

ISSN 2410-3993

Volumen 4, Número 12 — Julio — Septiembre 2017

Revista de Tecnología e Innovación

ECORFAN®

Indización



ECORFAN-Bolivia

Latindex

Research Gate

Hispana

Universia

Google Scholar

REBID

Mendeley

ECORFAN-Bolivia

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Regional

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC

Director de la Revista

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD

Diseñador de Edición

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

Revista de Tecnología e Innovación, Volumen 4, Número 12 , de Julio – Septiembre 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD. ISSN-2410-3993. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 30 de Septiembre 2017.

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

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

Consejo Editorial

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

NAVARRO-FRÓMENTA, Enrique. PhD
Química Azizbekow-Rusia

BARDEY, David. PhD
University of Besançon-Francia

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

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

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

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

Consejo Arbitral

RRS, MsC

Universidad de Londres-México

ZM, MsC

Universidad de Londres-México

BCL, MsC

Universidad Autónoma de Yucatán-México

CCN, MsC

Universidad Autónoma de Yucatán-México

TSJ, PhD

Universidad de la Habana-Cuba

VGJ, PhD

Universidad de Granada-España

OGE, PhD

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica-México

QME, PhD

El Colegio de México-México

Presentación

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

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

Como primer capítulo tenemos, *Diseño de una fuente de alimentación conmutada para lámpara automatizada en terapias médicas*, por MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo , LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y ROSALES-DAVALOS, Jaime, como siguiente capítulo tenemos, *Biogeneración de energía sustentable utilizando residuos de aceite usado de cocina*, por BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva, GARCÍA-NAVARRO, Josefina y HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán, con adscripción en la Universidad Politécnica de Altamira, como siguiente capítulo tenemos, *Diseño y análisis de la estructura de un vehículo aéreo no tripulado mediante el método de elemento finito*, por SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, PADILLA-MAGAÑA, Jesús Fernando, VEGA-HUERTA, América y OSEGUERA-ESPINOZA, Pedro Ramón, como siguiente capítulo tenemos, *Sistema de oxigenación de granjas de cultivo acuícola por medio de energía sustentable*, por HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán , GARCÍA-NAVARRO, Josefina, ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío y BAUTISTA-VARGAS, María Esther, con adscripción en la Universidad Politécnica de Altamira, como siguiente capítulo tenemos, *Sistemas de recuperación de plásticos residuales*, por HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán, GARCÍA-GUENDULAIN, Crescencio, PONDIGO-SOSA, Selene y BAUTISTA-VARGAS, María Esther, con adscripción en la Universidad Politécnica De Altamira, como último capítulo tenemos, *Análisis bi-dimensional de una viga, por el método de aproximaciones planas, usando ANSYS*, por HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, MÉNDEZ-ZAPATA, Elías y PEREZ-SERRANO, Froylan, con adscripción en la Universidad Politécnica de Tlaxcala.

Contenido

| Artículo | Página |
|---|--------|
| Diseño de una fuente de alimentación conmutada para lámpara automatizada en terapias medicas MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo , LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y ROSALES-DAVALOS, Jaime | 1-8 |
| Biogeneración de energía sustentable utilizando residuos de aceite usado de cocina BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva, GARCÍA-NAVARRO, Josefina y HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán | 9-16 |
| Diseño y análisis de la estructura de un vehículo aéreo no tripulado mediante el método de elemento finito SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, PADILLA-MAGAÑA, Jesús Fernando, VEGA-HUERTA, América y OSEGUERA-ESPINOZA, Pedro Ramón | 17-28 |
| Sistema de oxigenación de granjas de cultivo acuícola por medio de energía sustentable HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán , GARCÍA-NAVARRO, Josefina, ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío y BAUTISTA-VARGAS, María Esther | 29-39 |
| Sistemas de recuperación de plásticos residuales HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán, GARCÍA-GUENDULAIN, Crescencio, PONDIGOSOSA, Selene y BAUTISTA-VARGAS, María Esther | 40-48 |
| Análisis bi-dimensional de una viga, por el método de aproximaciones planas, usando ANSYS HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, MENDEZ-ZAPATA, Elías y PEREZ-SERRANO, Froylan | 49-54 |

Insturcciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Diseño de una fuente de alimentación conmutada para lámpara automatizada en terapias medicas

MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo *†, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y ROSALES-DAVALOS, Jaime

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

En este artículo se presenta el análisis, diseño e implementación de una fuente de alimentación conmutada para una lámpara automatizada para terapias médica. La fototerapia es uno de los métodos terapéuticos usado por la medicina moderna. Consiste básicamente en el uso de luz en las longitudes de onda adecuadas, dependiendo del efecto terapéutico deseado, en el tratamiento o terapia de algunos grupos de patologías. La reactivación celular se lleva a cabo a través de la excitación de las células por medio de formas de ondas pulsantes, provocado por la exposición de la piel o de algún órgano a los fotones que emiten este tipo de lámparas. Por lo que la fuente de alimentación diseñada tiene la capacidad de ser variante en amplitud y longitud de onda para la aplicación en los tratamientos médicos a través de un convertidor inversor clase C bidireccional en corriente, el cual es un convertidor el cual invierte y regula la tensión de forma simultánea, a través de una carga foco de alógeno en conexión diferencial, así como una técnica de modulación SPWM, para el control del sistema de potencia.

Potencia, Convertidores, Inversores, Fototerapia

Abstract

This paper presents the analysis, design and implementation of a switched power supply for an automated lamp for medical therapies. Phototherapy is one of the therapeutic methods used by modern medicine. It basically consists of the use of light at the appropriate wavelengths, depending on the desired therapeutic effect, in the treatment or therapy of some groups of pathologies. The cellular reactivation is carried out through the excitation of the cells by means of pulsating waves forms, caused by the exposure of the skin or of some organ to the photons that emit this type of lamps. Therefore, the designed power supply has the capacity to be an amplitude and wavelength variant for application in medical treatments through a current inverter converter class C bidirectional, which is a converter which inverts and regulates the Voltage simultaneously, through a halogen bulb load in differential connection, as well as a SPWM modulation technique, for the control of the power system.

Power, Converters, Inverters, Phototherapy

Citación: MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y ROSALES-DAVALOS, Jaime. Diseño de una fuente de alimentación conmutada para lámpara automatizada en terapias medicas. Revista de Tecnología e Innovación.2017, 4-12: 1-8.

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: mastache@cenidet.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

En la actualidad la calidad de vida de las personas se ve afectado por los altos índices de contaminación que existe en el ambiente, lo que provoca que desde hace muchos años las investigaciones para producir nuevos medicamentos para abastecer las necesidades para curar las enfermedades, han enfocado sus esfuerzos en producir fármacos más potentes, que en algunas ocasiones, modifican o afectan otras zonas del cuerpo, es por esto que en la búsqueda de complementar los tratamientos con medicina alternativa, conllevó a investigar los efectos de las radiaciones de luz para el tratamiento de enfermedades.

A este tratamiento se le conoce como fototerapia la cual implica una exposición de una luz con características especiales sobre la piel de las personas por un período de 20 minutos como mínimo y 30' como máximo. La luz se puede dirigir a un área afectada del cuerpo en especial.

El tratamiento de patologías con fototerapia clásica está basado en la interacción entre la luz producida por un convertidor de potencia y el tejido afectado, o bien desde un punto de vista microscópico, la alteración de las características bioquímicas de las moléculas del cuerpo o de las células patógenas y en consecuencia se produce una mejora terapéutica. Existen evidencias, de la efectividad de la fototerapia, no sólo como un agente antiproliferativo, sino también por sus efectos inmunológicos.

Es por esto que en este artículo se propone un diseño de una fuente de alimentación para una lámpara de fototerapia, con un convertidor de potencia inversor reductor-elevador que contenga menores pérdidas que los sistemas convencionales.

Y del mismo modo lograr una modulación en la longitud de onda de la lámpara, para amplificar el efecto terapéutico en la medicina alternativa, donde se propone una reducción química a los que el paciente se ve expuesto cada que toma algún tipo de fármaco, o en su defecto complementar el tratamiento con este tipo de técnica

El diseño está separado en dos partes, una etapa de control la cual determina la activación y desactivación de los interruptores de potencia y una parte de potencia para los convertidores bidireccionales, como se muestra en la siguiente figura esquematiza el procedimiento experimental para lograr la modulación y la eficiencia del convertidor.

En la figura 1 se muestra de forma esquemática la conexión del sistema partiendo de la señal de línea y culminando con una lámpara de halógeno, la cual será la carga de nuestro circuito de potencia.

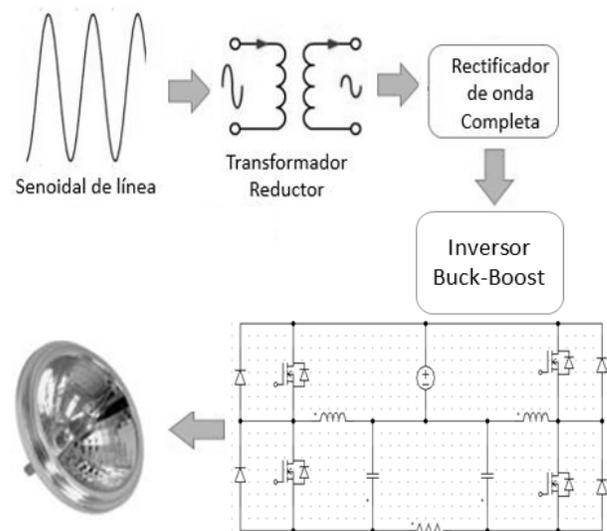


Figura 1 Diagrama Esquemático de la fuente de Potencia

Convertidor Buck - Boost Convencional

El convertidor Buck-Boost convencional se muestra en la figura 2, este convertidor regula el voltaje de C.D. de salida promedio a un nivel más alto o más bajo que el voltaje de C.D. de entrada.

En la figura 2a se tiene el circuito del convertidor, donde el interruptor de potencia se encuentra conmutando bajo el régimen PWM, por lo que cuando el interruptor se encuentra conduciendo, carga de energía al inductor y el diodo se polariza inversamente, como se muestra en la figura 2b, por lo que cuando el interruptor pasa al estado de apagado el inductor cambia de polaridad, por lo que la tensión almacenada en el inductor es liberada hacia el capacitor y el diodo se polariza directamente como se muestra en la figura 2c, de tal manera que la tensión de salida “Vo” dependerá del tiempo de carga y descarga de los elementos pasivos del convertidor. Por lo tanto dependiendo el ciclo de trabajo, el voltaje de salida será mayor o menor que el voltaje de entrada.

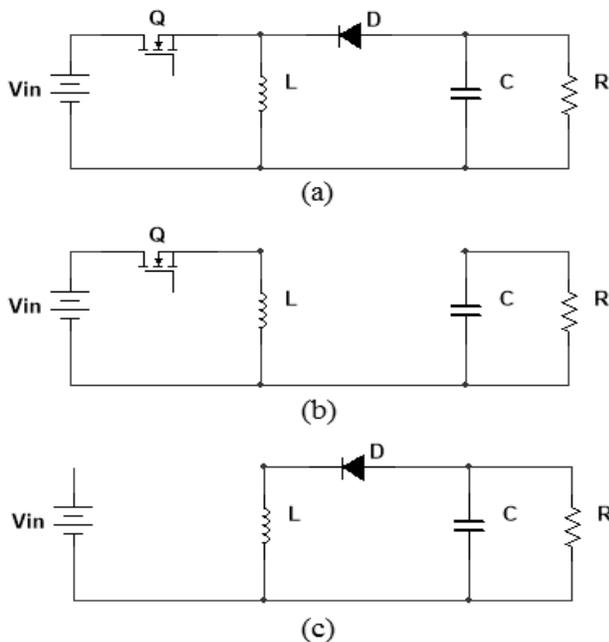


Figura 2 (a) Convertidor Buck-Boost Convencional. (b) Interruptor Conduciendo. (c) Interruptor apagado

El convertidor Buck-Boost puede operar en el modo de conducción continuo y en el modo de operación discontinuo. Para nuestra aplicación utilizaremos el modo de operación continuo ya que en este modo de operación, el convertidor es menos sensible a las variaciones de carga, y además la corriente en el inductor mantiene un valor mayor a cero en todo momento.

En la Figura. 3 se muestra la corriente del inductor para el modo de operación continuo, donde se puede observar la carga y la descarga del inductor en cada uno de los tiempos de conmutación.

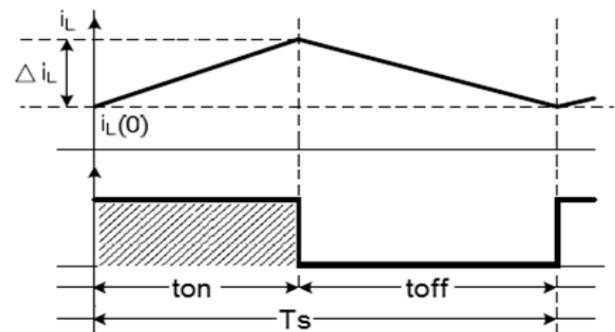


Figura 3 Corriente del inductor para el modo continuo

Aplicando el principio de balance en el voltaje de la bobina y la corriente en el capacitor, podemos deducir las siguientes expresiones, las cuales rigen el comportamiento de este convertidor.

$$V_o = \frac{D}{1-D} V_{in} \tag{1}$$

$$I_L = \frac{I_o}{1-D} \tag{2}$$

$$I_T = \frac{D}{1-D} I_o \tag{3}$$

$$L = \frac{V_{in} D T}{\Delta i} \tag{4}$$

$$C = \frac{D I_o}{F_s \Delta v} \tag{5}$$

Donde D es el ciclo de trabajo, Vo es el voltaje de salida, Δi es el rizo pico - pico de la corriente del inductor, Δv es el rizo pico – pico del voltaje de salida, IL es la corriente del inductor, IT es la corriente del transistor, L es el inductor, y C es el capacitor de salida.

Inversor reductor elevador

El principal atributo de esta topología es integrar, el proceso de dos o más convertidores en un solo circuito, su función radica en generar un voltaje de salida mayor o menor adaptable de C.A. que el voltaje de entrada de C.D., dependiendo el ciclo de trabajo del convertidor, invirtiendo y regulado el voltaje de salida en una sola etapa.

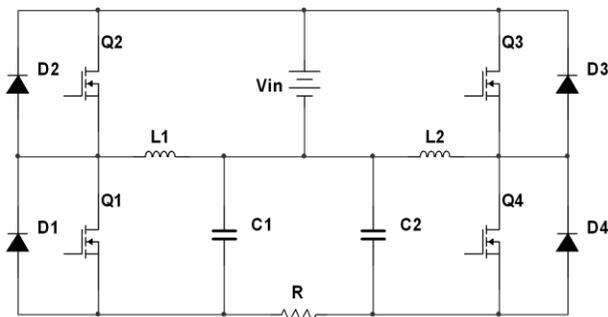


Figura 4 Inversor Reductor Elevador

El diseño del inversor reductor-elevador se obtiene de la combinación de los dos convertidores Buck-Boost convencionales, en los cuales los diodos que conducen durante el tiempo de apagado, son sustituidos por otros interruptores de potencia que conducirán de forma comandada en el tiempo de apagado, lo que conlleva a la configuración del convertidor bidireccional clase C y por último estos convertidores se colocan en paralelo, utilizando la carga como una conexión diferencial a la salida, con una sola fuente de alimentación de entrada (ver figura 4).

Este diseño logra la conversión C.D. a C.A., utilizando la Modulación por Ancho de Pulso Senoidal (SPWM) para generar las señales de disparo de los interruptores.

La señal senoidal de referencia de cada modulador SPWM, son necesarias para generar los pulsos S+ y S-, para el disparo de interruptores, los cuales tienen una diferencia de fase de 180°. Esto implica que el ciclo de trabajo es modulado senoidalmente, como se muestra en la figura 5.

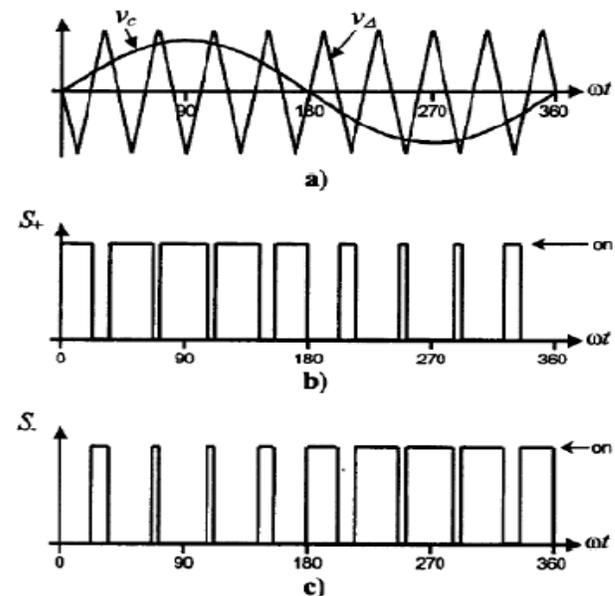


Figura 5 (a) Empalme de onda moduladora y portadora. (b) S+ Demodulación Positiva. (c) S- Demodulación Invertida

Donde S+ son las señales de disparo de nuestro inversor reductor-elevador en D y S- son las señales de disparo en D', trayendo como consecuencia que cada convertidor reductor-elevador produzca un voltaje de salida senoidal negativo por el efecto de Buck-Boost y desfasado 180°, uno con respecto al otro, con una componente de voltaje de CD unipolar. Ver Figura 6

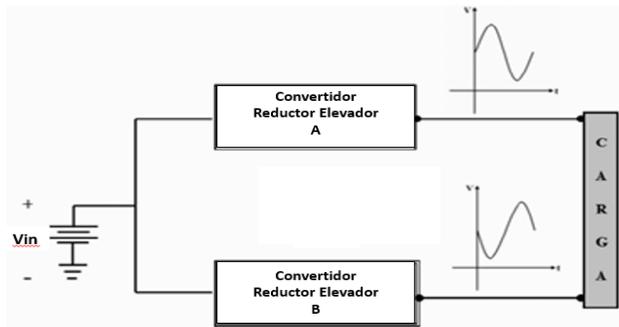


Figura 6 Salida de los convertidores Va y Vb desfasadas 180°

Por lo que los voltajes de salida de cada uno de los convertidores bidireccionales quedan definidos como:

$$V_a = -(V_{off} + \text{Amp} \text{Sen}(wt)) \quad (6)$$

$$V_b = -(V_{off} - \text{Amp} \text{Sen}(wt)) \quad (7)$$

Considerando que la carga está conectada en forma diferencial, el voltaje de CD es cancelado, como se muestra en la figura 7, dando como resultado una señal senoidal igual al doble de la amplitud generada en cada convertidor.

$$V_o = V_a - V_b \quad (8)$$

$$V_{load} = -V_{off} - \text{Amp} \text{Sen}(wt) - (-V_{off} + \text{Amp} \text{Sen}(wt)) \quad (9)$$

$$V_o = -2\text{Amp} \text{Sen}(wt) \quad (10)$$

Simulando el comportamiento del inversor logramos emular el comportamiento de cada uno de los convertidores Buck-Boost, con una modulación SPWM y utilizando la carga en forma diferencial el voltaje de salida queda representado como la siguiente figura.

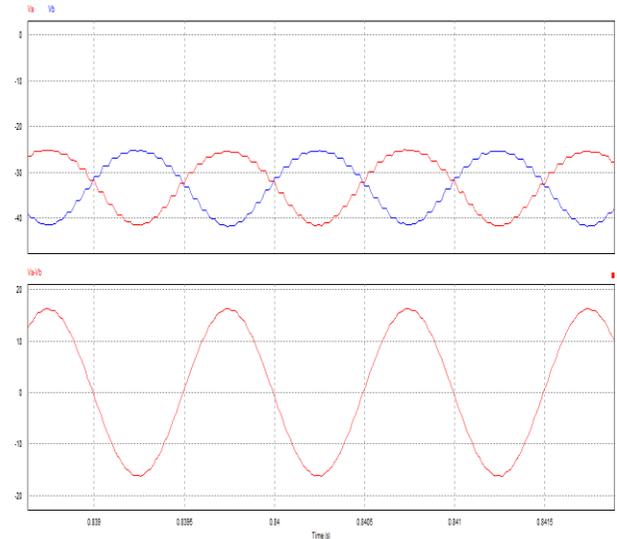


Figura 7 Salida de los convertidores Va y Vb modulados senoidalmente y la señal de salida Vo

Implementación de la fuente de potencia

Como se ha mencionado anteriormente la fuente de alimentación se dividió en dos secciones, una etapa de control y una de potencia.

Para el diseño del control se desarrolla un generador de señal senoidal variante en amplitud y frecuencia, de baja potencia, con ayuda de arreglos de operacionales y esta señal es comparada a través de un integrado generador de PWM, donde se intercambiaron la señal de CD, con la señal senoidal generada, como se muestra en la figura 8 del lado izquierdo.

La señal ya modulada es acoplada al sistema de potencia a través de optoacopladores para lograr un aislamiento de tierras y al mismo tiempo evitar ruido proveniente de la etapa de potencia. Posteriormente para lograr el encendido de los interruptores de potencia del puente inversor, se utilizaron drivers controladores de compuerta para activación de la conmutación superior e inferior.

Cabe señalarse que para esta activación se deben de contemplar los tiempos muertos entre las activaciones y por consecuencia lograr tener menores pérdidas de conmutación en los dispositivos de potencia, esta implementación se muestra en la figura 8 del lado derecho.

Para la etapa de potencia redujo la tensión de línea a través de un transformador reductor que transformó, la señal a un voltaje de 48 V de CD. Posteriormente esta señal fue rectificadada y acoplada como entrada a nuestro inversor reductor-elevador, donde se diseñaron e implementaron artesanalmente las bobinas a través de la técnica de la constante geométrica, para el óptimo manejo de pérdidas en los inductores, así como embobinarlas con hilo de litz para reducir las pérdidas en el cobre, se utilizaron capacitores MKP y MKT para el manejo de la frecuencia de conmutación de los dispositivos y como carga se utilizó un foco de halógeno, 12 V. a 50 W. Conectado de forma diferencial, entre los dos convertidores reductores elevadores.

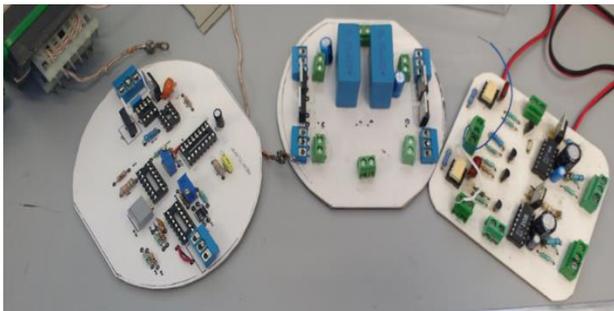


Figura 8 Implementación del Control y Potencia

Para el diseño de la estructura de la lámpara, se buscaba que fueran diseños capaces de soportar el peso de los componentes, debido a que la conexión entre los sistemas de control y potencia debe de ser lo más próxima posible, para evitar con las conexiones largas, ruido por capacitancias e inductancias parasitas.

Así mismo se buscaba que las estructuras aparte de ser resistentes para el peso, fueran estéticas y funcionales para los usuarios y pacientes. Por lo que se propusieron dos tipos de estructura mecánica.

La primera propuesta fue una estructura empotrable a una pared, que era funcional para llegar a todas las partes de cuerpo, pero era limitada y requería la instalación de una cama pegada a la pared donde se colocó la lámpara.



Figura 9 Estructura de Lámpara Empotrable

En la siguiente figura se muestra un tipo de estructura más completa, implementando un tripe, el cual proporcionó mayor movilidad a la lámpara y se contemplaron diferentes articulaciones para poder acceder a todas las partes de los pacientes.



Figura 10 Estructura de Lámpara Movable

Cabe señalarse que las dos estructuras propuestas, fueron diseños de iluminación convencional que se encuentran en el mercado, lo que se busca para trabajos futuros, es desarrollar e implementar a través de impresión 3D y del maquinado de piezas contar con una estructura propia para el diseño.

Resultados de la fuente de alimentación

El sistema cumple con reducir e invertir en una sola etapa la tensión de salida vista por el foco de halógeno. Así como modular la amplitud y frecuencia de la señal de salida.

Además el sistema disminuye las pérdidas con este inversor integrado, debido a la reducción de los interruptores de potencia y no se cuenta con las típicas conexiones en cascada.

Para producir la señal senoidal, cabe señalarse que se genera sin necesidad de tener un filtro de acoplamiento como en los inversores convencionales, los cuales suelen ser robustos y generan más pérdidas en los elementos pasivos. En la figura 11, se muestra la forma de onda de salida de voltaje del inversor reductor-elevador, teniendo como carga un foco de halógeno y medido con un osciloscopio.

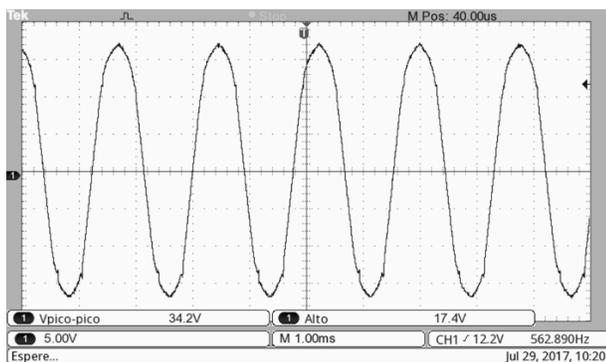


Figura 11 Voltaje de Salida del Inversor

En la figura. 12, se observa una foto del resultado de la fuente de alimentación, donde se muestra el Inversor reductor-elevador, implementado, junto con el sistema de control y potencia.



Figura 12 Prototipo de la fuente de alimentación para la lámpara

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecemos el apoyo que se ha tenido, para el desarrollo y financiamiento de este proyecto, por parte del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, TESJo, así como al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico recibido para el mismo propósito

Conclusiones

Se implementó la fuente de alimentación con el inversor reductor elevador, lo cual produjo un aumento considerable en la potencia y eficiencia de salida de nuestro sistema, con el cual se pudo alcanzar los 50 w para alimentar el foco de halógeno y modular a su vez la amplitud y la frecuencia de la señal de salida.

Para trabajos futuros como se menciona en el texto se puede mejorar el diseño utilizando interruptores de potencia optimizados para el sistema, para de esta forma incrementar la eficiencia de salida de nuestro inversor.

Además de agregar un lazo de retroalimentación al circuito de disparo, para disminuir aun más los niveles de distorsión armónica y ruido por conmutación en la salida.

Referencias

- Alonso, J. M., Viña, J., Vaquero, D. G., Martínez, G., & Osorio, R. (2012). Analysis and design of the integrated double buck–boost converter as a high-power-factor driver for power-LED lamps. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(4), 1689-1697.
- Cajas Narváez, K. J., & Vargas Salinas, S. R. (2015). Diseño y construcción de un equipo de fototerapia con control de intensidad de luz, posicionamiento y evaluación de cambios de bilirrubina para el tratamiento de bilirrubinosis en neonatos (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.).
- Cuenca Vicente, A. L. (2014). Diseño y construcción de un prototipo de lámpara de fototerapia con sistema de control digital para tratamiento de ictericia en neonatos (Bachelor's thesis).
- Effectiveness of conventional phototherapy versus Super light-emitting diodes phototherapy in neonatal hyperbilirubinemia. *J Med Assoc Thai*, 95(7), 884-9.
- Hönigsmann, H. (2013). History of phototherapy in dermatology. *Photochemical & photobiological sciences*, 12(1), 16-21.
- Kwon, H. H., Lee, J. B., Yoon, J. Y., Park, S. Y., Ryu, H. H., Park, B. M., ... & Suh, D. H. (2013). The clinical and histological effect of home-use, combination blue–red LED phototherapy for mild-to-moderate acne vulgaris in Korean patients: a double-blind, randomized controlled trial. *British Journal of Dermatology*, 168(5), 1088-1094.
- Miranda, L. C. (2013). Estudio, Análisis y Simulación de una Familia de Inversores Elevadores y Reductores de tensión con Ganancia cuadrática. Memoria para optar al Grado de Ingeniero Civil Eléctrico. PUCV–Chile año.
- Mudigonda, T., Dabade, T. S., & Feldman, S. R. (2012). A review of targeted ultraviolet B phototherapy for psoriasis. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 66(4), 664-672.
- Pressman, A. (1997). *Switching power supply design*. McGraw-Hill, Inc..
- Rashid, M. H. (2004). *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación.
- Shinde, V. V., Kunghatkar, R. G., & Dhoble, S. J. (2015). UVB-emitting Gd³⁺-activated M₂O₂S (where M= La, Y) for phototherapy lamp phosphors. *Luminescence*, 30(8), 1257-1262.
- Sopapan Ngercham, M. D., Kriangsak Jirapaet, M. D., Suvonachai, R., Chaweerat, R., Wongsiridej, P., & Kolatat, T. (2012).
- Wentworth, S. D. (2005). Neonatal phototherapy–today's lights, lamps and devices. *Infant*, 1(1), 14-19.

Biogeneración de energía sustentable utilizando residuos de aceite usado de cocina

BAUTISTA-VARGAS, María Esther *†, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva, GARCÍA-NAVARRO, Josefina y HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán

Universidad Politécnica de Altamira

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

El objetivo de esta investigación es el desarrollo de un sistema de biogeneración de energía sustentable, a partir del residuo de aceite usado de cocina (RAUC). Para ello se realizaron las siguientes etapas: 1) Identificar en la zona de estudio y los puntos de recolección. 2) Diseño un proceso de recolección y acopio del residuo de aceite usado de cocina doméstico. 3) Identificar las características físico-químicas del residuo. 4) Realizar la conversión de biomasa a biocombustible (proceso de transesterificación). 5) Análisis de los resultados obtenidos. Se determinó un estimado de generación de 6.2 millones de litros/año de RAUC en la zona de estudio, se estandarizaron las muestras determinando un punto de acidez promedio de 0.6; obteniendo entre un 95 a 99% de biodiesel del volumen procesado. Se logra plantear la necesidad de un proceso de gestión para este tipo de residuo, además de ser un nicho de oportunidad económica para la zona. Una de las perspectivas de la investigación es poder determinar las características más eficientes del biodiesel generado. Se espera poder establecer bases para propuestas de un programa de manejo de dicho residuo y su utilización para la biogeneración de energía sustentable mitigando sus impactos negativos.

Biodiesel, Biocombustible, Energía sustentable, RAUC

Abstract

The objective of this research is the development of a bioenergy system of sustainable energy, from the residue of used cooking oil (RAUC). To do this, the following steps were performed: 1) Identify in the study area and collection points. 2) Design a process of collecting and collecting the waste of used cooking oil. 3) Identify the physical and chemical characteristics of the waste. 4) Perform the conversion of biomass to biofuel (transesterification process). 5) Analysis of the results obtained. An estimated generation of 6.2 million liters / year of RAUC was determined in the study area, the samples were standardized by determining an average acid point of 0.6; Obtaining between 95 to 99% of biodiesel of the processed volume. It is possible to raise the need for a management process for this type of waste, besides being a niche of economic opportunity for the area. One of the perspectives of the research is to be able to determine the most efficient characteristics of the biodiesel generated. It is hoped to be able to establish bases for proposals of a program of management of this waste and its use for the biogeneration of sustainable energy mitigating its negative impacts.

Biodiesel, Biofuel, Sustainable Energy, RAUC

Citación: BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva, GARCÍA-NAVARRO, Josefina y HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán. Biogeneración de energía sustentable utilizando residuos de aceite usado de cocina. Revista de Tecnología e Innovación 2017, 4-12: 9-16.

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: esther.bautista@upalt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las energías renovables han tomado impulso a nivel nacional. El Estado de Tamaulipas, es una de las entidades con mayor potencial de generación de energía sustentable en el país. La generación de electricidad, en el 2009, por hidroeléctricas fue de 26,445 GWh a nivel nacional. De la cual, Tamaulipas generó 100 GWh, que representaron el 0.378 por ciento nacional. En el 2014, se desarrollaron 26 proyectos con una capacidad de generación de 2,565.95 MW en energía eólica. Además, el Estado tiene un potencial promedio de generación de 4.8 KWh por metro cuadrado de radiación solar (SENER, 2016).

Otras fuentes de generación es la bioenergía, a través de la producción de biomasa (leña, carbón vegetal, bagazo de caña), lo cual tiene una tendencia de una tasa promedio de crecimiento anual del 0.327 en el periodo 1993 a 2013. Con la producción de sorgo y caña son los potenciales para la producción de biocombustibles, lo cual se tiene un estimado de 200 millones de litros anuales de biocombustibles (SENER, 2016).

Siendo un país donde su potencial energético es derivado de los hidrocarburos, el cual ha incrementado la economía nacional; sin embargo, también ha impactado de manera negativa al ambiente. Lo cual, es necesario la introducción alternativas energéticas como los biocombustibles ya que se están desarrollando dentro del contexto internacional (González y Castañeda, 2011).

La sustitución de combustibles derivados del petróleo por biocombustibles, ha logrado una reducción en las emisiones de CO₂, generada por fuentes móviles. Lo cual puede significar la utilización de biocombustibles como alternativa (Cortés *et al.*, 2009).

La obtención de energía a partir de la biomasa, se le conoce como bioenergía. Entre ellos se encuentran los biocombustibles o agrocombustibles, cuya finalidad es el convertirse en un combustible alternativo (Cortés *et al.*, 2009). Dicho biocombustible, se realiza a partir de una reacción química de transesterificación entre un aceite vegetal y un alcohol (Buesa y Romano, 2009).

El tipo de aceite vegetal puede ser nuevo o usado, así como comestible o no. La reutilización de aceites usados en la cocina, es una alternativa de generar una energía sustentable, y además mitigar la contaminación que este desecho genera en suelo, aire y agua; en su mayoría de estos Residuos de Aceite Usados de Cocina (RAUC) se vierten directamente en cuerpos de agua teniendo un estimado de contaminación de un litro de RAUC contamina aproximadamente un millón de litros de agua (Abad *et al.*, 2014; Lugo *et al.*, 2014; Bautista-Vargas *et al.*, 2017).

Por otro lado existe un grave problema de contaminación al aire son por las emisiones de gases de combustión, ocasionado el fenómeno de calentamiento global, lo cual es una consecuencia directa del efecto invernadero (Lugo *et al.*, 2014).

De acuerdo con lo anterior, existe la oportunidad de mitigar la contaminación producida por los motores de combustión; además del producido por los RAUC. Dicha alternativa es el biodiesel que, siendo un biocombustible, comparándolo con el diésel ejerce un menor efecto contaminante, ya que entre sus propiedades posee un menor número de átomos de carbono por molécula (son compuestos oxigenados) y no contiene azufre, por lo tanto no generan gases de efecto invernadero (Benavides *et al.*, 2007; García *et al.*, 2012; Lugo *et al.*, 2014).

El biodiesel es un biocombustible de tercera generación, un éster de un ácido graso de cadena larga derivado de aceites vegetales o de grasas animales que se utiliza en motores de ignición por compresión, llamados Diésel (Franco, 2013; Bautista-Vargas *et al.*, 2017). Es por ello, la necesidad de generar combustibles alternativos y desarrollar sistemas de biogeneración de energía sustentable, a partir de un residuo reutilizándolo para la mitigación de dos problemáticas ambientales, dando pauta a la formulación de las bases de una gestión del residuo y de políticas públicas para el uso de biocombustibles.

Metodología

La biogeneración de energía sustentable a partir de Residuos de Aceite Usado de Cocina (RAUC) se desarrolló con el fin de tener una alternativa de reutilizar un residuo contaminante, mitigar las emisiones con un biocombustible y ver la factibilidad del mismo en la zona de estudio. El desarrollo de la presente investigación se divide en cinco etapas.

La primera etapa, es el identificar en la zona de estudio, para ello se llevó a cabo un diagnóstico de los programas de gestión de residuos, en específico los RAUC; lo cual se concentraron con los directores de ecología de cada municipio.

En la segunda etapa, se diseñó una recolección y acopio del RAUC. En esta investigación no se consideraron los comercios, solo los domesticos; con el fin de tener las muestras para la experimentación.

Como tercera etapa, se identificaron de las características físico-químicas del residuo.

En la cuarta etapa, se realizó la conversión de biomasa a biocombustible (proceso de transesterificación) (Bautista-Vargas *et al.*, 2016). Y por último, la quinta etapa, es el análisis de los resultados obtenidos.

Resultados

Primera etapa: Zona de estudio.

La zona de estudio fueron los municipios de Tampico, Madero y Altamira. La cual se le conoce como Zona Conurbada del Sur de Tamaulipas (ZCST). Dicha zona cuenta con una superficie total de 1,492.70 km². La zona de estudio tiene un desarrollo económico potencial (PMOT, 2011).

En la Figura 1, se puede observar la hidrografía de la zona de estudio, donde se presentan los cuerpos de agua. De acuerdo al crecimiento poblacional, presentan problemáticas de contaminación de suelo y cuerpos de agua por residuos domésticos.

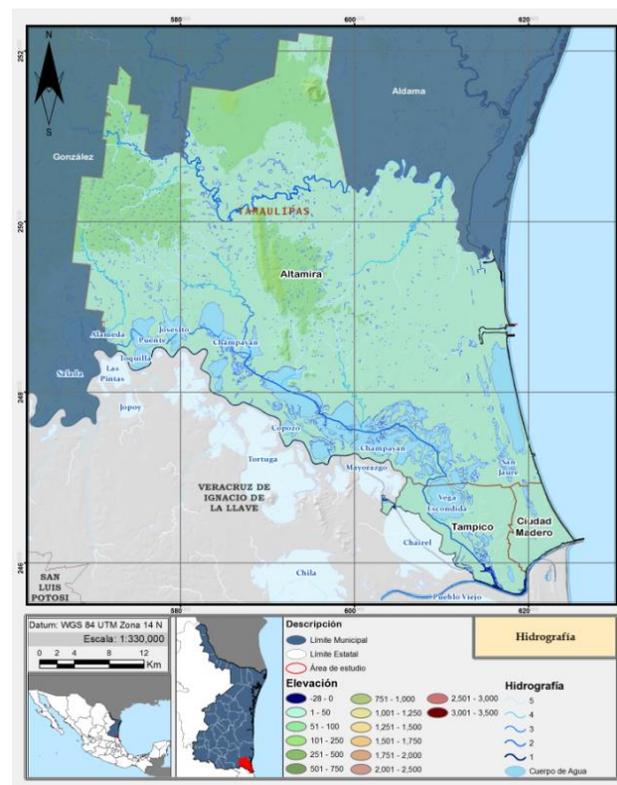


Figura 1 Hidrografía de la Zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

Analizando las acciones de la zona de estudio, no existe empresa que recolecte el RAUC. El Municipio de Tampico, cuenta con un programa y centros de acopio, donde la población puede llevar su RAUC, entre otros tipos de residuos. Dicha información fue otorgada por el Director de Ecología y Medio Ambiente, el Cap. Carlos de Jesús Paniagua Arías (Figura 2). Sin embargo, dicho programa no cuenta con la suficiente difusión, ni con la gestión correcta del RAUC.



Figura 2 Director de Ecología municipal de Tampico y alumnos de la Universidad Politécnica de Altamira
Fuente: Elaboración propia

Segunda etapa: Diseño de recolección y acopio

Existen dos clasificaciones de RAUC los domésticos y los de establecimientos de comida o comerciales. En la presente investigación se seleccionaron los RAUC domésticos.

Para el desarrollo experimental, se diseñó un programa de recolección y acopio, con los alumnos de Ingeniería en Energía de la Universidad Politécnica de Altamira. Los cuales traían de sus casas frascos el RAUC que desechaban (Figura 3).

Tercera etapa: Características físico-químicas del RAUC

Para poder tener una muestra confiable, se estandarizo el residuo de aceite acopiado. El cual presentaba sólidos suspendidos y tonalidades oscuras. Por lo cual se fábrica un equipo para su filtración.



Figura 3 Frasco con RAUC
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4, se muestra el dispositivo para llevar a cabo el proceso de filtración, el cual minimiza los restos de comida que se pudieran encontrar. Dicho dispositivo, fue construido con un tanque de un galón, mangueras transparentes y un filtro de gasolina que se utiliza en automóviles.



Figura 4 Proceso de Filtración del RAUC
Fuente: Elaboración propia

Para verificar los resultados de la filtración se determinaron los parámetros físico – químicos antes del filtrado y después del filtrado. Dichos parámetros fueron el grado de acidez (pH). Cuya escala es logarítmica va del 0 a 14. La Turbidez, según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 2 NTU (Unidades Nefelométrías de Turbidez), y estará idealmente por debajo de 1 NTU, ya que es un parámetro determinante en muchas aplicaciones. Otros parámetros subjetivos fueron el color y el olor de la muestra.

En la Tabla 1, se muestran los resultados de la muestra antes del filtrado y después del filtrado, donde se logro obtener una diferencia en cuanto a valores iniciales que presentó la muestra.

| Parámetros | Antes del filtrado | del | Después del filtrado | del |
|------------|--------------------|-----|----------------------|-----|
| pH | 5 | | 6 | |
| Turbidez | 1.8 NTU | | 1.05 NTU | |
| Olor | Quemado | | Claro | |
| Color | Rojo oscuro | | Rojo más Claro | |

Tabla 1 Resultados de los parámetros de la muestra.

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 5, los RAUC antes y después de la filtración, el que tiene un color más claro es el que se obtuvo después de la filtración.



Figura 5 Muestras antes y después del filtrado

Fuente: Elaboración propia

Cuarta etapa: Biogeneración de energía, obtención de biodiesel

Para la obtención del biodiesel se llevó a cabo el proceso de transesterificación, el cual se realiza en tres pasos:

Paso 1: Determinación de acidez del aceite ya filtrado

Se disolvieron 30 ml de aceite de cocina usado en 300 ml de alcohol isopropílico a baño maría por 15 minutos, para obtener 3 muestras de 110 ml cada una, a las que se les agrego 5 gotas de fenolftaleína por igual. Dichas muestras se titularon con Hidróxido de Sodio (NaOH) al 1%. Los mililitros utilizados para cada muestra se promedian para calcular los gramos de catalizador a utilizar para un litro de aceite usado a procesar. La acidez promedio que se obtuvo fue de 0.6, por lo que para cada litro de aceite usado de cocina a procesar se utilizaron 4.1 gr de catalizador, dicho catalizar fue el Hidróxido de Potasio (KOH). Dicho catalizador presenta ciertas ventajas como el remanente del proceso que es glicerina, mucho menos tóxica que cuando se utiliza el NaOH (Abad *et al.*, 2014).

Paso 2: Preparación de metoxido

Utilizando el 12% del volumen de aceite a procesar en metanol. Se procesan un promedio de 4 litros de aceite de cocina usado, por lo que se utilizan 480 ml de metanol y 16.4 gr de KOH, los cuales se disuelven calentando a reflujo y agitación constante por 10 minutos para obtener el metoxido.

Paso 3: Transesterificación en el Procesador Ultrasónico

Para llevar a cabo este proceso se utilizó un Procesador Ultrasónico.

La característica principal de dicho equipo son las vibraciones sónicas, las cuales desarrollan la integración y separación de las sustancias para la obtención de biodiesel. (Figura 6).

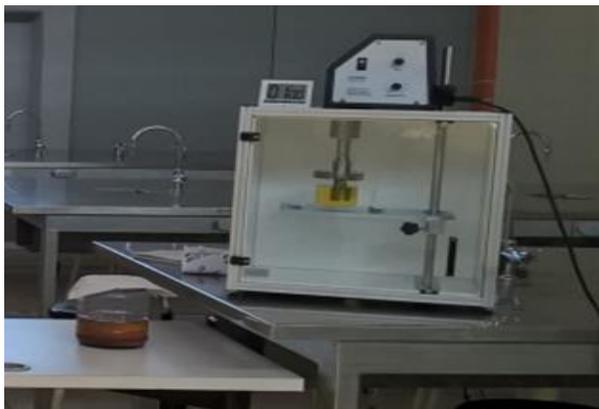


Figura 6 Procesador Ultrasónico
Fuente: Elaboración propia.

Para ello, se prepararon 60 muestras con 100 ml de aceite de cocina usado y 12 ml de metóxido cada una las cuales se calientan a 40 °C antes de introducir las unas por una al procesador ultrasónico, las cuales se procesaron a 5, 10, 15 y 20 segundos en amplitudes del 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100% respectivamente y a un ciclo en todos los casos (Figura 7). Después de procesarse, cada muestra es vaciada a probetas de 100 ml, donde se dejan reposar por 24 horas.



Figura 7 Proceso de transesterificación
Fuente: Elaboración propia

Se nota que la reacción de transesterificación no se completa, a amplitudes menores de 40% por lo que se procede a realizar desde la titulación hasta la preparación de muestras con otros 4 litros de aceite de cocina usado, los que procesa nuevamente pero en los rangos de 50 a 100% de amplitud en tiempos de 10 a 60 segundos, en intervalos de 10 en cada caso. Después de dejarlo reposar 24 horas se observa en las probetas dos capas, la glicerina abajo y el biodiesel arriba, las cuales son separadas y el biodiesel sometido a un lavado con agua destilada.



Figura 8 Biodiesel y glicerina
Fuente: Elaboración propia

Quinta etapa: Análisis de los resultados

De acuerdo al diagnóstico de la zona de estudio y por datos de la Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles (2015) cada mexicano en promedio consume 10 litros de aceite al año y se estima que dependiendo de tipo de alimento, la comida absorbe solo entre el 15 y 35% del aceite, lo demás es desechado (PROFECO, 2015).

Teniendo 0.74 millones de habitantes la ZCST. Bajo esta problemática se procedió a estimar la generación del RAUC en la zona de estudio. Se determinó un estimado de generación de 6.2 millones de litros/año de RAUC en la zona de estudio.

Observando que la reutilización de este residuo, es viable para la biogeneración de energía sustentable por lo cual se llevó a cabo la recolección y acopio de muestras. Aproximadamente se acopiaron 61.25 litros de RAUC, lo cual sirvió para la experimentación de obtención de biodiesel. Se le tomaron parámetros físico – químicos para estandarizar una muestra confiable.

Del RAUC procesado, se obtuvo un punto de acidez promedio de 0.6; lo cual generó entre un 95 a 99% de biodiesel del volumen procesado. Lo anterior demuestra la factibilidad de obtención de biodiesel a partir del RAUC. Así como, la oportunidad de obtener una alternativa de energía menos contaminante.

Agradecimiento

Se agradece al CONACYT y COTACYT por el apoyo con el equipo experimental que se utilizó en esta investigación. De igual manera se agradece las facilidades prestadas en el Almacén y el Laboratorio de Energía Renovable del Programa de Ingeniería en Energía de la Universidad Politécnica de Altamira.

Conclusiones

Se puede concluir que hacen falta más estudios acerca de la factibilidad de utilizar un residuo como biogenerador de energía sustentable. En la zona de estudio, se cuenta solo con ciertas acciones para el manejo de los residuos, especialmente los RAUC. Lo cual genera un potencial económico que se puede utilizar a beneficio de la zona.

Con la experimentación que se realizó se obtuvo biodiesel, los inconvenientes que se enfrentaron, es la falta de recursos para llevar a cabo la caracterización del bioenergética.

Se logra plantear la insuficiencia del proceso de gestión para este tipo de residuo, y la generación anual en la zona, la cual ya está impactando en los cuerpos de agua debido a que es típico que se deseche en las tarjas domésticas, lo cual provoca taponamiento en el sistema de alcantarillado.

Una de las perspectivas de la investigación, es poder determinar las características más eficientes del biodiesel generado. Se espera poder establecer bases para propuestas de un programa de manejo de dicho residuo y su utilización para la biogeneración de energía sustentable mitigando sus impactos negativos.

Referencias

Abad Medina, E.; Acosta Palacios, A.; Burgos Arrascue, A.; Cristantino Palacios, B.; Eyzaguirre Yañez, J. y Rivera Lopez, J. (2014). Análisis y Diseño de un Sistema de Recolección y Tratamiento de Aceites Domésticos Usados para la Producción de Biodiesel en la Ciudad de Piura y Castilla. Universidad de Piura. Ingeniería. Ingeniería Industrial y de Sistemas. Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Proyectos. Piura, España, 104 pp. Dirección de internet: <http://pirhua.udep.edu.pe/handle/123456789/1713>.

Bautista-Vargas, M. E.; García-Navarro, J.; Pérez-Bravo, S. G. y Torres-Moreno, R. (2017) Optimización del Proceso de Transesterificación en Procesador Ultrasónico. *Revista de la Alta Tecnología y la Sociedad*. Vol. 9. No. 3, pp. 23-30.

Bautista-Vargas, María, García-Navarro, Josefina, Cabrera-Cruz, René y Torres-Moreno, Ruth. (2016). Proceso sustentable de obtención de biodiesel. *Revista de Sistemas Experimentales*. Vol. 3 No. 8, pp 27-35.

Benavides, A.; Benjumea, P. y Pashova, V. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diésel. *Dyna*. No. 153, pp 141-150.

Buesa Pueyo, I. y Romano, S. D. (2009) Correlación entre punto de inflamación y contenido de metanol en biodiesel. *Memorias Tercer congreso Nacional - Segundo Congreso Iberoamericano Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía- HYFUSEN*. pp. 12-48.

Cortés M., E.; Suarez M., H. y Pardo C., S. (2009) Biocombustibles y Autosuficiencia Energética. *Dyna*. No.158, pp. 101-110.

Franco M. (2013). Simulación del proceso de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales en condiciones súper-criticas. *Tesis de Maestría*. Universidad de Politécnica de Cataluña. Barcelona, España, 79 pp.

García Sánchez, E. G.; Alfaro López, Y. A. y Ruiz Ortega, M. E. (2012). Estudio de prefactibilidad para la generación de biodiesel a partir de aceite quemado en el restaurante Tip Top, Estelí, Nicaragua. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Tecnología de la Industria. Managua, Nicaragua.

González, Arcelia y Castañeda, Yolanda (2011). Biocombustibles. Estados Unidos, su estrategia hegemónica competitiva y la influencia en la política energética de México. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*. Vol. 11, No. 21, pp. 15-37.

Lugo, M. L.; Bergolla, D. y Rodríguez, K. (2014). Producción de Biodiesel a partir de la Transesterificación de Aceites Vegetales

Residuales con KOH como catalizador. *Scientific Journal from the Experimental*. Faculty of Sciences at the Universidad de Zulia Maracaibo, Venezuela *CIENCIA*. Vol. 22, No. 2, pp. 121 – 128.

OMS (2017). Turbidez del agua. Organización Mundial de la Salud [en línea] <http://www.who.int/es/>

PMOT. (2011). Programa Metropolitano de Ordenamiento Territorial de Altamira - Ciudad Madero – Tampico. Disponible en: http://www.imeplansurdetamaulipas.gob.mx/POT_Metropolitano.htm. Recuperado 20 mayo del 2016.

Reoil México. (2009). Qué es el RAUC? Reoil México, Recolección de RAUC y Producción de Biodiesel. Dirección de Internet: <http://www.reoil.net/rauc.html>

SENER (2016). Tamaulipas Energía que mueve a México. Agenda Energética. Secretaría de Energía Gobierno de Tamaulipas. 2012-2016. [En línea] <http://indicadorpolitico.mx/images/pdfs/tamaulipas-agenda-energetica.pdf>

Xu, H.; Miao, X. y Wu, Q. (2006). High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. *Journal of biotechnology*. Vol. 126 No. 4, pp 499-507

Diseño y análisis de la estructura de un vehículo aéreo no tripulado mediante el método de elemento finito

SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi*†, PADILLA-MAGAÑA, Jesús Fernando, VEGA-HUERTA, América y OSEGUERA-ESPINOZA, Pedro Ramón

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

Los vehículos aéreos no tripulados, han tenido desde hace más de 15 años diferentes aplicaciones civiles. Una de las aplicaciones con más potencial, además de la seguridad pública, es la agricultura de precisión y la monitorización de los campos de cultivo. **Objetivos, metodología** 1. Realizar el diseño de la estructura de un vehículo aéreo no tripulado (VANT), mediante un estudio QFD que considere todas las características relevantes del sistema aerodinámico. 2. Realizar los planos del VANT en dos y tres dimensiones en un software de diseño CAD. 3. Realizar el análisis de la estructura del VANT mediante una herramienta computacional que aplique el método del elemento finito. **Contribución.** Se obtendrá el diseño de un vehículo aéreo no tripulado, para diseñar e implementar algoritmos de control robusto para vuelo de vehículos ligeros no tripulados mejorando su estabilidad bajo perturbaciones de viento, además de ampliar su uso en la agricultura de precisión para el control de los cultivos, detección de estrés hídrico para el manejo eficiente del agua, detección de estrés nutricional en cultivos, detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos.

Vehículo aéreo no tripulado, diseño CAD, elemento finito

Abstract

Design and analysis of the structure of an unmanned aerial vehicle using the finite element method The unmanned aerial vehicles, have for more than 15 years had different civil applications. One of the applications with more potential, besides the public security, is the precision agriculture and the monitoring of the fields of culture. **Objectives, methodology** 1. Design the structure of an unmanned aerial vehicle (UAV), using a QFD study that considers all relevant characteristics of the aerodynamic system. 2. Draw the UAV drawings in two and three dimensions in a CAD design software. 3. Perform the analysis of the UAV structure using a computational tool that applies the finite element method. **Contribution.** The design of an unmanned aerial vehicle will be obtained to design and implement robust control algorithms for unmanned light vehicle flight, improving its stability under wind disturbances, as well as expanding its use in precision agriculture for crop control, water stress detection for efficient water management, detection of nutritional stress in crops, early detection of diseases and pests in crops.

Unmanned aerial vehicle, CAD design, finite element

Citación: SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, PADILLA-MAGAÑA, Jesús Fernando, VEGA-HUERTA, América y OSEGUERA-ESPINOZA, Pedro Ramón. Diseño y análisis de la estructura de un vehículo aéreo no tripulado mediante el método de elemento finito. Revista de Tecnología e Innovación.2017, 4-12: 17-28.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: isanchez198@hotmail.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En este trabajo de investigación se realizará la propuesta del diseño de la estructura de un VANT, utilizando un material alternativo a los empleados comercialmente. Se desea saber la factibilidad del diseño, así como el analizar la estructura para saber si es viable la manufactura del mismo, utilizando herramientas como lo son: diseño asistido por computadora (CAD), y Análisis del Elemento Finito (FEA).

Para conocer las características más importantes del diseño de la estructura del Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), se utilizará la herramienta Despliegue de la Función de Calidad (QFD) con el fin de considerar todas las características que se deben de incluir para la realización del diseño del VANT. Mediante un software de diseño CAD se realizarán los planos del VANT en dos y tres dimensiones y mediante la herramienta de Elemento finito con la que cuenta el Software, se analizará la estructura del VANT.

Componentes Básicos de un VANT

Estructura: es la parte funcional de un VANT, donde se pueden ver los cuatro brazos de plástico o en ocasiones fibra de carbono, que soporta y distribuye el peso por toda la estructura, en algunos casos la estructura es por medio de triángulos, lo cual lo realizan para que presente poca resistencia a las corrientes de viento, (MARTÍN, 2016).

Motores: estos son de corriente directa con un consumo entre 7 y 12 amperios, los más comerciales tienen un empuje entre 300 y 800 gramos, dependiendo de las hélices y la corriente a consumir, (MARTÍN, 2016).

Hélices: por medio de la rotación, dispersan el viento en una sola dirección, para ser aprovechado como empuje, de manera que tiene dos parámetros, distancia y ángulo de inclinación. La numeración que tienen son 10x45 o 10x4.5, donde el diez significa la distancia en pulgadas, el 45 o 4.5 indican los grados de inclinación. Existen dos tipos de hélices con inclinación horaria y anti horaria, (MARTÍN, 2016).

Controladores de motores: son los reguladores de voltaje entre 2 y 5 volts, estos dispositivos reciben el voltaje de la batería y la señal del controlador de vuelo, son fabricados para alta corriente, esto para tener un factor de seguridad y no sufran daño por calentamiento, (MARTÍN, 2016).

Controlador de Vuelo: este es un emisor y un receptor a la vez de señales, el cual sigue señales digitales por un control de RF en tiempo real, o por medio de una programación personalizada de algoritmos robustos, que se apoya en sensores y actuadores, (MARTÍN, 2016).

Baterías: estas tienen dos parámetros tensión y corriente, la tensión es un estándar y tiene un valor de 3.7 por celda, mientras que la corriente dependerá de la construcción de dicha celda, en la mayoría de casos usan de litio y en casos más especiales de polímero de litio, (MARTÍN, 2016).

Justificación

Este trabajo de investigación es parte del primer objetivo del proyecto: Agricultura de precisión para mejorar el cultivo de Aguacate usando Vehículos Aéreos no Tripulados, que consiste en diseñar e implementar algoritmos de control robusto para vuelo de vehículos ligeros no tripulados mejorando su estabilidad bajo perturbaciones de viento.

Al probar VANT's comerciales y evaluar su desempeño de forma general, se concluyó que no son adecuados para implementar funciones extra, esto debido al tipo de software y hardware cerrado que manejan, por lo que es necesario diseñar un chasis de VANT que incluya todas las características necesarias para llevar a cabo el proyecto.

Desarrollo

Para el diseño de la estructura del VANT se realizó un diagrama de Causa y Efecto, con el fin de tener una visión más clara para contemplar las características que con lleven a la realización de un diseño óptimo.

En la Fig. 1, se muestra el diagrama de causa y efecto considerado las expectativas funcionales obtenidas mediante una lluvia de ideas, los cuatro campos principales que determinaran el diseño funcional del VANT son: fabricación, costos, materiales y diseño.

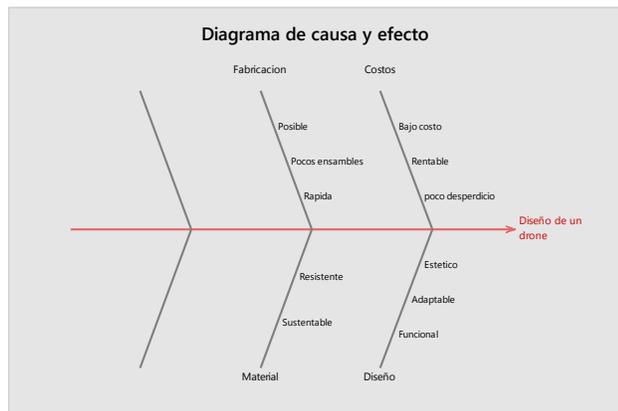


Figura 1 Diagrama Ishikawa para el diseño del VANT
Fuente: *Diseño Propio*

Como podemos observar las principales expectativas que se tienen son: un diseño funcional, estético, materiales sustentables, fabricación mediante pocos ensambles y que sea de bajo costo entre otras características.

A continuación, se utilizará la herramienta QFD para buscar como traducir las expectativas del cliente deseadas en el diseño en características técnicas del diseño, considerando como que's las expectativas que determinamos en la Fig. 2.

A cada que le asignaremos un valor de importancia y se ordenara en forma ascendente.

| Numero de celda | Valor maximo 1, 3 o 9 | Porcentaje | Importancia | Características de la Calidad (como's) |
|-----------------|-----------------------|------------|-------------|--|
| 1 | 9 | 33% | 25 | Funcional |
| 2 | 9 | 27% | 20 | Adaptable |
| 3 | 9 | 20% | 15 | Resistente |
| 4 | 9 | 13% | 10 | Bajo Costo |
| 5 | 9 | 7% | 5 | Estético |

Figura 2 Despliegue de la función de calidad
Fuente: *Diseño propio*

Posteriormente se realizará el análisis de cómo podemos cumplir los que's para así determinar las características técnicas del diseño.

Además, debemos relacionar los *que's* y los *como's*, otorgándoles un nivel de relación, en base a la escala en donde la relación es:

1. Baja
2. Media
3. Alta

En la Fig. 3. Se muestra las características de los como y la relación correspondiente.

| | | | | | |
|---------------------------|--|--------------------|--------------|------------------|-----------------------|
| Calidad Demandada (que's) | Características de la Calidad (como's) | | | | |
| | Material economico | Diseño Concurrente | Tipo de dron | Software CAD CAM | Modulo de elasticidad |
| Funcional | 1 | 1 | 9 | | 3 |
| Adaptable | 1 | 9 | | | 1 |
| Resistente | 3 | 1 | 3 | | 9 |
| Bajo Costo | 9 | 9 | 9 | 3 | |
| Estetico | 1 | 1 | 1 | 9 | |

Figura 3. Nivel de relación

Fuente: Diseño propio

En la Fig. 4 se calcula la importancia de los como's, como el porcentaje de importancia por el nivel de relación asignada en la Fig. 3. Por lo tanto, las características mas importantes que se deben tomar en cuenta en la etapa de diseño son: la fabricación del VANT contemplará la metodología de un diseño concurrente, el tiempo de Diseño – Manufactura será semana, y finalmente el diseño del VANT sea un cuadracoptero.

| | | | | | |
|--|--------|----------|---------------|---------------|-------|
| Valor limite de la característica tecnica | 250.00 | | | | |
| | \$ | 1 semana | Cuadracoptero | 2 dimensiones | 3 gpa |
| Dificultad (0 muy facil, 10 extemadamente dificil) | 3 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| Valor maximo 1, 3 o 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Importacia | 2.467 | 4.2 | 4.867 | 1 | 3.067 |
| Porcentaje | 16% | 27% | 31% | 6% | 20% |

Figura 4 Importancia de los como's

Fuente: Diseño propio

Siguiendo con el diseño se realizará otro QFD de segundo nivel para determinar las herramientas para lograr las características técnicas anteriormente determinadas.

Las características técnicas de la calidad es decir los como's pasaran a ser los que's, en la Fig. 5 se muestra cómo lograr estos requerimientos, evaluando la relación entre cada uno, como se hizo anteriormente.

| | | | | | |
|---------------------------|--|-----------------------|---------|-----|---------------------|
| Calidad Demandada (que's) | Características de la Calidad (como's) | | | | |
| | Diseño de Ensamble | Diseño de Manufactura | Triplay | MDF | Cantidad de motores |
| Diseño Concurrente | 9 | 9 | | | 1 |
| Tipo de dron | 3 | 1 | | | 9 |
| Modulo de elasticidad | | | 3 | 3 | |
| Material economico | | 3 | 3 | 9 | 3 |
| Software CAD CAM | 3 | 9 | | | 9 |

Figura 5 Como's vs que's

Fuente: Diseño propio

Finalmente, consideramos la prioridad de los como's en la Fig. 6.

| | | | | | | |
|--|-----------|-------|------|------|-----------|--------|
| Valor limite de la característica tecnica | 10 piezas | CAD | 3 mm | 3 mm | 4 motores | 3 ejes |
| | | | | | | |
| Dificultad (0 muy facil, 10 extemadamente dificil) | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 5 |
| Valor maximo 1, 3 o 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Importacia | 4 | 4.267 | 1 | 1.8 | 3.133 | 1.6 |
| Porcentaje | 25% | 27% | 6% | 11% | 20% | 10% |

Figura 6 Prioridad de los como's

Fuente: Diseño propio

Como se puede observar en la parte sombreada de la Figs. 4 y 6, para lograr un diseño funcional se requieren realizar un diseño de ensamble de 10 piezas como máximo, en un software CAD.

Material a utilizar

Se utilizará el material MDF (Medium Density Fibreboard) que es un material compuesto de fibras de madera unidas por adhesivos urea-formaldehído.

Descripción y aplicaciones: Posee excelentes propiedades de maquinado en corte laser en CNC (Control Numérico por Computadora)) y cortes curvos hechos con caladora o router manual, que permite excelentes terminaciones, (Poblete, 2000).

Clasificación por densidad: El MDF tiene cuatro clasificaciones, HDF: densidad mayor a 800 Kg/m³, MDF: Estándar: densidad entre 650 y 800 Kg/m³, MDF light: densidad entre 550 y 650 Kg/m³, MDF ultra light: densidad inferior a 550 Kg/m³. En la Tabla 1, se muestran las propiedades generales del MDF.

| Propiedad | Tolerancia | Valor |
|--|------------|---|
| Espesor (mm) | +/- 0.3 | 3 |
| Densidad (Kg/m ³) | +/- 35 | 850 |
| Tracción (N/mm ²) | Min 0.8 | 1 |
| Módulo de elasticidad (N/mm ²) | +/- 300 | 4000 |
| Humedad | +/- 3 | 4-10% |
| Medidas (mts) | +/- 2 mm | 1.22*2.44, 1.53*2.44, 1.83*2.44, 2.15, 2.44 |

Tabla 1 Propiedades del MDF

Fuente: Poblete, 2000

El principal factor para la utilización de este material, fue por sus propiedades mecánicas, tiene una la densidad de 850 kg/m³ y módulo de elasticidad de 4 MPa. Considerando que la estructura debe soportar un peso de aproximadamente 5 kg, se determinó que estas características mecánicas son suficientes para la estructura del VANT.

Diseño CAD en dos dimensiones del VANT.

El diseño del VANT se divide en cuatro partes: parte superior, parte inferior, laterales y ensamblajes extras.

Parte superior: Para la cara superior del VANT en dos dimensiones, se consideró la distancia mínima que debe existir entre cada motor, también la distancia de las hélices hasta la plataforma de tal manera que el brazo no fuera muy corto y que pudieran existir interrupciones en las corrientes de aire entre la misma estructura.

En la parte superior e inferior de la Fig. 7 se pueden mostrar los ensamblajes, que serán de utilidad para formar la estructura en 3d.

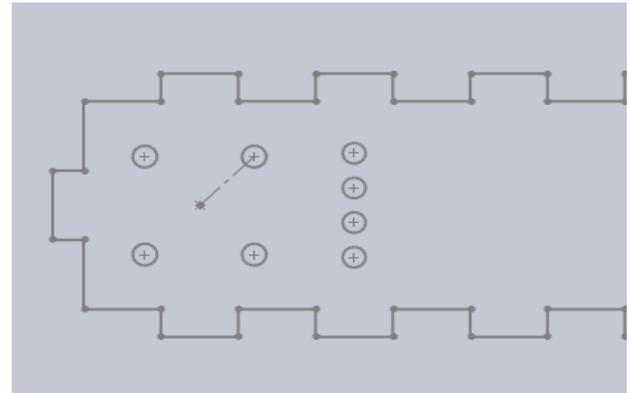


Figura 7 Base del motor

Fuente: Solidworks 2014

En la cara superior también se consideró la forma de las baterías, tomando en cuenta que los motores pueden ser alimentados con baterías de 2 o 3 celdas. La forma física de las baterías se incluyó como un ensamble de la cara superior del VANT, se colocaron en módulos de 3, en cuatro secciones para equilibrar el peso como se ilustra en la Fig. 8.

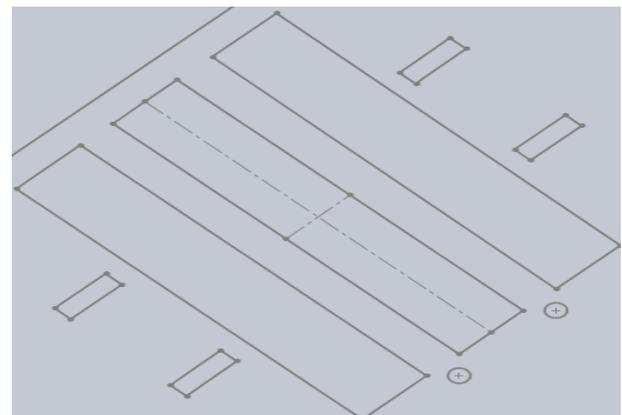


Figura 8 Diseño del Porta baterías

Fuente: Solidworks 2014

Todos los cables tienen que ir hacia el centro de la estructura donde se realiza la etapa de control, para este caso se realizaron 16 orificios para las conexiones de controladores de motores, baterías y señales de sensores como se puede ilustrar en la Fig. 9.

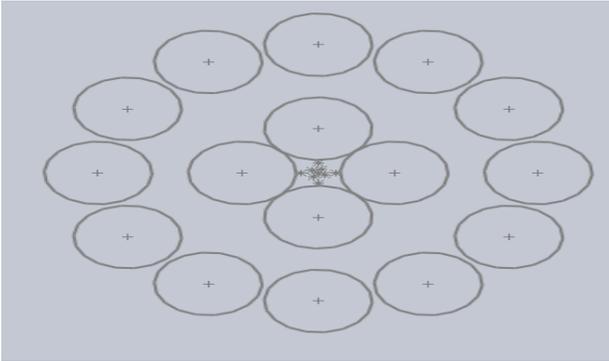


Figura 9 Orificios para los cables
Fuente: Solidworks 2014

Laterales: los laterales serán en este caso una pieza entre la cara superior e inferior, para formar una figura rectangular en la estructura y tenga mayor resistencia mecánica, colocando los controladores de motor dentro de la estructura, en la Fig. 10 se muestra una parte de los laterales.

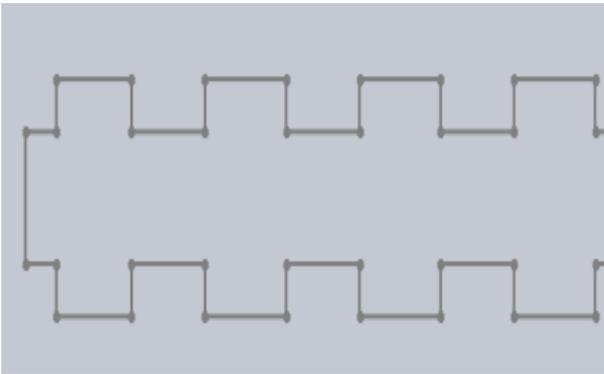


Figura 10 Ensamblajes laterales
Fuente: Solidworks 2014

La parte central de los laterales del VANT están divididos en dos partes, esto para que tenga un ensamblaje con los laterales perpendiculares, la Fig. 11 muestra 6 orificios para colocar los cables de cada brazo, dos ranuras en la parte superior donde llevara dos ensamblajes de los laterales opuestos, así logrando un ensamblaje entre laterales, así como tiene orificios para introducir los cables de las baterías que se incorporan a la estructura.

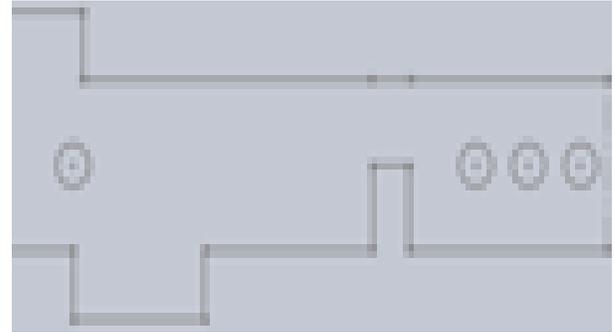


Figura 11 Parte central de laterales
Fuente: Solidworks 2014

Parte inferior: Es la última cara para completar la estructura rectangular, en esta se ensambla el tren de aterrizaje y el controlador del motor como se muestra en la Fig. 12. Las Figs. 13, 14 y 15 ilustran los ensamblajes necesarios para completar las estructuras, el tren de aterrizaje, el ensamblaje en forma de “h” para los brazos y un broche para fijar las baterías a la estructura.

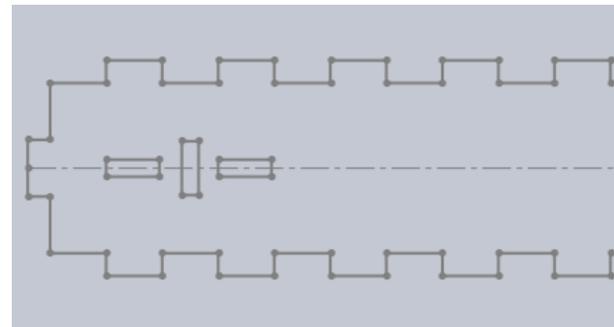


Figura 12 Brazo del VANT
Fuente: Solidworks 2014

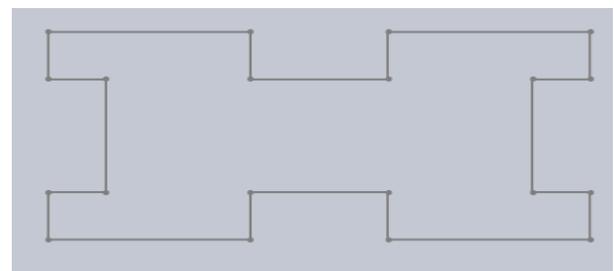


Figura 13 Ensamblaje de brazos
Fuente: Solidworks 2014

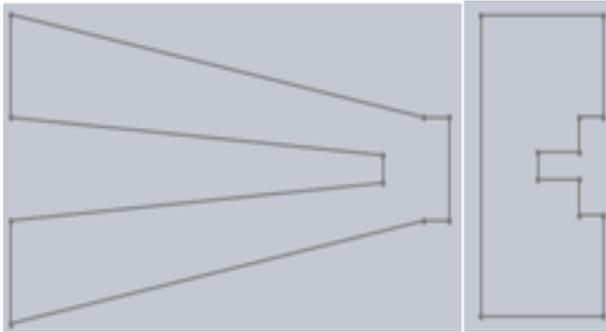


Figura 14 Tren de aterrizaje

Fuente: Solidworks 2014

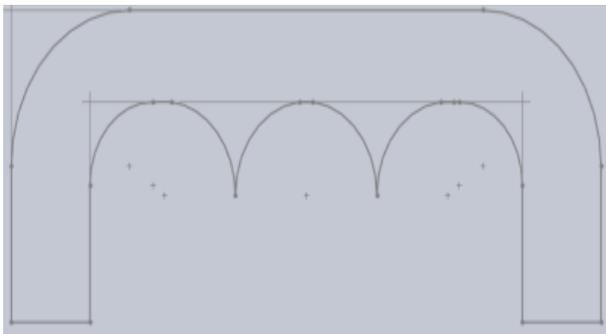


Figura 15 Broche de batería

Fuente: Solidworks 2014

Maquinado

El maquinado del diseño CAD se realizó en un CNC laser, por lo que se deben determinar las tolerancias en el corte, debido a la pequeña remoción de material que existe al maquinar, esto debido a la alta temperatura producida por el laser, como se muestra en la Fig. 16.

Se utilizó la herramienta para corte laser: RDworks V8. La interfaz del programa es sencilla, tiene herramientas de dibujo básico como son: realizar matrices de figuras, hacer contornos de figuras no tan complejas, personalizar el tamaño de las figuras.

RDworks es esencial para tener control sobre el CNC, ayuda a configurar la potencia de corte y la velocidad, así como para la calibración del punto de origen donde empezara maquinar y ver el tamaño necesario para el corte, también configura una ruta para el maquinado que en ocasiones no es la más rápida, (Groover, 1997).

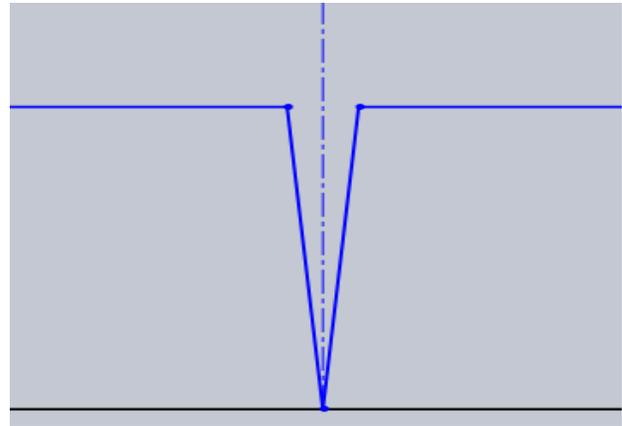


Figura 16 Desgaste del maquinado

Fuente: Solidworks 2014

Posteriormente al diseño CAD, se exporta al formato que soporta el CNC. Primero se exporta al formato .dxf, que puede importar el programa RDWorks para convertirlo en archivo .rd y .rld que maneja el CNC en forma nativa.

Antes de generar el archivo .rd se deben configurar los parámetros de la velocidad en mm/s y la potencia del láser en %. El origen, la distancia entre el material y el láser se configuran manualmente en el CNC laser, la Fig. 17 muestra la configuración realizada.

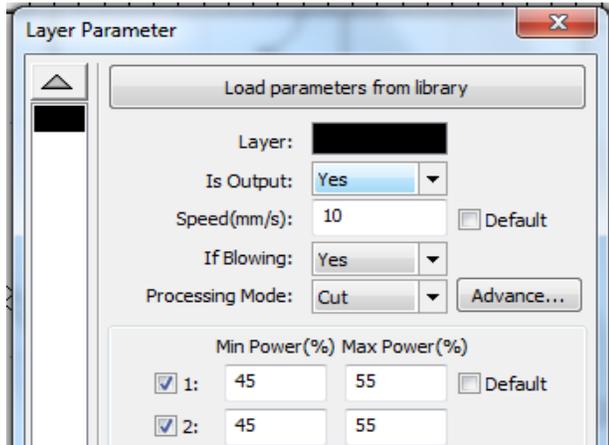


Figura 17 Configuración para el maquinado
Fuente: RDworks v8.0

La Fig. 18 muestra el maquinado, después sigue el ensamble y la Fig. 19 muestra el ensamble terminado.

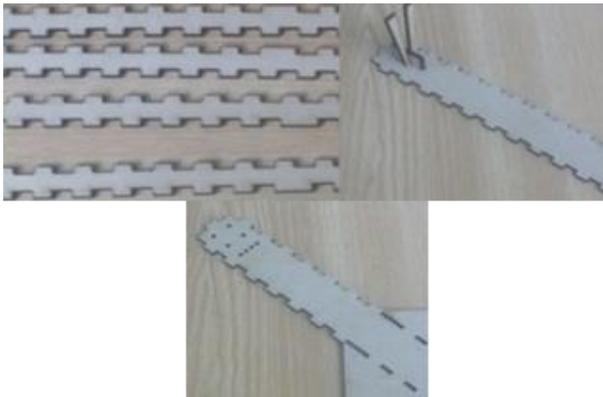


Figura 18 Cara superior, inferior y lateral
Fuente: Laboratorio de Manufactura UPOLU



Figura 19 Ensamble terminado
Fuente: Laboratorio de Manufactura UPOLU

Prueba de ensamble

Para poder realizar un ensamble forzado ligero se utilizó una tolerancia entre ensambles, al maquinar las piezas con las medidas ideales y ensamblarlas en este caso embona con juego, para lo cual se realizaron pruebas con diferentes medidas buscando un ensamble con una calidad IT 15.

Las pruebas consistieron en maquinar pequeñas piezas de MDF con un rectángulo como orificio y un cuadrado como broche como se muestra en la Fig. 20, en el rectángulo se consideró como medida nominal el espesor del material.

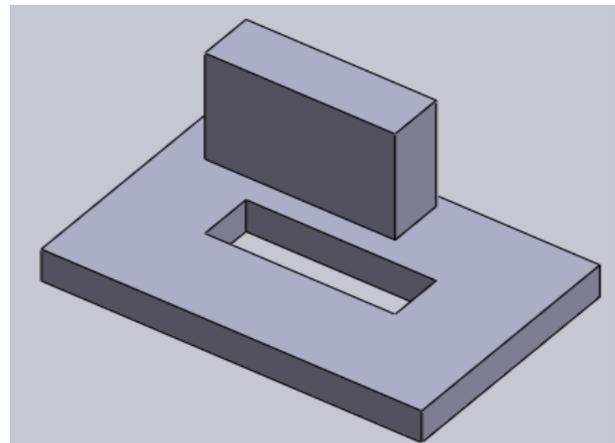


Figura 20 Prueba de ensamble
Fuente: Solidworks 2014

Análisis de elementos finitos

Para realizar el análisis de la estructura se utilizó SOLIDWORKS Simulation el cual permite utilizar el método de formulación de desplazamientos de elementos finitos para calcular desplazamientos, deformaciones y tensiones de los componentes con cargas internas y externas.

Para saber las regiones críticas de la estructura, es necesario realizar un análisis de las cargas axiales a las cuales se someterá el diseño, para lo cual se requiere una tabla de esfuerzo-deformación del material a analizar.

Para lograrlo se habilitó la pestaña simulación, en solidworks/ herramientas / complementos, de aquí se selecciona el botón Asesor de estudio, después elegir nuevo estudio como se ilustra en la Fig. 21.

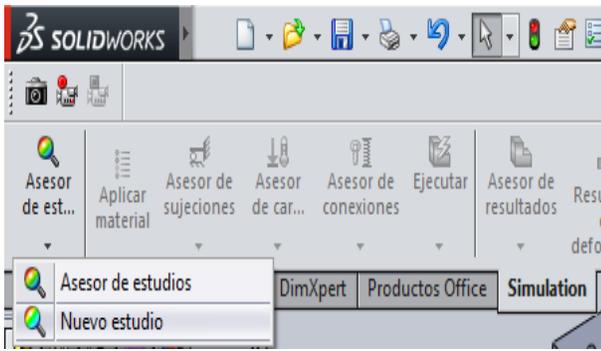


Figura 21 Nuevo estudio
Fuente: Solidworks 2014

Con esto se habilitan las funciones de simulación de este bloque. Lo siguiente es definir el material y sus características para incluirlos en el análisis, para esto se consideraron los datos del material MDF que se muestran en la Fig. 22.

| Propiedad | Valor | Unidades |
|-------------------------|------------|-------------------|
| Módulo elástico | 2400000000 | N/m ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.29 | N/D |
| Módulo cortante | | N/m ² |
| Densidad de masa | 850 | kg/m ³ |
| Límite de tracción | | N/m ² |
| Límite de compresión | | N/m ² |
| Límite elástico | 30000000 | N/m ² |

Figura 22 Datos necesarios para el análisis
Fuente: Solidworks 2014

Para el análisis se calcularon todas las cargas a las que va estar sometida la estructura, resumiéndose como se muestra en la Tabla 2.

| Componente | Masa (gr) | Cantidad | Total |
|----------------------|-----------|----------|--------|
| Controlador de motor | 47 | 4 | 188 |
| Controlador de vuelo | 8.6 | 1 | 8.6 |
| Hélices | 20 | 4 | 80 |
| Motor | 47 | 4 | 188 |
| Batería por celda | 50 | 12 | 600 |
| Total | | | 1064.6 |

Tabla 2 Cargas consideradas para el diseño
Fuente: Diseño propio

Una vez determinados los pesos de cada una de las cargas consideradas, es necesario colocarlas en el diseño en forma puntual, es decir, colocar los pesos en la posición en donde se va a colocar los motores, baterías y controladores de motor y de vuelo. Visualizándose en la simulación de la estructura mediante flechas, como se muestra en las Figs. 23, 24 y 25.

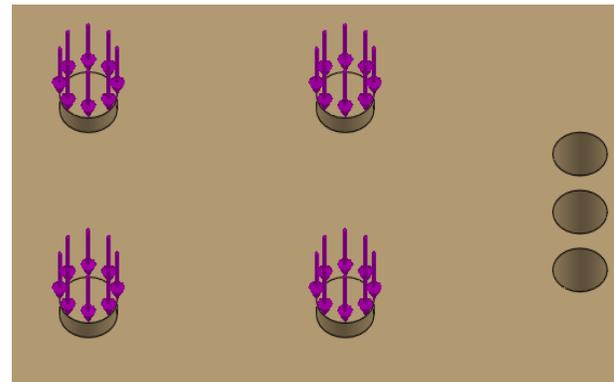


Figura 23 Colocación de carga de los motores
Fuente: Solidworks 2014

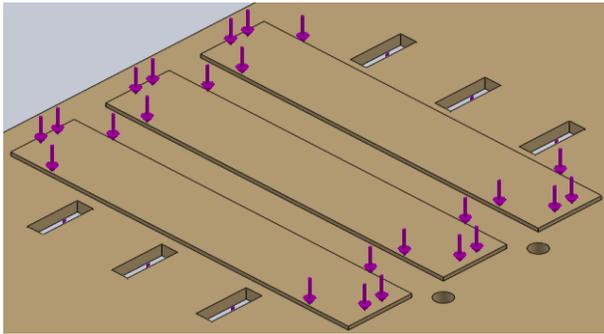


Figura 24 Colocación de carga de las baterías
Fuente: Solidworks 2014

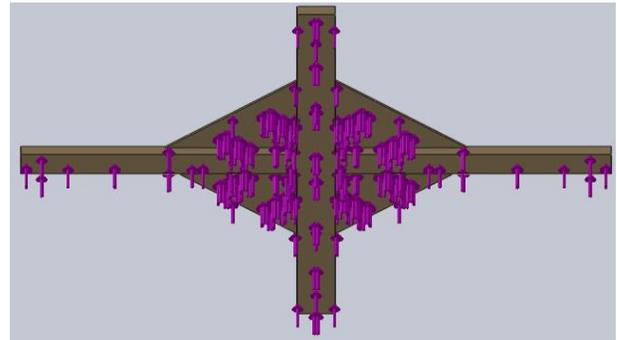


Figura 27 Sumatoria de cargas en la vista inferior
Fuente: Solidworks 2014

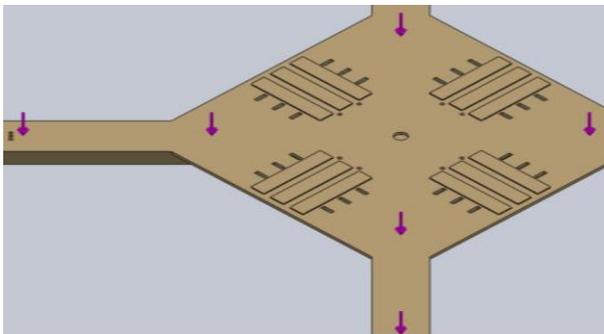


Figura 25 Colocación de carga de los controladores
Fuente: Solidworks 2014

Como siguiente paso, se definen las Sujeciones, es decir los puntos de la estructura que permanecerán fijas en la simulación. Para esto se consideran las cuatro geometrías fijas donde se colocan los motores, y también se considera una distribución uniforme del peso al que debe reaccionar la estructura, como se muestra en las Figs. 26 y 27.

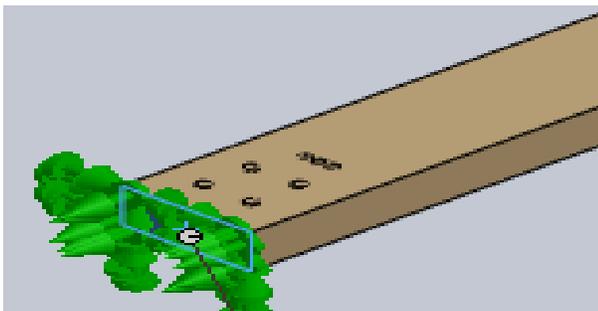


Figura 26 Sujeciones
Fuente: Solidworks 2014

Definición de mallas

Para nuestro diseño, se dividió el dominio en sub dominios, considerándose 73047 nodos y 36631 Elementos, formándose la malla que se muestra en la Fig. 28.

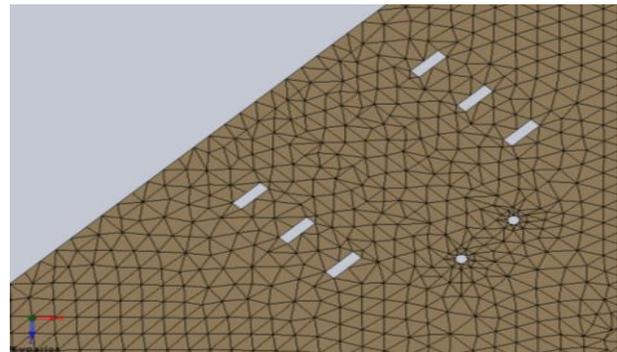


Figura 28 Mallado de la estructura
Fuente: Solidworks 2014

Criterio de máxima tensión de Von Mises

La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. La tensión de Von Mises puede calcularse fácilmente a partir de las tensiones principales del tensor tensión en un punto de un sólido deformable, mediante la expresión:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Siendo σ_1, σ_2 y σ_3 las tensiones principales, y habiéndose obtenido la expresión a partir de la energía de distorsión en función de las tensiones principales:

$$E_{def,dist} = \frac{1}{6G} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \quad (2)$$

Igualmente, la superficie de fluencia de un material que falla de acuerdo con la teoría de fallo elástico de Von Mises puede escribirse como el lugar geométrico de los puntos donde la tensión de Von Mises como función de las tensiones principales supera cierto valor. Matemáticamente esta ecuación puede expresarse aún como el conjunto de puntos donde el invariante cuadrático de la parte desviadora del tensor tensión supera cierto valor. Mediante este criterio se realizó la simulación de la estructura, obteniéndose los resultados con el análisis del elemento finito, que se muestra en la Fig. 29.

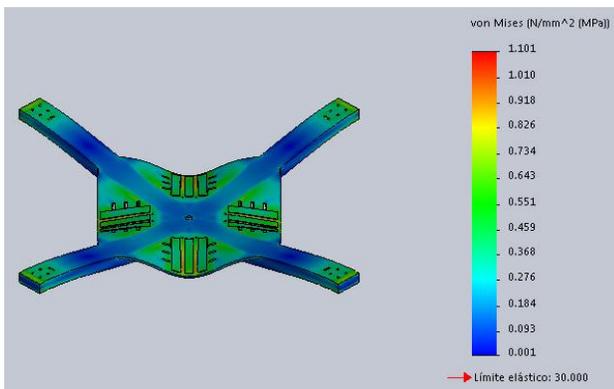


Figura 29 Resultados del análisis de Elemento finito
Fuente: Solidworks 2014

La Fig. 30 muestra el factor de seguridad una vez terminada la simulación con un valor mínimo de 2.

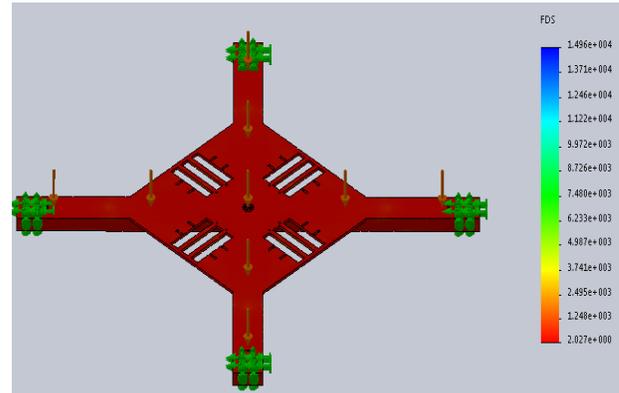


Figura 30 Factor de seguridad
Fuente: Solidworks 2014

Conclusiones

El estudio QFD nos permitió determinar las características técnicas y las herramientas necesarias para lograr un diseño funcional de la estructura de un VANT.

Mediante un software de diseño CAD fue posible realizar los planos del VANT en dos y tres dimensiones para analizarlos mediante la herramienta computacional del análisis del elemento finito, obteniéndose los siguientes resultados:

- Escala de deformación: 129. 299
- Deformación máxima: 454.761 micrómetros
- Nodo 439, 1.10127 N/mm² (MPa)
- Nodo 6309, 0.000928546 N/mm² (MPa)
- Factor de seguridad de 2

Por lo tanto, el diseño de la estructura en MDF soportara de forma segura la carga de los componentes del VANT.

En forma física se logró que los ensamblajes quedarán forzados ligeros considerando una calidad de IT 15.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la DSA por el apoyo recibido mediante el programa PRODEP para la realización de este trabajo el cual es parte del proyecto de investigación con número de folio UPUR-PTC-004.

Referencias

- Bawa, H. S. H. S., Burghardt, H. D. A., BRIEVA, J. E. A., TR AXELROD, A. A. R. O. N., & Freyre, F. F. (2007). Procesos de manufactura (No. 62-11). McGraw-Hill.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., & García, J. A. G. J. (1990). *Mecánica vectorial para ingenieros* (No. 968-422-565-2. 04-A1 LU. CG-12.). McGraw-Hill.
- Berry, T.H. Cómo gerenciar la transformación hacia la calidad total. McGraw-Hill Interamericana S.A. Bogotá, Colombia. 1992.
- Chase, R.B. y Aquilano, N.J. “Gestión de la producción y dirección de operaciones”. Editorial Hispano Europea. Barcelona, España. 1978.
- Chaudhry, H. (1987), Applied Hydraulic Transients 2nd Ed, van Nostrand Reinhold.
- Eschmann, C.; Kuo, C.; Kuo, C.; Boller, C. Unmanned aircraft systems for remote building inspection and monitoring. In Proceedings of the Sixth European Workshop on Structural Health Monitoring, Dresden, Germany, 3–6 July 2012.
- Feigenbaum, A.V. “Total quality control”. McGraw-Hill Book Company. Singapur. Singapur. 1987.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación.
- Guerra Jara, G. S. (2016). Sistema de diseño de VANTs (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay)
- Guerrero, M., Valderrábano, S., Campos, R., & Isasi, M. (1999). Aplicación del método de elemento finito al análisis nodal. *Ingenierías*, 2(3), 49.
- Juran, J.M. y Gryna, F.M. y Bingham, R.S. “Quality control handbook”. McGraw-Hill Book Company. USA. 1990.
- Koppány Mathé and Lucian Busoniu, Vision and Control for UAVs: A Survey of General Methods and of Inexpensive Platforms for Infrastructure Inspection, Sensors 2015, 15, 14887-14916
- MARTÍN, P. R. (2016). *Diseño y fabricación de un dron mediante impresión 3D* (Doctoral dissertation).
- Poblete, H. E. R. N. A. N., Loncomilla, E. R. N. E. S. T. O., & Inzunza, L. U. I. S. (2000). Densidad del tablero de partículas y estabilidad dimensional. *Bosque*, 21(2), 69-83.
- Shih, R. (2014). Introduction to Finite Element Analysis Using SolidWorks Simulation 2014. SDC publications

Sistema de oxigenación de granjas de cultivo acuícola por medio de energía sustentable

HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán †*, GARCÍA-NAVARRO, Josefina, ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío y BAUTISTA-VARGAS, María Esther

Universidad Politécnica de Altamira

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

Según el Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013 Tamaulipas generó 9,192 toneladas de camarón usando granjas camaronícolas. Sin embargo, se reportó, que un virus dañó la producción de especies, esto debido a que el método de oxigenación incorpora agua proveniente de un río, garantizando agua oxigenada, pero, teniendo la posibilidad de que ingrese algún virus que afecte a la población en estas granjas. El objetivo de esta investigación es publicar el diseño de un sistema de oxigenación de granjas de cultivo acuícola por medio de energía sustentable. Esto se logró haciendo uso de un sensor de oxígeno disuelto conectado a una Raspberry pi 3, la cual tiene la función de controlar un aspersor de agua en el estanque según el nivel de oxígeno disuelto en el agua. Además, la raspberry pi 3 es capaz de transmitir los valores de oxígeno disuelto en el estanque a un servidor remoto para estadística. Este sistema funciona con energía solar por medio de un sistema fotovoltaico. La aportación de este proyecto es realizar la oxigenación del agua de cualquier cultivo acuícola sin la posibilidad de introducir virus al sistema, que puedan perjudicar a la población, dado que esto sucede el método convencional

Sistemas de oxigenación, energía solar, cultivo acuícola, sistema fotovoltaico

Abstract

According to the Statistical Yearbook of Aquaculture and Fisheries 2013 Tamaulipas produced 9,192 ton of shrimp using shrimp farms. However, it was reported that a virus damaged the production of species, this because the oxygenation method incorporates water from a river, guaranteeing oxygenated water, but, having the possibility of entering a virus that affects the population in these farms. This research shows the design of oxygenation systems of aquaculture farms using sustainable energy. Making use of a dissolved oxygen sensor connected to a Raspberry pi 3, which can control a nozzle pressure when level of dissolved oxygen in the water is low. In addition the Raspberry pi 3 can transmit the datums to remote server for statistics. This system works with solar energy through a photovoltaic system. The contribution of this project is to make the oxygenation of the water of any aquaculture crop without the possibility of introducing viruses into the system of said crop that can harm the population, since this happens the conventional method. This system can be used without put in risk any aquaculture farm by viruses

Oxygenation system, solar energy, Aquaculture, solar panel

Citación: HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán, GARCÍA-NAVARRO, Josefina, ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío y BAUTISTA-VARGAS, María Esther. Sistema de oxigenación de granjas de cultivo acuícola por medio de energía sustentable. Revista de Tecnología e Innovación 2017, 4-12: 29-39.

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: adan.hernandez@upalt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los inversionistas acuícolas buscan zonas libres de enfermedades patógenas para que no afecten el cultivo de camarón y Tamaulipas representa un campo fértil en este concepto por la excelente inocuidad de sus aguas (zonas lejanas a la mancha urbana y/o rural). Sin embargo, en 2014 se reportó, que un virus dañó la producción de camarón en el municipio de Matamoros. Es no es algo que solo afecte a Tamaulipas, por ejemplo, la producción de camarón del Estado de Sonora ha reportado descensos del 39.3% y del 50% respectivamente, en proporción al año 2009, donde la producción fue de 81,422.8 t.

Este declive se debió a la presencia del virus de la mancha blanca (WSSV). De hecho, esto sucede debido al método de oxigenación del agua de estas granjas camaronícolas, que implica la apertura de compuertas para que ingrese agua de esteros, lagunas costeras o ríos a la presa donde se cultiva el camarón.

Esto no solo implica la posibilidad de infectar a la población de crustáceos de la granja con algún virus, sino también la posibilidad de la fuga del camarón hacia el estero, lagunas costeras o ríos, ya que, para mantener la concentración de agua en la presa, se requiere abrir otra compuerta que permita la salida del agua con baja concentración de oxígeno disuelto. Existen otros métodos de oxigenación que no requieren exponer la población de biomasa a virus, o permitir que estos salgan del estanque, sin embargo, requieren de un tendido eléctrico, y por la lejanía no cuentan con este o consumo de combustible para generadores eléctricos portátiles.

Es por esto, que se hace cada vez más necesaria la implementación de técnicas y formas de manejo del cultivo que contribuyan a reducir los impactos ambientales y ayuden a sostener la base natural de recurso.

Por lo que en esta publicación se muestra el diseño de un sistema de detección, monitoreo y cambio de concentración de oxígeno disuelto de agua para granjas de camarones utilizando una fuente de energía renovable como lo es, la energía solar. Esto se logra mediante la extracción de agua del fondo del estanque (donde se encuentra menos oxigenada) y esparcir el agua en forma de gotas en el aire (para que se oxigene) y se incorpore nuevamente al cuerpo de agua, pero oxigenada.

La extracción de agua con bajos niveles de oxígeno disuelto continuara hasta que se llegue al nivel deseado, y se reactivará la extracción cuando baje nuevamente, todo esto funciona gracias a la energía solar. Con este sistema se logra la reducción de efluentes de los estanques, la disminución de la entrada de agua proveniente del estero lo cual reduce el riesgo de introducción de predadores, camarón silvestre y la posible diseminación de enfermedades y se evita la pérdida de la productividad natural que se produce dentro de los estanques.

El sistema de oxigenación de granjas de cultivo acuícola por medio de energía sustentable requiere para su implementación el material de la tabla 1.

| Elemento | Función |
|--|--|
| Raspberry pi 3 | Procesador de datos |
| Kit extracción y aspersión de agua | Extrae el agua menos oxigenada y la esparce en el aire para oxigenarla |
| Kit de Generación de Energía sustentable | Provee de electricidad a la bomba, raspberry y sensores mediante paneles solares |
| Módulo de expansión del raspberry pi 3 | Acoplador entre raspberry pi 3 y la bomba |
| Sensor de Oxígeno Disuelto | Proporciona los datos de Oxígeno Disuelto |
| Banda Ancha Móvil | Provee de internet al sistema |

Tabla 1 Material necesario para la implementación del sistema de oxigenación

Raspberry pi 3

El sistema de oxigenación utiliza un raspberry pi 3 como unidad central de procesamiento, por lo que conviene tener idea de sus capacidades y funcionamiento. El raspberry pi es una computadora del tamaño de una tarjeta de crédito, ver Figura 1, tiene puertos USB, Ethernet, Wireless, HDMI, bocinas, micrófono, video analógico, un puerto con entradas y salidas de propósito general, y utiliza una memoria microSD como disco duro, y lo mejor de este que solo requiere una fuente de alimentación de 5Vcd.

A esta micro computadora se le puede instalar una gran variedad de sistemas operativos, la mayoría de ellos base Linux, sin embargo, también puede funcionar con Windows 10.

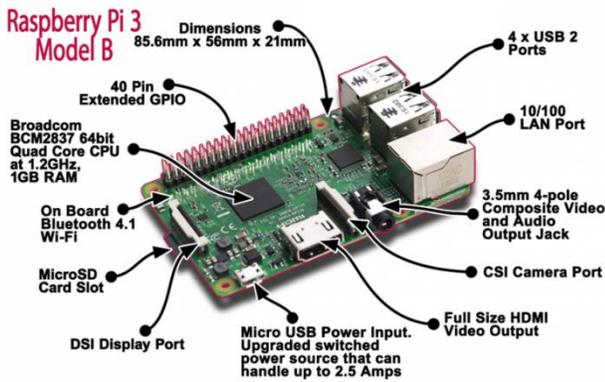


Figura 1 Imagen que muestra físicamente a la raspberry pi 3

El raspberry 3 utiliza Raspbian como sistema operativo (OS por sus siglas en inglés), ya que, trae preinstalado el compilador Python con el que se utiliza en el puerto de entradas y salidas generales. La guía de instalación de Raspbian OS se verá en el apartado “Guía de Instalación de Raspbian”.

Elemento de extracción y aspersión

Este elemento es necesario para oxigenar el agua, consta de una bomba sumergible que funciona con 12Vcd, 60psi de presión, una boquilla aspersor, 3m de manguera de 1/2”, filtro y cable (aprox. 5m). Se requiere además de una base flotante de poliestireno expandido para la boquilla aspersora, y una base metálica para la bomba, la cual puede o no estar sumergida en el agua.

Elemento de energía sustentable

Es el que provee de electricidad al sistema de oxigenación. Este elemento consta de un panel solar de 100W, una batería recargable de 12V (al menos 20AH), base para el panel, cables (calibre 14AWG), controlador de carga (15A) y un regulador de voltaje (LM2596, 12V a 5V). La configuración eléctrica de este se puede ver en la figura 2.

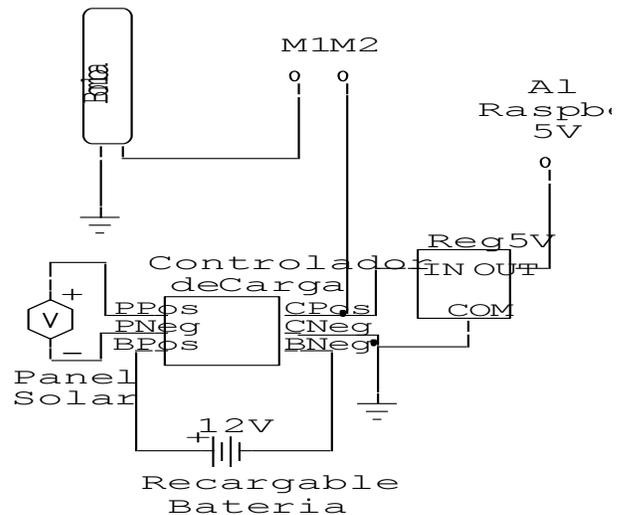


Figura 2 Diagrama eléctrico de conexión del sistema de oxigenación. M1 y M2 se conectan al módulo de expansión

Módulo de expansión para Raspberry pi

Debido a que el raspberry pi trabaja con 5Vcd, y la bomba funciona con 12Vcd, se hace necesario un acoplador. Este módulo expansión permite al raspberry activar o desactivar equipos de hasta 250VAC/5A, 30VDC/5A. Se conecta directamente en el puerto de entradas y salidas generales.

Sensor de oxígeno disuelto

Módulo Tentacle T3 con sensor de Oxígeno disuelto (D.O. por sus siglas en inglés), de Altas Scienfic es el elemento que determina el funcionamiento de la bomba (cuando el agua se encuentra fuera de los niveles de oxígeno disuelto adecuados), Es capaz de medir en rangos de 0.01 to +35.99 mg/L y se conecta directamente al raspberry 3.

Módulo de banda ancha móvil

Es un módulo USB que permite la transmisión de datos de manera remota, de tal manera que sea posible monitorear el nivel de oxígeno disuelto de manera remota, y de ser necesario activar o desactivar la bomba desde cualquier lugar con acceso a internet.

Metodología a desarrollar

Una vez instalado el OS en la raspberry pi 3 (ver apartado 3), se montan el módulo de expansión y el sensor de oxígeno disuelto (esto con el raspberry apagado). Al iniciar Raspbian, se busca el compilador Python, si es necesario se instala (Ver apartado 5). Se activa el bus I²C (ver apartado 6). En un editor de textos (Word, block de notas o editor de textos de Python) se copia el código fuente del apartado 7 (es importante copiar exactamente igual ya que de otra forma pudiera generar errores), se guarda con el nombre *oxigenador.py*.

Se requiere que este programa se ejecute de manera automática al iniciar la raspberry pi 3, por lo que se deberá seguir las instrucciones del apartado 8.

En este punto el proceso ya está automatizado, ahora se debe instalar el elemento de energía sustentable como lo indica la figura 2. Lo más cercano al estanque ya que la bomba tiene que estar conectado a este, y deberá estar sumergida en el estanque (3 mts. max, utilizar cable cal. 8AWG). El raspberry pi 3 deberá estar montado en su base fuera del agua y lo más cercano al elemento de energía sustentable. Al montar correctamente el sistema de oxigenación se debe formar una fuente de agua. Esta fuente deberá activarse o desactivarse según las necesidades del estanque. Si la batería no tiene carga, deben bastar un par de horas de sol para que empiece a funcionar el sistema

Este equipo se probó en conjunto a 2 estanque más durante 3 meses. Uno patrón donde se utilizó el método de oxigenación convencional (abrir y cerrar compuertas para la entrada y salida de agua), y otro en donde el sistema de oxigenación de agua fue un aireador de paletas que necesita de un tendido eléctrico para funcionar. En estos dos casos se requirió de personal para monitorear el nivel de oxígeno disuelto en el estanque, esta medida se realizó con un medidor portátil do veces por día, mañana y tarde como lo recomienda el manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo de camarón. La medición de oxígeno disuelto con el sistema de oxigenación fue instantánea.

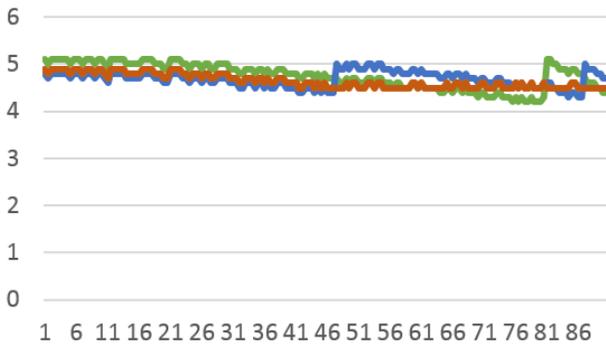
Se utilizó tilapia para hacer prueba, ya que la inversión es mucho menor comparada con la inversión del camarón, además de haber veda de camarón entre el 1 de mayo y el 15 de agosto de 2017. La tilapia crece y se desarrolla en parámetros que coinciden con los del camarón blanco.

Antes de iniciar se vaciaron los estanques y se limpiaron, quedando libre de fitoplancton que pudieran cambiar el nivel de oxígeno disuelto del estanque.

La tasa de siembra en este sistema fue de 3,000 peces (alevín de aprox. 5 gramos).

Resultados

La gráfica 1 muestra los niveles de DO monitoreados en los 3 estanques. Línea verde DO en estanque patrón. Línea Azul DO en estanque con aireador. Línea guinda DO con sistema de oxigenación.



Gráfica 1 Niveles de DO en los estanques de prueba

En la gráfica 1 se puede observar que el patrón requirió únicamente de un recambio de agua que se dio cuando el nivel de DO llegó a los 4.4mg/l en el día 81. El estanque que utilizó aireadores de paleta tuvo que oxigenarse en dos ocasiones, cuando el nivel de DO llegó a los 4.4mg/l en el día 47, y a 4.3 en el día 86.

El estanque donde se probó el sistema de oxigenación, muestra al inicio el mismo comportamiento de consumo de DO pero una vez que llega a los 4.5mg/l de DO ya no permite que baje más (si subió), haciendo de este sistema el más estable en cuanto a niveles de DO.

Se observa que el nivel de DO se ve afectado más rápidamente conforme crece la tilapia, es decir se requieren recambios de agua más frecuentemente o poner en funcionamiento el aireador de paletas. En cuanto al sistema de oxigenación se hace evidente su constante funcionamiento.

Anexos

Apartado 1 Requerimientos de funcionamiento en granjas camaronícolas

El cultivo se lleva a cabo en estanques rústicos de tierra o forrados con geomembrana de alta densidad, conocida como liner, cuyas dimensiones pueden variar entre 0.2 hasta 10 ha. Tanques circulares de geomembrana. Estos están ubicados en lugares alejados de manchas urbanas o rurales que es donde se encuentra el agua con mejor calidad, por lo que no cuentan con línea eléctrica.

El Promedio de flujo de agua para el cultivo o la "Tasa de recambio de agua" (TRA, en %) depende del sistema utilizado: extensivo, 5 - 10%; semi-intensivo, 10 - 20%; intensivo, >20%.

La densidad de siembra para un sistema extensivo: 4 - 10 PL/m²; y para un sistema semi-intensivo: 10 - 30 PL/m²; intensivo: 60 - 300 PL/m²; hiper-intensivo: 300 - 450 PL/m². El porcentaje de sobrevivencia para un sistema Extensivo: 50%; para un sistema semi-intensivo e intensivo es de 75%, y para un sistema hiper-intensivo es de 80 a 85%.

| Parámetro | Min | Max | Promedio |
|-------------------------|-----|-----|----------|
| Temperatura (°C) | 20 | 35 | 28 |
| Salinidad (ups) | 5 | 40 | 35 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 4 | 10 | 6 |

Tabla 2 Parámetros Físicos del agua de cultivo de camarón

| Parámetro | Rango |
|-------------|----------------|
| PH | 7-9 |
| Nitrito | <0.1 mg/l |
| Nitrato | 0.4 0.8 mg/l |
| Amonio | 0.1 a 1 mg/l |
| Turbidez | 35 a 45 cm |
| Alcalinidad | 100 a 140 mg/l |

Tabla 3 Parámetros Químicos del agua de cultivo de camarón

Apartado 2 Principales enfermedades que afectan al camarón Blanco

Las enfermedades reportadas: Síndrome de Taura (TSV); Virus de la mancha blanca (WSSV); Virus de la cabeza amarilla (YHV); Baculovirus tetraédrica (Baculovirus penaei BP); Virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa (IHHNV); Litopenaeus vannamei nodavirus (LvNV); virus de la necrosis de la glándula digestiva (BMN); enfermedad viral del órgano linfóide del tipo parvovirus (LPVD) y enfermedad de la vacuolización del órgano linfóide (LOVD).

En el 2009, se detectó la presencia de la Mancha Blanca en el Estado de Tabasco, lo cual deja el precedente de la presencia del virus en el Golfo de México. Actualmente, el virus de la mancha blanca (WSSV), se presenta en los Estados de Sonora, Nayarit y Sinaloa, lo cual ha causado grandes pérdidas en la producción de camarón, como es el caso de Sonora en 2010 y 2011.

Apartado 3 Instalación del Raspbian OS en raspberry pi 3

Lo primero es descargar la imagen del OS requerido, en este caso Raspbian Jessie, Release 2017-03-02, se recomienda se realice esta descarga desde la página oficial www.raspberrypi.org, en la pestaña de DOWNLOADS. Se requiere una memoria microSD de al menos 4G de capacidad (libres).

La imagen se descarga en formato ZIP por lo que se recomienda el uso la aplicación 7-Zip (Windows), The unarchiver (Mac) o Unzip (Linux). Una vez descargada se extrae el archivo con extensión *img*.

Se requiere de un programa para instalar la imagen del OS en la memoria micro SD. El fabricante recomienda utilizar *Etcher* (funciona en win, mac y Linux). Este programa se puede descargar de manera gratuita desde <https://etcher.io/>.

Una vez descargado, se procede con la instalación de este último programa. Se inserta la memoria micro SD en la computadora donde se instaló el programa *Etcher*. Para instalar la imagen de ejecuta *Etcher* y desde esta aplicación se selecciona la imagen descargada con extensión *.img* y se selecciona la microSD que se insertó. Se da clic en “flash”, al finalizar la instalación se tiene listo el OS en la micro SD.

Ahora esta memoria se inserta en la raspberry pi 3 y se conectan los periféricos y por último la fuente. En este momento en el monitor conectado en la raspberry pi 3 se visualizará el sistema operativo raspbian.

Apartado 4 Activación del SSH en Raspbian

SSH™ (o Secure SHell) es un protocolo que facilita las comunicaciones seguras entre dos sistemas usando una arquitectura cliente/servidor y que permite a los usuarios conectarse a un host remotamente.

A diferencia de otros protocolos de comunicación remota tales como FTP o Telnet, SSH encripta la sesión de conexión, haciendo imposible que alguien pueda obtener contraseñas no encriptadas. Para su activación ejecute una terminal y siga los siguientes pasos:

```
sudo apt-get install ssh
```

Esto solo es necesario si no está instalado el servicio. Inicie el servicio con el siguiente comando:

```
sudo /etc/init.d/ssh start
sudo /etc/init.d/ssh start
```

Y para que se ejecute automáticamente al iniciar el Raspberry Pi, ingrese el siguiente código:

```
sudo update-rc.d ssh defaults
```

Lo siguiente es conocer la dirección IP del raspberrypi. En una terminal se escribe lo siguiente:

```
sudo ifconfig
```

Ahora aparece una serie de datos, en el campo wlan0 (en caso de tener una red inalámbrica) o eth0 (en caso de ser por cable Ethernet), veremos que aparece un campo llamado inet addr:XXX.XXX.X.X, siendo X dígitos numéricos. Por ejemplo, 192.168.1.3 sería una hipotética dirección IP. Anótala puesto que te hará falta para pasos posteriores.

IP Config

Una vez instalada, en la parte inferior de la aplicación aparece un campo así:

```
pi@raspberrypi:~$
```

Luego pedirá el password o contraseña de nuestra sesión de Raspbian

```
Login: pi
```

```
Pass: raspberry
```

```
Listo
```

Apartado 5 Instalar Python en Raspbian

Este paso solo será necesario si no se utiliza raspbian OS o raspbian no trae instalado Python instalado o le falta alguna librería.

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install python3-picamera
```

Si se requiere desinstalar, utilicé el siguiente comando:

```
sudo apt-get remove python3-picamera ó
sudo apt-get purge python3-picamera
```

Apartado 6.- Bus I²C

El I²C-bus es un popular y potente bus utilizado para la comunicación entre un maestro (o varios maestros) y uno o varios dispositivos esclavos. La figura 3 ilustra cómo diferentes periféricos pueden compartir un bus que está conectado a un procesador a través de sólo 2 hilos, que es uno de los mayores beneficios que el bus I²C puede dar cuando se compara con otras interfaces.

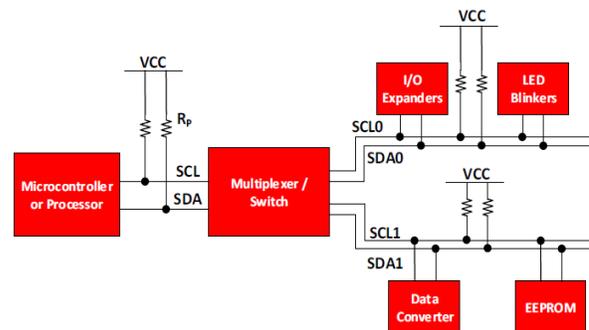


Figura 3 Ejemplo de conexión Bus I²C

Para activar el I²C en el raspberrypi 3 se ejecuta en la terminal el siguiente comando

```
sudo raspi-config
```

Lo cual abrirá un menú en el que se debe seleccionar la opción:

```
P5 I2C    Enable/Disable automatic loading
```

Se reinicia el raspberrypi 3 y en la terminal se ejecutan los siguientes comandos:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
```

Y es necesario instalar I2C tools con el siguiente comando desde la terminal:

```
sudo apt-get install python-smbus
sudo apt-get install i2c-tools
```

Y se reinicia nuevamente la raspberry pi 3 Para verificar que está funcionando correctamente el bus I²C se ejecuta en la terminal el siguiente comando (con el sensor DO conectado):

```
sudo i2cdetect -y 1
```

Si funciona correctamente, en la pantalla se visualizará una tabla con todos los dispositivos I²C conectados a la raspberry pi 3 (solo uno en este caso).

Apartado 7 Código fuente

El código fuente son las instrucciones que el raspberry pi 3 debe realizar. En este caso las instrucciones son leer el sensor de oxígeno disuelto (bus I²C), comparar el dato obtenido con los valores de 4 a 10 mg/l que requiere el camarón (tabla 2), sin embargo para no poner en riesgo la biomasa, se dejará un rango de 4.5 a 10 mg/l. Además, con la activación de SSH, se puede conectar de manera remota desde cual quiere Smartphone y monitorear y controlar de manera remota el sistema.

El código fuentes es:

```
#!/usr/bin/python

import io      # used to create file streams
import fcntl  # used to access I2C parameters like
addresses

import time   # used for sleep delay and timestamps
import string # helps parse strings

class AtlasI2C:
```

```
    long_timeout = 1.5 # the timeout
needed to query readings and calibrations
    short_timeout = .5 # timeout for regular
commands
    default_bus = 1 # the default bus for
I2C on the newer Raspberry Pis, certain older boards
use bus 0
    default_address = 98 # the default address
for the sensor
    current_addr = default_address

    def __init__(self, address=default_address,
bus=default_bus):
        # open two file streams, one for reading
and one for writing
        # the specific I2C channel is selected
with bus
        # it is usually 1, except for older
revisions where its 0
        # wb and rb indicate binary read and
write
        self.file_read = io.open("/dev/i2c-
"+str(bus), "rb", buffering=0)
        self.file_write = io.open("/dev/i2c-
"+str(bus), "wb", buffering=0)

        # initializes I2C to either a user
specified or default address
        self.set_i2c_address(address)

    def set_i2c_address(self, addr):
        # set the I2C communications to the
slave specified by the address
        # The commands for I2C dev using the
ioctl functions are specified in
        # the i2c-dev.h file from i2c-tools
        I2C_SLAVE = 0x703
        fcntl.ioctl(self.file_read, I2C_SLAVE,
addr)
        fcntl.ioctl(self.file_write, I2C_SLAVE,
addr)
        self.current_addr = addr

    def write(self, cmd):
        # appends the null character and sends
the string over I2C
        cmd += "\00"
        self.file_write.write(cmd)

    def read(self, num_of_bytes=31):
```

```

        # reads a specified number of bytes
from I2C, then parses and displays the result
        res = self.file_read.read(num_of_bytes)
# read from the board
        response = filter(lambda x: x != '\x00',
res) # remove the null characters to get the response
        if ord(response[0]) == 1: # if the
response isn't an error
            # change MSB to 0 for all
received characters except the first and get a list of
characters
            char_list = map(lambda x:
chr(ord(x) & ~0x80), list(response[1:]))
            # NOTE: having to change the
MSB to 0 is a glitch in the raspberry pi, and you
shouldn't have to do this!
            return "Command succeeded " +
".join(char_list) # convert the char list to a string
and returns it
        else:
            return "Error " +
str(ord(response[0]))

def query(self, string):
    # write a command to the board, wait
the correct timeout, and read the response
    self.write(string)

    # the read and calibration commands
require a longer timeout
    if((string.upper().startswith("R")) or
(string.upper().startswith("CAL"))):
        time.sleep(self.long_timeout)
    elif string.upper().startswith("SLEEP"):
        return "sleep mode"
    else:
        time.sleep(self.short_timeout)

    return self.read()

def close(self):
    self.file_read.close()
    self.file_write.close()

def list_i2c_devices(self):
    prev_addr = self.current_addr # save the
current address so we can restore it after
    i2c_devices = []
    for i in range (0,128):

```

```

        try:
            self.set_i2c_address(i)
            self.read()
            i2c_devices.append(i)
        except IOError:
            pass
        self.set_i2c_address(prev_addr) #
restore the address we were using
    return i2c_devices

def main():
    device = AtlasI2C() # creates the I2C
port object, specify the address or bus if necessary

    print(">>> Atlas Scientific sample code")
    print(">>> Any commands entered are passed
to the board via I2C except:")
    print(">>> List_addr lists the available I2C
addresses.")
    print(">>> Address,xx changes the I2C
address the Raspberry Pi communicates with.")
    print(">>> Poll,xx.x command continuously
polls the board every xx.x seconds")
    print(" where xx.x is longer than the %0.2f
second timeout." % AtlasI2C.long_timeout)
    print(">>> Pressing ctrl-c will stop the polling")

    # main loop
    while True:
        input = raw_input("Enter command: ")

        if
input.upper().startswith("LIST_ADDR"):
            devices =
device.list_i2c_devices()
            for i in range(len (devices)):
                print devices[i]

        # address command lets you change
which address the Raspberry Pi will poll
        elif
input.upper().startswith("ADDRESS"):
            addr = int(string.split(input,
');')[1])
            device.set_i2c_address(addr)
            print("I2C address set to " +
str(addr))

        # continuous polling command
automatically polls the board
        elif input.upper().startswith("POLL"):

```

```

        delaytime =
float(string.split(input, ',')[1])

        # check for polling time being too
short, change it to the minimum timeout if too short
        if delaytime <
AtlasI2C.long_timeout:
            print("Polling time is
shorter than timeout, setting polling time to %0.2f"
% AtlasI2C.long_timeout)
            delaytime =
AtlasI2C.long_timeout

        # get the information of the board
you're polling
        info =
string.split(device.query("I", ",")[1]
            print("Polling %s sensor every
%0.2f seconds, press ctrl-c to stop polling" % (info,
delaytime))
        try:
            while True:

                print(device.query("R"))

                time.sleep(delaytime -
AtlasI2C.long_timeout)
                except KeyboardInterrupt:
                    # catches the ctrl-c command, which breaks
the loop above
                    print("Continuous polling
stopped")

                    # if not a special keyword, pass
commands straight to board
                    else:
                        if len(input) == 0:
                            print "Please input valid
command."
                        else:
                            try:

                                print(device.query(input))
                                except IOError:
                                    print("Query failed
\n - Address may be invalid, use List_addr command
to see available addresses")

if __name__ == '__main__':
    main()

```

Apartado 8 Como ejecutar un programa desde el inicio des raspbian OS en Raspberry Pi 3

Hay que otorgar permisos de ejecución 0755 o rwxr-x al programa *oxigenador.py* desde la terminal. Hay que guardar el archivo *oxigenador.py* en */etc/init.d/*. Nuevamente se otorgan los mismos permisos: 0755 ó rwxr-x desde la terminal.

Se ejecuta el siguiente comando desde la terminal

```
sudo update-rc.d /etc/init.d/oxigenador.py
defaults
```

En caso de ser necesario se puede desinstalar con el siguiente comando:

```
sudo update-rc.d -f /etc/init.d/oxigenador.py
remove
```

Se reinicia la raspberry pi 3 y deberá ejecutarse el programa de manera automática.

Agradecimiento

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el tipo Superior, ya que financió el desarrollo de este proyecto mediante: Fortalecimiento de Cuerpos Académicos Convocatoria 2015, donde se aprobó el proyecto Sistema de Oxigenación de Granjas de Cultivo de Camarón Mediante la Electrificación Por Medio de Paneles Solares En Estanquería Rustica O Forrados Con Liner En el Estado de Tamaulipas con IDCA 21018, y clave UPALT-CA-7.

Conclusiones

Con base en los resultados, se puede concluir que el sistema de oxigenación proporciona niveles de DO estables aun cuando la biomasa en el estanque consume más rápidamente el DO en el agua.

Quedan algunas incógnitas como área máxima de oxigenación, tiempos de oxigenación por unidad de área, y un sistema de control con amortiguamiento, ya que el sistema se activaba y desactivaba continuamente. Esto debido a que estas incógnitas surgen a partir del desarrollo de este proyecto.

Referencias

- Atlas Scientific. (7/25/17). Dissolved Oxygen EZO circuit. Environmental Robotics, 3.7, 68
- Atlas scientific. (12/07/2017). Dissolved Oxigen probe. Environmental Robotics, 2.5, 7.
- Chávez, M. & Higareda, I. (2003). Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Camarón para la Inocuidad Alimentaria. Mazatlán, Sinaloa, México: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (31 de diciembre de 2015). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013, 1, 299. 28 de julio de 2017, De conapesca Base de datos.
- García, A & Calvario, O. (2008). Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. Mazatlán, Sinaloa, México: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
- Greg Loyse. (17/07/2017). Release. raspberry-pi Documentation, 0.0, 37.
- James Adams. (4/04/2016). Reduced Schematics. Raspberry Pi 3 Model B, 1.2, 1.
- Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. (9/09/2013). Actualización de la carta nacional acuícola. Diario Oficial de La federación, 68.
- Rojas, A., Haws, M. & Cabanillas, J. (2005). Buenas Prácticas de Manejo Para el Cultivo de Camarón. The David and Lucile Packard Foundation. United States Agency for International Development (Cooperative Agreement No. PCE-A-00-95- 0030-05).
- Raspberry Foundation. (2012). INSTALLATION. 9/01&2017, de Raspberry Foundation Sitio web: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/>
- Romero M. (2010). ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Málaga, España: CEAC.
- Saavedra M. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Managua, Nicaragua: university of hawaii Hilo
- The Raspberry Pi Foundation. (5/07/2017). RASPBIAN JESSIE WITH DESKTOP. 10/07/2017, de Oracle Binary Code Sitio web: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>
- Valdez J & Becker J. (2015). Understanding the I2C Bus. Dallas, Texas: Texas Instruments Incorporated.
- Whiteboxes labs. (2017). Tentacle Documentation. 30/06/2017, de Whitebox Labs Sitio web: <https://www.whiteboxes.ch/tentacle/#tentacle-t3>

Sistemas de recuperación de plásticos residuales

HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán†*, GARCÍA-GUENDULAIN, Crescencio, PONDIGO-SOSA, Selene y BAUTISTA-VARGAS, María Esther

Universidad Politécnica De Altamira

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar el diseño de un recuperador de plásticos residuales. Se utilizó un motor con caja de engranes, una broca de 1 1/6, un tubo de acero al carbón de 1 1/6, una boquilla de 1.75mm, 4 donas calefactoras de 1 1/6, así como 2 controladores de temperatura PID. Las donas calefactora se colocan en el tubo de acero al carbón para que alcance una 230°C mediante los controladores de temperatura, la boquilla se coloca en un extremo del tubo y por el otro lado se introduce la broca, se alimenta el tubo con plástico residual previamente tratado (limpio y molido), la broca al girar con la fuerza del motor, impulsa el plástico caliente a través del tubo y se obtiene como producto final (a través de la boquilla) un filamento de 1,75mm. La contribución de este proyecto es el filamento de plástico residual que posteriormente se puede utilizar en una impresora 3D. La contribución de este proyecto es el minimizar el impacto ambiental de los plásticos, y generando una alternativa de reciclaje y aprovechamiento de sus características al final de su ciclo de vida

Plástico residual, impresora 3D, filamento de 1.75

Abstract

The objective of this work is to present the design of a residual plastics recuperator. A motor with gearbox, 1 "1/6 drill bit, 1" 1/6 carbon steel tube, 1.75mm nozzle, 4 "1/6-inch heater, as well as 2 PID temperature controllers. The heating donors are placed in the carbon steel tube to reach 230 ° C by means of temperature controllers, the nozzle is placed on one end of the tube and on the other side the bit is inserted, the tube is fed with plastic (Clean and ground), the drill bit rotates with the force of the motor, drives the hot plastic through the tube and a filament of 1.75mm is obtained as the end product (through the nozzle). The contribution of this project is the residual plastic filamet that can later be used in a 3D printer. The contribution of this project is to minimize the environmental impact of plastics, and generating an alternative of recycling and taking advantage of its characteristics at the end of its life cycle.

Residual plastic, 3D printer, filament of 1.75

Citación: HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán, GARCÍA-GUENDULAIN, Crescencio, PONDIGO-SOSA, Selene y BAUTISTA-VARGAS, María Esther. Sistemas de recuperación de plásticos residuales. Revista de Tecnología e Innovación 2017, 4-12: 40-48.

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: adan.hernandez@upalt.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La generación creciente de plásticos residuales, es un problema de salud. INEGI, en 2010, reportó que en Tamaulipas el promedio diario de residuos urbanos recolectados fue de 3,174,870 kilogramos de los cuales 6.1% fueron plásticos. También informó que, del total, Altamira generó 97,000 kg, Cd. Madero 100,000Kg y Tampico 420,000 Kg dando un total para la zona conurbada de 61,700 kilogramos de los cuales 37,637 Kg son plástico. El 99 por ciento de la totalidad de plásticos se produce a partir de combustibles fósiles, lo que provoca una excesiva presión sobre las limitadas fuentes de energía no renovables. SEMARNAT reportó que el 4% del plástico residual en México ya es reciclado.

INEGI, en 2010, reportó que Tamaulipas que el promedio diario de residuos urbanos recolectados fue de 3,174,870 kilogramos de los cuales 6.1% fueron plásticos. También informó que, del total, Altamira generó 97,000 kg, Cd. Madero 100,000Kg y Tampico 420,000 Kg dando un total para la zona conurbada de 61 toneladas de los cuales 37,637 Kg son plástico. Dado que los plásticos tardan hasta 500 años en degradarse, estos impactan de forma directa en el medio ambiente y por tanto en la salud.

Por otro lado, las impresoras 3D están ganando popularidad como dispositivos de fabricación a pequeña escala. El desarrollo de las versiones de escritorio de bajo costo ha hecho que esta tecnología sea ampliamente accesible para su uso en el hogar y la oficina. La mayoría de las impresoras 3D disponibles comercialmente utilizan una técnica conocida como fabricación por deposición de polímero fundido (MPD por sus siglas en inglés), según la cual un filamento sólido termoplástico es forzado a través de una boquilla de extrusión, controlado por computadora.

Una de las aplicaciones más importantes es la fabricación de férulas y prótesis, pero se puede imprimir cualquier diseño que se pueda realizar en programas de modelado en 3D. Esto hace necesario la utilización de plástico para la fabricación de cualquier prototipo en una impresora 3D.

Este proyecto tiene como objetivo presentar la implementación con piezas y equipo nacional del equipo extrusor diseñado por Dave Hakkens, en 2013 en su página web <https://preciousplastic.com>, además de generar una campaña de recolección de plásticos residuales, producir filamento para impresora 3D y con esto ayudar a disminuir el impacto a la salud y ambiental que tienen los plásticos residuales en el sur de Tamaulipas al convertir el plástico residual en productos útiles en vez de contaminar. La Universidad Politécnica de Altamira cuenta con el molino más común (vease figura 1) usado principalmente por recicladores medianos y peletiza (ver apartado 2 para encontrar la definición de Peletizar) diferentes tipos de plástico como el Tereftalato de polietileno (PET por sus siglas en inglés), cubetas, rejillas de refresco, entre muchos usos más.



Figura 1 Molino de PET de 20HP

HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán, GARCÍA-GUENDULAIN, Crescencio, PONDIGO-SOSA, Selene y BAUTISTA-VARGAS, María Esther. Sistemas de recuperación de plásticos residuales. Revista de Tecnología e Innovación 2017.

Se requiere de la tabla 1 para su implementación:

| Cant | Equipo/parte |
|------|---|
| 1 | Motor Baldor GM3303 1/2 Hp 208-230/460 Vca 88 Rpm 20:1 200 Lb-in |
| 1 | Controlador ABB ACS150 |
| 2 | Controlador de temperatura PID Inkbird Dual |
| 1 | Metro de tubo de acero al carbón de 1" cedula 40 |
| 2 | Donas calefactoras de 1" a 110Vca 300W |
| 2 | Donas calefactoras de 1 1/4" a 110Vca 300W |
| 2 | Relevadores de estado solido Voltaje de entrada de 3 a 32V Voltaje de salida de 24-380Vac |
| 1 | Mesa de trabajo |
| 9 | Metro de cable 12 AWG |
| 1 | Conector eléctrico para 220V bifasico |
| 4 | Metro de cable 14AWG |
| 2 | Sensor de temperatura tipo K |
| 1 | Boquilla extrusora de 1 1/4" |
| 1 | Broca Bosch ASHXB1017 Impact 1" |

Tabla 1 Material necesario para la implementación del sistema de recuperación de plásticos residuales

Motor Baldor GM3303

El sistema de recuperación de plásticos residuales requiere que el pelet pase a través de un tubo a 230°C para que lo convierta en un filamento. La fuerza de empuje es proporcionada por el motor. Se escogió el modelo de Baldor GM3303 ya que de los que se encontraba en el mercado, era el único que ofrecía un máximo de 87 RPM y como este sistema requiere tiempo para fundir el plástico, se requieren menos de 90 RPM para su correcto funcionamiento.

Este motor cuenta con dos configuraciones eléctricas, la figura 2 muestra el diagrama eléctrico que se utilizó para su conexión

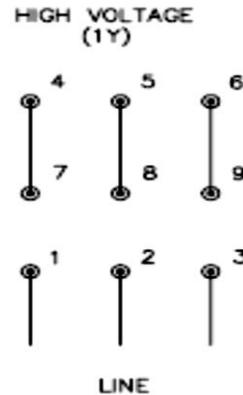


Figura 2 Conexión eléctrica del motor Baldor GM3303

Controlador ABB ACS150

Los laboratorios de la Universidad Politécnica de Altamira cuenta con contactos monofásico, bifásico y trifásicos. Sin embargo, se requiere que el sistema de recuperación de plásticos residuales tenga la capacidad de trabajar en cualquier contacto eléctrico sin que existan problemas de funcionamiento. Debido a esto se utilizó el Driver de ABB ACS150 ya que, tiene la capacidad para ser alimentado por una línea monofásica, bifásica o trifásica, sin importar cual se asu entrada puede controlar un motor trifásico como el Baldor GM3303, además puede variar la velocidad del Motor de 0 a 87 RPM.

Controlador de temperatura PID Inkbird Dual

El sistema requiere tener capacidad para trabajar a diferentes temperaturas de extracción, por lo que se requiere de un controlador de temperatura. Se eligió la marca Inkbird porque soporta sensores de temperatura K, S, Wre, T, E, J, B, N, CU50, PT100, tiene una precisión de 0.1°C, control PID. Existen varias configuraciones eléctricas con las que funciona el controlador de temperatura, la configuración utilizada para el sistema de recuperación de plásticos residuales es la de la figura 3.

Este sistema utiliza 2 controladores ya que cada controlador controla 2 donas calefactoras y el sistemas recuperador de plástico residual utiliza 4.

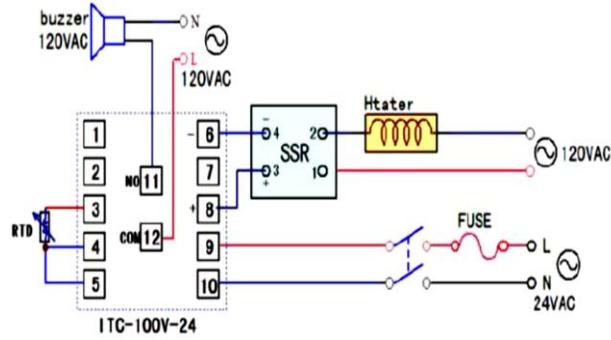


Figura 3 Diagrama de conexión del Controlador de temperatura

La configuración del controlador se puede ver en el apartado 3.

Tubo de acero al carbón

En este se fundirá el pelet, es por esto que no se debe utilizar un tubo galvanizado, o de pared delgada. En un extremo se le debe hacer cuerda con una tarraja de roscar. Esta rosca tiene la finalidad de proporcionar facilidad para cambiar de boquilla extrusora en caso de que sea necesario.

En el otro extremo se debe hacer un corte que permita introducir los pelets dentro del tubo. Arriba del corte se debe colocar una tolva para pacilitar intorucir los pelets, a este tubo le llamaremos "cañon". Las figuras 4, 5 y 6 muestran las medidas del tubo y tolva.

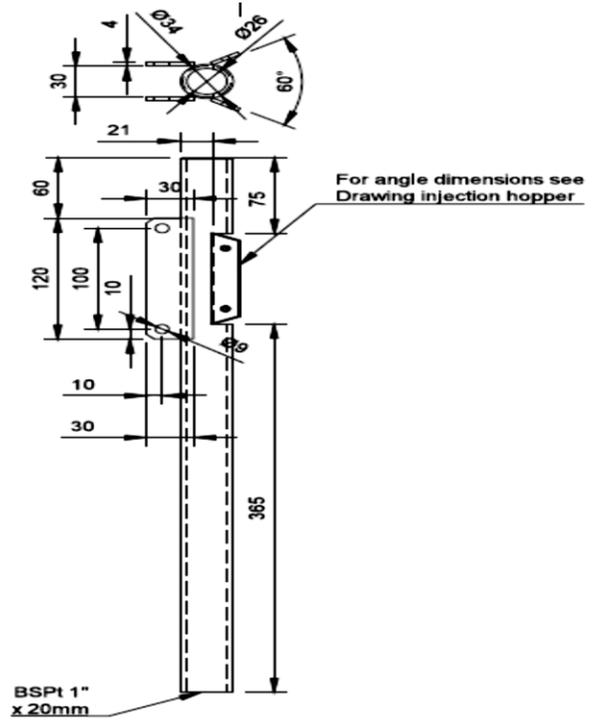


Figura 4 Dibujo esquemático del cañon. Medida en mm

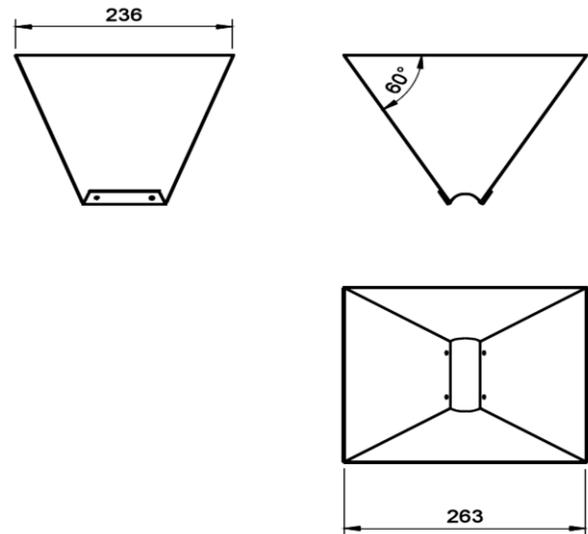


Figura 5 Dibujo esquemático de la tolva. Medida en mm

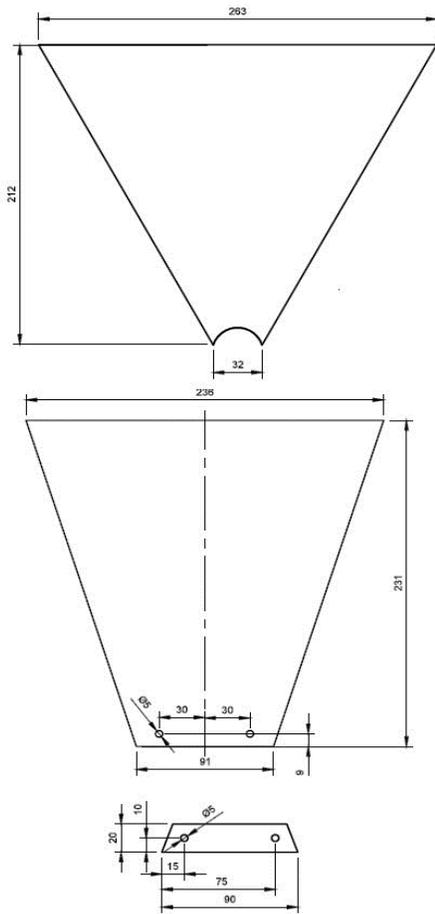


Figura 6 Dibujo esquemático de las hojas de la tolva y sujetadores del cañon. Medidas en mm

El cañon debe estar sujeto a la mesa de trabajo. Para esto se debe fabricar una base para el cañon. La figura 7, 8 9 y 10 muestran las medidas de esta base.

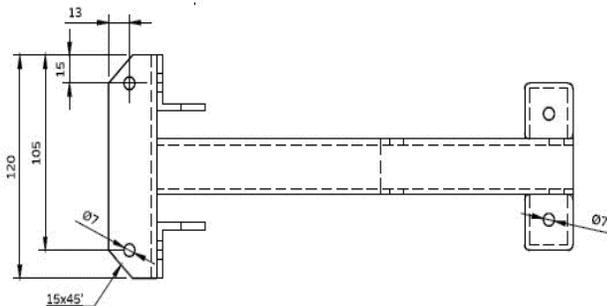


Figura 7 Dibujo esquemático de la Base del cañon vista superior. Medida en mm

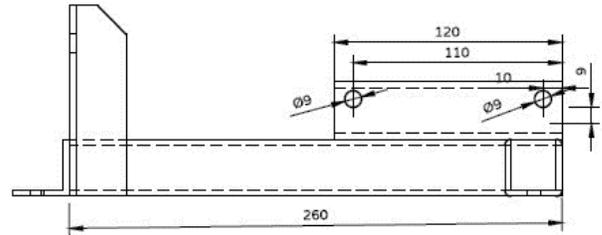


Figura 8 Dibujo esquemático de la base del cañon vista lateral 1. Medida en mm

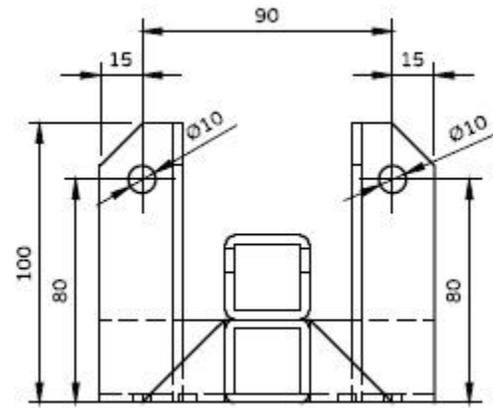


Figura 9 Dibujo esquemático de la base del cañon vista lateral 2. Medida en mm.

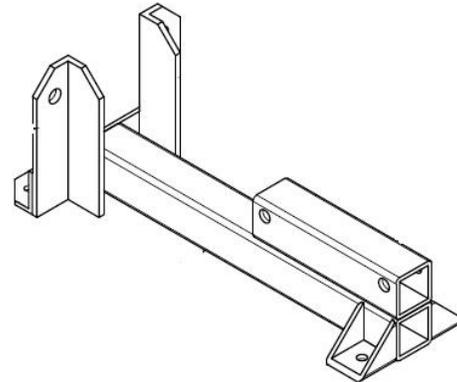


Figura 10 Figura de la base del cañon terminación final

Donas calefactoras

Estos elementos son los encargados de llevar el cañon a las temperaturas necesarias de fusión del pelet. Tres de ellas son lococadas a lo largo del cañon, y la cuarta es colocada en la boquilla para garantizar una temperatura homogénea a lo largo del cañon.

Relevadores de estado solido

Estos elementos son los acopladores entre los controladores de temperatura y las donas calefacturas. Su conexión eléctrica se muestra en la figura 3.

Mesa de trabajo

La mesa de trabajo propuesta por Dave Hakkenes se muestra en la figura 11. Sin embargo, se puede utilizar cualquiera que permita fijar a ella todos los elementos del sistema de recuperación de plásticos residuales.

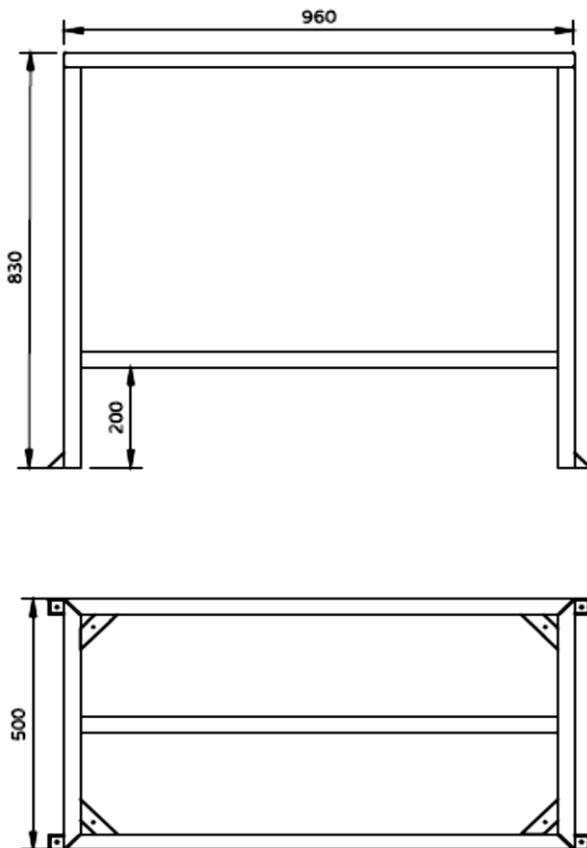


Figura 11 Dibujo esquemático de la mesa de trabajo. Medidas en mm

Sensor de temperatura tipo K

Los sensores de temperatura se eligieron tipo K, ya que, tienen un rango de medición de temperatura de -50°C hasta más de 1000°C .

Boquilla extrusora de 1 1/4"

Este elemento da la forma final del filamento. Debido a que la impresora 3D con la que cuenta la universidad utiliza un filamento de 1.75mm, se requiere que la boquilla tenga un orificio de 1.75mm. Esta boquilla se mandó al torno con las especificaciones de la figura 12.

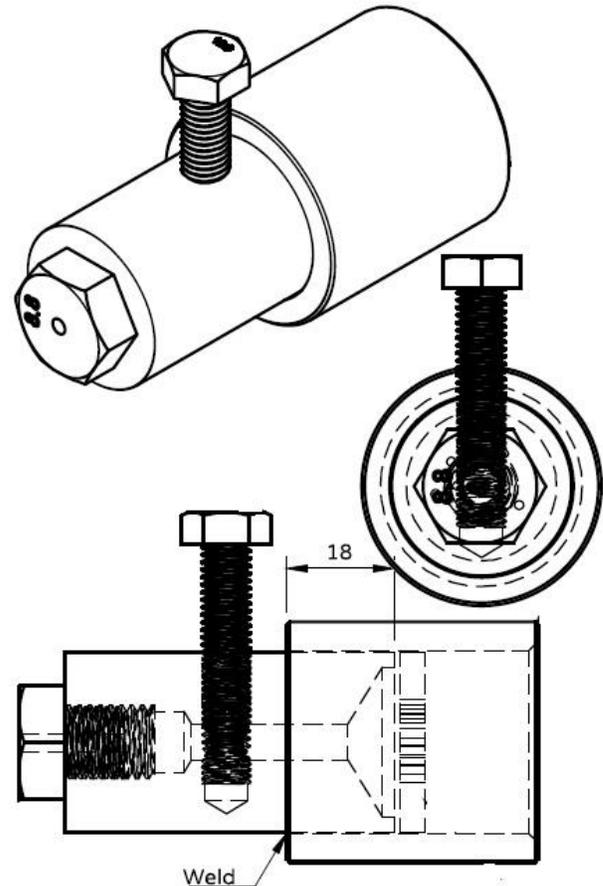


Figura 12 Dibujo esquemático de la boquilla extrusora

Broca Bosch ASHXB1017 Impact 1”

Este elemento se coloca dentro del cañon, y se encarga de transportar el pelet fundido a través del cañon para hacer la extracción. Esta broca esta acoplada al motor. Se debe girar a la izquierda para que impulse hacia enfrente el pelet fundido, de otra manera saldrá por el acoplamiento del motor.

Metodología a desarrollar

Se acoplan los elementos mecánicos del sistema de recuperación de plásticos residuales. Se pueden utilizar los videos en la pagina web de Dave Hakkens <https://preciousplastic.com/en/videos/build/extrusion/> para su correcto ensamble. La conexión eléctrica se muestra en la figura 13

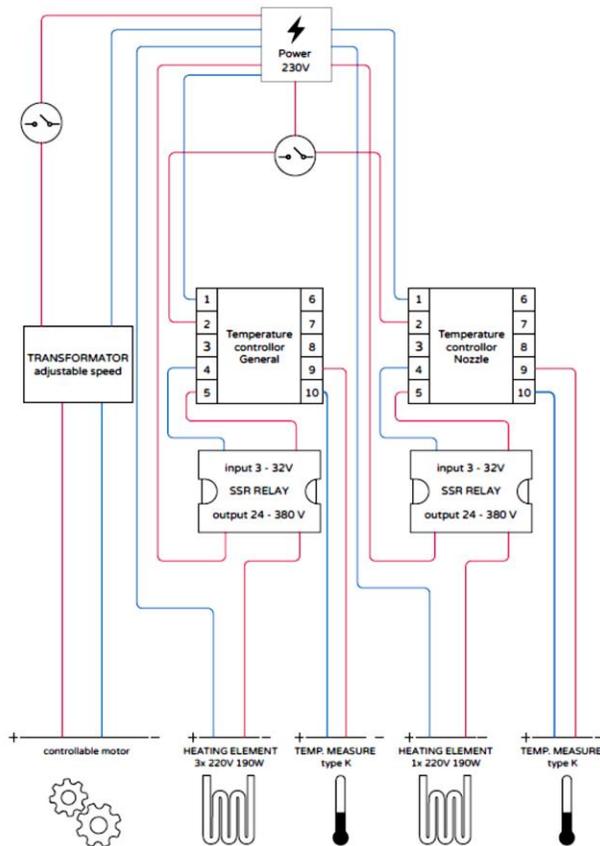


Figura 13 Diagrama de conexión eléctrica del sistema de recuperación de plásticos residuales

Se colecta plástico residual, al inicio se utilizó únicamente polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés) del tipo 2, que a la vista parece ofrecer las propiedades mecánicas que requiere el filamento de la impresora 3D. El plástico residual recolectado recibe un tratamiento de limpieza y se le retiran etiquetas. Se aplastan y se introducen al molino de plástico. Los pellets obtenidos en el molino se recolectan y se introducen en la tolva del sistema de recuperación de plástico residual. Sin que se ponga en funcionamiento el motor se pone a calentar el cañon durante 10 min a 137°C. Al pasar los 10 min se hace funcionar el motor a 45 RPM. Al empezar a salir el filamento se recolecta en rollos para utilizarse en la impresora 3D

Anexos

Apartado 1 Los plásticos

Son materiales formados por moléculas muy grandes de cadenas de átomos de carbono e hidrógeno (polímeros). En la actualidad es difícil prescindir de los plásticos, no sólo por su utilidad sino también por la importancia económica que tienen. Esto se refleja en los índices de crecimiento de esta industria que, desde principios del siglo pasado, supera a casi todas las actividades industriales.

Los plásticos se utilizan para embalajes, para envasar, conservar y distribuir alimentos, medicamentos, bebidas, agua, artículos de limpieza, de tocador, cosmetología y un gran número de otros productos que pueden llegar a la población en forma segura, higiénica y práctica. Su uso cada vez más creciente se debe a las características de los plásticos. Debido a que son livianos, resultan de fácil manipulación y optimización de costos. Los envases plásticos son capaces de adoptar diferentes formas como bolsas, botellas, frascos, películas finas y tuberías, entre otros.

Son aislantes térmicos y eléctricos, resisten a la corrosión y otros factores químicos y son fáciles de manejar. Los plásticos tienen afinidad entre sí y con otros materiales, admitiendo diversas combinaciones (por ejemplo, los envases multicapa).

En función de las propiedades de los plásticos, la estructura del mercado ha crecido considerablemente. Para el año 2000, la producción mundial alcanzó los 160 millones de toneladas y en México para el año 2006, superó los 4 millones de toneladas. Se calcula que anualmente cada persona en México consume 49 kg de plásticos.

Existen ya diferentes métodos para el reciclado de los plásticos. La selección de alguno de ellos depende del material a reciclar y el producto que se desea obtener. En México, no existe la suficiente infraestructura para el reciclaje de los residuos de plástico, por lo que se exportan a otros países como China y la India, donde la infraestructura es mayor.

Existe una gran variedad de productos que se obtienen a partir de los procesos de reciclaje: desde envases para bebidas (con un proceso de producción más estricto), hasta artículos que se utilizan cotidianamente en el hogar. Este proceso de reciclaje requiere de inicio un molino para PET.

Apartado 2 Peletizar

Peletizar es una palabra en español que viene del inglés Pellet que significa bolita, por lo general es un término que se utiliza para referirse a partículas suaves y pequeñas de materiales plásticos normalmente formadas por la extrusión del material plástico fundido en contacto, o por corte del material plástico en partículas más pequeñas.

La traducción de Pelletizing sería “bolitizar” o hacer bolitas, verbo que no existe en español, por lo que se utiliza peletizar cuando se requiere hacer referencia que se harán bolitas o partículas más pequeñas a partir de otro plástico.

Apartado 3 Configuración del controlador de carga

Después de que el controlador sea energizado y realice una auto inspección presione la tecla SET durante 3 segundos para entrar en el modo de configuración de parámetros. Utilice las teclas subir y bajar para cambiar los valores, presione la tecla SET para confirmar el valor y seguir con la siguiente función. Los parámetros que el sistema de recuperación de plásticos residuales requieren ser programados son los de la tabla 2.

| Par | Definición | Rango |
|------|-----------------------|------------------|
| HiAL | Valor alarma superior | -1999 a +9999 °C |
| LoAL | Valor alarma inferior | -1999 a +9999 °C |
| Ctrl | Modo de control | 3 PID |
| run | Automatico 1/Manual 2 | 2 |

Tabla 2 Parámetros a configurar en el controlador de carga

Resultados

Se obtuvo filamento de plástico residual. A pesar de que el orificio de la boquilla es de 1.75mm el filamento obtenido tiene un diámetro de aproximadamente 2.3 mm. Después de varias pruebas, al aumentar la velocidad en el motor se obtuvo un filamento de 1.75mm sin embargo cambió sus propiedades mecánicas.

Agradecimiento

A la rectoría de la Universidad Politécnica de Altamira, que a través de Secretaría Académica proporcionó los recursos económicos necesarios para la construcción de este equipo.

Conclusiones

Se obtuvo un equipo funcional el cual todavía requiere de mucho trabajo para obtener materiales con las propiedades mecánicas deseadas, ajustando parámetros como temperatura, velocidad y mezcla de diferentes tipos de plásticos. Sin embargo, queda demostrado que este equipo es una herramienta funcional para el reciclaje de plásticos residuales, contribuyendo de esta forma a la producción de materias sostenibles y sustentables que benefician al sur de Tamaulipas.

Referencias

- ABB Oy. (2011-01-01). ACS150 drives user manual. ABB component drives, C, 170
- Baldor. (2/08/201). Paquete de información de producto GM3303 MOTORREDUCTOR AC 1/2 HP 88 RPM. Baldor Reliance, F, 10pp.
- B. Bumgarner. (2013). Getting started with a 3D printer. Make (2013), 1, 12-16 pp.
- Derraik, J. G. B. 2002, "The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review." Marine Pollution Bulletin, 44, 842–85.
- Dave Hakkens. (2013). Dave Hakkens. (2013). Build an extrusion machine. 30/09/2015, de Dave Hakkens Sitio web: Build an extrusion machine. 30/06/2015, de Dave Hakkens Sitio web:<https://preciousplastic.com/en/videos/build/extrusion/>
- Hitachi Hi-Tech. (26/02/1986). ABB Oy. (2011-01-01). ACS150 drives user manual. ABB component drives, C, 170. Hitachi Hi-Tech Science corporation, 1, p1.
- INEGI. (2011). Promedio diario de residuos urbanos recolectados por entidad federativa 2010. Censo 2010, 1, RSU05. 25/10/2016, De Residuos solidos urbanos Base de datos.
- Ortiz M. (27/05/2013). El impacto de los plásticos en el ambiente. La jornada ecologica, Especial, 1.INKBIRD. (2015-6-30). ITC-100 PID Temperature Controller User Manual. INKBRID, 1, 9.
- Plastics Europe, 2015 "Plastics - the Facts 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data"
- Steven L. McCoskey, Stephen R. Hooker, Don W. Jarrell, Marc S. Somers, Stephen W. Coe, Menos. (1991). Pourable particles of normally tacky plastic materials and process for their preparation. Patente: USA.
- Van Seville, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B., van Franeker, J., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F. & Law, K., 2015, "A global inventory of small floating plastic debris." Environmental Research Letters 10, 124006

Análisis bi-dimensional de una viga, por el método de aproximaciones planas, usando ANSYS

HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo*†, CANO-CORONA, Ariana, MENDEZ-ZAPATA, Elías y PEREZ-SERRANO, Froylan

Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Politécnica de Tlaxcala

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

El propósito de este trabajo es mostrar la forma en que afectan los supuestos comportamientos planos en los resultados de análisis en la flexión de una viga simple. El esfuerzo plano y su deformación generan límites en el comportamiento tridimensional real, por lo tanto los análisis por el método de aproximaciones planas, representan ventajas importantes ya que al usar solamente una pequeña porción del elemento real se pueden generalizar los resultados, obteniendo beneficios a nivel teórico y computacional. En el desarrollo del trabajo, se muestran una serie de resultados utilizando el software ANSYS que de no ser interpretados de forma adecuada, pueden llevar a los estudiantes a "converger" en resultados incorrectos o inexactos en un alto porcentaje. Por lo tanto, al final del trabajo se muestra que en ocasiones las teorías simplificadas suelen ser limitantes, sin embargo si las geometrías se presentan de forma clara y sin ambigüedades se puede llevar a cabo un análisis en dos dimensiones, que de forma generalizada se pueda aplicar para el objeto (en este caso la viga) de forma real y completa.

Análisis, ANSYS, aproximaciones planas

Abstract

The purpose of this paper is to showcase how the manner in which assumptions of planar behavior affect the results of analyses in simple beam bending. The plane stress and plane strain assumptions lead to bounds on the actual three-dimensional behavior yet this deceptively simple analysis to perform is not so readily validated by beginners who are not well-versed in when the planar approximations are reasonable to apply. In the development of the work, a series of results are shown using ANSYS software that, if not interpreted properly, can lead students to "converge" on incorrect or incorrect results in a high percentage. Therefore, at the end of the work it is shown that sometimes simplified theories are usually limiting, however if the geometries are presented in a clear and unambiguous way can be carried out a two-dimensional analysis, which can be generalized Apply to the object (in this case the beam) in a real and complete way.

Analysis, Ansys, Planar approximations

Citación: HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, MENDEZ-ZAPATA, Elías y PEREZ-SERRANO, Froylan. Análisis bi-dimensional de una viga, por el método de aproximaciones planas, usando ANSYS. Revista de Tecnología e Innovación 2017, 4-12: 49-54.

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: rodrigo.hernandez@uptlax.edu.mx,)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El propósito de este trabajo es mostrar de que forma afectan los supuestos comportamientos planos en los resultados de análisis en la flexión de una viga simple. El esfuerzo plano y las suposiciones de la deformación plana conducen a los límites en el comportamiento tridimensional real sin embargo este análisis puede ser no tan claro y no es tan fácil de interpretar por quienes no saben aplicar las aproximaciones planas.

Este análisis culmina en una serie de resultados que pueden llevar a un estudiante a "converger" en un resultado sustancialmente incorrecto que es inexacto en más del 100%. El punto de este trabajo es hacer que se convenzan de que las teorías simplificadas suelen ser limitantes y que las geometrías que no se prestan de forma clara y sin ambigüedad prestan obviamente un límite.

Además, la sensación intuitiva para hacer y aplicar estas simplificaciones a menudo elude a los principiantes. De esta manera, este tutorial es un ejercicio de precaución en la interpretación de los resultados.

Análisis de la viga

Se analizara una viga simplemente apoyada de sección transversal rectangular tiene una carga aplicada en un punto elegido arbitrariamente a lo largo de su sección transversal.

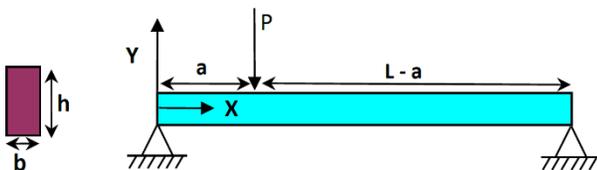


Figura 1 Viga de sección transversal rectangular

El material es un acero estructural con un Modulo de Young $E = 2.9 \times 10^7$ psi, y una relación de Poisson de 0.3. Utilizando Ansys encontrar la solución por Elementos Finitos para deflexión máxima no dimensionalizada definida como:

$$\frac{v_{max}}{PL^3/(EI)} \quad (1)$$

Pre-análisis de la viga

Es recomendable realizar algunas estimaciones de la espalda de la envolvente de los resultados esperados antes de lanzar en su solución informática. Aquí esto se puede hacer usando la teoría de Euler-Bernoulli. Calcular la flexión máxima no dimensionalizada esperada a partir de la teoría E-B.

$$\text{Momento Máximo} = \frac{P}{L}(L-a) \quad x = a \quad (2)$$

$$\text{Deflexión máxima transversal} = \frac{-Pa}{3EI} \left(\frac{L^2 - a^2}{3} \right)^{3/2} \quad x = L - \sqrt{\frac{L^2 - a^2}{3}} \quad (3)$$

Posteriormente vamos a comparar estos resultados con ANSYS. Además, se enumera los supuestos incluidos en el resultado de la teoría. Estos serán importantes a considerar cuando criticamos la comparación entre la teoría de la viga y los resultados de elementos finitos más adelante.

Geometría de la viga

Primero crearemos un croquis y luego un "solido de superficie" del croquis. El "solido de superficie" no es más que un área a la cual podemos enmarcar y aplicar condiciones de frontera.

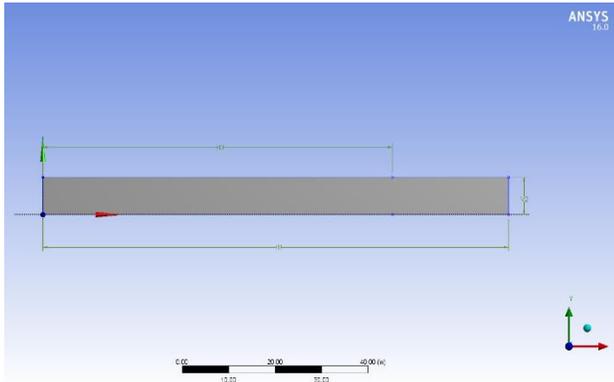


Figura 2 Restricciones y dimensiones de la viga

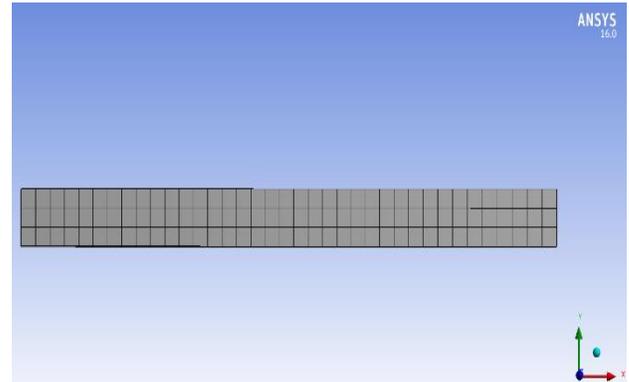


Figura 4 Mallado en la sección transversal

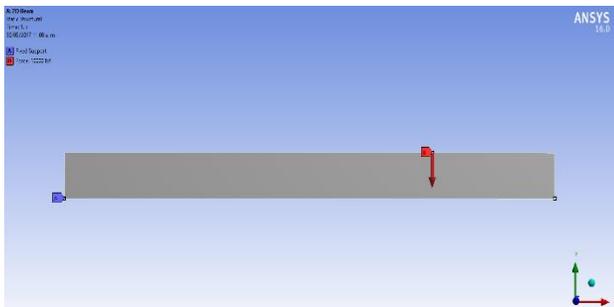


Figura 3 Soportes y cargas que actuarán sobre la viga

Mallado de la viga

Para este ejemplo, utilizaremos elementos "Q4", es decir, elementos cuadriláteros con 4 nodos para cada elemento, uno en cada esquina. Resulta que los elementos cuadriláteros en la malla obtenida anteriormente tienen nodos de lado medio además de los nodos de esquina. Así que estos elementos son elementos "Q8" con un total de 8 nodos para cada elemento.

En el procedimiento, eliminamos los nodos del lado medio para obtener elementos "Q4" (en la biblioteca de elementos ANSYS, estos se denominan PLANO 182). Tenga en cuenta que los nodos del lado medio proporcionan mayor precisión, por lo que en el mundo real, no se soltarían los nodos del lado medio a menos que tuviera una razón convincente para hacerlo. Aquí lo hacemos con fines de aprendizaje.

Configuración del elemento

Aquí se especifica las condiciones físicas del problema: aproximación del esfuerzo plano, propiedades del material (módulo de Young y relación de Poisson) y condiciones de contorno. Estos ajustes se introducen en la formulación del elemento al obtener la solución numérica posteriormente.

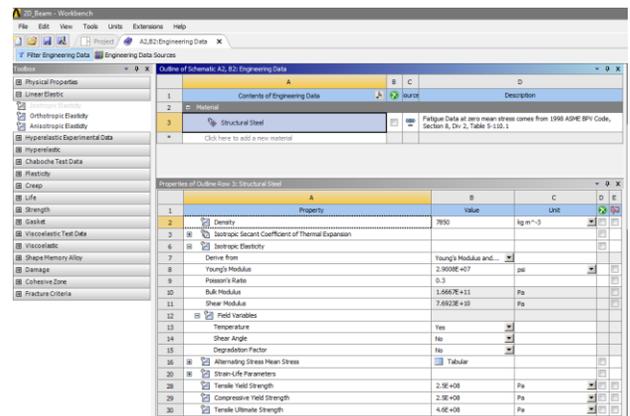


Figura 5 Configuración de las propiedades del elemento (propiedades mecánicas)

Solución numérica

A continuación se muestra la solución numérica donde el solver de ANSYS formará la matriz de rigidez para cada elemento, montará la matriz de rigidez global y la invertirá para obtener los desplazamientos nodales.

Figure 182.1: PLANE182 Geometry

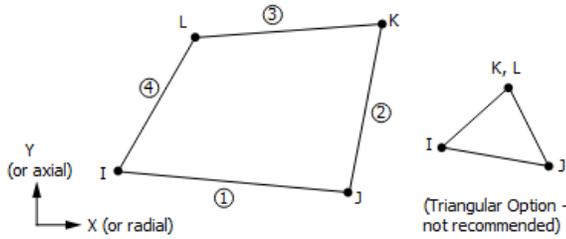


Figura 6 Caracterización de los nodos

Resultados

Ahora se muestra cómo trazar el croquis deformado y usarlo para comprobar si las condiciones de contorno (restricciones de desplazamiento y carga puntual) se han aplicado correctamente.

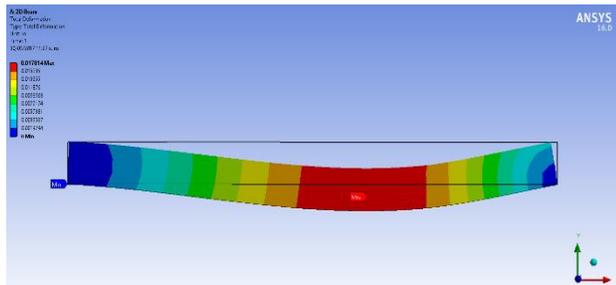
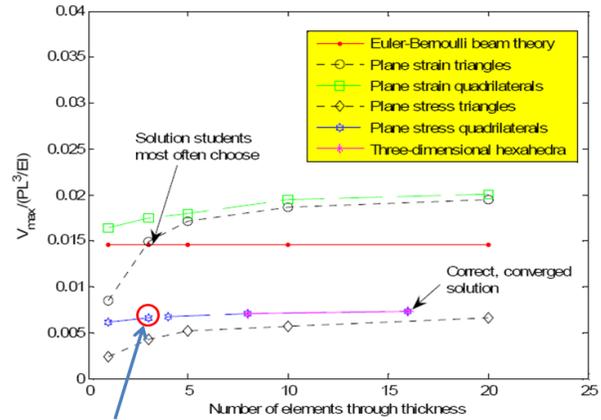


Figura 7 Deformación total del elemento

Como hemos visto, la deformación máxima es de 0.0178 ", a partir de lo cual podemos calcular la deformación máxima normalizada que, si se recuerda, se define como sigue:

$$\frac{v_{max}}{PL^3/(EI)} \quad (4)$$

La deformación máxima normalizada resulta ser 0,0066. Este resultado se compara con diversos métodos de análisis alternativos en 2D, 1D y 3D como se muestra en la siguiente figura.



2D Plane stress solution

Figura 8 Comparación del comportamiento del elemento

A continuación se muestra cómo recalcular los resultados en una malla refinada.

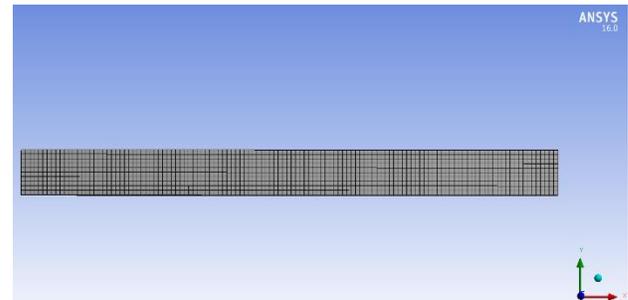


Figura 9 Re-configuración a un mallado mas fino

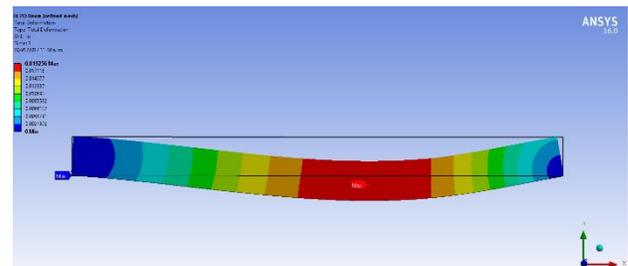


Figura 10 Deformación total del elemento después de la re-configuración del mallado

Agradecimiento

A la Universidad Politécnica de Tlaxcala, por las facilidades otorgadas para la realización del trabajo.

HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, MENDEZ-ZAPATA, Elías y PEREZ-SERRANO, Froylan. Análisis bi-dimensional de una viga, por el método de aproximaciones planas, usando ANSYS. Revista de Tecnología e Innovación 2017.

A los docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, que con sus vivencias y experiencias profesionales, nos motivan a ser mejores docentes cada día.

Conclusiones

La simulación de una viga se puede realizar utilizando una variedad de elementos: elementos de viga unidimensionales, triángulos de deformación planos, cuadriláteros de deformación plana, triángulos de esfuerzo plano, cuadriláteros de esfuerzo plano y elementos tridimensionales. Los resultados para la deformación máxima transversal se presentan en las imágenes. Todos los resultados se presentan en forma adimensional, normalizados por la deformación característica, definida en la sección donde se dan las especificaciones del problema.

De acuerdo con estos resultados, y aun creyendo que la teoría de Euler-Bernoulli para vigas es correcta, el analista vería que la máxima deflexión transversal convergente proyectada por las condiciones de tensión planas subestima la deformación proyectada por la teoría para vigas de Euler-Bernoulli en casi 50%. En comparación, la máxima deformación transversal convergente proyectada por las condiciones de deformación planas sobreestiman la predicción de la teoría de Euler-Bernoulli en un 40%.

El analista también se da cuenta de que los resultados convergentes de los elementos de cubicos tridimensionales parecen estar de acuerdo con los resultados del esfuerzo plano convergente, pero que un ejemplo de malla gruesa del modelo de cepa plana parece estar de acuerdo con el esperado Euler-Bernoulli Teoría de vigas.

Las consecuencias de tener este análisis equivocado, en este caso, puede ser de gran alcance. El analista que insiste en atenerse a la teoría vigas de Euler-Bernoulli no sólo persistirá con ese error, sino que como consecuencia podría asumir malos juicios, como creer, como es evidente en este caso, que una malla relativamente gruesa bajo deformación plana.

Referencias

Cano Corona A., Hernández Zempoaltecatl R. "Análisis de esfuerzos en ensamblajes mecánicos, utilizando ANSYS" *Congreso Internacional de Investigación de AcademiaJournals.com*, Tlaxcala, México 16 de Marzo de 2016.

Friedel Hartmann Casimir Katz. *Structural Analysis with Finite Elements*. Springer.

Gilbert Strang, George J. Fix. *An Analysis of the Finite Element Method*. Prentice-Hall, Inc.

G. R. Liu S. S. Quek. *The Finite Element Method: A Practical Course*. Butterworth-Heinemann An imprint of Elsevier Science Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP.

Jacob Fish, Ted Belytschko. *A First Course in Finite Elements*. JohnWiley & Sons, Ltd.

Kenneth H. Huebner, Earl A. Thornton. *The Finite Element Method for Engineers*. John Wiley & Sons.

Klaus-Jürgen Bathe. *Finite Element Procedures in engineering Analysis*. Prentice-Hall., Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

Larry J. Segerlind. *Applied Finite Element Analysis*. John Wiley and Sons.

O.C. Zienkiewics & R.L. Taylor. The Finite Element Method For Solid and Estructural Mechanics. Elsevier Science & Technology Books.

Puebla Romero, T., C. Dominguni y T. T. Micrognelli. "Situaciones inesperadas por el uso de las ecuaciones libres en la industria cocotera," *Congreso Anual de Ingeniería Mecánica*, Instituto Tecnológico y Científico Gatuno, 17 de Abril de 2005.

Robert D. Cook, David S. Malkus. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. Wiley, John Wiley & Sons.

Roger T. Fenner. Finite Element Methods for Engineers. First published 1975 by The Macmillan Press LTD.

Shigley J.E., Mitchell Larry D. Mechanical Engineering Design. Mc Graw Hill. Cuarta edición. México, (1986). [Links]

Singiresu S. Rao. The Finite Element Method in Engineering. Elsevier Science & Technology Books.

Y. Nakasone and S. Yoshimoto, T. A. Stolarski. Engineering Analysis with Ansys Software. Elsevier.

Instrucciones para Autores

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

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

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

Resumen

Titulo

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keyword

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

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

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]

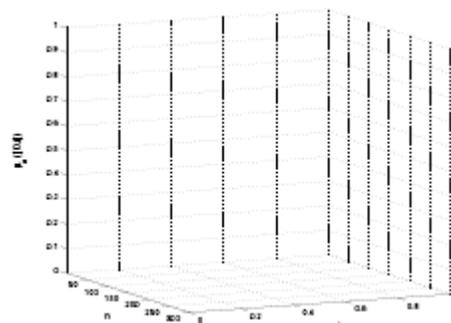


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

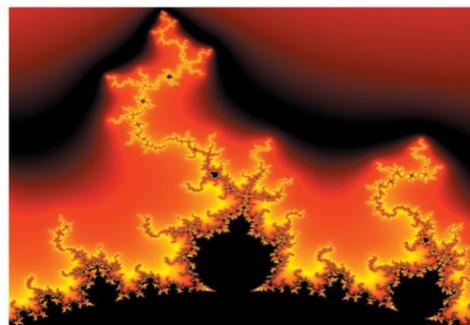


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

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

Referencia

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca ____ de ____ del 20____

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

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca ____ de ____ del 20____

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

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

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Tecnología e Innovación

Diseño de una fuente de alimentación conmutada para lámpara automatizada en terapias medicas”

MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto y ROSALES-DAVALOS, Jaime

“Biogeneración de energía sustentable utilizando residuos de aceite usado de cocina”

BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva, GARCÍA-NAVARRO, Josefina y HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán

Universidad Politécnica de Altamira

“Diseño y análisis de la estructura de un vehículo aéreo no tripulado mediante el método de elemento finito”

SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, PADILLA-MAGAÑA, Jesús Fernando, VEGA-HUERTA, América y OSEGUERA-ESPINOZA, Pedro Ramón

“Sistema de oxigenación de granjas de cultivo acuícola por medio de energía sustentable”

HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán, GARCÍA-NAVARRO, Josefina, ZUMAYA-QUIÑONES, Rocío y BAUTISTA-VARGAS, María Esther

Universidad Politécnica de Altamira

“Sistemas de recuperación de plásticos residuales”

HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Adán, GARCÍA-GUENDULAIN, Crescencio, PONDIGOSOSA, Selene y BAUTISTA-VARGAS, María Esther

Universidad Politécnica De Altamira

“Análisis bi-dimensional de una viga, por el método de aproximaciones planas, usando ANSYS”

HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, MÉNDEZ-ZAPATA, Elías y PEREZ-SERRANO, Froylan

Universidad Politécnica de Tlaxcala

