

ISSN 2523-6873

Volumen I, Número 3 — Julio — Septiembre - 2017

Revista de Ingeniería Innovativa

ECORFAN®



ECORFAN-Republic of Peru

Indización

- RESEARCH GATE
- GOOGLE SCHOLAR
- HISPANA
- MENDELEY

ECORFAN-Perú

Directorio Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

Director Regional

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD.

Director de la Revista

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC.

Edición Tipográfica

TREJO-RAMOS, Iván. BsC.

Edición de Logística

SERRUDO-GONZALEZ, Javier. BsC.

Revista de Ingeniería Innovativa, Volumen 1, Número 3, de Julio a Septiembre 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No.- Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode:11500. WEB: www.ecorfan.org/republicofperu, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. ISSN 2523-6873. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2017.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

Consejo Editorial

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

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

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

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-Paris, Francia

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

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

Consejo Arbitral

VGPA. MsC

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

EAO. MsC

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

MMD. PhD

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

BRIIIG. PhD

Bannerstone Capital Management, U.S.

EAO. MsC

Bannerstone Capital Management, U.S.

OAF. PhD

Universidad Panamericana, México

CAF. PhD

Universidad Panamericana, México

RBJC. MsC

Universidad Panamericana, México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Revista de Ingeniería Innovativa.

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 de la Editora en Jefe.

Como primer artículo está *Sistema para el control de carga de baterías de una plataforma robotica móvil, utilizando un motor de combustión interna* por VÁZQUEZ-TRUJILLO, Roberto Maciel, MARCIAL-RODRÍGUEZ, Miguel Ángel, HERRERA-AGUILAR, Ignacio y MARTÍNEZ-SIBAJA, Albino con adscripción en el Instituto Tecnológico De Orizaba, como siguiente artículo esta *Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color* por NIETO-CERVANTES, Julio César, CATZIMPAT, Oscar David, TORRES-OVANDO, Rafael Alberto, DÍAZ-CARMONA, José Javier con adscripción en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, como siguiente artículo esta *Análisis de la socavación eólica en un modelo experimental* por HONORATO-MORENO, Antonio, ZAMORACASTRO, Sergio Aurelio, SALGADO-ESTRADA, Rolando y MOLINA-NAVARRO, Antonio con adscripción en la Universidad Veracruzana, como siguiente artículo esta *Optimal sizing of photovoltaic-wind turbine connected to grid recharge centers for electric vehicles* por ACEVEDO-MONTOYA, Lester Antonio, CORONDA-MENDOZA, Alberto, ZÚÑIGA-GRAJEDA, Virgilio y CASTILLO-PALOMERA, Roger con adscripción en la Universidad de Guadalajara y la Universidad Politécnica de Chiapas, como siguiente artículo está *Análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango* por ROMÁN-AGUILAR, Raúl, DELGADILLO-ÁVILA, Wendy Montserrath, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro y DOMÍNGUEZ-OLVERA, Armando, con adscripción en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, como siguiente artículo está *Diseño de un sistema de refrigeración para el almacenamiento de carne utilizando energía solar* por VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, ORTÍZ-TREJO, Adriana, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y MORALES-ORTEGA, Edgar Alejandro con adscripción en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Superior de Apan y la Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo, como siguiente artículo está *Sistema piloto de detección de gases combustibles incluyendo propuesta de comunicación a la unidad de protección civil más cercana* por VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, Jorge Alberto, ANTONIO-ANTONIO, Alejandrina, CRUZ-NETRO, Zaira Gabriela y MEZA-MORALES, Martha Isis con adscripción en la Universidad Politécnica De Altamira.

Contenido

Artículo	Página
Sistema para el control de carga de baterías de una plataforma robotica móvil, utilizando un motor de combustión interna VÁZQUEZ-TRUJILLO, Roberto Maciel, MARCIAL-RODRÍGUEZ, Miguel Ángel, HERRERA-AGUILAR, Ignacio y MARTÍNEZ-SIBAJA, Albino	1-9
Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color NIETO-CERVANTES, Julio César, CATZIM-PAT, Oscar David, TORRES-OVANDO, Rafael Alberto, DÍAZ-CARMONA, José Javier	10-18
Análisis de la socavación eólica en un modelo experimental HONORATO-MORENO, Antonio, ZAMORA-CASTRO, Sergio Aurelio, SALGADO-ESTRADA, Rolando y MOLINA-NAVARRO, Antonio	19-24
Optimal sizing of photovoltaic-wind turbine connected to grid recharge centers for electric vehicles ACEVEDO-MONTOYA, Lester Antonio, CORONDA-MENDOZA, Alberto, ZÚÑIGA-GRAJEDA, Virgilio y CASTILLO-PALOMERA, Roger	25-34
Análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango ROMÁN-AGUILAR, Raúl, DELGADILLO-ÁVILA, Wendy Montserrath, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro y DOMÍNGUEZ-OLVERA, Armando	35-41
Diseño de un sistema de refrigeración para el almacenamiento de carne utilizando energía solar VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, ORTÍZ-TREJO, Adriana, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y MORALES-ORTEGA, Edgar Alejandro	42-54
Sistema piloto de detección de gases combustibles incluyendo propuesta de comunicación a la unidad de protección civil más cercana VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, Jorge Alberto, ANTONIO-ANTONIO, Alejandrina, CRUZ-NETRO, Zahira Gabriela y MEZA-MORALES, Martha Isis	55-63

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Sistema para el control de carga de baterías de una plataforma robotica móvil, utilizando un motor de combustión interna

VÁZQUEZ-TRUJILLO, Roberto Maciel†*, MARCIAL-RODRÍGUEZ, Miguel Ángel, HERRERA-AGUILAR, Ignacio y MARTÍNEZ-SIBAJA, Albino

Departamento de Maestría en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico De Orizaba

Recibido 3 de Julio, 2017; Aceptado 8 de Septiembre, 2017

Resumen

En la actualidad el uso de plataformas roboticas móviles es cada vez mas frecuente, sin embargo estas presentan problemas cuando se trata de autonomía debido a la falta de sistemas de alimentación eficientes, que sean capaces de proveer al sistema la energía suficiente para poder operar por lapsos de tiempo largos, debido a esto se desarrollo e implemento un sistema de control para la distribución de la energía en una plataforma robótica móvil, gracias a la combinación de energía eléctrica proveniente de un banco de baterías, con la energía eléctrica generada por medio de un motor de combustión interna, logrando así un sistema híbrido de energía eléctrica. La combinación de estas diferentes fuentes de energía permite que la plataforma móvil tenga un mayor tiempo de autonomía, esta es una característica de suma importancia para el desarrollo de aplicaciones de campo de la robótica móvil. Otra característica importante de la que se trato es de la comunicación que tiene con el software Robot Operating System (Sistema operativo robotico) por sus siglas en ingles ROS.

Plataforma robotica móvil, Sistema híbrido de energía, Comunicación con ROS

Abstract

At present the use of mobile robotic platforms is becoming more frequent, however mobile robotic platforms present problems when it comes to autonomy due to the lack of efficient power systems, which are able to provide the system with enough power to power Operate for long periods of time, due to this development and implementation of a control system for the distribution of energy in a mobile robotic platform, thanks to the combination of electrical energy from a battery bank, with the electric energy generated by Medium of an internal combustion engine, thus achieving a hybrid electric power system. The combination of these different power sources allows the mobile platform to have a longer autonomy time, this is a feature of paramount importance for the development of field applications of mobile robotics. Another important characteristic of the one that is treated is the communication that it has with the software Robot Operating System by its acronym in English ROS.

Mobile robotic platform, Power hybrid system, Communication with ROS

Citación: VÁZQUEZ-TRUJILLO, Roberto Maciel, MARCIAL-RODRÍGUEZ, Miguel Ángel, HERRERA-AGUILAR, Ignacio y MARTÍNEZ-SIBAJA, Albino. Sistema para el control de carga de baterías de una plataforma robotica móvil, utilizando un motor de combustión interna. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:1-9

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: robertomvt.94@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En este artículo se presenta una propuesta de un sistema de carga para baterías acoplado a una plataforma móvil; basado en un motor de combustión interna que a su vez es acoplado a un alternador, controlado por una tarjeta de hardware libre (arduino) y una computadora. Uno de los problemas más comunes dentro de la robótica móvil es que la mayoría de las plataformas móviles usan diferentes tipos de baterías, pero estas por su naturaleza se descargan con el tiempo, generalmente antes de que el móvil finalice su tarea. Por tal motivo implementar un sistema basado en un motor de combustión interna que funja la función de generador, le proporciona más tiempo de operación a dichas plataformas. por lo que se creara un sistema de control que se encargue en primer lugar del paso de la corriente de las baterías a la carga y en segundo lugar cuando las baterías se descarguen entre en funcionamiento el generador de voltaje, el voltaje producido por este se pretende regular para que coincida con el voltaje de la carga y la batería, de esta manera se asegurara que el vehículo no sufra daños, así mismo el proceso que actualmente se usa para cargar las baterías es manual por lo que resulta bastante incómodo para el usuario, se pretende entonces hacer que el sistema de carga y alimentación de las baterías se realice de manera automática mediante el uso de un microcontrolador.

Con este sistema se pretende lograr que la plataforma sea una plataforma híbrida evitando así que la contaminación producida por el generador de voltaje sea mayor.

Una de las energías más utilizadas en estos tiempos es la energía eléctrica, debido a que esta energía se puede transformar fácilmente en otros tipos de energía, como la energía mecánica que es la necesaria para mover la plataforma móvil a la que está enfocado el proyecto.

Una de las formas de obtener energía eléctrica para el funcionamiento de la plataforma móvil sería conectarse a una red eléctrica, pero esto limitaría la movilidad de dicha plataforma y su fácil traslado, porque siempre tendría que estar conectada a la red eléctrica, una de las pocas formas alternativas es utilizar baterías que convierten la energía eléctrica en energía química para poder almacenarla.

Existen varias clasificaciones de baterías, entre ellas se encuentra su clasificación de acuerdo a su habilidad para ser recargadas una vez que se han descargado.

Dentro de esta clasificación tenemos dos opciones:

Baterías primarias: Este tipo de baterías no permite que se utilicen más de una vez esto quiere decir que una vez descargadas ya no será posible volver a recargarlas, se utilizan en aplicaciones que requieren pequeña potencia por lo que su tamaño también es reducido.

Baterías secundarias: Este tipo de baterías pueden ser utilizadas en más de una ocasión lo cual quiere decir que una vez que se descargan es posible recargarlas, también son llamadas baterías recargables o acumuladores.

En nuestro proyecto se requiere utilizar el tipo de baterías secundarias debido a que la plataforma móvil requiere de potencia y de constante uso de energía.

Las baterías secundarias de gran potencia (varios ampere-hora) se utilizan en su mayoría para el arranque de vehículos con motor de combustión interna, pero en los últimos tiempos se ha aumentado el interés para utilizar estas baterías en vehículos eléctricos y vehículos híbridos. Dentro de las baterías secundarias también existe una clasificación:

Baterías que funcionan en régimen estacionario.

Estas baterías se cargan desde una fuente de energía primaria y se descargan ocasionalmente, por ejemplo, cuando la fuente de energía primaria falla o cuando no alcanza a suministrar los requerimientos de funcionamiento de la aplicación. Para que la batería este cargada completamente durante los periodos de inactividad se le aplica pequeños ciclos de carga llamados carga de mantenimiento. Baterías que funcionan bajo regímenes cíclicos de carga-descarga

Estas baterías sirven como fuente de alimentación para circuitos eléctricos, una vez que sean descargadas, se recargan utilizando una fuente primaria de energía que suele ser la red eléctrica.

Siguiendo esta clasificación de baterías y de acuerdo a la aplicación que les daremos a las baterías nos enfocaremos en hablar acerca de las baterías que funcionan bajo regímenes cíclicos de carga y descarga.

Otro de los principales elementos que conformaran la plataforma móvil es un alternador, el objetivo principal de este es el de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, esto lo realiza por medio de un rotor y de un campo magnético.

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que a partir de una energía química proporcionada es capaz de convertirla en energía mecánica utilizable, que en nuestro caso será la energía que moverá el alternador, la energía transformada es proveniente de combustión que se realiza en el interior del motor de ahí su nombre, la cual se produce por medio de un fluido activo o por una mezcla de combustibles.

En la actualidad existen diferentes tipos de plataformas móviles, algunas son creadas como prototipos para laboratorios y otras son comerciales, como la plataforma fabricada por la empresa europea Robotnik llamada Summit XL, esta plataforma tiene cinemática diferencial basada en cuatro motores de alto rendimiento, su odometría se calcula haciendo uso de cuatro encoders y un sensor angular de alta precisión montado en el chasis, Esta plataforma puede navegar autónomamente o ser teleoperada mediante una cámara Pan-Tilt-Zoom, que transmite video en tiempo real. Actualmente el sistema de alimentación del robot cuenta con un sistema de baterías 8x3.3V LiFePO4, lo cual le permite tener un tiempo de funcionamiento de manera continua de hasta cinco horas.

En el trabajo titulado conversión de un robot móvil de cadena híbrido describe el desarrollo de un prototipo de robot híbrido eléctrico, es un robot móvil de cadenas híbrido eléctrico llamado "Auriga alpha" el cual cuenta con un sistema de alimentación con un generador de combustible y un banco de baterías, propone un sistema de alimentación híbrido mediante la acción conjunta de baterías y un generador monofásico de gasolina como apoyo auxiliar. Su objetivo es aprovechar la elevada densidad de energía química que ofrecen las nuevas tecnologías de almacenamiento de energía, lo cual permite aumentar su autonomía energética, en este caso usando un sistema híbrido eléctrico.

Por ultimo podemos mencionar el caso del robot Vine Robot, el cual se desarrolló e implemento con la intención de que monitoreara viñedos, las funciones principales que realiza el robot son verificar el crecimiento de la uva y el estado del agua, así como la composición de la uva, la implementación de un sistema de alimentación como el que se plantea daría la posibilidad de que este robot pudiera supervisar mayores extensiones de terreno sin ningún problema.

Desarrollo

Para que la plataforma móvil no dependa solamente de las baterías con las que cuenta, se le adaptara un motor de combustión interna cuya función será cargar las baterías y mantener todo el sistema funcionando, hasta que las baterías hayan sido recargadas. Con esto se aumentará significativamente el tiempo de funcionamiento de la plataforma.

En la figura 1 se muestra el diagrama de control de carga para las baterías del móvil, sus componentes se describen a continuación; computadora por la cual se estará monitoreando a distancia el nivel de descarga de las baterías, para lograr eso, utilizaremos un sensor de corriente y su información será procesada por un controlador, en nuestro caso usaremos la tarjeta arduino, ella se encargara de enviar la señal al motor para que este empiece a trabajar, provocando movimiento en el alternador que se encargara de cargar las baterías y mantener al sistema operando.

Para evitar que el voltaje producido por el alternador dañe alguno de los componentes de la plataforma como laptop, router, Kinect, motores de las llantas o al piston que controla la dirección, se contara con el módulo de control que al mismo tiempo se encargara de elevar o disminuir los voltajes producidos, de acuerdo con las especificaciones de cada componente, esto será realizado por medio de fuentes conmutadas.

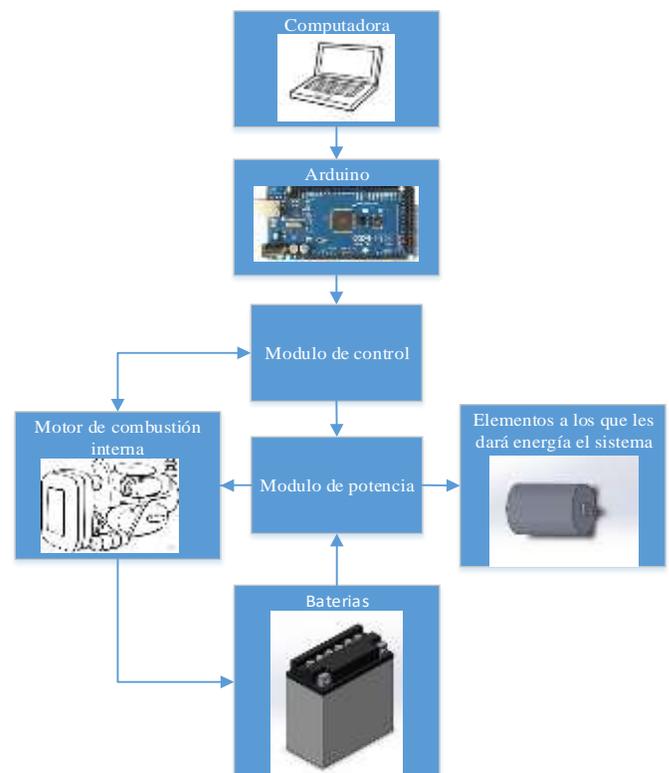


Figura 1 Esquema del control de carga para baterías

Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 2 Esquema de la generación de energía eléctrica para recargar las baterías

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 2 se puede observar que el motor de combustión interna va a producir un movimiento, que por medio de una banda moverá al mismo tiempo el alternador el cual se encargara de convertir esta energía mecánica en energía eléctrica, en específico corriente alterna, el alternador cuenta con un puente rectificador el cual se encarga de convertir la corriente alterna en corriente continua, que es la necesaria para cargar las baterías.

Electrónica de potencia:

Esta parte está integrada por fuentes conmutadas las cuales dan una alta eficacia respecto a las fuentes construidas a partir de reguladores de voltaje, nos permitirán la circulación de corriente de las baterías a los diversos elementos de la plataforma móvil, así como del generador a las baterías y elementos de la plataforma móvil.

Regulador de voltaje para el alternador:

El alternador necesita una retroalimentación de voltaje la cual se dará por medio de este regulador

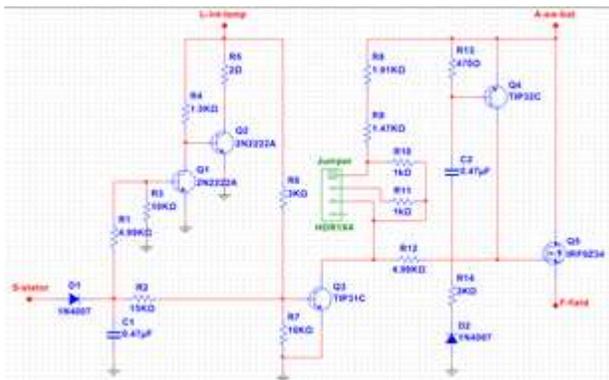


Figura 3 Esquema electrónico del regulador de voltaje

Fuente: *Diseño propio*

Etapas de control:

Esta parte será el software de nuestro sistema, en donde se creará el programa que posteriormente se cargará en un microcontrolador para que este se encargue del control del sistema de carga de baterías, logrando así que el tiempo de funcionamiento de la plataforma móvil sea mayor.

En esta parte se incluirá también un sensor de corriente que será el encargado de medir el nivel de corriente que tienen las baterías y por medio del microcontrolador se determinara si ese nivel es demasiado bajo, si esto resulta verdadero se mandara la señal para que el motor entre en funcionamiento, posteriormente cuando el nivel de corriente en las baterías sea el adecuado para que estas puedan alimentar a el sistema de la plataforma se mandara a apagar el motor.



Figura 4 Sensor de corriente modelo ACS-712
Interfaz con ROS

Fuente: <https://electrocrea.com/products/sensor-de-corriente-acs712-30a>.

ROS es un software que se utiliza para controlar y monitorear robots a distancia entre otras cosas, se creara esta interfaz con el fin de poder monitorear bajo qué condiciones está trabajando nuestra plataforma móvil.

Resultados

Los componentes que integran la plataforma son una computadora la cual se alimenta con un voltaje de 19.5V y consume 2A, la plataforma se desplaza con la ayuda de cuatro motores los cuales trabajan a 12V y consumen una corriente de 1A en condiciones normales, en condiciones de esfuerzo su consumo se eleva a 4A, por lo cual será necesario monitorear la corriente que consumen los motores ya que cuando su consumo aumenta a cuatro veces más de lo normal es una indicación de que la plataforma se ha atorado con algún tipo de obstáculo, el router de la plataforma funciona con 9V y consume 0.6A, la plataforma contaba con dirección diferencial, pero debido a que no era eficaz se le agrego una dirección con volante la cual es manipulada por un pistón eléctrico de 12V y consume 1A, la tarjeta arduino y el Kinect se alimentan directamente desde la laptop, pero si se quisiera también podrían alimentarse directamente desde las baterías, para poder alimentar a todo estos elementos se cuenta con un par de baterías de 12V que pueden dar una corriente de 7A, las cuales permiten que la plataforma trabaje de acuerdo a las pruebas realizadas aproximadamente dos horas, este tiempo resulta demasiado poco para el fin con el que se elabora la plataforma que es el de exploración, además de que no se le da la autonomía que se busca, después de este tiempo es necesario recargar las baterías, como se menciona en la introducción de este documento la manera más típica de recargar baterías es utilizando la red eléctrica, en las pruebas realizadas se obtuvo que para recargar las batería a su máxima capacidad se necesitaba que estuvieran conectadas a la red eléctrica dos horas y media, lo que significa que la plataforma se encontrara sin funcionar dos horas y media, lo cual resulta un tiempo de espera demasiado extenso para el usuario.

Para resolver este problema, es que se plantea colocarle un motor de combustión interna en la parte superior del chasis, en pruebas realizadas se obtuvo que con un litro de gasolina el motor puede operar sin problemas una hora, el tanque de gasolina con el que cuenta la plataforma es de dos litros, lo que significa que el motor de combustión interna puede trabajar durante dos horas antes de que se le acabe el combustible.



Figura 5 Plataforma móvil a la que se le adaptara el sistema de carga de baterías

Fuente: *Fotografía de la plataforma robótica del Instituto Tecnológico de Orizaba.*

En la figura cinco se aprecia una foto de la plataforma móvil a la cual se le adaptará el sistema de carga de baterías, el motor de combustión interna se colocará en la parte superior de la plataforma, el peso del motor y el alternador es de 26Kg. La plataforma fue diseñada para cargar 30Kg, por lo que el motor no sobrepasa los límites de carga de la plataforma y permitirá que esta siga funcionando con normalidad.



Figura 6 Motor de combustión interna utilizado para recargar las baterías

Fuente: *Fotografía del motor de combustión interna del Instituto Tecnológico de Orizaba*

En la figura siete se puede apreciar el motor de combustión interna del lado derecho de la imagen, al lado izquierdo de la imagen se puede observar el alternador y una batería de 12V, en la parte superior se observa el tanque de gasolina con el que se cuenta.

Como ya se mencionó previamente el motor mueve un alternador que es el que se encarga de transformar la energía mecánica producida por el movimiento del motor en energía eléctrica de CA, para convertir esta energía de CA en corriente directa (CD), que es la necesaria para recargar las baterías y para alimentar a los demás componentes del sistema, el alternador tiene un puente de diodos interno que se encarga de rectificar la corriente de CA, por lo que en las terminales de salida del alternador se puede obtener un voltaje de CD, este voltaje depende de la retroalimentación que se da con la ayuda del regulador de voltaje mostrado en la figura 5, por medio de este sistema es posible recargar las baterías en un tiempo de una hora.



Figura 7 Prueba de la carga de las baterías utilizando el motor de combustión interna

Fuente: *Fotografía del motor de combustión interna del Instituto Tecnológico de Orizaba*

En la figura 8 se observa una foto de las pruebas previas en donde se puso a trabajar el motor de combustión interna con un litro de gasolina para realizar la carga de las baterías, el voltaje que se produce en las terminales del alternador es de 14.4V mismo que se suministra a las baterías para que estas se carguen.



Figura 8 Fotografía del motor de combustión interna acoplado a la plataforma robótica móvil

Fuente: *Fotografía del motor de combustión interna y de la plataforma robótica móvil del Instituto Tecnológico de Orizaba*

A continuación, se presenta una tabla y una gráfica en donde se muestra el tiempo necesario para recargar una batería por parte del alternador, cabe mencionar que cuando una batería se encuentra descargada el consumo de corriente es elevado y conforme se va recargando su consumo de corriente disminuye llegando hasta los 500mA, que es el valor que indica que ha sido cargada totalmente.



Gráfico 1 Tiempo de la carga de una batería usando el alternador y motor de combustión interna

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 1 se observa que en el tiempo cero de la carga de una batería el consumo de corriente es elevado debido a que esta se encuentra descargada, conforme aumenta el tiempo de carga la corriente que consume va disminuyendo, hasta que llega un punto en donde el consumo de corriente por parte de la batería se vuelve lineal, aproximadamente en los 500mA, en las pruebas este valor se consiguió en aproximadamente una hora.

También se incluye una gráfica, en donde la carga de la batería se realizó con la red eléctrica en lugar de utilizar el motor de combustión interna.

Tiempo (min)	Corriente (A)
0	4
1	3.98
2	3.96
3	3.93
4	3.9
5	3.88
6	3.87
7	3.84
8	3.84
9	3.79
10	3.75
11	3.72
12	3.67
13	3.65
14	3.6
15	3.58
16	3.54
17	3.52
18	3.5
19	3.49
20	3.47
21	3.45
22	3.43
23	3.42
24	3.4
25	3.39
26	3.36
27	3.35
28	3.3
29	3.31
30	3.26
31	3.2
32	3.12
33	3.09
34	3
35	2.91
36	2.85
37	2.82
38	2.73
39	2.61
40	2.6
41	2.52
42	2.45
43	2.32
44	2.2
45	2.1
46	2
47	1.9
48	1.8
49	1.5
50	1.2
51	0.9
52	0.85
53	0.75
54	0.68
55	0.62
56	0.55
57	0.54
58	0.53
59	0.53
60	0.53

Tabla 1 Carga de una batería utilizando el motor de combustión interna. En la izquierda tenemos el tiempo necesario para cargar la batería y a la derecha tenemos el consumo de corriente de la batería

Fuente: Elaboración propia.

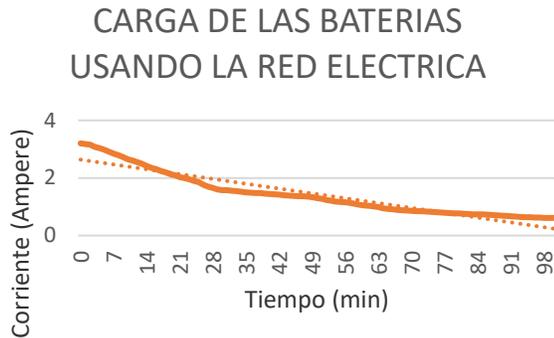


Gráfico 2 Tiempo de carga de una bacteria utilizando la red eléctrica

Fuente: *Elaboración propia.*

En la gráfica 2 se observa el tiempo necesario para cargar una batería utilizando la red eléctrica es de aproximadamente 96 minutos, este tiempo resulta ser 36 minutos mayor si lo comparamos con el tiempo en que se carga una batería utilizando el motor y el alternador, respecto al consumo de corriente se observa que ocurre un comportamiento similar al principio de la carga se consume mayor corriente y conforme pasa el tiempo este consumo de corriente va disminuyendo hasta llegar las 500mA aproximadamente.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos se puede concluir que el uso de un motor en conjunto con un alternador es muy eficiente para cargar las baterías, el tiempo de carga es menor respecto al tiempo de carga utilizando la red eléctrica, además existe la ventaja de que la plataforma móvil puede transportar el motor y no tiene que estar forzosamente conectada a una toma de corriente eléctrica para recargar sus baterías, lo cual le da una mayor libertad de movimiento y un mayor tiempo de funcionamiento que es uno de los objetivos principales del proyecto.

Teniendo en cuenta que el tiempo de funcionamiento de la plataforma usando solamente como fuente de energía las baterías es de aproximadamente dos horas y que el tiempo de recarga de estas utilizando el sistema propuesto es de una hora, se espera que en pruebas realizadas para el mes de diciembre, la autonomía de la plataforma sea de 6 horas, dos horas trabajara utilizando el motor de combustión interna, que es el tiempo en el que las baterías de la plataforma serán recargadas, y cuatro horas trabajara con la energía proporcionada por las baterías.

Referencias

- Diago, Maria P et al. 2015. "Vinerobot: On-the-Go Vineyard Monitoring with Non-Invasive Sensors." *Progres Agricole et Viticole*: 1–4.
- Hl, Summit X L. "Summit XI Hl." Londoño Ospina, Nelson et al. 2006. "Rtt: Robot Para Navegación En Terrenos Irregulares." *Scientia et Technica, ISSN 0122-1701, Vol. 3, N°. 32, 2006, págs. 79-84* 3(32): 79–84.
- Quintela, F R. "Definición de Alternador." : 1–6.
<http://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Descargas/DefinicionAlternador.pdf>.
- Ramos-silvestre, Edgar Roberto et al. 2010. "Modelado , Simulación Y Construcción de Un Robot Móvil de Ruedas Tipo Diferencial."
- Systems, Teleoperated Robotics. 2005. "Sistemas Roboticos Teleoperados." (15): 62–69.
- Te, Marco. "Capitulo Iii Descripción Del Motor Y Su Funcionamiento."
- Viera, Juan C. 2003. *Carga Rapida de Baterias de Ni-Cd Y Ni-MH de Media Y Gran Capacidad. Analisis, Sintesis Y Compracion de Nuevos Metodos.*

Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color

NIETO-CERVANTES, Julio César†*, CATZIM-PAT, Oscar David, TORRES-OVANDO, Rafael Alberto, DÍAZ-CARMONA, José Javier

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto Tecnológico de Celaya

Recibido 24 de Julio, 2017; Aceptado 19 de Septiembre, 2017

Resumen

En este trabajo se presenta un sistema para la detección de falta de nutrientes en hojas de árbol de limón. El objetivo es que este sistema sirva como herramienta automatizada para orientar a los agricultores sobre la cantidad de fertilizante que debe de aplicar en ciertas áreas. Las imágenes serán filtradas para la fácil detección de falta de nutrientes, así como el daño que se puede generar a partir de ello como es el cambio de pigmentación de la hoja y menor producción de fruto, y todo esto influye directamente al productor. Se pretende que con la información proporcionada por el sistema se reduzca el uso de fertilizante y con esto el daño al medio ambiente sea menor.

Detección de clorosis, Modelo de color HSV, segmentación de imágenes

Abstract

In this paper, a system for the detection of nutrient deficiency in lemon tree leaves is presented. The goal is for this system to serve as an automated tool to guide farmers about the amount of fertilizer they should apply in certain areas. The images will be filtered for the easy detection of lack of nutrients, as well as the damage that can be generated from it as it is the change of leaf pigmentation and less fruit production, and all this directly influences the producer. It is intended that the information provided by the system reduces the use of fertilizer and with this the damage to the environment is lower.

Chlorosis detection, HSV color model, image segmentation

Citación: NIETO-CERVANTES, Julio César, CATZIM-PAT, Oscar David, TORRES-OVANDO, Rafael Alberto, DÍAZ-CARMONA, José Javier. Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:10-18

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: javier.diaz@itcelaya.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las investigaciones sobre la adaptación de las plantas a diferentes niveles de disponibilidad de nutrientes son de gran importancia dada la gran diversidad de tipos de suelos de nuestro país y por el alto costo de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos. La clorosis se inicia en las hojas más viejas, puesto que el N es translocado a los tejidos jóvenes que están crecimiento activo; a medida que la deficiencia se agudiza, este síntoma se extiende a las hojas intermedias y por último a toda la planta. La clorosis de las plantas es un problema que condiciona el desarrollo de los cultivos en suelos elevando su pH o calcáreos y la falta de hierro (Fe) ha sido reconocida desde 1844 (Loué, 1998) y aun cuando fue la primera deficiencia nutrimental en plantas. El síntoma característico es una clorosis internerval que afecta más a las hojas jóvenes que a las maduras (Meguel, 1995) afecta prácticamente a todas las especies y vegetales, herbáceas y leñosas, agrícolas y forestales, silvestres o cultivadas. Se ha dicho que la deficiencia se produce por una baja disponibilidad de Fe. La deficiencia de hierro limita el desarrollo de la planta y en casos severos causa la muerte de la misma. La concentración de hierro en las raíces normalmente es superior a la de las hojas, lo que refleja en cierta medida la disponibilidad de hierro en el suelo.

Rodríguez et al. (1998) señalan que las acidificaciones de las soluciones fertilizantes aplicadas sobre los suelos mediante el riego, permitirían mejorar la solubilidad de muchos compuestos que contienen hierro (Fe), cinc (Zn), manganeso (Mn), calcio (Ca) y fósforo. (P) en suelos calcáreos. Otros autores dudan de la efectividad de éstas en campo (Miyamoto et al., 1975; Imas; 2000), indicando que en suelos con altos niveles de carbonatos se requieren de elevadas cantidades de ácido, volviendo impracticable la medida.

A través del tiempo, diversos autores han representado evidencias que indican la relación de algunas propiedades del suelo con la incidencia de clorosis en distintas especies vegetales.

Thorne et al. (1950), para explicar la relación entre los hechos observados y la ocurrencia de la clorosis en suelos calcimórficos, discutieron las siguientes hipótesis:

Alto pH y cantidad excesiva de carbonatos hacen que el hierro del suelo esté menos disponible para las plantas.

Alta humedad del suelo, pobre aireación y temperaturas extremas del ambiente, perturban el metabolismo vegetal, de tal modo que el hierro es inactivo.

Los fosfatos pueden precipitar el hierro, ya sea en el suelo o en el tejido vegetal.

Alto contenido de magnesio en el suelo o en la planta pueden llevar al hierro a un estado de oxidado.

La deficiencia del hierro y otros micronutrientes se propician cuando el pH es superior a 7.8, y hay un alto contenido de CaCO_3 y un bajo nivel de materia orgánica, según (Abadia, 1952).

La agricultura moderna se ha basado en el uso de agroquímicos para el mejoramiento de producción como lo son los fertilizantes. El uso desmedido de estos productos químicos está generando altos niveles de contaminación afectando la salud de los consumidores (Cano et al., 2004). En la agricultura tradicional el control seguro y efectivo de la producción los cultivos requieren tecnología específica, avanzada y de bajo costo para los productores.

Esta investigación ofrece una solución a la problemática planteada, donde se explica el uso desmedido de fertilizantes, el cual requiere de un sistema entrenado que permita el procesamiento de imágenes para, en base a criterios establecidos por un experto en el área de la agricultura, los cuales presentan año con año problemas en la falta de nutrientes como el Hierro (Fe) y el Fosforo (P).

Trabajos relacionados

Clorosis férrica y su relación con el nivel de clorofila y hierro en diferentes órganos en plato propuesto por (Fernandez, 2003) el color de las hojas medido con colorímetro triestímulo, en sus tres valores (L^* , a^* y b^*), presentó diferencias significativas entre los tres grupos de árboles (véase en el cuadro 1). Sin embargo, b^* fue aquella con mayores diferencias entre cada grupo, lo cual permite afirmar que, sería la más adecuada para determinar color de follaje en árboles con clorosis férrica. Esto quedó corroborado con la altísima correlación ($R^2 = 0,95$; véase en la figura 1), entre el valor de b^* de la hoja y la concentración de clorofila en la misma, contra $R^2 = 0,90$ y $0,19$ para L^* y a^* respectivamente. Un L^* mayor indica un incremento en el color blanco, un a^* más negativo indica mayor presencia de color verde y un b^* mayor tendencia hacia el amarillo (Voss, 1992; Howard et al., 1996). La asociación entre color y clorofila permite validar lo obtenido por Peryea y Kammereck (1997) quienes, utilizando un equipo SPAD en peral, señalan que la determinación indirecta del nivel de clorofila en la hoja, por colorimetría, es una buena opción para cuantificar la clorosis férrica. Sin embargo, hay otros nutrientes (nitrógeno, magnesio, manganeso), que también participan en la síntesis de clorofila, lo cual resta confiabilidad a esta opción de diagnóstico.

Color			
Clorosis follaje	L^*	a^*	b^*
Ausente	32,5 a	-6,6 a	7,8 a
Mediana	42,5 b	-15,5 c	27,4 b
Intensa	61,5 c	-11,0 b	50,0 c

Tabla 1 Color de las hojas según el grado de clorosis en árboles de plato

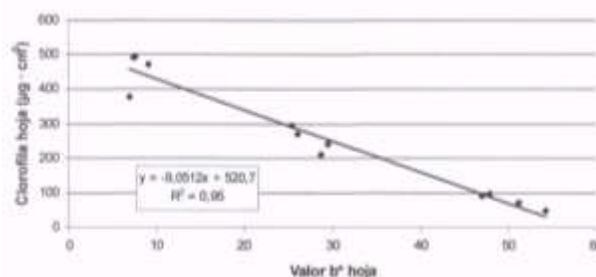


Figura 1 Relación en el valor b^* de color y la concentración de clorofila en la hoja de plato

La concentración de hierro en cada tejido (véase en el cuadro 2). Como se puede observar, sólo el fruto es el tejido que acusó diferencias significativas, entre los árboles sanos y aquellos con clorosis férrica. La concentración de hierro en las hojas no presentó una buena relación con la concentración de clorofila en la misma ($R^2 = 0,22$). Este resultado confirma lo obtenido en diversas investigaciones en distintas especies frutales (Ruiz et al., 1980; Kovanci, citado por Terry y Abadía, 1986; Guzmán et al., citado por Lucena 1997).

Tampoco la inflorescencia apareció como un tejido adecuado para indicar clorosis férrica ($R^2 = 0,02$). Esto no coincide con los resultados obtenidos por Sanz et al. (1997), en duraznero en España, quienes reportaron una alta correlación entre las concentraciones de hierro en la flor y el nivel de clorofila en las hojas. En cambio, coincide con lo obtenido por los mismos autores en Italia, donde no obtuvieron tal correlación, en duraznero.

El pedúnculo tampoco presentó una buena correlación entre su concentración de hierro y el nivel de clorofila en la hoja ($R^2 = 0,15$), resultado que lo descarta como un tejido indicador de la clorosis férrica. En cambio, la concentración de hierro en la pulpa del fruto presentó una alta correlación ($R^2 = 0,67$) con la concentración de clorofila en la hoja (Figura 2). Una posible explicación de este resultado sería que, estando el hierro en menor concentración en el fruto que en los otros tejidos analizados, una alta proporción del mismo corresponda al hierro activo, que es el que participa en la síntesis de clorofila. Este resultado que es inédito, permite visualizar al fruto como un órgano promisorio para el diagnóstico de la deficiencia de hierro, al menos en el palto. De esta manera se abre la posibilidad de utilizar el análisis químico de hierro total, que es de fácil y económica aplicación, y que, aunque es de uso rutinario en los laboratorios, no funciona en el análisis foliar.

Clorosis Follaje	Hoja	Inflorescencia	Pedúnculo	Fruta
Ausente	120,0	53,2 mg·kg ⁻¹	79,1	13,8 a
Mediana	108,5	50,0	76,3	10,0 b
Intensa	98,4	53,2	97,2	8,5 b

Tabla 2 Concentración de hierro en distintos tejidos, según el grado de clorosis férrica en árboles de palto. Base peso seco

Según las cifras (véase en la figura 2), el nivel crítico de hierro en la pulpa del fruto se ubicaría entre 10 y 13,8 mg · kg⁻¹. Sin embargo, se requiere de análisis adicional en un mayor número de árboles y en diferentes huertos afectados por clorosis férrica, para fijar una cifra definitiva.

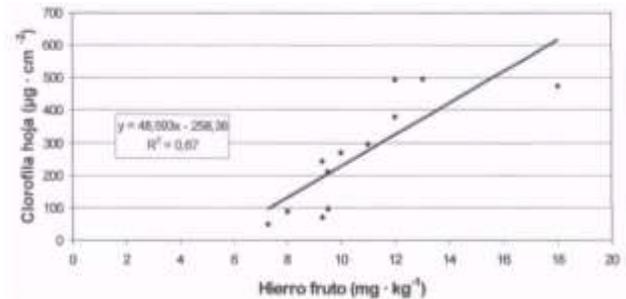


Figura 2 Relación entre la concentración de hierro en la pulpa del fruto y el nivel de clorofila en la hoja de palto

Color y contenido de clorofila de los frutos: el color y la concentración de clorofila en los frutos también estuvieron altamente relacionados con el grado de clorosis férrica en el follaje. La piel del fruto presentó una coloración verde oscura en los árboles normales, verde claro en los intermedios y verde amarillenta en los afectados por clorosis severa, con diferencias significativas entre ellos (véase en el cuadro 3). Además, el color del fruto se presentó muy relacionado con el contenido de clorofila en la hoja, con un $R^2 = 0,87$, para el valor L^* ; 0,83 para a^* y 0,89 para b^* (véase en la figura 3). Similar grado relación ($R^2 = 0,74$) se obtuvo entre el nivel de clorofila de la hoja y del fruto (véase en la figura 4).

También se encontró una alta relación entre el color del fruto y la concentración de clorofila en el mismo, con valores $R^2 = 0,78$ para L^* ; 0,62 para a^* y 0,77 para b^* (Figura 5), siendo en este caso los valores L^* y b^* aquellas con mayor grado de asociación con la clorofila.

Estos resultados, junto con confirmar lo señalado por Lahav y Whiley (2002), en el sentido que la clorosis férrica afecta tanto al color del follaje como al de los frutos en el palto, permiten establecer al fruto como un certero indicador del grado de clorosis férrica en el árbol, no sólo como ya se vio, por su contenido de hierro, sino que, además, por su color y contenido de clorofila.

Clorosis follaje	L*	a*	b*
Ausente	36,3 a	-11,0 a	16,6 a
Mediana	42,6 b	-12,9 b	26,5 b
Intensa	50,7 c	-14,9 c	33,8 c

Tabla 3 Color de la piel del fruto según el grado de clorosis férrica del follaje en árboles de palto

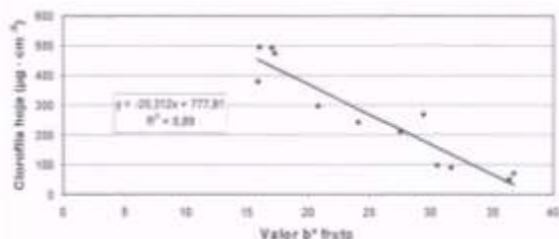


Figura 3 Relación entre el valor b* de color en el fruto y la concentración de clorofila en la hoja del palto

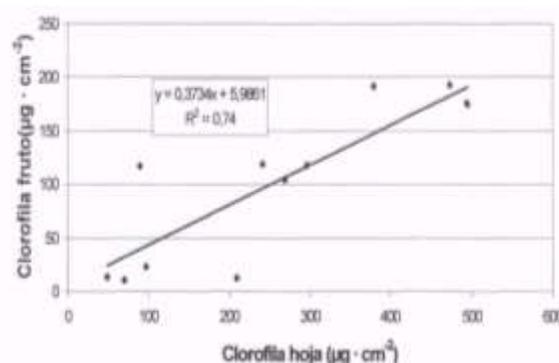


Figura 4 Relación entre la concentración de clorofila en la hoja y en la piel del fruto de palto

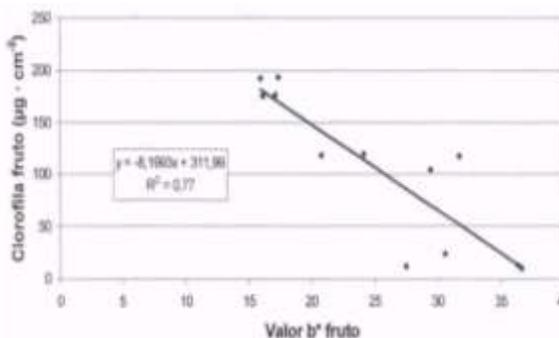


Figura 5 Relación entre el valor b* de color y el contenido de clorofila en el fruto de palto

En el cuadro 4 se puede observar que la clorosis férrica influyó negativamente en el peso del fruto y en su contenido de aceite.

Se encontró un $R^2 = 0,93$ entre el nivel de clorofila de la hoja y el peso del fruto (véase en la figura 6) y un $R^2 = 0,68$ entre la clorofila de la hoja y la concentración de aceite en el fruto (véase en la figura 7). Cabe consignar, que la clorosis férrica no habría alterado la madurez del fruto, pues éste desarrolló su color negro en la piel en igual fecha en todos los árboles (fines de octubre). La disminución en el tamaño del fruto como consecuencia de la clorosis férrica confirma, en este caso en palto, lo obtenido por Razeto y Rojas (1977) en duraznero, mientras que la disminución en el contenido de aceite coincide con lo observado por Lee (1981), en alto. La menor actividad fotosintética de los árboles con follaje clorótico sería la causa de estos resultados.

Clorosis follaje	Peso fruto (g)	% aceite pulpa
Ausente	185,7 a	8,3 a
Mediana	150,3	5,6 a
Intensa	107,3 c	5,2 b

Tabla 4 Peso del fruto y concentración de aceite, según el grado de clorosis férrica árboles de palto

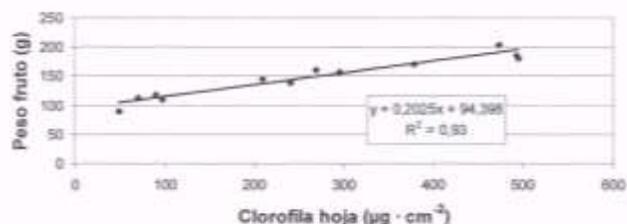


Figura 6 Relación entre el contenido de clorofila de la hoja y el peso del fruto en palto

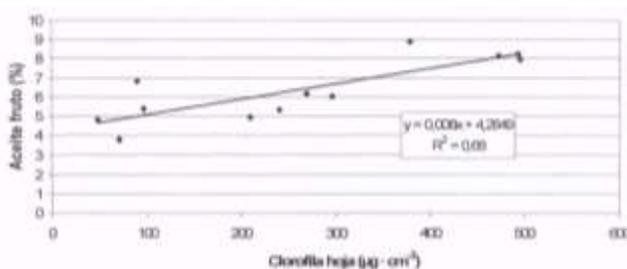


Figura 7 Relación entre el nivel de clorofila en la hoja y el contenido de aceite en el fruto de palto

Método

La imagen digital es el sucesor de la fotografía tradicional gracias a los avances de la tecnología. En la imagen digital se pueden ver dos hechos, la originalidad de la imagen cuando es tomada, y el resultado de compresiones, optimizaciones, filtrados y otros procesos (Valdivia, 2009).

Una imagen puede ser considerada como una función $f(x, y)$ la cual es una matriz con índices de filas y columnas los cuales representan un punto en la imagen y su valor identifica el nivel de color en ese punto. Los elementos de estas matrices digitales son los píxeles.

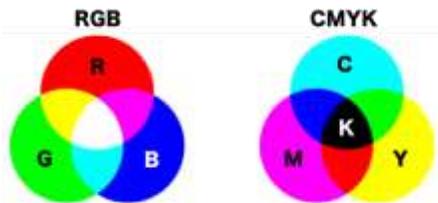


Figura 8 Modelo del color RGB y CMYK

La metodología propuesta en este artículo, está compuesta por diferentes etapas que llevan al objetivo que es la detección de clorosis en las hojas del árbol de limón (citrus limón). Para ello es necesario conocer los síntomas con lo que es posible detectar esta infección. Los síntomas presentados dependen principalmente del agente patógeno que este atacando la planta (Agrios, 2005). Para el presente trabajo se decidió utilizar tres hojas de limón la cual fue afectada por déficit de nutrientes como se muestra en la figura 9.



Figura 9 Fotos de las tres hojas de limón

En la figura 10 se muestra la hoja de limón sana, es decir sin síntomas de clorosis, con el color del tejido ideal para una hoja. Utilizando la app de Matlab

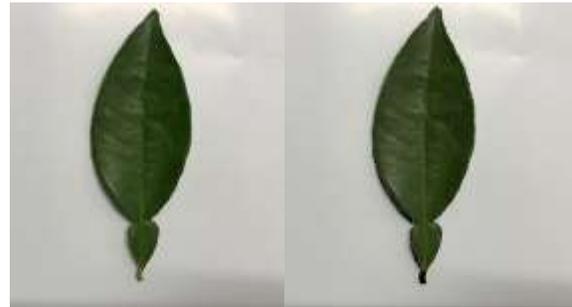


Figura 10 Hoja con color de tejido ideal.

La figura 11 muestra como se eliminó la zona que no estaba dentro del rango que se estableció, en un color verde ideal para que se considere que la hoja está sana dando a entender que ya comienza con algún síntoma de enfermedad patógena.



Figura 11 Hoja de limón con principios de clorosis

Como se observa en la figura 12, es la hoja de limón que presenta un estado grave de clorosis ya que su pigmentación no es la adecuada para el tipo de hoja



Figura 12 Hoja de limón con síntomas de clorosis en su totalidad

Modelo HSV y HSL

Estos modelos incluyen otros dos parámetros adicionales al matiz o croma para obtener el color, que son la saturación (en ambos) y el valor (en HSV) o la luminosidad o tono (en HSL). De ahí sus siglas: HSL (H – hue o matiz, S – saturation o saturación, L – luminosity o luminosidad/tono), HSV (idem excepto V de value o valor).

La diferencia entre HSV y HSL es que en HSV la saturación va del color puro al blanco, y en HSL la saturación va del color puro al gris medio, y el tono, en HSV va desde el negro al color, y en HSL va desde el negro al blanco. En la figura 13 se muestra el modelo HSV y en la figura 14 se muestra los rangos de HSV para la detección del color amarillo en las hojas.

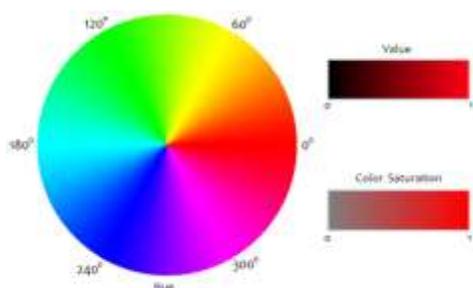


Figura 13 Modelo HSV

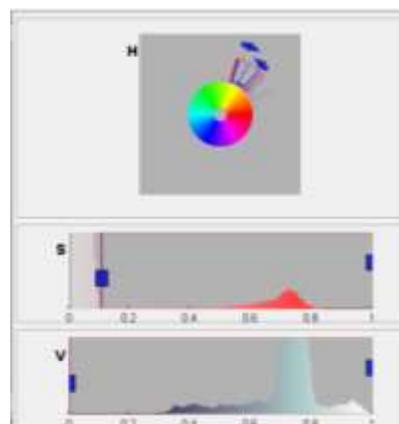


Figura 14 Modelo HSV sugerido

De la misma manera se implementó el proceso en unas hojas del tipo palma para ver que se obtuvieran los mismos resultados y como se muestra en la figura 15, se observan los mismos resultados que las hojas de limón.

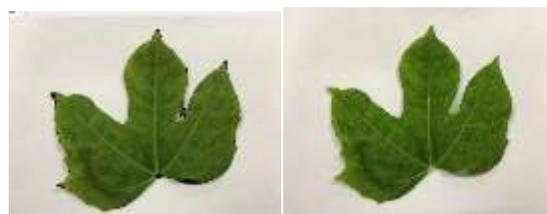


Figura 15 Fotografía de hoja de tipo palmeada sana (con una luminosidad de 213)

Para poder observar la cantidad de luz al momento de tomar las fotografías se necesitó un luxómetro. En la figura 16 se ve como la hoja muestra un estado avanzado de clorosis ya que el área de follaje de color amarillo supera al del color verde.



Figura 16 Hoja palmeada con gran cantidad de síntomas de clorosis

En la figura 17, se muestra la hoja totalmente afectada por los síntomas de la clorosis y se puede ver como se repinta de negro el área afectada.



Figura 17 Hoja totalmente afectada por la clorosis

Como se puede notar, en el trabajo descrito se logra observar que este sistema implementa diversas herramientas para lograr identificar problemas o enfermedades en la vegetación en específico utilizando la pigmentación de las hojas, lo cual sirve para orientar a los agricultores sobre el cuidado que debería tener en cuanto a la vegetación en la cual trabaja, además de identificar el área afectada para así poder aplicar las medidas necesarias para salvarla o solo cuidarla. El sistema filtra las imágenes para así obtener una detección de falta de nutrientes y así detectar el daño que se genera ya que esto influye directamente al producto y al productor. En este trabajo se implementa una técnica de inteligencia artificial, la cual es la visión artificial para que el sistema sugiera al usuario un tratamiento óptimo para atacar el problema. Como trabajo futuro se pretende implementarlo en una cosecha real para que con la información proporcionada por el sistema se reduzca el uso de fertilizante y con esto el daño al medio ambiente sea menor.

References

Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues - iron chlorosis on calcareous soil. *Nutrition in Soils and Plants*. 389-397.

Chaney R L (1988) Recent progress and needed research in plant Fe nutrition. *J. Plant Nut.* 11(6-11):1589-1603.

Loué A (1988) *Los Micronutrientos en Agricultura*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid España. pp:13-82.

Mengel, K., M. Breining, and W. Bübl. 1984. Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine grapes on calcareous soils. *Plant and Soil* 81: 333 – 344.

Rodríguez, V., M. Beltrán, J. Lerma, y M. Licón. 1998. Aplicación de ácido sulfúrico en el riego corrige la clorosis férrica de los cultivos en suelos calcáreos. *Terra* 16 (2): 149 – 161.

Fernandez, J. V.(2003)."Clorosis férrica" y su relación con el nivel de clorofila y hierro en diferentes órganos en plato. *Persea americana* Mill, 22.

GRANGER, C. 2001. Análisis químico de flores y frutos para el diagnóstico de la nutrición mineral en palto (*Persea americana* Mill.). Memoria Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 16p.

HOWARD, L; BRASWELL, D. and ASLAGE, J. 1996. Chemical composition and color of strained carrots as affected by processing. *Journal of Food Science* 6 (2): 327 - 330.

LUCENA, J. 1997. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants: a critical review. *Acta Horticulturae* 448: 179 -192.

RAZETO, B. and ROJAS, S. 1977. Tratamientos correctivos de la clorosis férrica en duraznero. *Investigación Agrícola (Chile)* 3 (1): 17 - 22.

RAZETO, B. 1993. La nutrición mineral de los frutales. Deficiencias y excesos. SOQUIMICH, Chile. 105p.

VOSS, D. 1992. Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticultural society color chart. Hort. Sci. 27 (12): 1252 -1260.

Análisis de la socavación eólica en un modelo experimental

HONORATO-MORENO, Antonio†*, ZAMORA-CASTRO, Sergio Aurelio, SALGADO-ESTRADA, Rolando y MOLINA-NAVARRO, Antonio

Universidad Veracruzana

Recibido 13 de Julio, 2017; Aceptado 15 de Septiembre, 2017

Resumen

En los últimos años, diferentes tipos de obras han sufrido daños a causa de socavación eólica, siendo uno de los principales problemas de la degradación del suelo en zonas áridas y semiáridas en México. El viento es un agente que acarrea cantidades de polvo, en este caso, los granos de arena (suelo experimental) solo pueden ser transportados a distancias cortas. El viento es un eficaz agente de erosión capaz de arrancar, levantar y transportar partículas. El presente trabajo ha sido elaborado para reproducir el fenómeno de socavación eólica producida por la velocidad del viento. El sitio experimental ubicado en las bardas perimetrales de Puerto de Veracruz, llevando a una simulación experimental a escala, donde se monitorea en intervalos de 5 minutos para calcular el suelo removido, hasta el colapso de la barda experimental a diferentes velocidades de aplicación de viento a 16, 34 y 64 km/h. Se analizan los efectos de pérdida de partículas por movimiento de suspensión, saltación y rodadura. De los resultados obtenidos se extrajeron modelos matemáticos de correlación lineal ascendente con $R^2=0.99$. Los resultados arrojados nos conllevan a que los vientos producidos en la zona del Golfo de México se pueden aprovechar para generar energía eléctrica.

Socavación eólica, viento, erosión, velocidad, simulación

Abstract

In recent years, different types of works have suffered damage due to wind erosion, being one of the main problems of soil degradation in arid and semi-arid zones in Mexico. The wind is an agent that carries amounts of dust, in this case, the grains of sand (experimental soil) can only be transported over short distances. The wind is an effective agent of erosion capable of starting, lifting and transporting particles. The present work has been elaborated to reproduce the phenomenon of wind scouring caused by the wind speed. The experimental site located in the perimeter fences of Puerto de Veracruz, leading to an experimental simulation at scale, where it was monitored at intervals of 5 minutes to calculate the soil removed, until the collapse of the experimental farda at different rates of application of wind to 16, 34 and 64 km/h. The effects of losses of particles by suspension movement, saltation and rolling are analyzed. From the obtained results mathematical models of linear correlation ascending with $R^2 = 0.99$ were extracted. The results show that the winds produced in the Gulf of Mexico can be used to generate electricity.

Wind Scrubbing, wind, erosion, speed, simulation

Citación: HONORATO-MORENO, Antonio, ZAMORA-CASTRO, Sergio Aurelio, SALGADO-ESTRADA, Rolando y MOLINA-NAVARRO, Antonio. Análisis de la socavación eólica en un modelo experimental. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:19-24

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: Antonio.honorato.ing@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La socavación eólica es la remoción del suelo por acción del viento; los factores que influyen a éste fenómeno son el clima, suelo y vegetación, (Zachar, 1982). La topografía parece ser no muy importante, aunque la longitud de la superficie erosionable tiene más influencia en el movimiento del suelo. La socavación es mayor a medida que disminuye la cubierta vegetal, por haber menor resistencia para que se inicie el movimiento, el cuál puede ser, en función de su tamaño, rodando ($>0,5$ mm), por saltación (0,05-0,5 mm), o en suspensión ($<0,1$ mm), (Williams, 1964).

Una de las manifestaciones más claras por la acción del viento son las dunas, que son acumulaciones de arena formadas al interponerse un obstáculo, que pueden tener forma transversal perpendicular al viento, forma estrellada con direcciones de viento variables, o la típica forma de media luna o duna aislada que forma un montículo en el que el lado opuesto a la dirección del viento tiene mayor pendiente, al caer la arena por gravedad, y el lado enfrentado a la dirección de avance menor pendiente al ascender las partículas por arrastre, (Lal, R. 1991).

Tipos de movimiento en las arenas

- Saltación.- La saltación son pequeños saltos de las partículas en suspensión sobre la superficie del suelo. Al aumentar la fuerza del viento, existe más presión sobre la partícula y genera una velocidad horizontal que hace que la partícula se desplace y después tiende a caer.
- Suspensión.- Se considera como las partículas que son removidas del suelo y permanecen sobre el aire ya que debido a su tamaño y densidad no son capaces de bajar puesto que la velocidad del viento contrarresta la fuerza de la gravedad y las partículas son transportadas a largas distancias como nubes de polvo.
- Rodamiento.- Es el arrastre de las partículas sobre la superficie del suelo, impulsadas por el viento u otras partículas en movimiento.

Estudios realizados sobre el movimiento del suelo por aire indican que el proceso de saltación transporta del 55 al 72 % del suelo, de 3 a 38 % del suelo es transportado por suspensión y de 6 al 25 % por rodamiento.

Metodología

Para la presente investigación, se realizó un modelo físico a escala, con las características apropiadas para representar el proceso que conlleva el fenómeno de socavación eólica en las bardas perimetrales de la zona norte de la administración portuaria integral de Veracruz (APIVER).

Se entiende por similitud cuando dos estructuras hidráulicas son semejantes cuando la razón de dos elementos de la misma naturaleza en ambas estructuras tiene el mismo valor. Sirve para calcular reacciones en un modelo de la realidad a escala, se tiene 3 tipos de similitud.

- Similitud geométrica
- Similitud dinámica
- Similitud cinemática

Para este modelo se requiere tener la similitud geometría, dinámica y cinemática ya que contamos con las dimensiones de longitud (L), fuerza (F), velocidad (V).

Equipo experimental

El túnel de viento (Figura 1), es un equipo de fabricación francesa, cuenta con cinco módulos que corresponden a las secciones de tobera, sección de pruebas, difusor, válvula y mecanismo impulsor (ventilador axial o ventilador centrífugo) (Del Cueto et al, 2012).



Figura 1 Equipo experimental utilizado

Basándose en la escala de Beaufort de la fuerza de los vientos (Tabla 1), en la primera fase tenemos una velocidad de 16 km/h, se encuentra en un rango de 12 a 19 km/h (brisa ligera), ésta velocidad hace que se agiten las hojas y se ondulan las banderas, en la segunda fase tenemos una velocidad de 34 km/h, se encuentra en el rango de 30-39 km/h (brisa fresca), esta velocidad hace que se muevan las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas y en la tercera fase tenemos una velocidad de 64 km/h, se encuentra en el rango de 62-74 km/h (viento duro), esta velocidad hace que se quiebren las copas de los árboles, circulación de personas muy difícil, los vehículos se mueven por sí mismos.

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Denominación	Aspecto del mar
0	0 a 1	Calma	Despejado
1	2 a 5	Ventolina	Pequeñas olas
2	6 a 11	Flojito	Crestas de apariencia vítrea
3	12 a 19	Flojo	Crestas rompientes
4	20 a 28	Bonancible	Borreguillos numerosos
5	29 a 38	Fresquito	Olas medianas y alargadas
6	39 a 49	Fresco	Olas grandes
7	50 a 61	Frescachón	Mar gruesa
8	62 a 74	Temporal	Grandes olas rompientes
9	75 a 88	Temporal fuerte	Olas muy grandes
10	89 a 102	Temporal duro	Olas muy gruesas
11	103 a 117	Temporal muy duro	Olas excepcionalmente grandes
12	+ 118	Temporal huracanado	Visibilidad nula

Tabla 1 Escala de Beaufort de la fuerza de los vientos

Para simular el suelo en el modelo experimental, se realizó la obtención de arena fina, que pasara la malla n°100 (0.15 mm), esto con el fin de obtener las mismas propiedades físicas del suelo que se encuentra en la zona de estudio.

Resultados

Las propiedades del suelo en el sitio experimental son las siguientes: se tiene hasta una profundidad explorada de 2.50 m, arena fina mal graduada con poco limo no plástico, color café claro, de compactidad suelta, clasificado según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos como SP-SM y presenta los siguientes valores de sus características físicas: humedad natural 4.3%, límite líquido de 8.4%, límite plástico 5.3%, índice plástico 3.1%, contracción lineal 0.5%, gravas 0.0%, arenas 92.3% y finos 7.7%, clasificado para fines de corte constructivos según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes como tipo A.

De acuerdo al monitoreo se obtuvieron los siguientes resultados de material desalojado en la primera fase, así también se calculan los valores de la movilización de las partículas (rodadura, saltación, suspensión) como se muestra en la gráfica 1, donde se observa que el comportamiento a medida que el tiempo transcurre, se logra apreciar en forma lineal ascendente el fenómeno de erosión eólica, cuya tendencia lineal es de 0.9994

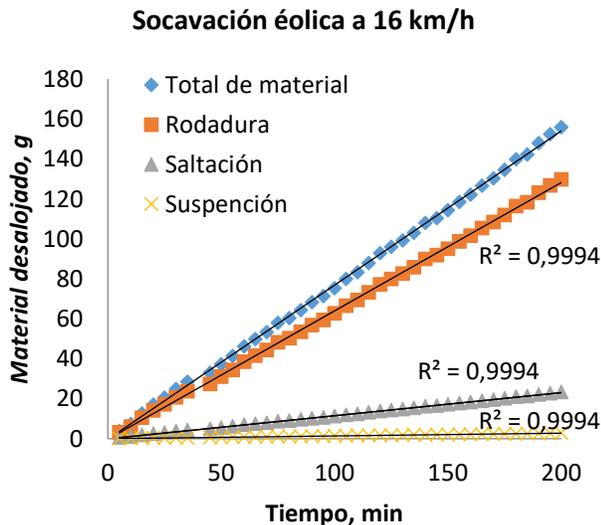


Gráfico 1 Material desalojado en los tres movimientos de partículas a una velocidad de 16 km/h

En la segunda fase, también se encuentran los valores de la movilización de las partículas (rodadura, saltación, suspensión) como se muestra en la gráfica 2. Donde se verifica que el fenómeno a medida que el tiempo transcurre, se logra observar un comportamiento no lineal, en el total de material con el movimiento de rodadura, mientras que en el movimiento de saltación y suspensión se logra apreciar un movimiento lineal ascendente.

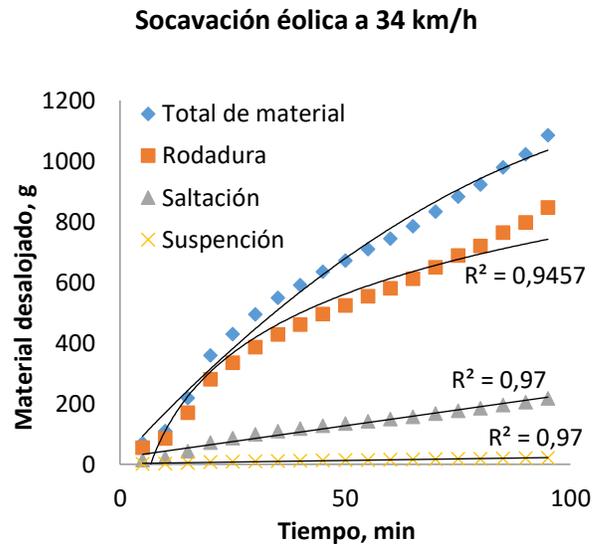


Gráfico 2 Material desalojado en los tres movimientos de partículas a una velocidad de 34 km/h

En su última fase se encuentra los valores de la movilización de las partículas (rodadura, saltación, suspensión) como se muestra en la gráfica 3, donde se muestra que a una velocidad mayor el fenómeno es visible que a una velocidad menor, y su comportamiento corresponde a una forma lineal ascendente.

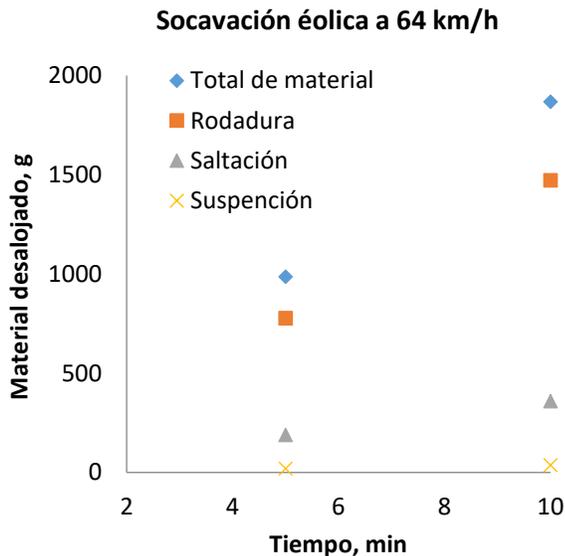


Grafico 3 Material desalojado en los tres movimientos de partículas a una velocidad de 64 km/h

Conclusiones

De acuerdo al modelo experimental se demuestra que a través del fenómeno de socavación eólica, existe una pérdida gradual del material constituyente del suelo, al ir siendo arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que quedan en superficie.

Los procesos erosivos constituyen un impacto negativo, con resultado de una degradación progresivo del recurso suelo. Algunas de las causas de la erosión eólica serían la falta de prácticas de conservación, la deforestación, el factor climático (presencia de viento de gran magnitud) y presencia de topografías planas, entre otros.

A causa de estos problemas se producen varias consecuencias como la pérdida de suelo y de la fertilidad, cambio de la textura del suelo (Lugares de desprendimiento poseen texturas gruesas y en los de deposición finas), disminución del rendimiento.

Debido a las altas intensidades de los vientos generados que provocan erosión, éstos mismos pueden ser usados para la generación de energía eléctrica, por medio del aprovechamiento de la energía del viento.

Referencias

Quirantes, J. (1987). Erosión eólica. Valoración experimental. *Papeles de Geografía Física*, (12), 11-18

Williams, G. (1964). Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentation*, (3), 257-287.

Zachar, D. (1982). Soil erosion. Developments in soil science 10. *Elsevier*, 547.

Tejeda del Cueto, M. E., Zúñiga, M. O., Arroyo, D., De la cruz, E. J., Medina, A. V., Rodriguez, E. F., Aldama, O. T., González, J. P., López, L. V., De la garza, A. G., Mier, A. C. (2012). Caso didáctico: modelado numérico-túnel de viento. *Universidad Veracruzana*, (1) 3-4.

F. A. O. (1961). La erosión eólica y medidas para combatirla en suelos agrícolas. F.A.O. Núm. 6, núm. 71. Roma 1961, pp 96.

Zobeck, T., Aimar, S. (1999). Wind erosion in loess soils of the Semiarid Argentinian Pampas. *Soil Sci.* (164), 133-138.

Taylor, V. (1993). Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del suelo*, (10), 46-53.

Lal, R. (1991). Soil structure and sustentability. *J. Sust. Agric*, (1), 67-92.

Tatarko, J. (1990). Stochastic wind simulation for erosion modeling. *Trans, ASAE*, (33), 1893-1899.

Bilbro, J.D., Fryrear, D.W. (1994). Wind erosion losses as related to plant silhouette and soil cover. *Agron J.*, (86), 550-553.

Buschiazzo, D. E., Quiroga, A. R., Stahr, K. (1991). Patterns of organic matter accumulation in soils of the semiarid Argentinian pampas. *Z. Pflanzen Boden*, (154), 347-441.

Fryrear, D. W., Krammes, C. A., Williamson, D. L., Zobeck, T. M. (1994). Computing the wind erodible fraction of soils. *J. Soil Water Conserv*, (49), 183-188.

Hagen, L. J. (1984). Soilaggregate abrasion by impacting sand and soil particles. *Trans. ASAE*, (27), 805-808.

Huszar, P. C., Piper, S. L. (1986). Estimating the offsite cost of wind erosion in New Mexico. *J. Soil Water Conserv*, (41), 414-416.

Lyles, L. (1975). Possible effects of wind erosion on soil productivity. *J. Soil Water Conserv*, (30), 279-283.

Optimal sizing of photovoltaic-wind turbine connected to grid recharge centers for electric vehicles

ACEVEDO-MONTOYA, Lester Antonio†*, CORONDA-MENDOZA, Alberto, ZÚÑIGA-GRAJEDA, Virgilio y CASTILLO-PALOMERA, Roger

*Universidad de Guadalajara
Universidad Politécnica de Chiapas*

Recibido 7 de Julio, 2017; Aceptado 5 de Septiembre, 2017

Resumen

Este trabajo presenta el dimensionado óptimo de las fuentes de energía disponibles de un lugar en específico para la recarga de baterías de autos eléctricos para obtener el costo anual total mínimo del sistema. De tiene un sistema híbrido de energía compuesto por un arreglos fotovoltaico y eólico como fuentes de energía renovable y la conexión a la red de distribución. Todas ellas conectadas a un bus de CA, posteriormente un rectificador alimenta a las baterías. Pasado obtener la mejor configuración de las fuentes de energía se utilizaron como herramienta de optimización algoritmos genéticos. El sistema fue realizado para reducir el estrés de la red de distribución actual provocado por el aumento de autos eléctricos, además de reducir el costo anual total. Además de incentivar el uso de nuevos sistemas de transporte al tiempo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Los resultados son: un arreglo fotovoltaico de 80 paneles con potencia pico de 24,000 kW, un sistema de 4 transformadores de 100 kVA, y 3 aerogeneradores con potencia pico de 30 kW, este sistema tiene el más bajo costo anual total de \$1,064,227.09.

Sistema híbrido con energías renovables, recarga de baterías de autos eléctricos, algoritmos genéticos

Abstract

This paper presents the optimal sizing of the energy sources available in a specific location for the recharge of electric vehicles batteries to achieve the minimum total annual cost of the system. We have a hybrid energy system integrated by: a photovoltaic array and wind turbines as a renewable energy sources, and the distribution network. The sources are connected to an AC bus and then a rectifier serves it to the batteries. To obtain the best configuration of energy sources we use genetic algorithms as an optimization tool. The system was developed to reduce the stress to the current distribution grid due to the increase of the number of electric vehicles used; furthermore, to reduce the total annual cost. Additionally, to encourage the use of the new transportation systems at the time to reduce the dependence of fossil fuels. The results were a solar array with 80 panels with a power peak of 24,000 kW, a system of 4 transformers with 100 KVA of power and 3 wind turbines with a power peak of 30 kW, this system have the lowest total annual cost of \$1,064,227.09.

Hybrid system with renewable energy, recharge of electric vehicle batteries, genetic algorithms

Citación: ACEVEDO-MONTOYA, Lester Antonio, CORONDA-MENDOZA, Alberto, ZÚÑIGA-GRAJEDA, Virgilio y CASTILLO-PALOMERA, Roger. Optimal sizing of photovoltaic-wind turbine connected to grid recharge centers for electric vehicles. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:25-34

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: montoya102092@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los automóviles eléctricos se han utilizado desde tiempo atrás, incluso eran más utilizados, durante los últimos y primeros años de los siglos XIX y XX respectivamente, que los vehículos a vapor o gasolina. Sin embargo, esta clase de vehículos han tenido como mayor obstáculo la autonomía brindada por las baterías, que resulta ser mucho menor a la obtenida en autos de combustión interna, ya que en sus inicios no se contaba con baterías recargables. No fue hasta finales del siglo XX que esta clase de vehículos fueron tomados en cuenta otra vez, principalmente buscando una solución a los problemas relacionados a la salud humana y la contaminación ambiental.

Existen tres tipos principales de automóviles eléctricos, los cuales se describen a continuación: Vehículo eléctrico híbrido (HEV) posee dos motores, uno de combustión interna y uno eléctrico así como un banco de baterías, Vehículo híbrido eléctrico enchufable (PHEV) cuentan con un diseño para su conexión directa a la red de distribución, Vehículo eléctrico de baterías (BEV) funcionamiento exclusivo con bancos de baterías, cuya recarga es por medio de la conexión directa a la red de distribución.

Actualmente hay dos grandes vertientes en cuanto a automóviles eléctricos se refiere, estas son; en vehículos con conveniencia, es decir, los que son utilizados como parte del sector de transportes o en otro tipo de usos en los cuales se ofrece un servicio y no salen de una misma ruta, y la segunda opción son los vehículos particulares y que están en constante movimiento aleatorio alrededor de la ciudad.

Poner en marcha centros para la recarga de vehículos eléctricos cuya demanda sea satisfecha por medio de fuentes de energía renovable otorga ciertas ventajas respecto al uso de fuentes convencionales, como obviar la sobrecarga de la red de distribución eléctrica durante las horas pico, decremento de la emisión de gases efecto invernadero y un aumento en la calidad de vida de los pobladores.

Existen tres niveles de carga para baterías de vehículos eléctricos. Carga nivel 1, el voltaje que se maneja es 120 V con una intensidad de corriente de 15 A, con una carga en un tiempo entre 6 y 8 horas. Carga nivel 2 con voltaje de 240 V con dos distintas corrientes que pueden ser a 20 A y 40 A. con una potencia máxima de 19.2 kW, una recarga utiliza alrededor de 3-6 horas. Carga nivel 3, también conocido como CHAdeMO, se toma alrededor de entre 20-30 minutos para una recarga y la recarga se hace en DC con una potencia máxima de 50 kW.

Un sistema fotovoltaico conectado a red está compuesto fundamentalmente por los siguientes elementos: módulos fotovoltaicos, inversores, conductores, dispositivos de transformación y carga, en tanto que los sistemas aislados también poseen baterías, ya que no tienen un respaldo como en el caso de los interconectados.

La energía eólica es de las principales y más halagüeñas fuentes de energías renovables. Su ventaja mayor es la ausencia de gases que provocan el llamado efecto invernadero. Un aerogenerador captura la energía cinética del viento en el rotor que consiste de dos o más palas acopladas a un generador eléctrico.

Para obtener un menor costo en sistemas en donde se utilizan las energías renovables es conveniente el uso de un sistema híbrido que combine fuentes convencionales y renovables, obteniendo también una menor contaminación a un sistema totalmente convencional.

Un algoritmo genético es un algoritmo matemático conversor de objetos matemáticos respecto al tiempo haciendo uso de operaciones creadas conforme al principio “Darwiniano de reproducción y supervivencia del más apto, y tas haberse presentado de forma natural una serie de operaciones genéticas de entre las que destaca la recombinación sexual. Cada uno de estos objetos matemáticos suele ser una cadena de caracteres (letras o números) de longitud fija que se ajusta al modelo de las cadenas de cromosomas, y se les asocia con una cierta función matemática que refleja su aptitud”.

Se plantea obtener el costo anual total mínimo de un sistema híbrido de generación de energía para la recarga de baterías de automóviles eléctricos por medio del uso del toolbox de algoritmos genéticos de MATLAB, se utiliza esta herramienta de optimización ya que puede manejar de forma no tan compleja las variables que se utilizan.

A continuación se presentan las distintas secciones del artículo, como lo son: Descripción del sistema, en donde se muestra el esquema de funcionamiento del sistema híbrido, así como las variables que entran en el funcionamiento de este; metodología, que presenta las ecuaciones utilizadas dentro del trabajo y los componentes de cada una de ellas; resultados, se plasman los costos obtenidos en los dos escenarios analizados en este trabajo; conclusiones, se analizan los resultados y se proponen posibles actividades futuras.

Descripción del sistema

En la figura 1 se puede ver el diagrama general del sistema híbrido con el que se trabajó. A continuación, se desglosan las variables por cada componente del sistema.

La carga a alimentar por parte del sistema se encuentra en función del número de vehículos que se van a recargar por hora durante todo el año, la capacidad del banco de baterías de cada uno de los vehículos, el porcentaje a recargar de estas, así como del tiempo que toma el reabastecer en su totalidad dicho banco.

En la importación de energía de la red de distribución se considera primordialmente a la hora de día, puesto que el costo de la energía cambia a lo largo del día, con cada mes y con la época del año, esto claro, después de la separación de tarifas según su uso final o cantidad de energía máxima contratada.

En esta fuente de energía también es necesario el uso de sistemas de transformación de energía los cuales deben de poder soportar la cantidad de energía requerida por las baterías en todo momento. Los transformadores tienen un efecto en el costo final del sistema debido a que, para su correcto funcionamiento, al igual que la mayor parte de sistemas energéticos, necesita de forma periódica un mantenimiento adecuado.

Por otra parte, la interconexión a la red nos permitirá en algunos escenarios la venta de energía excedente que se logre generar con el sistema de generación híbrido, de esa forma aminorando el costo total del sistema de recarga.

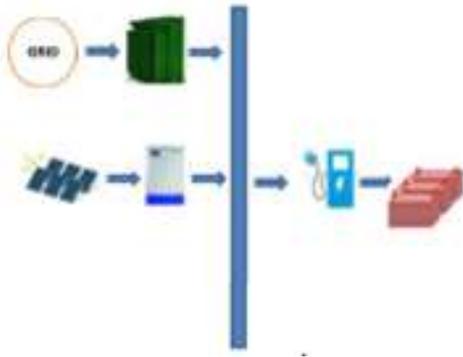


Figura 1 Esquema de trabajo del sistema híbrido para recarga de baterías de vehículos eléctricos

Fuente (*Elaboración propia*)

En cuanto al sistema de generación fotovoltaica se refiere, la radiación solar es el factor variable más importante para el dimensionado, debido a que esta varía constantemente durante todo el año, ya que se debe de contar con la energía necesaria para alimentar los vehículos eléctricos. Este factor hará variar al número de paneles que se requieren utilizar para la satisfacción total de la demanda, que finalmente repercutirá en el costo del sistema debido a los costos de instalación y operación y mantenimiento de los paneles.

Para la parte de generación eólica es vital primeramente establecer la altura a la que el rotor se encontrará, ya que, a partir de esa altura se busca la información de la velocidad del viento en el lugar de emplazamiento durante las horas del año, porque la velocidad del viento es un factor que no es constante a lo largo de todo el año.

Metodología

Se analizaron dos escenarios distintos para el sistema híbrido, el primero consistía en realizar la recarga de los vehículos durante todo el día con venta del excedente de energía producida por el sistema, mientras que el segundo escenario tiene el mismo patrón de recarga de los vehículos, con la diferencia en que en este caso no se realiza la venta de la energía que extra que se llegue a producir.

A continuación, se presenta la función objetivo general y las ecuaciones que dan forma a dicha función.

La Función objetivo es el costo anual total mínimo del sistema híbrido de generación, obtenido por medio de la adición de costos de instalación de los dispositivos y costos de mantenimiento y operación de dichos dispositivos.

$$CAT = IC + O\&M \quad (1)$$

Dónde: CAT es costo anual total del sistema híbrido, IC representa el costo de Instalación de los dispositivos que componen al sistema y O&M conlleva el Costo de mantenimiento y operación de estos dispositivos.

Los costos de instalación vienen dados por la multiplicación del factor de recuperación de costos y la suma de los costos de instalación del sistema fotovoltaico más el costo de instalación de la interconexión a red y el rectificador alimentador del banco de baterías, incluido en el sistema de interconexión a red.

$$IC = CRF(C_{PV} + C_G + C_{WT}) \quad (2)$$

Dónde: CRF es el factor de recuperación de capital para seccionar a lo largo de la vida del proyecto los costos de instalación de los equipos, C_{pv} simboliza el costo de instalación del sistema fotovoltaico, CG representa el costo de conexión a la red y CWT es el costo de instalación de la fuente eólica.

En lo que a los costos de mantenimiento y operación es solamente la suma de este concepto de los sistemas de generación.

$$O\&M = OM_{PV} + OM_G + OM_{WT} \quad (3)$$

Dónde: $OMPV$ es costo anual de mantenimiento y operación del sistema fotovoltaico, OMG es costo anual de mantenimiento y operación de la conexión a la red y $OMWT$ representa el costo anual de operación y mantenimiento de los aerogeneradores.

El factor de recuperación de costos nos permite calcular los costos de instalación a lo largo de cada año de vida del sistema, en vez de ser solo una emisión inicial.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

Dónde: i es la tasa de interés y n representa a los años de vida del sistema.

Para el cálculo del costo de instalación del sistema fotovoltaico se toman en cuenta los valores de los costos de adquisición tanto de los paneles como de los inversores y la cantidad de dispositivos a usar, al tiempo que se utiliza el factor de costo actual para obtener el costo de reemplazo de los dispositivos cuya vida útil sea menor a la vida total del sistema, en el caso de los paneles no se aplica este factor puesto que estos elementos son lo que poseen una vida mayor de todos, por ende, se toma ese dato como el tiempo de vida del proyecto.

$$C_{PV} = (\$_{pv})(N_{pv}) + \left(\$_{inv} * 1 + \frac{1}{(1+i)^5} + \frac{1}{(1+i)^{10}} + \frac{1}{(1+i)^{15}} \right) (N_{inv}) \quad (5)$$

Dónde: $\$PV$ el costo de cada panel fotovoltaico, NPV es el número de paneles fotovoltaicos, $\$inv$ el costo de cada inversor y $Ninv$ es el número de inversores.

Para el sistema de interconexión también se utiliza el factor de costo actual, en este caso si se aplica en todos los elementos involucrados.

$$C_G = \left(\$_T * 1 + \frac{1}{(1+i)^5} \right) (N_T) + \left(\$_{rec} * 1 + \frac{1}{(1+i)^5} \right) (N_{rec}) \quad (6)$$

Dónde: $\$T$: Costo del transformador, NT : Número de transformadores, $\$rec$: Costo de cada rectificador y $Nrec$: Número de rectificadores.

Debido que en el caso del sistema eólico de generación solamente son necesarios los aerogeneradores, su costo de instalación vendría dado por:

$$C_{WT} = (\$_{WT})(N_{WT}) \quad (7)$$

Dónde: $\$WT$ el costo de cada turbina eólica, NWT es el número de aerogeneradores.

El costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de generación toma en consideración el costo anual por hora de cada uno de los dispositivos y se multiplica por la cantidad empleada de los dispositivos involucrados.

$$OM_{PV} = (\$_{mtnpv})(N_{pv}) + (\$_{mtninv})(N_{inv}) \quad (8)$$

Dónde: $\$mntpv$: Costo de mantenimiento de cada panel fotovoltaico y $\$mntinv$: Costo de mantenimiento de cada inversor.

Para obtener la componente del sistema de interconexión se tiene el mismo criterio que en el caso del fotovoltaico, solamente cambiando los paneles e inversores por transformadores y rectificadores.

$$OM_G = (\$mntT)(N_T) + (\$mntrec)(N_{rec}) \quad (9)$$

Dónde: $\$mntT$: Costo de mantenimiento del transformador y $\$mntrec$: Costo de mantenimiento de cada rectificador.

Misma situación para el caso de los aerogeneradores, se toma en cuenta el costo de operación y mantenimiento de cada generador eólico y el número de ellos que se utilizan.

$$OM_{WT} = (\$mntWT)(N_{WT}) \quad (10)$$

Dónde: $\$mntWT$: Costo de mantenimiento de cada turbina eólica.

Se necesita calcular la potencia que demanda simultánea, para calcular esta demanda es necesario contar con los datos de la capacidad del banco de baterías, el porcentaje del banco que se cargará, el tiempo en que se recargará dicho porcentaje y finalmente la cantidad de bancos de baterías que estarán recargándose al mismo tiempo. En este caso se toman datos del vehículo Nissan Leaf.

$$P_{DS} = \left(\frac{Q_B * \%Q}{t} \right) (\#B) \quad (11)$$

Dónde: P_{DS} : Potencia de demanda, Q_B : Capacidad de la batería, $\%Q$: Porcentaje de batería a cargar, t : Tiempo de recarga y $\#B$: Número de baterías.

Tomando en cuenta el número de paneles fotovoltaicos, así como la potencia de cada uno de estos se obtiene la potencia total generada por el sistema fotovoltaico.

$$PT_{PV} = (N_{PV})(P_{PV}) \quad (12)$$

Dónde: PT_{pv} : Potencia total de paneles fotovoltaicos y ppv : Potencia de cada panel fotovoltaico.

La potencia individual de los paneles fotovoltaicos se obtiene por medio de la siguiente fórmula

$$P_{PV} = (P_{nom}) \left(\frac{R}{R_{Ref}} \right) \left(1 + N_T (T_C - T_{Ref}) \right) \quad (13)$$

Dónde: p_{nom} : Potencia nominal de cada panel fotovoltaico, R : Radiación solar del sitio de emplazamiento, R_{ref} : Radiación solar de referencia (1000W/m²), N_T : Coeficiente de temperatura del panel fotovoltaico ($-3.7 \times 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$), T_{ref} : Temperatura de la celda a 25°C y T_C : Temperatura de la celda.

La temperatura de la celda es un factor clave para la obtención de la potencia generada por cada panel, sin embargo, está también en función de otros parámetros ambientales, como la radiación y la temperatura del lugar de instalación, y de la temperatura nominal de operación de la celda proporcionada por el fabricante.

$$T_C = T_a + \left(\left(\frac{NOCT - 20}{800} \right) R \right) \quad (14)$$

Dónde: T_C : Temperatura de la celda, T_a : Temperatura del aire, $NOCT$: Temperatura nominal de operación de la celda y R : Radiación solar.

El número de inversores está ampliamente relacionado con la potencia total de los paneles fotovoltaicos y la potencia del mismo inversor.

$$N_{inv} = \left(\frac{PT_{pv}}{P_{inv}} \right) \quad (15)$$

Dónde: P_{inv} : Potencia del inversor y PT_{pv} : Potencia total de paneles fotovoltaicos.

Para el sistema de generación eólica la fórmula para la obtención de la potencia total generada por aerogeneradores es:

$$PT_{WT} = (N_{WT})(P_{WT}) \quad (16)$$

Dónde: PT_{WT} : Potencia total de aerogeneradores y p_{WT} : Potencia de cada generador eólico.

El valor de la potencia producida por cada generador eólico viene dado por el siguiente conjunto de ecuaciones, ya que la potencia va en proporción a la velocidad que posee el viento.

$$PT_{WT} = 0 \quad V < V_{in} \quad (17)$$

$$PT_{WT} = \alpha(V)^3 - \beta P_R \quad V_{in} < V < V_R \quad (18)$$

$$PT_{WT} = P_R \quad V_R < V < V_{UP} \quad (19)$$

$$PT_{WT} = 0 \quad V < V_{UP} \quad (20)$$

Dónde: PT_{WT} : Potencia total de aerogeneradores, V : Velocidad disponible del viento, V_{in} : Velocidad de arranque del aerogenerador, V_R : Velocidad nominal del viento, a la que el aerogenerador produce su potencia nominal, V_{UP} : Velocidad de corte del aerogenerador, P_R : Potencia nominal del aerogenerador, para los factores alfa y beta se muestran sus ecuaciones a continuación

$$\alpha = \left(\frac{P_R}{(V_R^3 - V_{in}^3)} \right) \quad (21)$$

$$\beta = \left(\frac{V_{in}^3}{(V_R^3 - V_{in}^3)} \right) \quad (22)$$

Resultados

En la Tabla 1 se muestran como varían los resultados de los componentes del sistema híbrido, así como del CAT, en pesos mexicanos, cada uno de los escenarios analizados.

Componentes	Con Venta de energía excedente	Sin venta de energía excedente
Paneles fotovoltaicos	86	78
Transformadores	4	4
Aerogeneradores	3	3
CAT	\$1,134,682.8	\$1,149,262.6

Tabla 1 Resultados de número de componentes de las fuentes de energía y costo anual total del sistema en ambos escenarios

Fuente (Elaboración propia)

Anexos

Se muestran las gráficas datos significativos para la obtención del costo anual total, tales como la demanda anual en kW, el recurso fotovoltaico en kW/h, el recurso eólico en m/s y la energía generada por los dos distintos sistemas híbridos

DEMANDA ANUAL

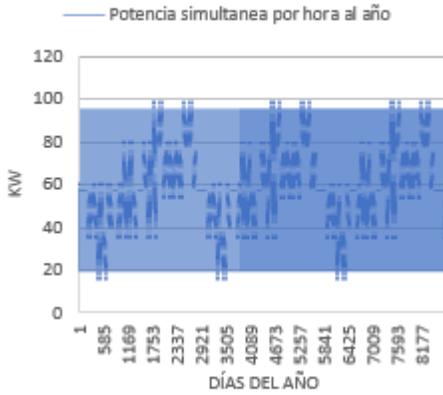


Gráfico 1 Demanda anual, por parte de los vehículos eléctricos, en kW

Fuente (Elaboración propia)

RECURSO EÓLICO

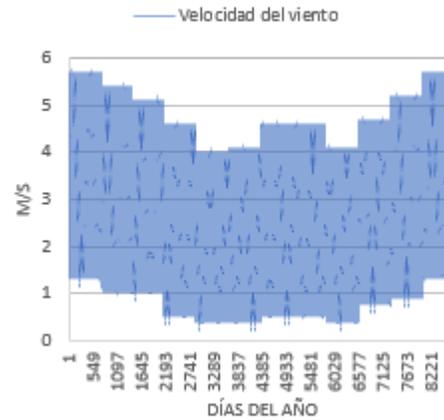


Gráfico 3 Velocidad del viento, en m/s, en Tecate, Baja California, México

Fuente (Elaboración propia)

RECURSO FOTOVOLTAICO

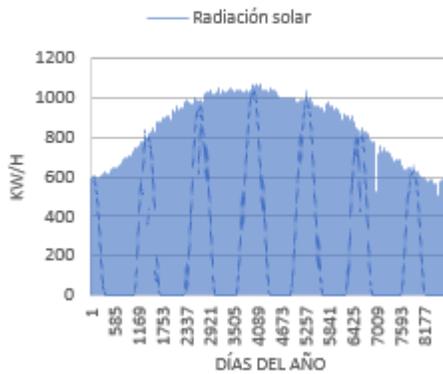


Gráfico 2 Radiación solar, en kW/h, en Tecate, Baja California, México

Fuente (Elaboración propia)

ESCENARIO 1

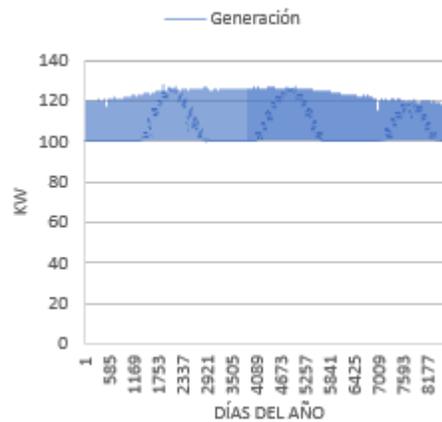


Gráfico 4 Potencia generada, en el primer escenario, por el sistema híbrido, en kW

Fuente (Elaboración propia)

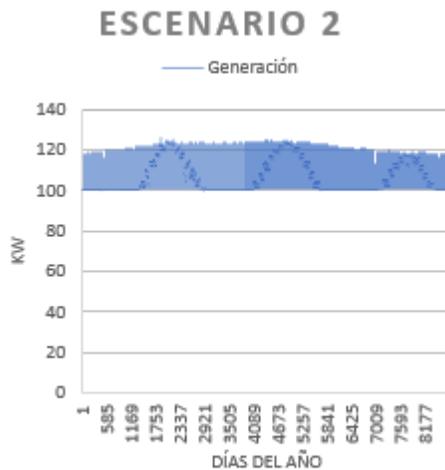


Gráfico 5 Potencia generada, en el segundo escenario, por el sistema híbrido, en kW

Fuente (Elaboración propia)

Conclusiones

A forma de conclusión se puede decir que el mejor de los dos escenarios analizados anteriormente, para la obtención del costo anual total mínimo de un sistema híbrido con fuentes de energía renovable, fotovoltaico-eólico, y con interconexión a la red de distribución, es el escenario 1, ya que este tiene un CAT cuyo valor es menor por cerca de \$14,580 MXN. Esto adquiere un valor más impactante si se realiza el cálculo a lo largo de toda la vida del proyecto, alcanzando un total de \$291,596.

Otro beneficio que entrega el primer escenario, es que al inyectarse la energía excedente el estrés de la red disminuirá en mayor proporción en comparación al segundo escenario, así como en los momentos en que exista radiación solar suficiente para que los paneles produzcan energía, y sin la velocidad del viento necesaria para hacer funcionar los generadores eólicos, será menor la energía de respaldo importada de la red.

Como futuras mejoras al trabajo, podría ser, buscar modelos de generación y/o transformación de energía con mayor eficiencia para utilizarlos como componentes del sistema híbrido; realizar un proceso para poder obtener cual debería de ser la tarifa de venta de energía ideal para que el sistema híbrido pueda tener un tiempo determinado para recuperar la inversión y así maximizar el tiempo de ganancia económica obtenida por el uso de dicho sistema.

Referencias

- García, M. (2015). *Pasado, presente y futuro de vehículos eléctricos*. Pereira: Colombia.
- Integration, T. (2015). *Plug In Electric Vehicles in Smart Grids*. Londres: Springer.
- Trigg, T. (2013). *Global EV Outlook: Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*. IEA.
- García-Villalobos, J. e. (2104). Plug-in electric vehicles in electric distribution networks: a review of smart charging approaches. *Renewable and sustainable energy reviews*, 717-731.
- Guerrero, V. (2012). *Estudio sobre los gestores de cargas para vehículos eléctricos*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Fenercom. (2009). *Guia del vehiculo electrico*. Madrid: España.
- CNTA, R. C. (2012). *Electric Vehicle charging stations: technical installation guide*. Québec: Hydro Québec.
- Castillo, R. I. (2013). *Sistema hibrido fotovoltaico-eólico para la generación de energía eléctrica*. Tlatemoani.
- Abella, M. A. (2010). *Sistemas fotovoltaicos*. Madrid, España.

Maleki, A (2015) Optimal sizing of autonomous hybrid photovoltaic/wind/battery power system with LPSP technology by using evolutionary algorithms. *Solar Energy*. 471-483.

Nadjemi, O. (2106) Optimal hybrid PV/wind energy system sizing: Application of cuckoo search algorithm for Algerian dairy farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1352-1365

Koza, J. (1992). *Genetic Programming. On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Massachusetts: The MIT press.

Askarzadeh, A. d. (2015). A novel framework for optimization of a grid independent hybrid renewable energy system: A case study of Iran. *Solar Energy*, 383-396.

Comisión Federal de Electricidad. (2017). CFE: Comisión Federal de Electricidad. Recuperado el 10 de 06 de 2017, de http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM&Anio=2015&mes=11

National Aeronautics and Space Administration. (2107). NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data . Recuperado el 10 de 06 del 2017, de <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rdufo%40unizar.e&step=1&lat=20.565900&lon=-103.226332&submit=Submit>

Análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango

ROMÁN-AGUILAR, Raúl†*, DELGADILLO-ÁVILA, Wendy Montserrath, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro y DOMÍNGUEZ-OLVERA, Armando

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

Recibido 17 de Julio, 2017; Aceptado 26 de Septiembre, 2017

Resumen

México ocupa el primer lugar a nivel mundial como el mayor exportador de mango, sin embargo, este es un producto altamente perecedero, lo que representa un problema para su conservación y comercialización. Una solución a este problema es la congelación, no obstante implica un gasto en el consumo energético, principalmente en el proceso de congelación donde el costo beneficio puede representar la viabilidad de la venta y las utilidades obtenidas. Esto trae como consecuencia la necesidad de realizar un análisis energético en el proceso de congelación de pulpa de mango, a fin de exponer los puntos clave donde puede modificarse el proceso y en consecuencia lograr un ahorro en la energía consumida. El estudio se realiza sobre una tonelada del producto, cuya temperatura de maduración es de 21 a 24 °C, un pre-enfriamiento de 2 a 4 °C, congelamiento de -30 °C y almacenamiento de -18 °C, se proponen y diseñan los sistemas de producción de frío atendiendo a las características biológicas del producto que permita una mejor eficiencia. Como resultado se obtiene el dimensionamiento de los equipos y una propuesta en la configuración que permita visualizar los puntos de mayor atención en el proceso de congelación del producto.

Energía, congelación, mango

Citación: ROMÁN-AGUILAR, Raúl, DELGADILLO-ÁVILA, Wendy Montserrath, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro y DOMÍNGUEZ-OLVERA, Armando. Análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:35-41

Abstract

Mexico is the first place in the world as the largest exporter of mango; however, this is a highly perishable product, which represents a problem for its conservation and commercialization. One solution to this problem is freezing, however it implies an expense in energy consumption, mainly in the freezing process where the cost benefit can represent the viability of the sale and the profits obtained. This results in the need to perform an energy analysis in the process of freezing mango pulp, in order to expose the key points where the process can be modified and consequently to achieve a saving in the energy consumed. The study is carried out on a tonne of product, whose ripening temperature is 21 to 24 °C, a pre-cooling of 2 to 4 °C, freezing at -30 °C and storage at -18 °C, are proposed and Design the systems of production of cold taking into account the biological characteristics of the product that allows a better efficiency. As a result you get the sizing of the equipment and a proposal in the configuration that allows you to visualize the points of greatest attention in the process of freezing the product.

Energy, freezing, mango

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La conservación de alimentos por el método de congelación tiene cualidades benéficas pero al mismo tiempo es un proceso que requiere un tratamiento adecuado que evite un daño al producto. La reducción de la temperatura por debajo de los 0°C disminuye significativamente la velocidad de crecimiento de microorganismos y el deterioro de los productos por la actividad de éstos. Así mismo al disminuir la temperatura, ocasiona la inactividad enzimática y las reacciones oxidativas, debido a la formación de cristales de hielo que modifican la disponibilidad del agua y evitan que se favorezcan dichas reacciones. (Singh & Heldman, 2001).

La congelación como método de conservación, generalmente resulta en el incremento de la vida de anaquel y la calidad de los productos; no obstante, dicha calidad se ve influenciada por el proceso para alcanzar esta congelación, así como de las condiciones de almacenamiento y el proceso inverso que es la descongelación, donde la velocidad y el tiempo son factores importantes a controlar para disminuir la actividad fisicoquímica y bioquímica del alimento, así como de las reacciones enzimáticas y no enzimáticas, provocando que el crecimiento microbiano se vea detenido (George, 1993; Moharram & Rofael, 1993).

Algunos productos requieren la congelación rápida para asegurar la formación de cristales pequeños en la estructura del producto y con ello minimizar el daño a la textura, mientras que otros que no requieren este cuidado, no se justifica el gasto de este tipo de proceso.

El almacenamiento es el paso siguiente a la congelación, donde los puntos a controlar son el adecuado manejo y control de la temperatura, ya que se puede presentar el defecto de re cristalización, provocando pérdidas de calidad y modificación de la estructura del producto (Welti-Chanes, 2007).

Lo anteriormente descrito, es parte de las consideraciones a tomar en cuenta en el procesamiento de pulpa de mango, que sin duda implican un gasto significativo en el consumo energético y que puede representar la viabilidad de la venta y las utilidades obtenidas. Esto trae la necesidad de realizar un análisis energético en el proceso de congelación de pulpa de mango, a fin de exponer los puntos clave donde puede modificarse el proceso y en consecuencia lograr un ahorro en la energía consumida.

Metodología

En el presente trabajo se realiza un análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango, partiendo de los datos de literatura y se analizan sistemas alternativos de refrigeración que podrían ayudar a ahorrar energía en este proceso. El estudio se realiza sobre una tonelada del producto, cuya temperatura de maduración es de 21 a 24 °C, un pre-enfriamiento de 2 a 4 °C, congelamiento de -30 °C y almacenamiento de -18 °C, se proponen y diseñan los sistemas de producción de frío atendiendo a las características biológicas del producto que permitan un mejor proceso.

Desarrollo

Uno de los puntos más importantes en el proceso de congelación de la pulpa de mango es conocer sus características biológicas, mismas que habrá que cuidar y controlar para no perder las propiedades organolépticas de color, aroma y sabor, ya que es un producto altamente consumido debido a los nutrientes que contiene.

La pulpa de mango congelada puede manipularse para diferentes necesidades de producción industrial, semi industrial y para consumo directo, no obstante se debe tomar en cuenta que uno de los beneficios de exportar pulpa de mango congelada es su conservación para disponer de esta a lo largo del año. En la figura 1, se muestra el procesamiento de la pulpa de mango desde su recepción hasta su almacenamiento con propósitos de exportación, en el cual se aplica una congelación rápida para mantener la calidad, el valor nutricional y las propiedades físicas por periodos extensos.

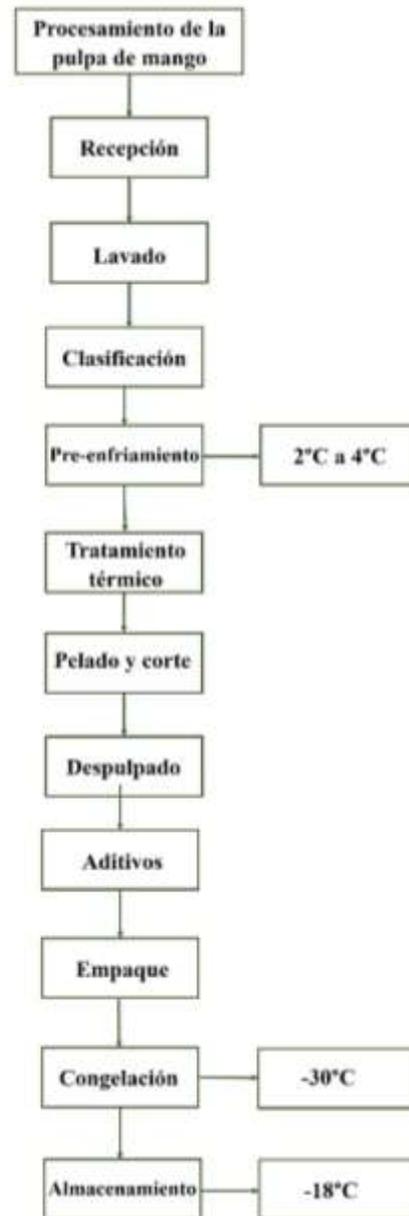


Figura 1 Procesamiento de pulpa de mango

Fuente: Elaboración propia

Cuando se decide utilizar el método de congelación en el procesamiento de la pulpa de mango, los parámetros de mayor consumo energético son el enfriamiento inicial o pre-enfriamiento, congelación y almacenamiento en frío, mismos que incrementan los costos de operación, siendo en su mayoría sistemas de refrigeración con amoníaco y con gran cantidad de consumo eléctrico. La influencia de la congelación, almacenamiento congelado y descongelado sobre la calidad de los productos ha sido investigado anteriormente, siendo la congelación el proceso de conservación más importante para almacenamiento y posterior manufactura de pulpa, jugos y jarabes (Skrede, 1996).

Los sistemas de refrigeración típicamente utilizados alcanzan tres temperaturas de evaporación: 1.6 °C para enfriamiento de agua, -20.5°C a -17.7°C para almacenamiento y entre -40°C a -31°C para enfriamiento rápido.

El producto que llega a la planta con un “calor de campo” es normalmente introducido en cuartos refrigerados antes de ser procesados. Los cuartos generalmente tienen evaporadores de aire forzado operando a temperaturas de 0°C a 1.5°C pero cuando se utiliza un hidro-enfriamiento se produce una temperatura debajo de 0°C y es más eficiente el uso de energía. Esto también es usado para los evaporadores de -40°C a -31°C en túneles de enfriamiento o enfriadores individuales rápidos (IQFs), donde una porción significativa de la energía es para reducir estas temperaturas. Los equipos presentan dos variantes que son los congeladores por corriente o golpe de aire y los túneles de congelamiento estacionarios y congeladores de cinta (como cintas transportadoras o en espiral). Los primeros, son procesos de congelación por lotes mientras que los de cintas son procesos continuos.

El almacenamiento, es el que menor gasto energético representa de los sistemas citados anteriormente en la planta de procesamiento, éstas cámaras se mantienen normalmente entre, -20.5°C a -17.7°C con evaporadores de aire forzado.

En la Tabla 1 se muestra la cantidad de energía consumida durante el procesamiento de pulpa de mango.

Procesos durante el procesamiento de pulpa de mango	Sikirica et al. (2003), Singh (1986b)		ENEA, (2013)
	Vapor (kWh/ton)	Electricidad (kWh/ton)	Basado en procesos fríos (kWh/ton)
Recepción y Selección		4.52	4
Lavado	118.23	4.52	4
Escaldado	x	x	x
Pelado y Troceado	45.22	12.27	7.4
Despulpado		4.52	7.4
Tratamiento térmico	64.61		
Aditivos	x	x	x
Empaque		9.69	
Congelación		378.62	
Almacenamiento			28.1

Tabla 1 Energía consumida en el procesamiento de pulpa de mango

Fuente: Elaboración propia

A fin de comparar los datos reportados en la literatura, se realizaron cálculos con un sistema de refrigeración por compresión simple, uno en cascada y uno por inyección parcial con enfriador intermedio e inyección parcial, donde se trabajó para una tonelada de producto, obteniéndose la carga térmica del sistema con las ecuaciones (1), (2) y (3) que corresponden a las condiciones antes y después de la congelación utilizando el C_p correspondiente, durante la congelación utilizando el calor latente L_c y el almacenamiento utilizando el calor de respiración C_r .

$$Q_1 = mCp(\Delta T) \quad (1)$$

$$Q_2 = mLc \quad (2)$$

$$Q_3 = mCr \quad (3)$$

Posteriormente para obtener el cálculo del trabajo realizado por el compresor se utilizó como fluido refrigerante R-717 que corresponde al amoníaco y balances de energía de primera ley de termodinámica, sobre cada sistema y etapa que los componen, según las ecuaciones (4) a (7).

$$Q_{evap} = \dot{m}(\Delta h) \quad (4)$$

$$Q_{cond} = Q_{evap} + W_{comp} \quad (5)$$

$$W_{comp} = \dot{m}(\Delta h) \quad (6)$$

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} \quad (7)$$

La figura 2 muestra un sistema de refrigeración en cascada, en cual consta de dos sistemas simples de compresión de vapor, interconectados por un intercambiador de calor.

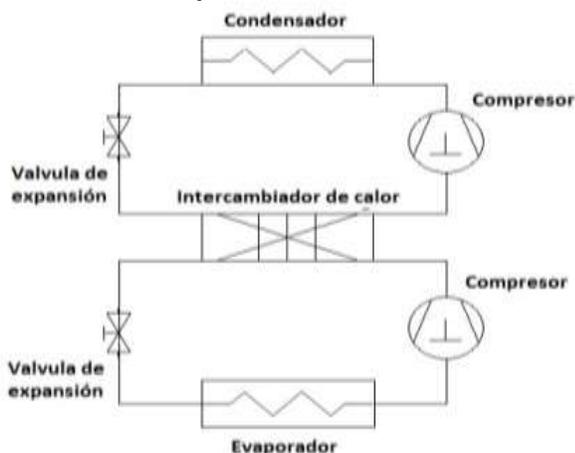


Figura 2 Sistema de refrigeración por compresión de vapor en cascada.

Fuente: Elaboración propia

La figura 3 muestra un sistema de refrigeración por compresión de vapor con enfriador intermedio y dos compresores (Sánchez, 2001).

Uno de los factores principales a considerar en el diseño y operación en un sistema de frigorífico es el tiempo de congelación. Cuando se considera el sistema frigorífico, el tiempo requerido establecerá la velocidad de movimiento del producto a través del sistema y por lo tanto la eficacia del sistema (Welti- Chanes, 2007).

En algunos casos al sustituir el sistema por compresión simple por uno tipo IQF se podría llegar a ser más eficiente dependiendo de la cantidad de producto, aunque hablando de energía este necesita un mayor requerimiento. Esto se debe a que se utilizan intercambiadores de calor más grandes y algunos ventiladores de gran potencia.

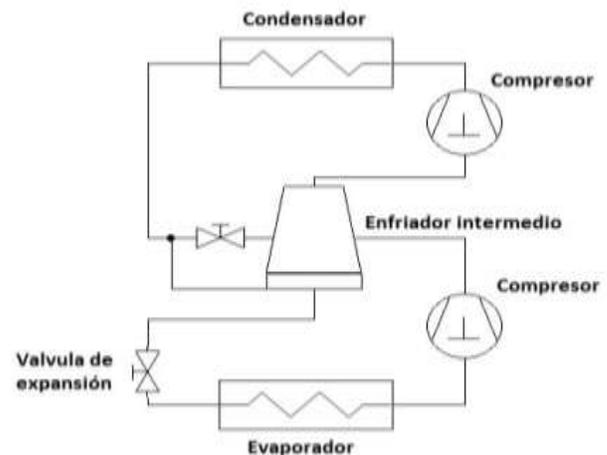


Figura 3 Sistema de refrigeración por compresión de vapor con enfriador intermedio e inyección parcial

Fuente: Elaboración propia

Resultados

En las tablas 2, 3 y 4 podemos observar los datos obtenidos por los cálculos realizados en las etapas de pre enfriamiento, congelación y almacenamiento, utilizando un sistema simple de refrigeración, un sistema de refrigeración en cascada y un sistema de refrigeración con enfriador intermedio e inyección parcial.

Pre enfriamiento	Wcomp (kW)	Qevap (kW)	Qcond (kW)	COP
Sist. Simple	2.87	19.73	22.6	6.89
Sist. en Cascada	3.24	19.73	22.97	6.11
Sist. con Inyección Parcial	2.59	19.73	22.32	7.61

Tabla 2 Datos obtenidos para un pre enfriamiento del producto

Fuente: Elaboración propia

Congelamiento	Wcomp (kW)	Qevap (kW)	Qcond (kW)	COP
Sist. Simple	30	94.15	124.15	3.14
Sist. en Cascada	34.04	94.15	128.19	2.77
Sist. Con Inyección Parcial	30.71	94.15	124.86	3.06

Tabla 3 Datos obtenidos para el congelamiento del producto

Fuente: Elaboración propia

Almacenamiento	Wcomp (kW)	Qevap (kW)	Qcond (kW)	COP
Sist. Simple	1.23	4.53	5.76	3.69
Sist. en Cascada	1.26	4.53	5.79	3.6
Sist. con Inyección Parcial	1.11	4.53	5.64	4.07

Tabla 4 Datos obtenidos para el almacenamiento del producto

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados en el diseño de los sistemas, resulta evidente que el proceso de congelación es el proceso de mayor consumo de energía, siendo el sistema en cascada el que más energía requiere, así mismo el proceso de almacenamiento es el que menos energía necesita, siendo el sistema de inyección parcial el más eficiente.

Conclusiones

Los sistemas de refrigeración propuestos confirman que el mayor consumo energético se encuentra en el proceso de congelamiento, no obstante se aprecia una diferencia entre ellos en la cantidad de energía consumida para la misma carga térmica, lo que sugiere y es la contribución de este trabajo, que cada proceso se realice con el sistema de refrigeración más adecuado, a fin de ahorrar energía y se disminuyan los costos más significativos en el proceso de congelación de pulpa de mango.

Así mismo, es de vital importancia tomar en cuenta las características biológicas de producto para aplicar el proceso de enfriamiento adecuado, proponiendo y diseñando los sistemas de producción de frío conforme a las características biológicas y no a la inversa, lo que resultara en una mejor eficiencia energética del proceso.

Referencias

George, R. M. 1993. Freezing processes used in the food industry. Trends Food Sci. Technol. 4:134. Citado en M. S. Rahman y J. F. Vélez – Ruiz, 2007 Food preservation by freezing. En M.

Hackett, B., Chow, S., and A.R. Ganji, 2005. Energy Efficiency Opportunities in Fresh Fruit and Vegetable Processing/Cold Storage Facilities. Proceedings of the 2005 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.

Herrman, K. 1977. Alimentos congelados: Tecnología y Comercialización. Editorial Acribia. España p. 155.

Sánchez, M.T. 2001. Ingeniería del Frío: Teoría y Práctica. España: AMV Ediciones

Sikirica, S.J., J. Chen, J. Bluestein, A. Elson, J. McGervey, and D. Caughey, 2003. Topical Report: Research Collaboration Program Food Processing Technology Project, Phase 1. Gas Technology Institute, Des Plaines, Illinois. Report GRI-03/0075.

Singh, R. P. y Heldman, D. R. 2001. Introduction to Food Engineering. Chapter 7: Food freezing. Academic Press. California, EE. UU.

Singh, R.P. 1986b. Energy Accounting in Food Processing Operations. In: Singh, R.P. (ed.) 1986. Energy in Food Processing. Elsevier, Amsterdam.

Skrede, G. 1996. Fruits. En L.E. Jeremiah (ed.). *Freezing effects on food quality* Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU. p. 183 – 245.

Wolti-Chanes, J. 2007. Apuntes de Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. Inéditos.

Diseño de un sistema de refrigeración para el almacenamiento de carne utilizando energía solar

VALLE-HERNÁNDEZ, Julio†*, ORTÍZ-TREJO, Adriana, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y MORALES-ORTEGA, Edgar Alejandro

*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Superior de Apan
Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo*

Recibido 19 de Julio, 2017; Aceptado 6 de Septiembre, 2017

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño de un sistema de refrigeración para el almacenamiento de carne utilizando energía solar fotovoltaica. En el manejo de la carne de res existe un complejo proceso para alcanzar la óptima calidad, para ello es necesario manipular la carne durante distintas fases a diferentes temperaturas que van desde los 30°C hasta los -16°C por distintos intervalos de tiempo, estos procesos de refrigeración consumen gran cantidad de energía eléctrica. Una alternativa para la producción de esta energía es la implementación de sistemas fotovoltaicos, ya que utiliza una fuente renovable. El objetivo del presente trabajo es demostrar como el uso de energía solar fotovoltaica aplicada a procesos de refrigeración permite tener un ahorro en el costo de energía y un beneficio al medio ambiente. El trabajo consiste en el diseño de un sistema frigorífico para el almacenamiento de carne de res, el cuál se realiza a partir del análisis de las cargas térmicas asociadas al proceso manteniendo los parámetros biológicos óptimos. Una vez diseñado el sistema frigorífico se realizó el dimensionamiento fotovoltaico interconectado a la red eléctrica que permite satisfacer la demanda energética del proceso reduciendo los costos asociados al consumo de electricidad.

Inocuidad, acortamiento, frigoríficas, fotovoltaico

Citación: VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, ORTÍZ-TREJO, Adriana, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y MORALES-ORTEGA, Edgar Alejandro. Diseño de un sistema de refrigeración para el almacenamiento de carne utilizando energía solar. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:42-54

Abstract

This work presents the design of a refrigeration system for the storage of meat using photovoltaic solar energy. The management of beef is a complex process to reach the optimum quality, for it is necessary to manipulate the meat during different phases at different temperatures ranging from 30 ° C to -16 ° C for different time intervals, these cooling processes consume a lot of electrical energy. An alternative for the production of this energy is the implementation of photovoltaic systems, since it uses a renewable source. The objective of the present work is to demonstrate how the use of photovoltaic solar energy applied to cooling processes allows to have a saving in the cost of energy and a benefit to the environment. The work consists in the design of a refrigeration system for the storage of beef, which is carried out from the analysis of the thermal loads associated to the process maintaining the optimal biological parameters. Once the refrigeration system was designed, photovoltaic sizing interconnected to the grid was made, which allows the energy demand of the process to be met by reducing the costs associated with electricity consumption.

Safety, shortening, refrigeration, photovoltaic

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: julio_valle@uaeh.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Alrededor del 90% de los alimentos que son consumidos en países desarrollados y un 55% en Latino América, han pasado por un proceso de refrigeración para asegurar inocuidad y prolongar su vida útil.

En la mayoría de los casos la carne de res no es consumida recién sacrificado el animal, ya que ésta necesita estar en refrigeración (0-5°C) por un lapso de tiempo después del sacrificio para que el producto adquiera las características organolépticas óptimas para su consumo (García M. , 2014).

La carne de res experimenta un proceso de conversión del músculo, el cual se divide en tres fases: la fase pre-rigor que ocurre inmediatamente después del sacrificio del animal, en esta fase la llegada de oxígeno y nutrientes a las células se interrumpe de forma inmediata debido al corte de la circulación sanguínea; como consecuencia de este proceso se produce un descenso del pH del músculo de 5,4 - 5,6 y una serie de cambios bioquímicos y estructurales, todos estos cambios dan lugar a una tensión y rigidez de la carne por la acción de sistemas enzimáticos que conduce a la instauración del “rigor-mortis”, siendo esta la segunda fase, donde las reservas energéticas del músculo se agotan y se alcanza la rigidez máxima, con lo cual cambia de un pH de 7 hasta niveles de 5.4-5.6; y por último la fase post-rigor, periodo de maduración endógenos (García M. , 2014).

Si la canal es enfriada por debajo de 10°C antes de la instauración del rigor mortis entonces se obtiene carne dura. Este es denominado como acortamiento por frío (Carrión, 2006).

Es importante considerar que las canales deben ser enfriadas para poder conservarlas por largos periodos de tiempo debido a que la carne además de ser altamente susceptible a deterioro, también puede constituir un vehículo para la propagación de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs).

Para mantener la carne almacenada en su estado óptimo ésta debe someterse a procesos de refrigeración que consumen gran cantidad de energía. El consumo de electricidad en instalaciones frigoríficas y la eficiencia en su empleo depende de diversos factores, unos propios del proceso y otros vinculados con la forma de operación del sistema y elección técnica del equipamiento.

Los sistemas de compresión de vapor es la forma de refrigeración más usada en las cámaras de enfriamiento, debido a su eficiencia y manejo de temperaturas. Este tipo de sistemas requiere gran cantidad de energía eléctrica para realizar el trabajo de compresión, cuando la carga térmica a refrigerar es relativamente grande, esto propicia un costo económico y ambiental elevado.

Una alternativa para la producción de energía eléctrica son los sistemas fotovoltaicos, ya que se utilizan fuentes renovables, lo que contribuye a desarrollar un planeta limpio y sostenible.

El uso de sistemas fotovoltaicos para generación de electricidad es una práctica cada vez más común en el ámbito internacional. Durante los últimos 30 años el desarrollo tecnológico en este campo ha permitido una reducción de 95 % en el costo de los módulos fotovoltaicos comerciales, a la par de un incremento cercano al 200% en su eficiencia (García J. M., 2013).

El objetivo del presente trabajo es demostrar como el uso de energía solar fotovoltaica aplicada a procesos de refrigeración permite tener un ahorro en el costo de energía y un beneficio al medio ambiente. El trabajo consiste en el diseño de un sistema frigorífico para el almacenamiento de carne de res, el cuál será alimentado por un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica. Para el diseño del sistema frigorífico se consideraron las cargas térmicas asociadas al proceso manteniendo los parámetros biológicos óptimos y se realizó el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que permite satisfacer la demanda energética y reducir los costos asociados al consumo de electricidad.

El potencial de la energía fotovoltaica radica en que los sistemas pueden instalarse en casi cualquier lugar y las instalaciones pueden ser de cualquier tamaño, lo anterior aunado a que en México se está implementando una legislación que permite el autoconsumo energético, generando ahorros económicos.

Metodología

Para determinar la ubicación de las cámaras frigoríficas se tuvieron en cuenta factores como la producción ganadera y la radiación solar en México, la temperatura ambiente, presión atmosférica y la velocidad del viento.

El diseño requiere una serie de tres cámaras para garantizar que el producto sea de calidad. En cada una se contemplan las temperaturas y humedad que se deben seguir en las fases de la carne. La primera cámara realiza el pre-enfriamiento, la segunda cámara realiza el proceso de congelación y la última cámara se destina al almacenamiento del producto final, estas utilizan un sistema de refrigeración por compresión.

El dimensionamiento se realizó de acuerdo a la cantidad de canales de res a almacenar y el flujo de canales en el rastro, y siguiendo normativas de higiene y distribución para rastros.

Para calcular el calor que debe extraer el sistema de refrigeración en cada una de las cámaras se consideraron cargas térmicas de la carne a refrigerar, personas que se encontrarán trabajando en la cámara, radiación solar, luces, motores e infiltraciones del ambiente, así como un aislamiento que sea conveniente en costos y que tenga una transferencia de calor mínima.

A partir de las cargas térmicas se obtiene el trabajo de los compresores, considerando su eficiencia eléctrica y esta será la energía eléctrica requerida en el dimensionamiento fotovoltaico. En el dimensionamiento fotovoltaico se consideran los siguientes parámetros: eficiencia energética del panel, la potencia nominal y el tipo de panel, así como el recurso solar de la región.

Finalmente se realizó su evaluación energética observándose una reducción significativa de los costos de operación.

Ubicación geográfica de la instalación frigorífica

Conocer el sitio en donde se planea la construcción de la cámara frigorífica es sumamente importante, ya que este influye directamente en la carga térmica y, en la temperatura de condensación a utilizar.

En este proyecto se diseñó el sistema de refrigeración de carne para el municipio de Lagos de Moreno, Jalisco.

El estado de Jalisco es el segundo en producción de canales de res a nivel nacional, en razón de las 200 mil toneladas de carne de res en canal que se producen anualmente, únicamente superado por el estado de Veracruz. Esta cantidad representa una movilización y sacrificio de aproximadamente 280 mil cabezas (JALISCO, 2012). Por tal motivo la conservación de carne de res es de suma importancia en el estado, del cual el municipio de Lagos de Moreno, es el principal productor con aproximadamente 11,791.66 toneladas de carne de res en canal, anualmente, de acuerdo al INEGI.

El Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables (CEMAER) estima que en Jalisco se recibe un radiación global media diaria de entre 5.2-5.3 kWh/m², que es mayor a la radiación global media de Veracruz de 4.8 kWh/m² (CEMAER, 2016), lo cual señala a Jalisco como un estado atractivo para el diseño de cámaras frigoríficas de óptima calidad, como para la utilización de energía solar fotovoltaica.

Descripción del proceso

La carga térmica es la cantidad de calor que debe ser extraído durante una unidad de tiempo, para compensar la cantidad de energía térmica que entra o se desarrolla en su interior. La temperatura de la cámara de pre enfriamiento debe de ser de 1 a 0° C, con una velocidad de aire de 0.25 a 3.0 m/s, debido a cuestiones económicas, la velocidad más utilizada es de 2 m/s, la humedad relativa debe variar entre 90% y 95%, en este proyecto se utilizará una humedad relativa en las cámaras de 95% para evitar la deshumidificación de la carne.

Dentro de las primeras 48 horas después del sacrificio, la canal debe alcanzar una temperatura interior de 7°C, y una temperatura en la superficie de aproximadamente 0°C para evitar la proliferación de microorganismos, respetar el tiempo señalado es de suma importancia para evitar el acortamiento por frío que ocurre al enfriar a menos de 10°C la canal previo al rigor mortis, es aquí donde la fase de pre enfriamiento termina (Protection, A.A, 2012).

Para la cámara de congelación es necesario disminuir la temperatura e incrementar la velocidad del flujo del aire que circula por la cámara, la temperatura del aire debe ser de -18 a -25°C y la velocidad de flujo de 3 m/s, con una humedad relativa de 95% para evitar el acortamiento por frío, en esta etapa se necesita una velocidad del flujo de aire rápida, para evitar la formación de cristales dentro de la carne, y que estos deterioren la calidad del producto final. En estas condiciones las mitades de canales se congelarán en un periodo de 16 a 20 horas (Protection, A.A, 2012).

La cámara de almacenamiento usualmente tiene temperaturas que están en el rango de -20 a -22°C para periodos de preservación de 6 meses o más, y la humedad relativa recomendada para esta fase es de entre 95 y 98%, para prevenir la deshidratación de la carne (Carrión, 2006).

Propiedades termodinámicas de la carne de res	
Calor específico abajo del punto de congelación	1.68 KJ/kgK
Calor específico arriba del punto de congelación	3.08 KJ/kgK
Calor latente	224 KJ/Kg
Contenido de agua	67%
Punto más alto de congelación	-2°C

Tabla 1 Propiedades termodinámicas de la carne de res

Fuente: (Cengel, 2001)

Diseño del sistema frigorífico

A partir del proceso descrito anteriormente y de las condiciones de operación de cada cámara se diseñó un sistema de refrigeración en el cual se llevan a cabo procesos de pre-enfriamiento, congelación y almacenamiento de la carne.

En la Tabla 2 se presentan las características de diseño de cada una de las cámaras de refrigeración:

Canal de res		Flujo de aire			Tiempo estimado de abatimiento	
Temperatura		Capacidad	Temperatura	Velocidad		Humedad
Inicial	Final					
Cámara de pre enfriamiento (alto: 4.7 m, largo: 7m, ancho:6 m)						
30 °C	0 a 7°C	25 canales	0°C	2 m/s	95%	24 horas
Cámara de congelamiento (alto: 4.7 m, largo: 7m, ancho:6 m)						
0°C	-16 a -20°C	25 canales	-20°C	3 m/s	95%	16-20 horas
Cámara de almacenamiento (alto: 4.7 m, largo: 7m, ancho:6 m)						
-16 °C	-18°C a -22°C	25 canales	-22°C	2m/s	95%	10 horas

Tabla 2 Condiciones de diseño

Fuente: *Elaboración propia*

El aislamiento es un parámetro sumamente importante, debido a las infiltraciones que pueda sufrir la cámara frigorífica, entre mejor sea el aislamiento, mejor será el coeficiente de desempeño. Para determinar el aislamiento de las cámaras, se evaluaron las especificaciones de espesor, conductividad térmica y costos de los aislantes más comunes.

En la tabla 3 se muestran las especificaciones de espesor de el aislante, de acuerdo a las temperaturas deseadas en la cámara.

Temperatura de almacenamiento °C	Espesor deseable del aislamiento en m	
	Poliestireno	Uretano
-45 a -32	8	6
-32 a -18	6	4
-18 a -4	4	4
-4 a 5	4	3-4

Tabla 3 Estándares generales para el espesor del aislamiento en cuartos de almacenamiento

Fuente: *(Frigus Bohn, 2014)*

El poder aislante de un material, se mide por medio de la evaluación de su conductividad térmica (factor “k”). Este valor nos indica la cantidad de calor que deja pasar una muestra de determinado material durante un cierto tiempo, existiendo un diferencial de temperatura entre una cara y la otra. Por lo tanto, entre más bajo sea el valor del factor “k”, mejor será la capacidad aislante del material.

El Poliuretano rígido tiene una factor “k” de 0.0245 W/mk. Es el más bajo entre los aislantes comerciales. Significa que es el material que menos calor deja pasar, comparado con cualquiera otro. Por tal motivo es el aislante seleccionado para las cámaras.

En la tabla 4 se muestran los materiales óptimos para la construcción de las cámaras frigoríficas de acuerdo a la temperatura necesitada en cada una.

Material	Espesor (m)	K (W/mK)
Ladrillo	0.1397	0.144
Poliuretano	0.0762	0.0245
Poliuretano	0.1016	0.0245
Loza de cemento	5.5	0.72
Piso de cemento	5.5	0.72

Tabla 4 Materiales de construcción

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis energético del sistema

El análisis energético del sistema se divide en tres partes, el cálculo de las cargas térmicas, ciclo de refrigeración y el suministro energético.

Cargas térmicas

En general el sistema gana calor por las siguientes cargas térmicas:

- 1) Carga térmica generada por transmisión a través de paredes.

Este concepto se calcula por la expresión general:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T \quad (1)$$

Donde: Q = calor total de transmisión a través de las paredes, A= área de exposición, U= coeficiente global de transferencia de calor, ΔT = diferencia de temperaturas.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{f_2}} \quad (2)$$

$$f = 1.6 + 0.3v \quad (\text{para paredes lisas}) \quad (3)$$

$$f = 2.0 + 0.4v \quad (\text{para paredes medianamente rugosas}) \quad (4)$$

$$f = 2.1 + 0.5v \quad (\text{para paredes muy rugosas}) \quad (5)$$

Donde: v = velocidad del aire en millas/hora, f= factor de la película de aire, e=espesor del material, k=factor “k” del material.

En el caso del cálculo para el suelo, la temperatura exterior no será la misma, por lo tanto se deberá calcular de la siguiente forma:

$$T_{suelo} = \frac{(T_{ext} - T_{int})}{2} \quad (6)$$

Dónde: T_{suelo} = Temperatura del suelo; T_{ext} = Temperatura del exterior de la cámara frigorífica; T_{int} = Temperatura del interior de la cámara frigorífica.

Carga térmica por alumbrado y equipo

En los sistemas de refrigeración existen equipos eléctricos de alumbrado que ceden energía al medio en el momento de operar. Todos los sistemas de iluminación, ya sea incandescentes o fluorescentes básicamente, transforman la energía eléctrica que reciben para su operación, en calor; el cual desprende en su totalidad y se disipa en el interior del espacio que se desea refrigerar.

$$Q_{\text{alumbrado}} = (\# \text{lámparas} \cdot \text{watts}) \quad (7)$$

El cálculo de la carga térmica por motores se calcula mediante:

$$Q = P \cdot n(746) \quad (8)$$

Dónde: P = potencia del motor en HP; 746 es el factor de conversión de HP a Watts; n=número de motores

Carga térmica generada por producto

$$Q_{sensible} = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (9)$$

Dónde: $Q_{sensible}$ = Calor extraído donde no existe un cambio de fase; m= masa del producto; C_p = calor específico arriba o debajo del punto de congelación (Tabla 1); ΔT = diferencia de temperatura.

$$Q_{latente} = m \cdot HL \quad (10)$$

Dónde: $Q_{latente}$ = Calor que se necesita extraer para el cambio de fase (Tabla 1); HL = Entalpía de cambio de fase.

De acuerdo a la información del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2017), en la región de Jalisco el peso promedio de una canal de carne de res de corral es de 300 kg.

Carga térmica generada por infiltración

El concepto de infiltración representa una transmisión de calor originada por la entrada de aire exterior (a la temperatura del medio ambiente) al interior del espacio refrigerado. Esta carga térmica es ocasionada en el momento de la apertura de las puertas, ventanas u otro medio que influya en la comunicación con el exterior.

El procedimiento de cálculo para este punto se basa en considerar que el aire del espacio se cambiara un determinado número de veces por hora, a esto se le llama “numero de intercambios de aire” (CA) y se maneja en un intervalo de una hora (Tabla 5).

El número de cambios está en función directa del volumen total del espacio refrigerado.

Se calcula el volumen de aire infiltrado a la cámara:

$$V_{infiltrado} = V_{cámara} \cdot \frac{CA}{h} \cdot \text{factor de uso} \quad (11)$$

$V_{cámara}$ = Volumen interno de la cámara, restando espesores de materiales de construcción.

Factor de uso= 2 o 0.6, uso pesado o uso prologado, respectivamente.

	Volumen interno m ³	Cambios de aire en 24 h.
Cámara de pre enfriamiento	161.23	5.18
Cámara de congelamiento y almacenamiento	154.9	5.31

Tabla 5 Cambios de aire promedio en 24 h para cuartos de almacenamiento debido a la apertura de puertas e infiltración

Fuente: (Frigus Bohn, 2014)

$$Q_{aire interior} = \frac{V_{infiltrado}}{v_{interior} \cdot H_{Tinterior}} \quad (12)$$

Dónde: $Q_{aire interior}$ = calor del interior de la cámara; $V_{infiltrado}$ = volumen de aire que se infiltra en la cámara; $v_{interior}$ = volumen específico en el interior de la cámara a la temperatura interior; $H_{Tinterior}$ = entalpía en el interior de la cámara a la temperatura interior.

Se utiliza la misma ecuación, sustituyendo los valores del volumen específico y entalpía, ahora a temperatura del exterior, de este modo se obtiene $Q_{exterior}$. Y la carga por infiltraciones está dada por:

$$Q_{\text{infiltrado}} = Q_{\text{exterior}} - Q_{\text{interior}} \quad (13)$$

Carga térmica generada por ocupantes

Si existe personal trabajando en el área de las cámaras frigoríficas, disipa calor a un porcentaje que depende de la temperatura de la cámara.

Temperatura del refrigerador °C	Calor Equivalente por persona W/24 h.
0	6527.278
-16	8918.64
-18	9014.45

Tabla 6 Calor equivalente de ocupación

Fuente: (Frigus Bohn, 2014)

El calor total cedido por la ocupación de personas en el espacio refrigerado se calcula:

$$Q_{\text{personas}} = \frac{q_{\text{personas}} \cdot \# \text{ personas}}{24h} \quad (14)$$

Dónde: q_{personas} =calor cedido por persona (Tabla 6).

Carga térmica generada por radiación solar

Al incidir rayos solares sobre una superficie se origina un calentamiento, lo cual implica el paso del calor al interior del espacio refrigerado. El efecto solar está relacionado con la rugosidad de la superficie en que incide, ángulo de incidencia e intensidad de los rayos solares, constante proporcional del color de la superficie.

Tipo de superficie	Pared Este	Pared Sur	Pared Oeste	Techo
Superficies de color en tono medio	6	4	6	15

Tabla 7 Tolerancia por Efecto Solar

Fuente: (Frigus Bohn, 2014)

La carga térmica por radiación se calcula como:

$$Q_{\text{sun}} = A \cdot U \cdot \Delta T' \quad (15)$$

Dónde: Q_{sun} = calor por el efecto solar; A = área de cada pared; U= coeficiente global de transferencia de calor.

$$\Delta T' = (T_{\text{exterior}} + T_{\text{corrección}}) - T_{\text{cámara}} \quad (16)$$

Dónde: T_{exterior} = temperatura ambiente; $T_{\text{corrección}}$ = temperatura de tolerancia por el efecto solar (Tabla 7); $T_{\text{cámara}}$ = temperatura de diseño.

La carga térmica total será la suma de todas las cargas térmicas. Se utilizaron las cargas térmicas máximas de las tres cámaras, estos valores utilizaron para el cálculo del consumo energético.

Ciclos de refrigeración

El refrigerante que se utilizó fue R-407C, que es un refrigerante perteneciente a la gama de los Hidrofluorocarburos, tiene un GWP de 1774 (acrónimo del inglés Global Warming Potencial-GWP) que es una medida del potencial de calentamiento global; en comparación con el R-404A (GWP 3922) que es el gas más usado para la refrigeración estacionaria.

El consumo energético se obtiene a partir del trabajo a realizar por el compresor en los sistemas de refrigeración convencionales a partir del flujo másico y las entalpías del refrigerante a la entrada y salida del compresor.

El flujo másico y el trabajo del compresor se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$\dot{m} = \frac{Q_H}{(h_{in \text{ comp}} - h_{in \text{ evap}})} \quad (17)$$

$$W_{comp} = \dot{m}(h_{in \text{ comp}} - h_{out \text{ comp}}) \quad (18)$$

Donde: Q_H = carga térmica total, $h_{in \text{ comp}}$ = entalpía a la entrada del compresor, $h_{in \text{ evap}}$ = entalpía a la entrada del evaporador, $h_{out \text{ comp}}$ = entalpía a la salida del compresor, \dot{m} = flujo másico de refrigerante. Las entalpías se tomaron de los valores registrados en la ficha técnica del refrigerante realizada por DuPont (DuPont, 2004).

En la Tabla 8 se aprecian los valores máximos del trabajo del compresor y cargas térmicas de las tres cámaras, así como la potencia eléctrica teniendo en cuenta la eficiencia eléctrica del compresor.

	Cámara de pre enfriamiento	Cámara de congelación	Cámara de almacenamiento
Carga térmica	16.912 kW	36.097 kW	4.418 kW
Trabajo del compresor	3.773 kW	14.148 kW	1.783 kW
Potencia eléctrica	4.336 kW	16.262 kW	2.049 kW
Energía eléctrica	78.048 kWh	292.71 kWh	36.88 kWh
COP	3.91	2.22	2.15

Tabla 8 Trabajo del compresor y carga térmica máximos

Fuente: *Elaboración propia*

Para determinar el consumo eléctrico de la instalación frigorífica se debe tener en cuenta la eficiencia isoentrópica del compresor, que esta se encuentra generalmente entre 80% - 90%. En este caso se consideró una eficiencia isoentrópica de 87%, ya que se consideró un compresor tipo scroll que son los compresores más eficientes y silenciosos.

Un compresor trabaja generalmente para instalaciones de cámaras frigoríficas de 18 a 20 horas (Sánchez & de las Infantas, 2009), para este caso se considerarán 18 horas de trabajo, ya que la cámara tiene infiltraciones externas mínimas. Se calculó el Coeficiente de Operación (COP) del sistema, esto es la relación entre la carga térmica total del sistema (kW), y la potencia (kW) que se suministra al compresor, el cual está dado por:

$$COP = \frac{Q_{total}}{W_{comp}} \quad (19)$$

Donde: Q_{total} = Carga térmica total del sistema, W_{comp} = Trabajo del compresor.

Resultados del diseño y análisis energético

Carga térmica

Se realizaron los cálculos para las temperaturas mínimas y máximas mensuales registradas por la NASA en los últimos 22 años, y se tomaron los valores máximos de cada cámara para calcular el consumo energético máximo de cada una de las cámaras.

En el gráfico 1 se puede observar que en el mes de mayo se obtienen los valores máximos de carga térmica a refrigerar para las tres cámaras, estos son los valores que se utilizaron para calcular el trabajo del compresor.

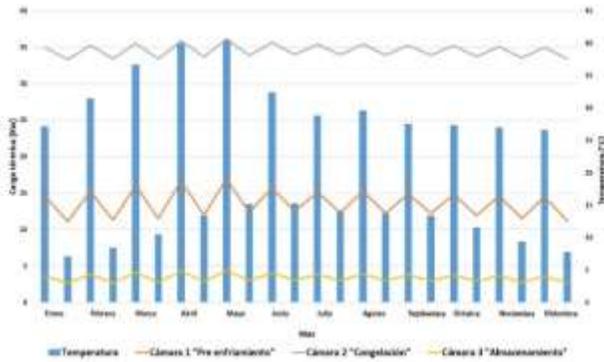


Gráfico 1 Carga térmica total durante el año

Fuente: Elaboración propia

Diseño del Sistema fotovoltaico

Para este proyecto se seleccionaron paneles solares los cuales tienen las características que se detallan en la tabla 9, para realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se tomaron en cuenta los datos obtenidos por la NASA (NASA, 2017) para el valor del promedio anual de radiación directa normal para el municipio de Lagos de Moreno, que es de 6.6 kWh/m² al día. Se tomó en cuenta una radiación de 1.0 kW/m² al día en la superficie terrestre, y con estos datos se calculó el recurso solar de la región (RS).

Tipo	Policristalino
Potencia máxima	335 W
Tolerancia potencia	-5 W/+7.2 W
Eficiencia	17.26%
Cof. Temp. Max.	-0.31%/°C
Área del panel	1.62 m ²

Tabla 9 Características técnicas del panel

Fuente: (Suner solar energy, 2017)

De este modo tenemos que:

$$RS = (6.6 \text{ kWh/m}^2) / (1.0 \text{ kW/m}^2) = 6.6 \text{ horas.}$$

Para obtener la energía obtenida por panel se multiplica la potencia del panel por el RS. Y de este modo el número de paneles será igual a la energía eléctrica necesaria entre la energía obtenida por panel.

En la Tabla 10 se muestran los requerimientos de paneles fotovoltaicos para alimentar las cámaras frigoríficas suponiendo que todas funcionan con el sistema convencional de refrigeración, tomando en cuenta la potencia necesitada en el compresor, así como las características de los paneles.

	Energía eléctrica necesaria	Energía por panel	Número de paneles	Superficie de instalación
Cámara de pre enfriamiento	78.048 kWh	2.211 KWh	35	56.7 m ²
Cámara de congelación	292.71 kWh	2.211 KWh	132	213.84 m ²
Cámara de almacenamiento	36.88 kWh	2.211 KWh	16	25.92 m ²

Tabla 10 Dimensionamiento fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia

Energía suministrada y requerida por las cámaras

Para el caso de la cámara de pre enfriamiento, la energía suministrada y requerida a la cámara, se puede observar en el gráfico 2.



Gráfico 2 Energía requerida y suministrada a la cámara de pre enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

La energía que suministra el sistema fotovoltaico, línea azul, satisface completamente la demanda del sistema frigorífico para el preenfriamiento de la carne, línea marrón, durante los meses de Noviembre-Mayo, con un excedente de energía que se inyectará a la red eléctrica para compensar la energía faltante en los meses de Junio-Octubre.

En el gráfico 3 se muestra el comportamiento de la energía proporcionada por los paneles fotovoltaicos, comparada con la energía necesaria en el compresor del sistema de congelación. Al igual que para el caso del preenfriamiento la energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico presenta un excedente en los meses de Noviembre-Mayo, esta energía será suministrada a la red eléctrica, mediante un contrato de interconexión, para contrarrestar los gastos de energía en los meses de Junio-Octubre donde se requerirá del suministro de la red eléctrica.

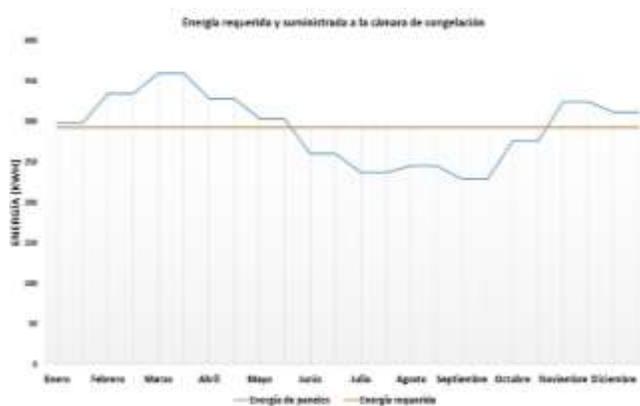


Gráfico 3 Energía requerida y suministrada a la cámara de congelación

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el gráfico 4, en la cámara de almacenamiento las necesidades energéticas del compresor son menores que en las anteriores, debido a que las cargas térmicas del producto son mínimas, sin embargo el comportamiento de la energía suministrada por los paneles solares es muy similar al de la cámara de congelación, ya que obedece a las mismas variables.

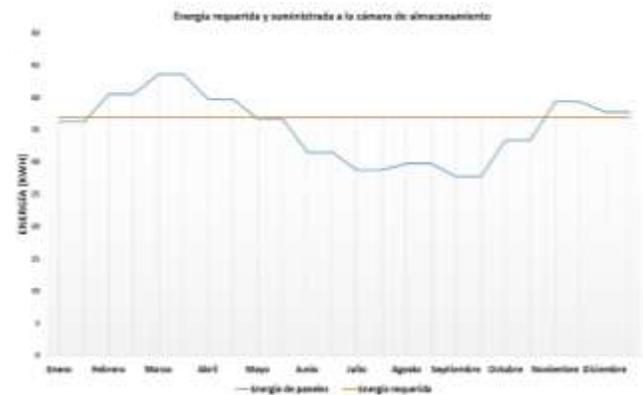


Gráfico 4 Energía requerida y suministrada a la cámara de almacenamiento

Evaluación económica

México tiene pensado que para el 2024 el 35% de la electricidad producida provenga de fuentes limpias, para lograr esto, el gobierno federal tiene en mente invertir 160 millones de dólares. El gobierno federal otorga créditos con el fin de apoyar las instalaciones fotovoltaicas. En México el watt instalado cuesta alrededor de 2 dólares (\$35 MXN). (CCEEA, 2016)

Tomando en cuenta la suma de los watts a instalar para las tres cámaras, la inversión inicial sería de \$2,145,675 MXN.

La demanda total de energía del sistema es de 23.088 kW, siendo la suma de la potencia eléctrica necesaria en cada cámara, en base a esto y de acuerdo a los lineamientos que se estipulan se seleccionó la “Tarifa 2” de CFE (Comisión Federal de Electricidad), este sistema cuenta con las características indicadas para el análisis financiero en base a dicha tarifa. La “Tarifa 2” se aplicará a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda hasta de 25 kilowatts, excepto a los servicios para los cuales se fija específicamente su tarifa. (Comisión Federal de Electricidad, 2017)

Considerando un consumo constante de 407.638 kWh al día, y con los datos obtenidos de CFE del costo de este consumo de 2012 a 2016, se obtuvo un valor de \$ 2,507,713.46 MXN a pagar por consumo eléctrico durante 5 años, monto similar al costo de inversión que se tendría en la implementación del sistema fotovoltaico propuesto. Dado que los paneles solares generalmente tienen un garantía de mínimo de 20 años, el costo por el consumo eléctrico en este tiempo, considerando las tarifas actuales aplicables, se estima de aproximadamente de 10 millones de pesos, como se puede observar este costo es aproximadamente 4 veces mayor que la inversión propuesta para un sistema interconectado a la red de paneles solares. Lo cual representa un gran ahorro monetario así como un beneficio ecológico.

Conclusiones

En este trabajo se pueden visualizar las ventajas de la implementación de sistemas de refrigeración alternativos a cámaras frigoríficas, aunque estos sistemas se encuentren limitados por las condiciones de trabajo, es importante analizarlos y considerarlos.

En los resultados se puede observar que en algunos meses del año la energía provista por el sistema de colectores solares no es suficiente a la requerida por las cámaras frigoríficas, sin embargo es importante considerar que las cargas térmicas se calcularon para los casos en que éstas son las máximas posibles, por ello aunque existen diferencias en la energía suministrada y requerida se puede considerar el diseño como aceptable.

Del mismo modo se considera una interconexión a la red eléctrica, el cual puede ofrecer un respaldo cuando la energía provista por los paneles solares no sea suficiente para abastecer las necesidades de enfriamiento de las cámaras.

Se prevé un ahorro de costos de electricidad con el sistema de paneles solares interconectados a la red, debido a que se utiliza energía solar la cuál es de las energías más baratas y amigables con el medio ambiente.

El sistema frigorífico que se presenta en este trabajo es un diseño en desarrollo, y por consiguiente está sujeto a mejoras en cada una de sus etapas, que permitan su factibilidad. En análisis financiero se realizó en base a la “Tarifa 2”, la cuál presenta algunas desventajas económicas para el sistema, una alternativa sería manejarlo con la “Tarifa 3”, sin embargo el sistema fotovoltaico sigue siendo una opción viable económicamente.

El contar con un diseño eficiente y confiable del sistema impactaría positivamente en el uso de la energía solar como fuente generadora de frío, reduciendo los costos asociados al suministro de energía eléctrica y cuidando el ambiente.

Referencias

- Carrión, A. (2006). *Efecto del periodo de espera, previo a la refrigeración de la carne de res, sobre sus características postmortem*. Honduras.
- CCEEA. (2016). *Los precios por kilowatt instalado de paneles solares en comercios y residencias continúan bajando*. México.
- CEMAER. (2016). *“Energía Solar en México”*. México.
- Cengel, Y. &. (2001). *Termodinámica*. México: Mc Graw Hill.
- Comisión Federal de Electricidad. (02 de 07 de 2017). *Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica*. Obtenido de Comisión Federal de Electricidad: http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp
- DuPont. (2004). *Thermodynamic Properties of DuPont Suva 407c Refrigerant*. USA.
- Frigus Bohn. (2014). *Manual de Ingeniería*. México.
- García, J. M. (2013). *Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el INVI. D.F.* México.
- García, M. (2014). Efecto del tiempo de la maduración sobre la calidad organoléptica de la carne de vacuno. *Tecnología Agroalimentaria*, 45-52.
- JALISCO, U. G. (2012). *Producción*. Jalisco, México.
- NASA. (2017). *Surface meteorology and Solar Energy*. Obtenido de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>
- Protection, A.A. (2012). *Manual on meat cold store operation and management*. USA.
- Sánchez, T., & de las Infantas, P. (2009). *Ingeniería del frío: teoría y práctica*. España: A.Madrid Vicente.
- SNIIM. (2017). *Precios de Bovinos: Carne en canal*. Obtenido de <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>
- Suner solar energy. (2017). *Sunerg*. Obtenido de <http://www.sunergsolar.com/it/index.php>

Sistema piloto de detección de gases combustibles incluyendo propuesta de comunicación a la unidad de protección civil más cercana

VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, Jorge Alberto†*, ANTONIO-ANTONIO, Alejandrina, CRUZ-NETRO, Zahira Gabriela y MEZA-MORALES, Martha Isis

Universidad Politécnica De Altamira

Recibido 11 de Julio, 2017; Aceptado 22 de Septiembre, 2017

Resumen

La Universidad Politécnica de Altamira está ubicada sobre el libramiento al corredor industrial y puerto de Altamira por lo que existe gran tránsito terrestre de materiales usados en los procesos de las empresas que se encuentran en la zona. Con base en los resultados obtenidos en el catálogo de sustancias, materiales y materias primas que transitan por el corredor industrial, está determinado en los resultados de la investigación "Sistema de Detección, Monitoreo, Alarma y Respuesta ante una Atmósfera Peligrosa para Control de Riesgos (SIDEMARE). Objetivo 1: Resultados" (2015) que la probabilidad de ocurrencia más elevada de un accidente de transporte terrestre es para líquidos inflamables. Con este proyecto se busca elaborar un sistema de detección automática que permita alertar a la población universitaria en caso de algún siniestro derivado de los gases emanados de los líquidos inflamables, complementar el plan de contingencias que se desarrolla en la universidad y buscar una vinculación con Protección Civil a través de un enlace remoto.

Plan de contingencia, sistema de detección, alarmas, gases combustibles

Abstract

The Polytechnic University of Altamira is located on the outpost to the industrial corridor and port of Altamira so there is great land transit of materials used in the processes of companies that are in the area. Based on the results obtained in the catalog of substances, materials and raw materials that pass through the industrial corridor, it is determined in the results of the investigation "Detection, Monitoring, Alarm and Response to a Hazardous Atmosphere System for Risk Control (SIDEMARE). Objective 1: Results "(2015) that the highest probability of occurrence of a land transport accident is for flammable liquids. The aim of this project is to develop an automatic detection system that will alert the university population in the event of any incident derived from the gases emanating from flammable liquids complement the contingency plan that is developed in the university and seek a link with the civil protection system through a remote link.

Contingency plan, detection system, alarms, combustible gases

Citación: VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, Jorge Alberto, ANTONIO-ANTONIO, Alejandrina, CRUZ-NETRO, Zahira Gabriela y MEZA-MORALES, Martha Isis. Sistema piloto de detección de gases combustibles incluyendo propuesta de comunicación a la unidad de protección civil más cercana. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:55-63

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jorge.vazquez@upalt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La Universidad Politécnica de Altamira (UPALT) alberga diariamente un aproximado de 850 personas entre alumnos, personal docente-administrativo y visitas de acuerdo a servicios escolares, recursos humanos y el servicio de vigilancia de la universidad. Se encuentra ubicada en el nuevo libramiento Altamira, el cual sirve como vía principal para el transporte de materiales a las industrias de la zona que incluye el Puerto de Altamira que tuvo en 2015 un movimiento de carga de 18033 toneladas (Puerto de Altamira, 2015), además, un grupo de 32 empresas que conforman la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas A.C. dedicadas al sector químico-petroquímico, manufactura y servicios. Con el propósito de salvaguardar los recursos humanos y materiales, evitar y/o disminuir los daños a las instalaciones y complementar el plan de contingencias que se desarrolla en la UPALT, el cuerpo académico Producción y Operaciones ha planteado un sistema piloto para detectar la presencia de gases combustibles para monitorear, prevenir y alertar situaciones peligrosas y de incendio, aumentar la velocidad de respuesta para el combate del siniestro, notificar e interactuar con el sistema de protección más cercano, en este caso protección civil.

Para lo cual se realizó la selección del equipo y propuso el lugar estratégico de instalación para dar la certeza del cumplimiento de la función de este sistema de detección, monitoreo, alarma y respuesta ante una atmósfera peligrosa para control de riesgos en lo sucesivo "SIDEMARE".

El lugar idóneo para instalar este sistema tiene que considerar la cercanía con la carretera, la dirección de los vientos predominantes del este-sureste (POT, 2008), una toma de corriente eléctrica cercana y que el sitio tenga a una persona al pendiente.

Por lo tanto, el sitio más adecuado es la caseta de vigilancia de la entrada a la universidad, la cual cuenta con todas las condiciones.

Este proyecto tiene como objetivo:

Detectar la presencia de gases combustibles con el propósito de alertar al personal por medio de una señal visual y sonora apoyándose con interfaces de usuario que permitan la supervisión y monitoreo del estado del sensor y las alarmas enlazando en tiempo real con la estación de protección civil más cercana.

Este artículo reporta los avances al momento de la publicación de la siguiente forma:

Primeramente se explican los componentes del sistema SIDEMARE y posteriormente se describe su operación.

Componentes del sistema SIDEMARE

El sistema de detección, monitoreo, alarma y respuesta ante una atmósfera peligrosa para control de riesgos (SIDEMARE) es un sistema piloto ideado a partir del estudio generado en 2014 en la UPALT para alertar a su población con acciones preventivas orientados a la capacidad de respuesta debido a los riesgos que implica el transporte de materiales y residuos peligrosos por el Nuevo Libramiento Corredor Industrial de Altamira, donde se ubica la UPALT. Dicho estudio revela que la condición más propensa a analizar es la de derrame de alguna sustancia combustible.

SIDEMARE está diseñado para dar indicaciones confiables y continuas de la concentración de gas combustible derivado de algún accidente que haya producido algún derrame que pueda producir una ignición, derivado de esto se gestionó el recurso para poder elaborar el sistema SIDEMARE que incluye los siguientes elementos:

Un Controlador Lógico Programable marca GE de la familia DURUS, modelo IC210DDD024 con módulo de comunicación Modbus IC210EMS001. Destinado a monitorear la concentración de gas combustible, usando una programación en lógica de escalera destinada a activar una alarma en presencia de una alta concentración y transmitir esta señal al radio de comunicación de datos vía el protocolo de comunicación Modbus.



Figura 1 Controlador lógico programable GE DURUS

Fuente. <http://www.geautomation.com/download/durus-controllers>

Un detector de gas combustible con sensor catalítico marca DRAGER modelo POLYTRON 5200, con indicación de la concentración de gas combustible en %LEL (low explosivity level).

Este detector es un transductor para medir la presión parcial de gases combustibles y vapores contenidos en aire ambiente. Utiliza el principio del calor-combustión.

El aire supervisado se difunde a través del disco metalizado del sensor. Allí la mezcla de gases combustibles y los vapores se queman catalíticamente en un elemento calefactor del detector (Pellistor). Los suministros de aire supervisados del oxígeno que requirió para la combustión y debido al calor resultante de la combustión, el elemento del detector se hace más caliente, este aumento en calor causa un cambio de resistencia en el elemento del detector, que es proporcional a la concentración de la mezcla de gases combustibles y de vapores en el aire supervisado. Además del elemento catalítico activo del detector, hay un elemento inactivo del compensador. Ambos elementos son parte de un puente de Wheatstone. Los efectos ambientales como cambios en temperatura o humedad son compensados.

El transmisor utiliza una tecnología analógica de 3 cables (estándar industrial) y convierte la señal de un sensor catalítico en una señal de 4 a 20 mA, que es proporcional a la concentración de gas existente (Manual del fabricante DRAGER, 2017).

Cuando se active el detector de gas combustible este enviará una señal de salida para la activación de la alarma visible y la alarma audible, instaladas en la caseta de vigilancia por ser el lugar con energía más cercano a la carretera, además de ser una ubicación que siempre cuenta con personal en guardia para proceder al control de este evento. La operación normal del detector es que la indicación no pase de 20% LEL en condiciones ambientales normales (NRF-210-PEMEX-2013).



Figura 2 Detector de gas combustible DRAGER Polytron 5200

Fuente. <https://www.draeger.com>

Dos fuente de poder 24 Vcd 3A.

La primer fuente de poder se utiliza para alimentar eléctricamente al PLC, al detector de gas combustible, a la interfaz de usuario, al radio de comunicación y a las indicaciones visual y sonora en el área de detección.

La segunda fuente de alimentación se utiliza para alimentar eléctricamente a la interfaz de usuario y al radio de comunicación de datos en la estación remota.

Dos interfaces de usuario touch screen de 4.3" marca RED LION modelo G304K20U.



Figura 3 Interfaz de usuario touch screen marca REDLION mostrando la pantalla de visualización

Fuente. *Elaboración propia*

Este modelo cuenta con una pantalla TFT brillante con soporte de 32K colores, una resolución de 480 x 272 pixeles y puede utilizar dos protocolos de comunicaciones RS-232/422/485 de alta velocidad y un puerto Ethernet 10 Base-T / 100 Base-TX. Estas interfaces de usuario tienen la finalidad de recibir la información transmitida desde:

1. El PLC que recibe la señal del detector de gas combustible.
2. El radio de comunicación de datos en la estación remota.

Estos datos se muestran en un software de aplicación de fácil manejo para el operador para su monitoreo-supervisión y para el reconocimiento de la alarma sonora en caso de evento. Al arrancar el software presenta una pantalla de inicio que muestra solo el logo de la Universidad Politécnica de Altamira, al tocar la pantalla cambia a la pantalla de monitoreo.

Dos radios de comunicación de datos marca DIGI modelo XTend-PKG 900MHz USB RF Modem.



Figura 4 Ejemplo de aplicación del radio de comunicación de datos marca DIGI

Fuente. https://www.digi.com/pdf/ds_xtend.pdf

El sistema de comunicación de radio se pretende usar para transmitir la información del detector de gas combustible a través del PLC usando el protocolo Modbus. La comunicación se realiza dentro de un arreglo punto a punto en la banda libre de 900 MHz, esto es que solo existen 2 radios que se enlazan para transferir datos.

Una alarma con una indicación visual tipo estrobo color rojo y una indicación sonora tipo corneta con sirena.



Figura 5 Indicación visual y sonora para la alarma del sistema SIDEMARE

Fuente Steren.com

La implementación de este sistema de detección de gas combustible se basa en la norma de referencia NRF-210-PEMEX-2013 “Sistema de Gas y Fuego: Detección y Alarmas”. En esta norma se definen los tipos de detectores y alarmas visual/audibles, así como sus especificaciones de instalación, configuración y operación.

Operación del sistema SIDEMARE

SIDEMARE consiste en un detector de gas combustible que envía la señal correspondiente hacia un Controlador Lógico Programable (PLC) donde se recibe, procesa y envía datos hacia una interfaz de usuario (HMI: Interfaz humano máquina) y a su vez este HMI se encuentra enlazado a un radio de comunicación de datos que se encuentra transmitiendo en tiempo real la condición actual del detector en el área de detección.

El detector de gas combustible transmite una señal de 4 a 20 mA, que es proporcional a la concentración de gas existente. La señal analógica del detector llega a un Controlador Lógico Programable (PLC) marca General Electric de la familia DURUS, diseñado para la automatización industrial, posee una estructura a base de módulos flexibles de entradas y salidas que pueden agregarse de acuerdo a la aplicación. Se espera instalarlo en la caseta de vigilancia de acceso a la universidad por ser el punto habitado más cercano al libramiento, aprovecha los vientos dominantes de la zona en dirección este-sureste y por contar con energía eléctrica necesaria para la instalación del sistema.



Figura 6 Ubicación del detector del sistema SIDEMARE

Fuente. Imagen tomada de Google maps

Este PLC utiliza una lógica de programación en escalera que se encarga de monitorear la detección de gas en donde se definen sus estados de operación:

La señalización de 0-100% LEL (4-20 mA), y la matriz de acción es la siguiente:

De:	A:	Unidad	Descripción	Alarma luminosa	Alarma Sonora
0	20	%LEL	Operación Normal	No	No
20.1	40	%LEL	Baja Concentración	Roja	No
40.1	60	%LEL	Alta Concentración	Roja	Si

Tabla 1 Matriz de acción de la señalización de 0-100% LEL del detector de gas combustible

Fuente. Elaboración propia

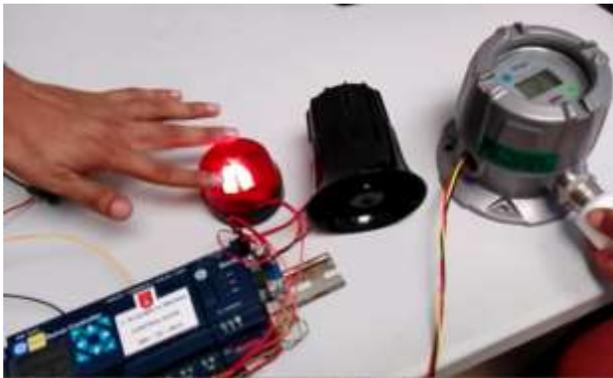


Figura 7 Prueba en laboratorio del sensor, el programa del PLC y alarmas

Fuente. Elaboración propia

Este proyecto propone que la unidad de recepción se instale en la oficina de la Unidad de Protección Civil más cercana, donde se encontrará el segundo radio de comunicación de datos para monitorear la concentración de gas combustible en tiempo real, los datos se mostrarán en el segundo HMI.

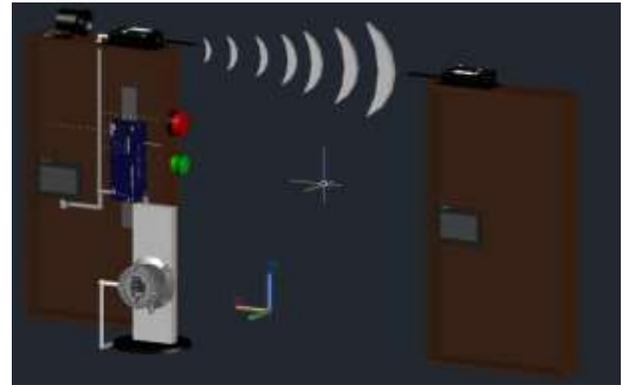


Figura 8 Esquema del sistema SIDEMARE

Fuente. Elaboración propia

Una nota aclaratoria es que en la NRF-210-PEMEX-2013 menciona que para el caso específico de la detección de gas combustible, debe usarse una indicación luminosa para alarma de color ámbar, en nuestro caso hicimos una modificación por una indicación luminosa de color roja debido a que su exposición es más visible que la de color ámbar.

Definiciones

Alarma. Dispositivo o función que indica la existencia de una condición anormal en el centro de trabajo por medio de una señal visible y/o audible, con el propósito de alertar al personal.

Atmósferas potencialmente riesgosas. Mezcla de aire, gas(es) o vapor(es), que ponga en riesgo la integridad del personal, las instalaciones y el medio ambiente.

Controlador electrónico programable. Dispositivo basado en tecnología de microprocesadores que está compuesto de hardware, software y unidades de entradas y/o salidas electrónicas.

Este término cubre a los dispositivos electrónicos basados en una o más unidades centrales de procesamiento (CPU), junto con la memoria asociada; por lo que CEP pueden ser los microprocesadores, los micro controladores, controladores programables, circuitos integrados de aplicación específica, controladores lógicos programables (PLCs) u otros dispositivos basados en circuitos integrados de procesamiento de datos.

Detector. Dispositivo que se conecta a un circuito que contiene un sensor, el cual responde a un estímulo físico como calor, humo, flama, concentración de gases entre otros.

Gas combustible. Cualquier gas o vapor capaz de entrar en combustión.

Hidrocarburo inflamable (Líquido). Líquido cuya temperatura de inflamación es menor a 37,8 °C (100°F), que tiene una presión de vapor menor o igual a 2,81 kg/cm² (2,068 mm de Hg) a 37,8 °C (100 °F) (clase I NFPA).

Límite inferior de explosividad / inflamabilidad LEL. Concentración mínima de un gas o vapor en mezcla con aire u oxígeno, que en contacto con una fuente de ignición puede entrar en combustión.

Protocolo de comunicación Modbus. Los protocolos de comunicación realizan la comunicación entre todos los dispositivos del nivel de instrumentación. El protocolo Modbus es un sistema de comunicación de datos en lenguaje estructurado con formato común de mensajes para todos los dispositivos en una red.

Este protocolo determina el enlace de comunicación entre el maestro y el esclavo, identifica el remitente y el receptor, intercambia mensajes de manera ordenada y detecta errores, se implementa de acuerdo a los requisitos del proyecto en una de las diferentes versiones de aplicación en este caso se usó la versión RTU (NRF-046-PEMEX-2012).

Riesgo. Probabilidad de que ocurra un siniestro. Es el producto de la frecuencia de ocurrencia o probabilidad de que ocurra un evento catastrófico (peligroso) multiplicado por el valor (económico, vidas, lesiones, u otros) de las consecuencias del evento (siniestro).

Resultados

Se desarrolló un simulacro de evacuación por derrame de sustancias peligrosas organizado por la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas del cual resultaron evacuadas 14 aulas, 5 laboratorios, 2 salas de maestros, 2 centros de auto acceso, informática e inglés y oficinas administrativas. En total fueron 385 alumnos, 23 docentes, 13 administrativos y 24 brigadistas con un total de 445 personas evacuadas. En un tiempo de 9 minutos 27 segundos. Debido a que ya se cuenta con un programa de contingencia y con una unidad interna de protección civil, SIDEMARE es una herramienta que permitirá activar el protocolo de evacuación y alertar a la comunidad de la Universidad Politécnica de Altamira en la detección de gases combustibles por derrame.

El prototipo ha funcionado correctamente de manera local. Al momento no se ha podido establecer la comunicación vía radio debido a un problema que hasta el momento de la publicación no se ha resuelto.

Hasta que se resuelva este problema con el radio de comunicación se realizará la gestión con protección civil para realizar el enlace de datos.

Agradecimiento

Al programa para el desarrollo profesional docente (PRODEP) por el financiamiento para la elaboración de este proyecto.

Conclusiones

Aún y cuando no se ha logrado transmitir la información vía radio se ha observado que esto es una herramienta que puede permitir al personal de vigilancia y a la unidad interna de protección civil de la Universidad Politécnica de Altamira actuar de manera eficaz en la toma de decisiones para salvaguardar la integridad de la población universitaria.

A continuación se hacen las siguientes recomendaciones:

- El rango de detección, en metros lineales, se puede mejorar si se utiliza un detector de gas combustible de camino abierto, este tipo de instrumentos puede detectar concentraciones en un rango de hasta 30 metros, mejorando la cobertura limitada del detector de gas “puntual”, el cual solo detecta la “nube de gas” en un área limitada a la sensibilidad del sensor.

- Aunque el radio de comunicación que se expone tiene características para la telemetría a distancias de hasta 30 Km, no es óptimo para esta aplicación. Se recomienda un radio ELPRO 905U el cual cuenta con entradas digitales, entradas analógicas, salidas digitales, salidas analógicas y puertos serie de configuración. El radio que se expone solo cuenta con un puerto USB de comunicación, característica que no lo hace compatible con el PLC.
- El sistema SIDEMARE puede funcionar las 24 horas los 7 días de la semana si no existe corte de energía. Se recomienda un suministro eléctrico de respaldo con baterías.

Referencias

Red Lion Controls Inc., 2009, Manual del usuario para Crimson 3.

Red Lion Controls Inc., 2015, Bulletin No. G304K2-E: Model G304K2 – Kadet 2 operator interface with 4” TFT display.

NRF-046-PEMEX-2012 “Protocolos de comunicación en sistemas digitales de monitoreo y control”

NRF-105-PEMEX-2012 “Sistemas digitales de monitoreo y control”

NRF-210-PEMEX-2013 “Sistema de gas y fuego: detección y alarmas”

<https://www.google.com.mx/maps/@22.4632272,-97.9721578,669m/data=!3m1!1e3> 10 de julio 2017

<http://www.puertoaltamira.com.mx/upl/sec//PRESENTACION%20GENERAL%20ESPA%202016.pdf> 10 de julio 2017

<http://www.aistac.mx/category/socios/> 10 de julio 2017

Drägerwerk AG & Co. KGaA, 2016, Dräger Polytron 5200 CAT Detectores de gases inflamables.

Digi International Inc. 2016, 1 Watt/900 MHz stand alone radio módems: XTEND-PKG RF modems

ELPRO Technologies Pty Ltd. 2011, User manual 905U wireless I/O module 105S serial I/O module

http://www.imeplansurdetamaulipas.gob.mx/Pdf_POTMunicipales/POT%20Zona%20Metropolitana.pdf 10 de julio 2017.

GE Intelligent Platforms, Inc, 2010, DURUS controllers system manual GFK-2470

Antonio Antonio Alejandrina, Medina Alvarez Juana Elizabeth, Cruz Netro Zahira, Vazquez Fernandez Jorge Alberto, Meza Morales Martha Isis, “Sistema de Detección, Monitoreo, Alarma y Respuesta ante una Atmósfera Peligrosa para Control de Riesgos (SIDEMARE) Objetivo 1: Resultados” ISBN 978-1-939982-09-4, Investigación en las ciencias con pertinencia, Tuxpan, Veracruz, 2015, Academia Journals.

<http://www.instrutech.com.mx/Telemetry.html> 28 de julio 2017

Instrucciones para autores

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

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

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Título

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 Mayúsculas -2do Nombre de Autor. Título del Artículo.
Título de la Revista. 2017, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para autores

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

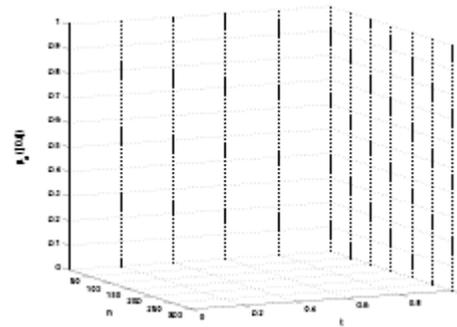


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

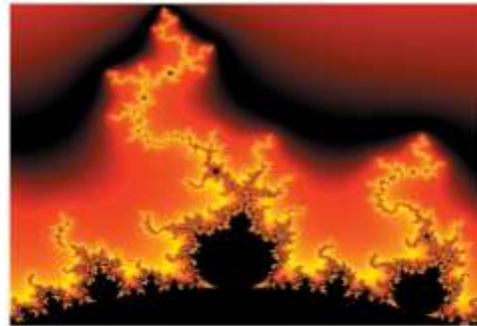


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

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



Cusco, Perú 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



Cusco, Perú 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- Perú 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- Perú 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 Ingeniería Innovativa

“Sistema para el control de carga de baterías de una plataforma robotica móvil, utilizando un motor de combustión interna”

VÁZQUEZ-TRUJILLO, Roberto Maciel, MARCIAL-RODRÍGUEZ, Miguel Ángel, HERRERA-AGUILAR, Ignacio y MARTÍNEZ-SIBAJA, Albino
Instituto Tecnológico De Orizaba

“Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color”

**NIETO-CERVANTES, Julio César, CATZIM-PAT, Oscar David, TORRES-
OVANDO, Rafael Alberto, DÍAZ-CARMONA, José Javier**
Universidad Autónoma de Tamaulipas

“Análisis de la socavación eólica en un modelo experimental”

**HONORATO-MORENO, Antonio, ZAMORA-CASTRO, Sergio Aurelio,
SALGADO-ESTRADA, Rolando y MOLINA-NAVARRO, Antonio**
Universidad Veracruzana

“Optimal sizing of photovoltaic-wind turbine connected to grid recharge centers for electric vehicles”

**ACEVEDO-MONTOYA, Lester Antonio, CORONDA-MENDOZA, Alberto,
ZÚÑIGA-GRAJEDA, Virgilio y CASTILLO-PALOMERA, Roger**
Universidad de Guadalajara
Universidad Politécnica de Chiapas

“Análisis energético en el proceso de congelación de la pulpa de mango”

**ROMÁN-AGUILAR, Raúl, DELGADILLO-ÁVILA, Wendy Montserrath,
OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro y DOMÍNGUEZ-OLVERA,
Armando**
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

“Diseño de un sistema de refrigeración para el almacenamiento de carne utilizando energía solar”

**VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, ORTÍZ-TREJO, Adriana, ROMÁN-AGUILAR,
Raúl y MORALES-ORTEGA, Edgar Alejandro**
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Superior de Apan
Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo

“Sistema piloto de detección de gases combustibles incluyendo propuesta de comunicación a la unidad de protección civil más cercana”

**VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, Jorge Alberto, ANTONIO-ANTONIO, Alejandrina,
CRUZ-NETRO, Zahira Gabriela y MEZA-MORALES, Martha Isis**
Universidad Politécnica De Altamira

