, Electrical Power

Citación: LESAGE, Frédéric, SANDOVAL-VILLEGAS, Juan Carlos, TOLOSA-GARMA, Irving, QUINTAL-VÁZQUEZ, José Francisco, AGUILAR-GÓMEZ, Alfredo y FUSTER, G. Eficiencia de las celdas solares. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2017. 4-10: 19-27

*Correspondencia al Autor:(Correo Electrónico: Frederic.Lesage@uqo.ca)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La tecnología fotovoltaica para la generación de electricidad, como una fuente renovable, ha sido ya probada y funciona, sin embargo las celdas solares tienen una deficiencia de los semiconductores en general, que al incrementar su temperatura, su eficiencia se ve disminuida.

Las celdas solares en condiciones normales alcanzan temperaturas superiores a sus condiciones de diseño, que por lo general son a 25°C con una irradiación de 1 kW/m² y 1.5 de masa de aire, debido a la irradiación solar del día. Este exceso de temperatura provoca una menor eficiencia en el panel, ocasionando que se tenga que ocupar un mayor número de paneles solares para cumplir con la demanda instalada en un sistema fotovoltaico.

En nuestro estudio se utilizó una fotocelda con capacidad de producción de 0.5W y potencia de 0.05 W, fue instalada en condiciones normales de operación y se registraron: voltaje, corriente, potencia, temperatura e irradiación solar, en circuito abierto y también aplicando una carga electrónica a su capacidad óptima de la misma. Se descubrió que cuando la celda solar alcanza una temperatura de 42.8 °C, su eficiencia se ve reducida en un 6% bajo estas condiciones.

Marco teórico

Radiación

La radiación que procede directamente del sol, se refleja en varios componentes como son: nubes, vapor de agua, entre otros, siendo dispersada por las moléculas del agua, el polvo, por lo que la radiación solar que llega a una superficie puede ser de tres tipos:

- Radiación directa: es formada por los rayos solares, o sea que no llega a ser dispersada.

- Radiación difusa: es la procedente de toda la bóveda celeste, excepto la que llega al sol, originada por los efectos de dispersión.
- Radiación del albedo: es la procedente del suelo debido a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre montañas y lagos. Cuando el sol está en la parte de abajo en el cielo, la radiación solar debe pasar a través de más atmósfera y se reduce por lo tanto por dispersión y absorción (Harper, 2010).

Posición de los paneles solares

Debido a los diferentes tipos de radiación, el ángulo de elevación para un sistema de paneles solares es muy importante y por lo general, el ángulo óptimo de inclinación, es igual a la latitud (distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la Tierra), lo que asegura la máxima cantidad de luz solar expuesta durante el día, siendo la mejor orientación de los paneles solares hacia el sur, debido a que en el equinoccio se tiene el día con más sol, de 6:00 a 18:00 horas.

Irradiación solar

La intensidad de luz solar se conoce como irradiancia (irradiación), su unidad de medición es el W/m² o kW/m².

La máxima irradiancia que puede recibir un panel solar ocurre en un plano perpendicular y en un día sin nubes, lo cual ocurre al medio día, teniendo un valor entre 1 a 1.2 kW/m².

Otra medida útil para este tipo de sistemas es la insolación, la cual nos indica la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo, su unidad es kW-hora/m² (kWh/m²).

En el cálculo del sistema fotovoltaico, se debe considerar la insolación diaria promedio y se expresa en horas solares pico (HSP), que se puede expresar como $1 \text{ kWh/m}^2 = 1 \text{ HSP}$ y que varía de 3 a 7 HSP, en función del lugar (Harper, 2010). Para la ciudad de Cancún, la irradiancia para un día despejado es de 5.8 kWh/m^2 .

La posición de las celdas solares

Como la tierra está inclinada sobre su eje $23^\circ.5$ que explica el distinto calentamiento de la tierra en función de su posición, durante un año; primavera, verano, otoño e invierno y también la duración del día y la noche.

El sol es más intenso si incide perpendicularmente con la superficie y la luz de verano es más intensa que la de invierno, por tal motivo el ángulo óptimo de elevación de la celda solar, depende de su latitud, para así asegurar la mayor cantidad de luz incidente durante un año. Se recomienda instalar las celdas solares con orientación hacia el sur, debido a la latitud, tendrá el mejor ángulo de incidencia con la superficie durante todo el año.

Voltaje en circuito abierto

El voltaje en circuito abierto es la diferencia de potencial que se genera cuando no se conecta carga a la fotocelda y por lo tanto no hay flujo de corriente eléctrica y es el máximo voltaje que genera la celda solar. (Solar Energy, 2016)

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{J_{ph}}{J_0} + 1\right) \approx \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{J_{ph}}{J_0}\right) \quad (1)$$

Donde:

V_{oc} Es el voltaje en circuito abierto

K_B Es la constante de Boltzmann

T es la temperatura de operación

Q Carga electrónica

J_{ph} Es la corriente fotogenerada

J_0 Es la corriente de saturación

Como se puede observar V_{oc} disminuye si incrementa la temperatura y también depende de la corriente de saturación de la celda solar y de la corriente fotogenerada.

La corriente de saturación se puede expresar como:

$$J_0 = qn_i^2 \left(\frac{D_N}{L_N N_A} + \frac{D_P}{L_P N_D} \right) \quad (2)$$

El Fill factor, representa la calidad de la celda solar, y se puede calcular con:

$$FF = \frac{(J_{mpp})(V_{mpp})}{J_{sc} V_{oc}} \quad (3)$$

$J_{mpp} V_{mpp}$ es la máxima potencia de la celda solar, $J_{sc} V_{oc}$ es la corriente en corto circuito del voltaje en circuito abierto.

Y finalmente el cálculo de la eficiencia de la celda solar se puede expresar como:

$$n = \frac{J_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}} \quad (4)$$

Donde mpp es el punto de potencia máxima

P_{in} Es la irradiancia en W/m^2

J_{sc} Típicamente es de 35 mA/cm^2

FF está en un rango de 0.75 a 0.8

Por lo tanto su eficiencia se encuentra entre el 17 y 18%.

Para la potencia máxima producida por la celda solar, se tiene la ecuación:

$$P_{max} = I_m (V_{max}) = FF (I_{sc}) (V_{oc}) \quad (5)$$

La eficiencia de las celdas solares también puede ser formulada de la siguiente forma:

$$n = \frac{(I_{sc-max})(V_{oc-max})}{A_C(\text{nivel de irradiación})} \quad (6)$$

Al incrementar la radiación solar, el voltaje de circuito abierto Voc incrementa logarítmicamente, mientras que la corriente de corto circuito Isc se incrementa linealmente, y da como resultado un incremento de la potencia. También al incrementar la temperatura, la eficiencia disminuye a consecuencia del bajo voltaje Voc, y un ligero decremento de la corriente de corto circuito (S. Mekhilef, 2012). NOCT (Operación Normal de temperatura de la celda) es la temperatura de la celda cuando opera en circuito abierto a una temperatura ambiente de 20°C a AM 1.5 (masa de aire) y una irradiación de $G=0.8 \text{ kW/m}^2$ y la velocidad del viento no mayor de 1 m/s (S. Mekhilef, 2012).

La siguiente expresión muestra la relación lineal entre la irradiancia solar GM y la diferencia entre la temperatura de la celda y la temperatura ambiente (TM-Ta). Cabe mencionar que la ecuación sólo tiene en cuenta la temperatura ambiente, sin embargo descuida los datos de la velocidad del viento, lo que puede ocasionar algún error en la temperatura de la celda, aunque es posible que la temperatura del módulo no sea con altas velocidades de viento.

Existe un modelo, que proporciona un término adicional para explicar la velocidad del viento con respecto a la temperatura de la Celda solar. La siguiente relación muestra la temperatura de la fotocelda sin considerar la velocidad del viento.

$$TM = Ta + \frac{T_{NOCT}-20^\circ}{800} GM \quad (7)$$

Donde:

TM Es la temperatura nominal de la celda en °C.

Ta Es la temperatura ambiente en °C.

GM Es la irradiancia solar en W/m²

T_{NOCT} Es la temperatura nominal de la celda en operación

En la ciudad de Cancún se ha registrado una velocidad del viento, que en promedio es de 2 m/s, sin embargo si se desea considerar el viento, se tiene la siguiente relación, donde, la temperatura de la celda está dado por:

$$TM = Ta + \frac{T_{NOCT}-20^\circ}{800} GM \left(\frac{9.5}{5.7+3.8 \cdot w} \right) \left(1 - \frac{n_{cell}}{T_\alpha} \right) \quad (8)$$

Donde:

w es la velocidad del viento

T es la transmitancia de la parte frontal del módulo

α es la medida de absorción de radiación del módulo

$T\alpha$ es la fracción de incidencia de luz absorbida por la celda solar, usualmente es de 0.9 .

El efecto de la temperatura en el voltaje de salida en circuito abierto del panel solar es:

$$V_{oc} \approx \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{J_{ph}}{J_0} \right) \quad (9)$$

Se puede ver el voltaje en circuito abierto, que es directamente proporcional a la temperatura, sin embargo la corriente de saturación; J_0 está en función de la temperatura, es decir que al incrementar ésta, disminuye el voltaje en circuito abierto. Se puede mejorar el voltaje de salida, si la operación del panel solar es en condiciones de mayor radiación solar y menor temperatura de operación.

También se menciona que graves factores afectan la eficiencia de las celdas de los PV, como son la intensidad de la radiación solar, la calidad de los semiconductores utilizados y la temperatura de operación de las celdas PV, de estos factores controlando la temperatura, es el método más práctico para incrementar la eficiencia de las celdas. La relación entre la temperatura de las celdas monocristalinas de silicón y la eficiencia, indican que la producción de electricidad disminuye aproximadamente del 0.4 al 0.5% (Atkin & Farid, 2015).

Descripción del Método

Metodología

Se tiene como objetivo conocer la eficiencia de las celdas solares, en condiciones ambientales de la región de Cancún, Quintana Roo. Se diseñó un sistema de prueba para verificar las mediciones eléctricas en circuito abierto y aplicando una carga eléctrica controlada; siendo muy importante identificar el comportamiento del voltaje de salida con respecto a la temperatura de la celda solar para conocer su eficiencia y su punto óptimo de operación. Se ha sometido a pruebas reales, registrando las mediciones a través de un equipo de adquisición de datos y una carga electrónica, registrando la radiación solar y la velocidad del viento.

1. Se diseñó el procedimiento de mediciones y registro de los parámetros eléctricos de una celda solar policristalina de 50x50 mm, 0.5 V a 0.05 W. Colocada la celda solar a 20° hacia el sur, los parámetros que se registraron fueron el voltaje en circuito abierto y la temperatura, por períodos de las 8:00 am a 17:00 hrs.
2. Al mismo tiempo se registró la irradiación solar y la velocidad del viento. Por los mismo periodos de tiempo.
3. Mediciones del voltaje con una carga electrónica aplicada. Se hicieron mediciones de voltaje aplicando una carga electrónica y por lo tanto se da un flujo de corriente y demanda de una potencia. Al mismo tiempo se registran los valores de la temperatura en la celda solar, irradiación y la velocidad del viento.

Diseño y construcción de las bases para las celdas solares

Las bases de las celdas se diseñaron e implementaron con trovicel, cuyas características técnicas son: la resistencia a la fricción, tracción, elasticidad y con resistencia a altas temperaturas.

Se utilizó una celda solar policristalina de 50 mm x 50 mm x 0.02mm de 0.5 V, 0.1 A y 0.05W. La celda solar opera mediante sus características de diseño y especificaciones de fabricantes, en condiciones normalizadas definidas son; 25°C, 1000W/m² de irradiación solar y Masa del aire de 1.5.

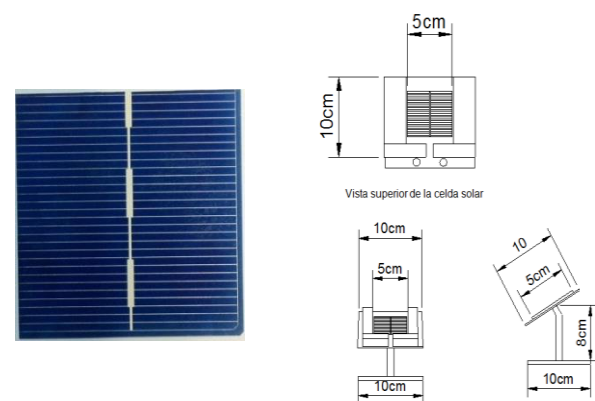


Figura 1 Celda solar de 0.50mm x 0.50mm x 0.02mm de 0.5 V, 0.1 A y 0.050W y diseño de la base

Fuente: www.everredtronics.com y diseño propio de la base

Conexiones de medición

El equipo de adquisición de datos, Keysight 34970A, registra la temperatura de la celda solar y el voltaje en circuito abierto. La irradiación solar se midió con el piranómetro modelo 8-48 de la marca Eplab.

Para la medición del viento se utilizó un anemómetro de hilo caliente.

Para las actividades desarrolladas, durante el proceso de la investigación de la eficiencia de las celdas solares, con respecto a su temperatura y voltaje, se utilizaron los siguientes equipos de medición:

1. Fuente de carga eléctrica de CD de 300 watts BK PRECISION Serie 8500, el cual aplica una carga electrónica a la celda solar, es decir demanda una carga específica de operación, para conocer su corriente, voltaje y potencia.
2. Equipo de adquisición de datos de 20 canales Keysight 34970A, para registrar las mediciones de voltaje, temperatura y el voltaje generado por el piranómetro por la radiación solar en la celda solar.
3. Equipo de Radiación solar piranómetro negro y blanco modelo 8-48 con factor de conversión de: $775 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$, el cual se empleó para la medición de la irradiación, incidente sobre la superficie del área estudio.
4. Equipo anemómetro de hilo caliente a temperatura constante para mediciones de aire en túnel de viento para registrar la velocidad del mismo en tiempo real, los cuales se guardan en una memoria externa, que posteriormente se emparejan sincronizados con los datos del equipo Keysight 34970A.

Resultados

Análisis de la eficiencia de las celdas solares en circuito abierto y con carga

Análisis de la celda solar

En el gráfico 1 se muestran los datos de las mediciones de voltaje y temperatura de la celda solar, durante 6 hrs.

De las 9:31 a las 15:31 hrs., en el eje Y se observa el voltaje que se mantiene en un valor de 0.55V mientras no supera los 35°C de temperatura, ésta inicia en 24.92°C a las 9:31 am, llegando a un valor máximo de 48.2°C. También se puede observar cómo el voltaje disminuye cuando la temperatura de la celda se va incrementando. Se consideraron únicamente como mediciones válidas para el experimento aquellas en las que la radiación solar es mayor o igual a 941 W/m^2 .

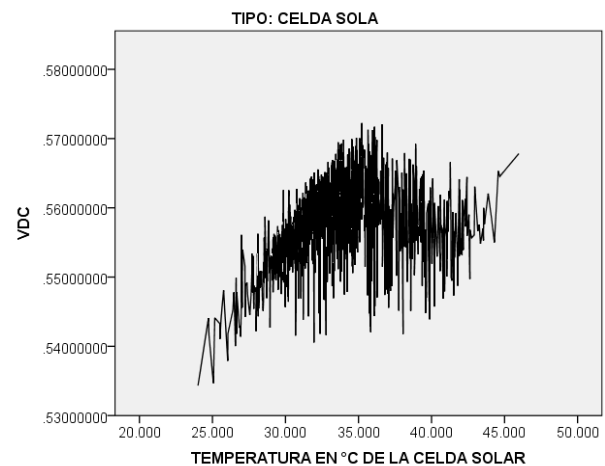


Gráfico 1 Gráfica del voltaje en circuito abierto y temperatura de la celda solar

Fuente: Elaboración propia a partir de las mediciones registradas

En gráfico No. 2 En una medición de las 8:00 am a las 18:00 hrs. Se observa la potencia de la celda solar, que inicia en 0.05W, con respecto a la temperatura en 25°C, que corresponde al NOCT (Operación Normal de temperatura de la celda) y opera bajo sus características de diseño, 0.5 V, 0.1 A y 0.05W. Cuando la temperatura empieza a incrementar, su potencia empieza disminuir, hasta encontrar un punto de operación con oscilaciones en el rango de 0.05W que claramente se observa como disminuye su potencia al incrementar la temperatura de la celda solar, que cuando llega a un valor de 42.27°C la potencia disminuye a cero.

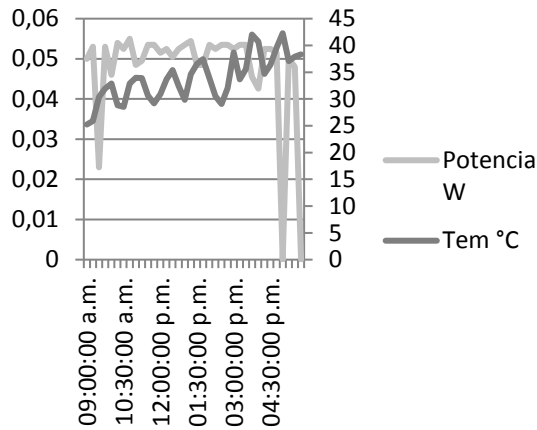


Gráfico 2 Potencia y temperatura de la fotocelda con carga

Fuente: Elaboración propia a partir de las mediciones registradas

Resultados

Durante éste proceso, se registraron las mediciones de temperatura y voltaje, se graficaron los datos y se hizo un análisis descriptivo, obteniendo las medidas de tendencia central.

El voltaje de la celda solar, generó en promedio 0.4585 V en 11hrs de medición, con una irradiación promedio de 524 W/m², su potencia fue de 0.0463W con una temperaturas promedio de 33.95 °C, en la celda solar.

Medidas de tendencia centrales	Voltaje	Temperatura °C	Potencia W	Irradiación Wm ²
Media	0.4581698	33.95314	0.04633628	524.443
Mediana	0.5343578	34.593	0.052	499.920
Desviación std	0.1605471	4.304475	0.0144458	353.382

Tabla 1 Medidas de tendencia central de la celda solar

Fuente: Elaboración propia a partir de las mediciones registradas

De acuerdo la relación del voltaje en circuito abierto, [2] el voltaje está en función de la temperatura T, sin embargo la corriente de saturación J₀, también está en función de la temperatura.

En la tabla No. 1 de las medidas de tendencia central, se puede apreciar, que arrojó una temperatura promedio de 33.9 °C y un voltaje de 0.45 V, cuando su diseño de operación es de 25°C para producir 0.5V.

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{J_{ph}}{J_0} + 1\right) \approx \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{J_{ph}}{J_0}\right) \quad (10)$$

	Voltaje	Tem °C	Irradiación Wm ²
102 (VDC)	1.00	-0.493	0.711
Tem C	-0.493	1.000	-0.632
Irradiación Wm ²	0.711	-0.632	1.000

Tabla 2 Matriz de correlaciones entre elementos, el voltaje es en circuito abierto

Fuente: Elaboración propia a partir de las mediciones registradas

La matriz de correlación escalar de los tres parámetros (voltaje en circuito abierto, Temperatura de la celda solar y la irradiación solar, tienen la siguiente correlación, la dependencia del voltaje con respecto a la temperatura, tiene un valor de -0.4 que se interpreta como una correlación negativa de débil a media, es decir; a mayor temperatura, menor voltaje.

La correlación se calcula a partir de las puntuaciones obtenidas en una muestra de dos variables.

Sin embargo la correlación del voltaje en circuito abierto y la irradiación solar, es de 0.711 es positiva y considerable, a sabiendas que, deben incidir los fotones en el semiconductor, para producir el efecto fotoeléctrico.

VDC					
Voltaje en Circuito abierto	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	38.020	20	1.901	121.809	.000
Dentro de grupos	57.556	3688	.016		
Total	95.575	3708			

Tabla 3 Anova de Voltaje en circuito abierto, con la temperatura como factor

Fuente: Elaboración propia a partir de las mediciones registradas

Como se muestra en la tabla No 3, la prueba Anova en la relación del voltaje como variable dependiente y la temperatura como factor, el valor de significancia es 0.000 y este valor es menor que 0.05.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de que no existe relación entre el voltaje producido en circuito abierto y el nivel de temperatura que alcanza la celda solar, por la irradiación, es decir si hay una relación de dependencia del voltaje, con respecto a la temperatura que alcanza la celda solar.

Prueba de muestras emparejadas

También se hicieron las mediciones aplicando una carga electrónica, manteniendo la potencia a sus especificaciones de diseño de la celda solar (0.05W).

En una comparación de los voltajes de la celda solar, en circuito abierto y aplicando una carga de 0.05W, con la prueba T, para conocer si hay diferencia en los voltajes, la tabla No. 4 muestra que el grado de significancia es menor de 0.05, que corresponde al valor de referencia, por lo tanto se concluye que existe una diferencia entre las medias de voltaje en circuito abierto y aplicando la carga electrónica.

Cálculo de la Anova del voltaje en la celda solar, aplicando una carga electrónica, de 0.05W

Voltaje	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1.082	20	.054	10.287	.000
Dentro de grupos	19.387	3688	.005		
Total	20.469	3708			

Tabla 4 Prueba Anova del voltaje con una carga electrónica de 0.05 W y la temperatura de la celda solar

Fuente: Elaboración propia a partir de las mediciones registradas

En la tabla No. 4 se muestra que sí existe una relación de dependencia del voltaje, con respecto a la temperatura de la celda solar, aplicando una carga electrónica, debido a que el valor de significancia de la Anova es menor de 0.05.

Cálculo de la Anova de la potencia la celda solar, aplicando una carga electrónica, de 0.05W

Potencia					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.011	20	.001	10.299	.000
Dentro de grupos	.194	3688	.000		
Total	.204	3708			

Tabla 5 Prueba Anova de la potencia y la temperatura de la celda solar

Fuente: Elaboración propia a partir de las mediciones registradas

En la tabla No. 5 se observa que el nivel de significancia es menor a 0.05, en el cálculo de la Anova entre la potencia de la celda solar, como variable dependiente y la temperatura de la celda solar, como variable independiente. Por lo tanto si hay una relación de dependencia.

Agradecimientos

Para llevar a cabo esta investigación, se requirieron recursos económicos para la adquisición de equipo de laboratorio, que fue adquirido por la aprobación de la red temática de colaboración académica de la convocatoria de PRODEP.

Conclusiones

En el registro de las mediciones de la celda solar, se identificó su colocación a 20° con dirección al sur, para que reciba la mayor cantidad de irradiación durante el día y durante todo el año. También se identificó la capacidad de producción de voltaje en circuito abierto, que fue en promedio de: 0.45 V, la potencia promedio fue de 0.046 W, y la temperatura promedio del panel de 33.9°C . Con la prueba de Anova de la potencia y la temperatura de la celda solar, cuando el valor de significancia es menor a 0.05, ($0.000 < 0.05$) se concluye que hay diferencia significativa, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, que sí hay una dependencia de la potencia con respecto a la temperatura de la celda solar. Aún hace falta identificar los rangos de producción de energía, con bajos valores de irradiación solar y cómo afecta el viento en su producción.

La investigación implicó hacer mediciones en tiempo real, de los parámetros eléctricos de la celda solar y fue durante diez días, corroborando mediciones de voltaje, corriente, irradiación solar y viento, donde este último registró en promedio un valor de 1.5 m/s. La limitación que se tuvo fue hacer las mediciones en distinto día de la celda con carga. Sin embargo se puede decir que a menor temperatura de operación en la celda solar, éstas operarán de forma más eficiente, y trabajarán aún mejor en lugares frescos con grandes cantidades de irradiación solar.

Recomendaciones

Un siguiente estudio puede ser cómo afecta el viento en la temperatura de la celda solar y en qué periodo de tiempo se tiene la mayor producción de energía, debido a las horas de irradiación solar durante el año en la ciudad de Cancún Q. Roo.

Referencias

- Atkin, P., & Farid, M. M. (2015). Improving the efficiency of photovoltaic cells using PCM infused graphite and aluminium fins. *Solar Energy*, 217-218.
- Harper, E. (2010). En *El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos* (pág. 145). México: Limusa.
- Manzano, V. (1995). *Inferencia estadística*. Madrid: Ra-Ma Editorial.
- S. Mekhilef, R. S. (2012). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. *Renewable Sustainable Energy*, 16(6), 2920-2925.
- Solar Energy, t. p. (2016). *Arno Smets, Klaus Jäger, Olindo Isabella, Miro Zeman, René van Swaaij*. Cambridge: UIT Cambridge.

Medición de condición de operación y análisis de vibraciones

SALAS, Alejandro †*

Universidad Tecnológica de Querétaro

Recibido Enero 09, 2017; Aceptado Febrero 28, 2017

Resumen

En este artículo se describe la importancia del mantenimiento mediante turbo - maquinaria que hace un análisis de la situación actual, es necesario mencionar que las turbo máquinas están instaladas en entornos industriales, se hace especial énfasis en la técnica de análisis de vibraciones que presenta ventajas sobre otras técnicas como la termografía. Estas técnicas determinan el estado de los componentes que componen las turbomáquinas y determinan el estado de deterioro o no de cada uno de los componentes móviles de las máquinas y determinan la causa de las frecuencias determinadas por la vibración.

Rigidez, Turbo Maquina, Vibración, Frecuencia**Abstract**

This article describes the importance of maintenance by operation condition of turbo – machinery making an analysis of the current situation, It's necessary to mention that the turbo machines are installed in industrial environments, special emphasis is placed on the technique of vibration analysis which It presents advantages over other techniques such as thermography. These techniques determine the state of the components of which the turbo – machines are composed and determine the state of deterioration or not of each of the mobile components of the machines and determine the cause of the vibration determined frequencies.

Rigidity, Turbo Machine, Vibration, Frecuency

Citación: SALAS, Alejandro. Medición de condición de operación y análisis de vibraciones. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2017. 4-10: 28-33

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El presente artículo presenta los factores que se deben tomar en cuenta para realizar una medición de la vibración para obtener mediciones confiables. Existen factores que afectan las mediciones de la vibración y el evitar tomarlos en cuenta podrá resultar en diagnósticos erróneos que podrán causar que se tomen acciones que la maquinaria no necesite o se dejen de hacer acciones que la maquinaria necesite causando problemas graves a esta. La posición donde se realiza la medición, la rigidez del sistema, por lo que entre otros representan algunos de los factores más importantes, así que todos aquellos factores que se modifican la rigidez del sistema también modificarán la medición. De modo que al seleccionar adecuadamente el lugar donde se hará la medición permitirá realizar un análisis de las condiciones de operación favorable y confiable.

Fundamentación Teórica

Las vibraciones mecánicas son estudiadas como movimientos oscilatorios. Toda la maquinaria esta provista de cuerpos que poseen masa y elasticidad por lo que son capaces de vibrar. La dinámica de estas máquinas pueden tener un comportamiento donde se pueda aplicar el principio de superposición de efectos (lineal) o no (No lineal), además, esta vibración puede ser producida por una fuerza exterior (Forzada) como es en la mayoría de la maquinaria o puede vibrar cuando el sistema oscila bajo la acción de fuerzas inherentes al sistemas mismo, es decir, no existen fuerzas externas aplicadas.

En la ecuación (1) se representa la dinámica de un sistema mecánico de un grado de libertad.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = \quad (1) \sum F \quad (1)$$

Donde

m = masa del sistema
 \ddot{x} = Aceleración del sistema
 c = amortiguación
 \dot{x} = Velocidad
 k = Rigidez del sistema
 x = posición

Con la ecuación (1) podemos establecer aquellos parámetros que debemos considerar para determinar el mejor lugar para colocar el instrumento de medición.

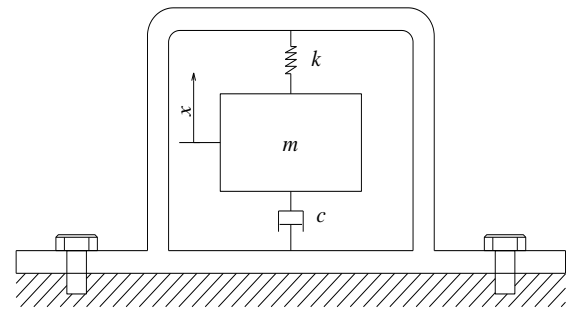


Figura 1 Estructura básica de un acelerómetro

Para determinar el comportamiento del acelerómetro se considera el desplazamiento de la masa y con ello podemos determinar la aceleración de la masa.

$$m\ddot{x} = \sum F - c\dot{x} - kx \quad (1)$$

Haciendo un comparativo con la maquinaria que se analizara, debemos entonces conocer la masa, rigidez y factores de amortiguamiento que se encuentran presentes en la maquinaria. Por ejemplo si analizamos un elemento que está sometido a torsión (una flecha de un motor) su rigidez estará dada por la siguiente ecuación.

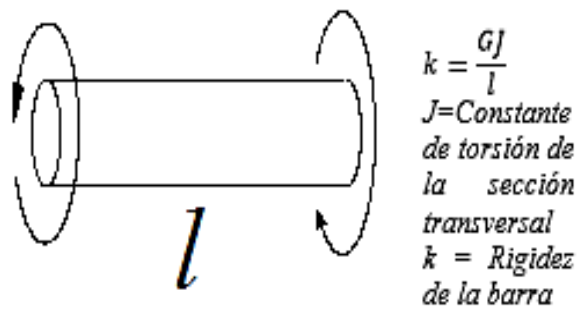


Figura 2 Torsión y su rigidez

Desarrollo

Por lo anterior se pueden establecer las características esenciales que deben tener los puntos de medición para el análisis de las vibraciones del sistema.

Conociendo los parámetros que determinan la forma en que un elemento vibra se toman en cuenta para el diseño para que no se presente el fenómeno de resonancia en el diseño final de la máquina.

En la toma de mediciones turbo – maquinaria es importante considerar algunos aspectos para que al momento de realizar el análisis tengamos diagnósticos confiables.

Puntos a considerar

El punto de medición debe de ser:

- Lo más cercano posible al elemento a analizar.
- Deben existir los menos componentes posibles desde el punto de medición hasta el componente a analizar (A, B y C).
- Hacer mediciones de preferencia formando un plano cartesiano (A, B y C).

- Los elementos donde se haga la medición deberá estar perfectamente sujetos a los elementos fijos del sistema (F) o tomar la medición desde este elemento fijo.

Ejemplos:

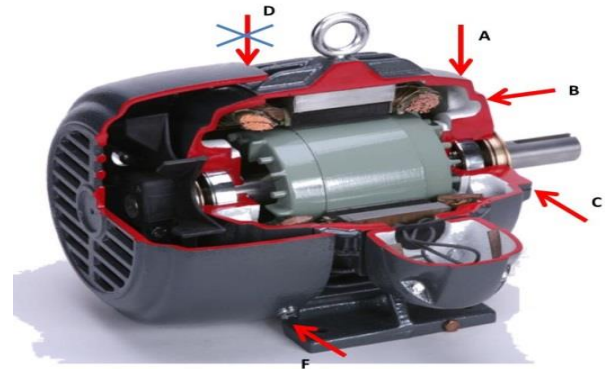


Figura 3 Motor Electrico

Para esta clase de máquinas las lecturas de vibración se harán con uno o varios acelerómetros colocados en alguno de los sitios mostrados en la figura, en estos sitios son elegidos desde el diseño del turborreactor tomando en cuenta los parámetros y criterios mostrados anteriormente.

Es importante mencionar que las mediciones de vibración en turbo – maquinaria móvil (un turbo reactor de un avión), como en este caso el acelerómetro es fijo y el lugar donde abra de colocarse es sumamente importante puesto que este nos dará información relevante de las condiciones de operación y además se deben diseñar para que los elementos no entren resonancia con algún componente móvil, sumado a todo esto todas partes deben de estar balanceadas individualmente cumpliendo con los criterios establecidos por el diseño de la máquina.

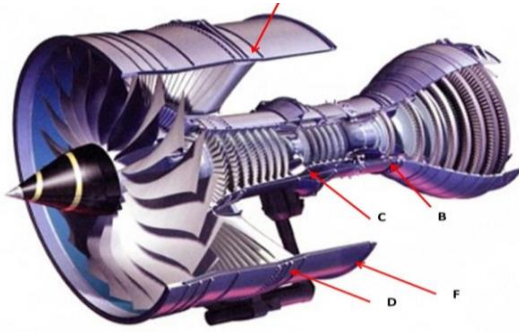


Figura 4 Turbo reactor

En esta turbo – máquina los puntos A, D y F son poco favorables para medición pues se encuentran alejados de componentes críticos, rodamientos y otros componentes como discos, alabes entre otros. En esta clase de turbo máquinas la instrumentación es muy delicada y se hace componente a componentes desde al más pequeño sujetador a los soportes de la tuberías hasta la cubierta y cada uno de los componentes exteriores.

Los puntos C y B por el contrario presentan condiciones favorables para la medición puesto que se encuentran cerca de los elementos críticos y las lecturas serán más confiables.

Una medición hecha en los puntos A o D producirá un amplitud mayor a la presentada en los puntos C y B por lo cual visualmente en apariencia parecería que no existiese daño en las en rodamientos y tendríamos que aumentar la escala en la zona de donde se presentan las fallas por rodamientos.

De otra manera si lo hacemos en los puntos C y B las vibraciones serán de menor amplitud puesto que la rigidez es mayor en estos puntos y las lecturas de falla en rodamientos se visualizarán de inmediato en el espectro.

Existen diferentes arreglos a turbo – máquinas.

Este tipo de torres de enfriamiento usan el sistemas convencional el cual se muestra en el siguiente diagrama.

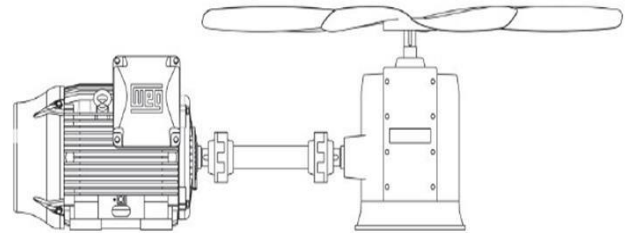


Figura 5 Sistema Convencional



Figura 6 Torres de enfriamiento sistema convencional

En estos sistemas es complicado hacer mediciones rutinarias en la caja de transmisión, sin embargo, en el motor se pueden hacer algunas mediciones las cuales se deben analizar con sumo cuidado puesto que se pueden presentar que un pandeo en la barra o cardan que une la caja y el motor se confunda con un desbalanceo.

Cuando se llegan a confundir puede ser las consecuencias sean graves hasta el daño completo del sistema.

Metodología de elección de lugares de toma de lecturas de vibración

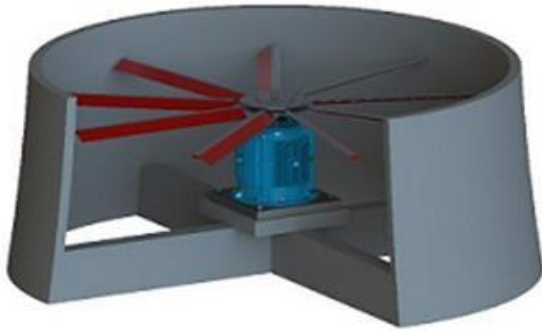


Figura 7 Sistemas recientes

En los sistemas más recientes se complica hacer mediciones por lo que se deberán hacer mediciones con acelerómetro fijos en la estructura. Y elegir sitios de medición de acuerdo a los criterios establecidos.

Con el estudio de estos casos podemos establecer los criterios para la elección de los lugares donde habremos de tomar las mediciones.

Resultados

Criterios de selección de puntos de medición en turbo – maquinaria

- Lo más cercano posible al elemento a analizar.
- Deben existir los menos componentes posibles desde el punto de medición hasta el componente a analizar.
- Hacer mediciones de preferencia formando un plano cartesiano.
- Los elementos donde se haga la medición deberá estar perfectamente sujetos a los elementos fijos del sistema (F) o tomar la medición desde este elemento fijo.

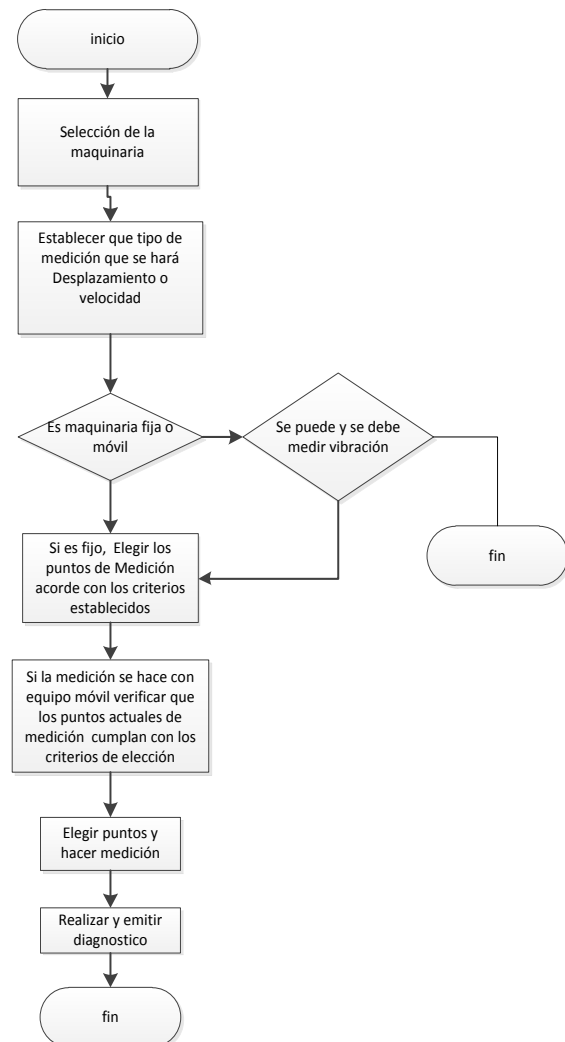


Figura 8 Flujo

Agradecimiento

Es importante reconocer el apoyo que se tiene por parte de La Universidad Tecnológica de Querétaro para la realización de este artículo a si como la Maestra Marianela Talavera por su apoyo para la realización del mismo. “Gracias”.

Conclusiones

En el presente artículo se presentan aquellos factores que puedes influir en la medición para realizar un diagnóstico y análisis de estado de la maquinaria. Se desarrolla una metodología para la buena elección de los sitios donde se debe medir para que las mediciones hechas sean fiables para la realización de un diagnóstico confiable.

Referencias

ABB Worldwide. (1997). Total motor management manual. Belgium: abb

Asmi Rizvi . (2017). Investigation of vibration reduction in gas turbine engines. Diciembre 2017, de University of Exeter Sitio web: <http://emps.exeter.ac.uk/engineering/research/materialsmanufacturing/interests/multifunc/turbines/>

Calco Cutaways. (2017). Motor-Cutaway1. Diciembre 2017, de Calco Cutaways Sitio web: <http://www.calcocutaways.com/wpcontent/uploads/2012/02/Motor-Cutaway1.jpg>

Ecodyne Technologies S. A. de C. V.. (2017). Torres de Enfrimiento en Mexico. diciembre 2017, de Ecodyne Technologies S. A. de C. V. Sitio web: <https://www.ecodyne.com.mx/>

WEG. (2017). Solución WEG Para Aplicación En Torres De Enfriamiento. Diciembre 2017, de WEG Sitio web: <http://www.weg.net/institutional/MX/es/news/productos-y-soluciones/solucion-weg-para-aplicacion-en-torres-de-enfriamiento>

William T. Tomson. (1981). TEORIA DE VIBRACIONES APLICACIONES. México: Prentice Hall

Instrucciones para Autores

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

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

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

Resumen

Titulo

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keywords

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

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

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico:)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para Autores

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Graficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

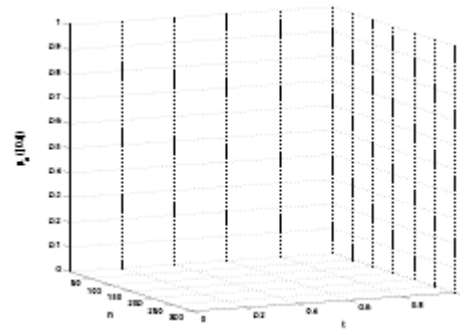


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

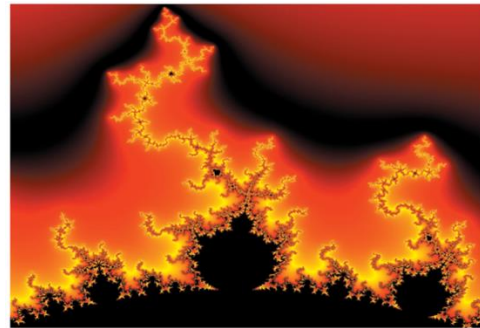


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

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

Instrucciones para Autores

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

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

Conclusiones

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

Referencias

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

Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

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

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

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

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

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Aplicaciones de la Ingeniería

“Aspersor eléctrico con carga de panel solar”

FLORES-SÁNCHEZ, Verónica, ROBLES-MORALES, Javier, REAL-HERNANDEZ, Francisco Javier, LEYVA-GARCIA, Eduardo y VALLEJO-HERNÁNDEZ, Arely

Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

“Consorcio de Microorganismos para cosecha de electrones”

NIVÓN-PELLÓN, Alejandra & NIVÓN-BOLÁN, Carlos Alejandro

Universidad Autónoma de Querétaro

“Eficiencia de las celdas solares”

LESAGE, Frédéric´, SANDOVAL-VILLEGAS, Juan Carlos´´, TOLOSA-GARMA, Irving´´, QUINTAL-VÁZQUEZ, José Francisco´´, AGUILAR-GÓMEZ, Alfredo´´ y FUSTER, G.´´

Université du Québec

Universidad Tecnológica de Cancún

“Medición de condición de operación y análisis de vibraciones”

SALAS, Alejandro

Universidad Tecnológica de Querétaro



www.ecorfan.org