

Volumen I, Número 2 — Abril — Junio - 2017

ISSN 2523-6784

Revista de Innovación Sistemática

ECORFAN®



ECORFAN-Taiwán

Indización

- RESEARCH GATE
- GOOGLE SCHOLAR
- HISPANA
- MENDELEY

ECORFAN-Taiwán

Directorio Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

Director Regional

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD.

Director de la Revista

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC.

Edición Tipográfica

TREJO-RAMOS, Iván. BsC.

Edición de Logística

SERRUDO-GONZALEZ, Javier. BsC.

Revista de Innovación Sistemática, Volumen 1, Número 2, de Abril a Junio 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: www.ecorfan.org/taiwan, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. ISSN 2523-6784. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Junio 2017.

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

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

Consejo Editorial

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

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

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

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

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

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

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

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

Consejo Arbitral

VGPA. MsC

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

EAO. MsC

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

MMD. PhD

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

BRIIIG. PhD

Bannerstone Capital Management, U.S.

EAO. MsC

Bannerstone Capital Management, U.S.

OAF. PhD

Universidad Panamericana, México

CAF. PhD

Universidad Panamericana, México

RBJC. MsC

Universidad Panamericana, México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Innovación Sistemática.

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

Como primer artículo está *Desarrollo de un Simulador para el Robot SCARA utilizando SolidWorks y LabView* por VÁZQUEZ-CUEVAS, Ignacio, LÓPEZ-CORELLA, José, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, y HERRERA-VELARDE, Maribel con adscripción en el Instituto Tecnológico de Nogales, como siguiente artículo está *Diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto de mango ataulfo por convección forzada* por MARROQUÍN-CANO, Sergio F., RUIZ-ARROYO, Jesús E., ROBLES-OCAMPO, José B. y SEVILLA-CAMACHO, Perla Y. con adscripción en la Universidad Politécnica de Chiapas, como siguiente artículo está *Diseño de un registrador de datos usando memorias nand flash basado en un microcontrolador de ultrabajo consumo* por DE LEÓN-GORDILLO, Dagoberto, MEDINA-RODRÍGUEZ, Cristian Micheel, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir y SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto con adscripción en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial y la Universidad Tecnológica de Querétaro, como siguiente artículo está *Análisis comparativo entre el modelo dinámico y el modelo de la IEC para obtener la curva de potencia de turbinas eólicas* por RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Iliana, ESTRADA-GONZÁLEZ, César y HERNÁNDEZ-ARRIAGA, Isaac con adscripción en el Centro de Tecnología Avanzada, como siguiente artículo está *Diseño e implementación de un sistema de conversión de energía térmica a energía eléctrica* por ALCALA-BAROJAS, Iván, CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, RUMBO-MORALES, Jeseo Yoe con adscripción en la Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos, como siguiente artículo está *El uso de radiación de microondas para la síntesis de Nanopartículas* por SEGURA-DE JESÚS, Yara y CARBAJAL-FRANCO, Guillermo, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Toluca, como siguiente artículo está *Desarrollo de un sistema embebido para el control de asistencia motriz y autodiagnóstico de personas en sillas de ruedas* por ROMERO-VÁZQUEZ, Juan Carlos, JIMÉNEZ-FLORES, Gustavo Aldair, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León, con adscripción en la Universidad de Ixtlahuaca.

Contenido

Artículo	Página
Desarrollo de un Simulador para el Robot SCARA utilizando SolidWorks y LabView VÁZQUEZ-CUEVAS, Ignacio, LÓPEZ-CORELLA, José, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, y HERRERA-VELARDE, Maribel	1-8
Diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto de mango ataulfo por convección forzada MARROQUÍN-CANO, Sergio F., RUIZ-ARROYO, Jesús E., ROBLES-OCAMPO, José B. y SEVILLA-CAMACHO, Perla Y.	9-18
Diseño de un registrador de datos usando memorias nand flash basado en un microcontrolador de ultrabajo consumo DE LEÓN-GORDILLO, Dagoberto, MEDINA-RODRÍGUEZ, Cristian Micheel, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir y SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto	19-30
Análisis comparativo entre el modelo dinámico y el modelo de la IEC para obtener la curva de potencia de turbinas eólicas RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Iliana, ESTRADA-GONZÁLEZ, César y HERNÁNDEZ-ARRIAGA, Isaac	31-38
Diseño e implementación de un sistema de conversión de energía térmica a energía eléctrica ALCALA-BAROJAS, Iván, CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, RUMBO-MORALES, Jeseo Yoe	39-45
El uso de radiación de microondas para la síntesis de Nanopartículas SEGURA-DE JESÚS, Yara y CARBAJAL-FRANCO, Guillermo	46-56
Desarrollo de un sistema embebido para el control de asistencia motriz y autodiagnóstico de personas en sillas de ruedas ROMERO-VÁZQUEZ, Juan Carlos, JIMÉNEZ-FLORES, Gustavo Aldair, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León	57-67

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Desarrollo de un Simulador para el Robot SCARA utilizando SolidWorks y LabView

VÁZQUEZ-CUEVAS, Ignacio†*, LÓPEZ-CORELLA, José, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, y HERRERA-VELARDE, Maribel

Instituto Tecnológico de Nogales

Recibido 3 de Abril, 2017; Aceptado 8 de Junio, 2017

Resumen

Este artículo presenta la aplicación de los programas SolidWorks y LabView, para la creación de un simulador del robot SCARA (3 GDL) utilizando matrices de transformación Homogéneas aplicando el Algoritmo Denavit-Hartenberg, para el modelo matemático de la cinemática directa se utilizó Matlab para la solución de las matrices homogéneas, posteriormente se tomaron estas ecuaciones para usarlas en LabVIEW. El modelado matemático de la cinemática inversa se utilizó métodos geométricos, de la misma manera se tomaron estas ecuaciones y se utilizaron en LabVIEW usando la herramienta *formula node*. Los SCARA's son generalmente más rápidos y sencillos que los sistemas comparables de robots cartesianos. Este robot es ampliamente aplicado en labores industriales de localización, captura e inserción en la industria actualmente. La simulación es una herramienta imprescindible para reproducir los fenómenos físicos del robot, ya que permite estudiar y analizar a detalle los aspectos físicos y prácticos, básicamente es un proceso previo a la etapa experimental donde es posible entender los conceptos claves de la Robótica y la Mecatrónica.

LabView, solidWorks, SCARA

Abstract

This article presents the application of the SolidWorks and LabView programs, for the creation of a SCARA robot simulator (3 GDL) using Homogeneous transformation matrices applying the Denavit-Hartenberg algorithm for the mathematical model of the direct kinematics these equations were taken to Use them in LabVIEW. The mathematical modeling of the inverse kinematics was used geometric methods, in the same way these equations were taken and they were used in LabVIEW using the formula node tool. SCARA's are generally faster and simpler than comparable systems of Cartesian robots. This robot is widely applied in industrial tasks of localization, capture and insertion in the industry at present. Simulation is an essential tool to reproduce the physical phenomena of the robot, since it allows to study and analyze in detail the physical and practical aspects, basically it is a process prior to the experimental stage where it is possible to understand the key concepts of Robotics and Mechatronics any accidents or unnecessary electrical energy costs.

LabView, solidworks, SCARA

Citación: VÁZQUEZ-CUEVAS, Ignacio, LÓPEZ-CORELLA, José, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, y HERRERA-VELARDE, Maribel. Desarrollo de un Simulador para el Robot SCARA utilizando SolidWorks y LabView. Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-2:1-8

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ing.ignacio.javier@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La geometría especial de robots industriales; es un brazo planar antropomórfico con dos articulaciones rotacionales y la tercera articulación es prismática o lineal para manipular objetos. Esta configuración aprovecha las ventajas que proporciona el robot antropomórfico de 2 GDL moviéndose en el plano horizontal; en este caso la energía potencial es constante, la estructura mecánica es de alta rigidez para soportar cargas en forma vertical y para control de fuerza. La configuración SCARA es adecuada para tareas de ensamble con pequeños objetos.



Figura 1 Robot SCARA

Fuente: mitsubishielectric.com

Metodología de Denavit-Hartenberg

Según Denavit-Hartenberg se puede hacer este análisis haciendo uso únicamente de 4 parámetros implícitos en la geometría del robot, estos parámetros son necesarios en la matriz de transformación homogénea la cual representa el movimiento de un eslabón, por lo tanto para representar el movimiento de las 3 articulaciones serán necesarias 3 matrices de transformación homogénea. La matriz de transformación homogénea propuesta por Denavit – Hartenberg para la solución de este modelo se muestra en la figura 2

$$\begin{aligned}
 H_{i-1}^i &= H_{R_{i-1}}(\theta_i)H_{T_{i-1}}(d_i(\beta_i))H_{R_{i-1}}(l_i)H_{R_{i-1}}(\alpha_i) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i(\beta_i) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_i) & -\sin(\alpha_i) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\sin(\alpha_i) & l_i\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) & l_i\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i(\beta_i) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Figura 2 Representación Denavit-Hartenberg cada transformación homogénea

Fuente: Reyes, Fernando (2012), MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica

De esta matriz representa lo largo del eslabón al que se esté haciendo referencia en el subíndice i, d_i es la distancia entre articulaciones, es decir, es cuando el eslabón no está unido exactamente a la base del motor, existe una distancia representada por este parámetro, si este perno o distancia está desfasado un determinado ángulo este se representa mediante α_i , finalmente θ_i representa el ángulo de giro de la articulación, es decir, el ángulo que gira el motor del eslabón i. En este ejemplo, se conocen los parámetros de las articulaciones del Robot SCARA como se muestra en la tabla 1.

Eslabón	l_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	0	$l_1 + \beta_1$	q_1
2	l_2	π	β_2	q_2
3	l_3	0	d_3	0

Tabla 1 Parámetros DH del robot SCARA

Fuente: Reyes, Fernando (2012), MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica

Matrices De Transformación Homogénea

Entonces las respectivas matrices homogéneas de cada articulación del robot SCARA según la tabla mostrada anteriormente se puede observar en la figura 3.

$$\begin{aligned}
 H_0^1 &= H_{R_{01}}(q_1)H_{T_{01}}(l_1 + \beta_1)H_{T_{01}}(l_2)H_{R_{01}}(0) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(q_1) & -\sin(q_1) & 0 & l_2 \cos(q_1) \\ \sin(q_1) & \cos(q_1) & 0 & l_2 \sin(q_1) \\ 0 & 0 & 1 & l_1 + \beta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H_1^2 &= H_{R_{21}}(q_2)H_{T_{21}}(\beta_2)H_{T_{21}}(l_3)H_{R_{21}}(\pi) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(q_2) & \sin(q_2) & 0 & l_3 \cos(q_2) \\ \sin(q_2) & -\cos(q_2) & 0 & l_3 \sin(q_2) \\ 0 & 0 & -1 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H_2^3 &= H_{R_{32}}(0)H_{T_{32}}(d_3)H_{T_{32}}(0)H_{R_{32}}(0)
 \end{aligned}$$

Figura 3 Matrices homogéneas de las articulaciones del robot SCARA

Fuente: Reyes, Fernando (2012), MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica

Las matrices homogéneas mostradas anteriormente es la representación geométrica de cada eslabón, pero como los robots son mecanismos eslabonados se requiere saber la posición de cada eslabón respecto al anterior, esto se obtiene multiplicando las matrices homogéneas de cada eslabón de forma consecutiva, como se puede observar en la figura 4.

$$\begin{aligned}
 H_0^3 &= H_0^1 H_1^2 H_2^3 \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(q_1 + q_2) & \sin(q_1 + q_2) & 0 & l_2 \cos(q_1) + l_3 \cos(q_1 + q_2) \\ \sin(q_1 + q_2) & -\cos(q_1 + q_2) & 0 & l_2 \sin(q_1) + l_3 \sin(q_1 + q_2) \\ 0 & 0 & -1 & l_1 + \beta_1 + \beta_2 - d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Figura 4 Multiplicación de matrices homogéneas

Fuente: Reyes, Fernando (2012), MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica

Las matrices homogéneas tienen una dimensión 4x4 que representa la rotación y posición de las articulaciones como se muestra en la figura 5, el vector de traslación es de 3X1 nos da como resultado la posición del eslabón, por lo tanto la ecuación final se muestra en la figura 6.

$$H_0^3 = \begin{bmatrix} R_0^3 & d_0^3 \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Matrix de} & \text{Vector de} \\ \text{rotación} & \text{traslación} \\ \dots & \dots \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 5 Matriz homogénea

Fuente: Reyes, Fernando (2012), MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = f_R(q) = \begin{bmatrix} l_2 \cos(q_1) + l_3 \cos(q_1 + q_2) \\ l_2 \sin(q_1) + l_3 \sin(q_1 + q_2) \\ l_1 + \beta_1 + \beta_2 - d_3 \end{bmatrix}$$

Figura 6 Modelo De La Cinemática Directa

Fuente: Reyes, Fernando (2012), MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica

Cinemática Inversa

Las cinemática inversa se resolvió utilizando métodos geométricos como se pude observar en las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned}
 q_2 &= \cos^{-1} \left(\frac{x_0^2 + y_0^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \right) \\
 q_1 &= \tan^{-1} \left(\frac{y_0}{x_0} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{l_3 \sin q_2}{l_2 + l_3 \cos q_2} \right) \\
 d_3 &= l_1 + \beta_1 + \beta_2 - z_0
 \end{aligned}$$

Diseño del Robot en SolidWorks

Se crearon las piezas del robot en SolidWorks, se realizaron sub-ensamblajes de las articulaciones del SCARA, posteriormente se realizó un ensamblaje completo del robot para poder medir las distancias de las articulaciones con el fin de crear el simulador del robot en LabView, con estos diseños se crearon los archivos con formato “WRL” la cual es un tipo de formato que utiliza LabView para poder crear objetos 3D, las piezas creadas se pueden observar en la tabla 2.

Nombre	Pieza	Descripción
ensamblaje1eslabon1		Base fija del robot
ensamblajeeslabon2		Primera articulación giratoria del robot SCARA
ensamblajeeslabon3		Segunda articulación del robot SCARA
lapiz		Actuador prismático del robot SCARA

Tabla 2 Descripción las piezas en SolidWorks

Fuente:propia

Desarrollo del simulador en LabView

Se crearon SubVI para los modelos matemáticos utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas, en la figura 7 se muestra la SubVI de la cinemática directa el cual recibe como parámetros de entrada la información de los eslabones (tamaño y articulación actual), este sub-programa da como resultado la posición XY de los eslabones, así como las gráficas de los eslabonamientos en el plano XY y en XYZ, en la figura 8 se muestra el programa en diagrama de bloques utilizado la herramienta “Formula node”.



Figura 7 SubVI de cinemática directa

Fuente: propia

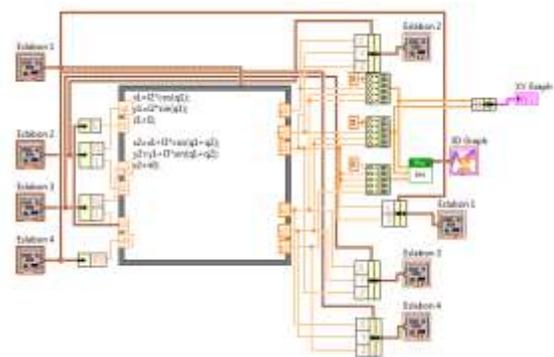


Figura 8 Diagrama de bloques de la SubVI de cinemática directa

Fuente: propia

En la figura 9 se puede observar la SubVI de la cinemática inversa del robot SCARA, este subprograma recibe como parámetros la coordenada en XYZ y nos da como resultados las articulaciones en grados de cada eslabón, en la figura 10 se puede observar el programa en diagrama de bloques.

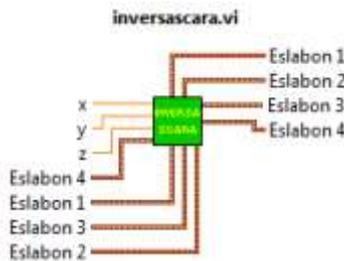


Figura 9 SubVI de cinemática inversa

Fuente: propia

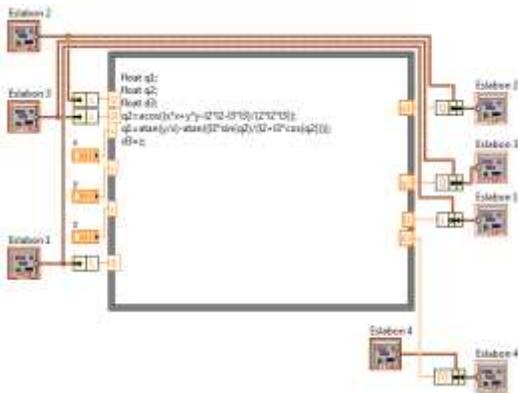


Figura 10 Diagrama de bloques de la SubVI de cinemática inversa

Fuente: propia

Graficar en Labview el robot en 3D

Se utilizó las herramientas de “3D picture control” para graficar el robot en un ambiente de 3D, también se utilizaron otras herramientas para crear la SubVI “Robot 3D” que facilita la programación del mismo, en la tabla 3 se explica las funciones utilizadas para realizar la SubVI.

Nombre de VI	Figura	Descripción
3Dsimulacionscara		Función que grafica el robot en 3D
First call?		Indica que una subVI o sección de un diagrama de bloques se ejecuta por primera vez
Path		Devuelve la ruta del archivo de la VI actual
Strip Path		Devuelve el último nombre del componente de la ruta de acceso y el camino despojado que conduce a ese componente.
Build Path		Crema una nueva ruta añadiendo un nombre a una ruta existente.
Load VRML File VI		Carga un modelo de objeto tridimensional guardado en formato Virtual Reality Modeling Language (VRML) para mostrar en una escena 3D. Los archivos VRML aparecen con una extensión de .wrl.
Create Object VI		Crema un nuevo objeto 3D para mostrar en la escena 3D.
Invoke Node (Add Object)		Agrega el objeto a la escena
Setup Camera Method		Especifica la posición de la cámara con respecto a la escena.
3D Picture Control		Venta de visualización de la escena de 3D
Find Object VI		De la escena 3D busca el objeto con el nombre de referencia y devuelve el objeto en la escena con un nombre coincidente.
Clear Transformation VI		Borra las transformaciones aplicadas previamente a un objeto en una escena 3D
Degree to radians		Cambia el ángulo de grados a radianes
Rotate Object VI		Gira un objeto de una escena 3D por los valores del eje y el ángulo. Este VI realiza una rotación relativa de la posición actual del objeto.
Translate Object VI		Traslada un objeto de una escena 3D por el vector que se especifique. Este VI realiza una traslación relativa de la posición actual del objeto.

Tabla 3 Funciones para crear la SubVI “Robot 3D”

Fuente:propia

El programa de la SubVI Robot 3D se encuentra dentro una estructura case, la cual tiene dos estados, verdadero y falso, se utilizó la función llamada “First call?” como se explica en la tabla 3 esta función es verdadera cuando se ejecuta por primera vez. Cuando se ejecuta por primera vez la función Robot 3D se abren todos los archivos con formato “WRL” creados en SolidWorks y posteriormente se hace el ensamblaje, esta sección del programa se puede ver en la figura 11. En la figura 12 se puede ver el programa de la estructura case cuando es falso (cuando el programa esta ciclado) en esta sección de programa se utiliza para crear las rotaciones del robot usando los controladores numéricos de los 3 GDL. En la figura 13 se observa la gráfica del robot en 3D usando el indicador *3D picture*.

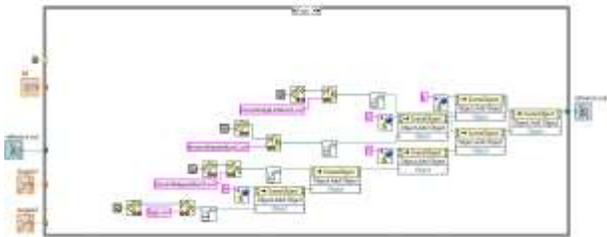


Figura 11 Estructura case verdadera de la SubVI Robot 3D

Fuente:propia

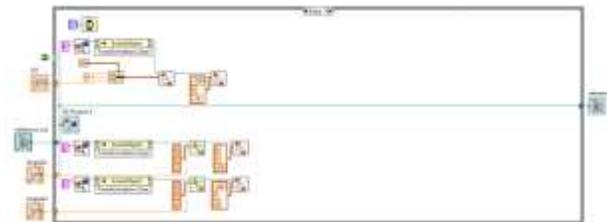


Figura 12 Estructura case falso de la SubVI Robot 3D

Fuente:propia

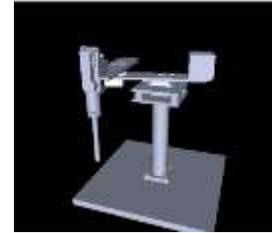


Figura 13 Gráfica del robot con elementos 3D

Fuente:propia

Resultados

Se desarrolló el simulador del robot SCARA utilizando las funciones creadas, en la figura 14 se muestra la interfaz del robot en la que el usuario puede interactuar con el simulador utilizando los controladores e indicadores de LabView, los resultados más importantes del simulador son las Gráfica en 3D y la Gráfica en XY en vectores, estos visualizadores muestran la animación del robot, la grafica en 3D se visualiza el robot con las piezas creadas en SolidWorks. El programa tiene la opción de agregar las posiciones en una tabla en las que se articula, la simulación del robot comienza cuando se presiona el botón de “inversa”



Figura 14 Interfaz de usuario del simulador

Fuente:propia

En la figura 15 se puede observar el programa en diagrama de bloques, se puede notar el uso de las SubVI anteriormente explicadas.

El programa principal de la cinemática inversa utiliza una estructura case, en la cual genera una animación del robot de forma lineal interpolando los puntos capturados dentro de la tabla, la animación de la cinemática inversa corre cuando se presiona el botón de “inversa” entrando en estado verdadero la estructura case, dentro de este estado se utiliza un ciclo for para recorrer los puntos de la tabla en forma consecutiva, en este ciclo crea una interpolación de forma lineal de la posición actual del robot al punto que se toma de la tabla. Se realizó un ejemplo formando las letras “ITN” visto en la figura 14.

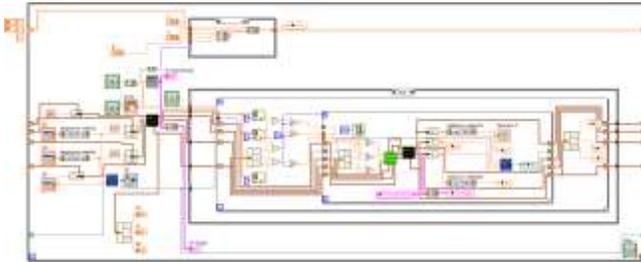


Figura 15 Diagrama de bloques del programa

Fuente:propia

Conclusiones

Con este proyecto se pudo comprobar la aplicación del LabView para el desarrollo de robots utilizando las piezas creadas en SolidWorks. Cabe destacar que al utilizarse métodos meramente geométricos y trigonométricos, como fue en este caso en la cinemática inversa, la programación no fue tan robusta; sin embargo, es importante saber que existen también otros métodos más iterativos, como lo son los numéricos y que análogamente conllevan a los mismos resultados al buscar solución para cada punto solicitado por el operador.

Se puede decir que se creó un teach pendant (controlador de posiciones de articulaciones y traslación de herramienta) virtual a través del software de análisis experimental LabView, el cual permitió manipular al robot SCARA de manera directa en cada una de sus articulaciones y elemento prismático (herramienta), o inversa trasladando la punta de la herramienta desde un punto inicial hasta el solicitado, resolviendo la trayectoria trigonométricamente, como se mencionó anteriormente.

El uso de SolidWorks fue de mucha utilidad para la creación de los archivos con formato “WRL”, que básicamente este formato es fácil de utilizar para graficar el simulador con objetos 3D.

Referencias

Fernando Reyes Cortés. (2012). MATLAB Aplicado a Robótica y Mecatrónica. Mexico DF.: Alfaomega

Jorge A. “Fundamentals of Robotic Mechanical System. Theory, Methods and Algorithms”. Springer- Verlag. New York. 1997.

Modeling and control of Robot Manipulators: Lorenzo Sciavico, Bruno Siciliano, Ed. Mc. Graw Hill. 1996..

Lázaro Antonio. LabVIEW 6i: programación gráfica para el control de instrumentación. Editorial Paraninfo. Segunda edición, 2001.

Página web de National Instrument:
<http://www.ni.com/labview/>

Iván Oswaldo Luna Rodríguez, Representación gráfica del Robot CRS A465 y Simulación Computacional de la Cinemática Directa mediante LabVIEW. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica. Instituto Tecnológico Superior de Cajeme. Enero 2008.

Referencias

Melgosa S. (2011). Guía de Termografía infrarroja. Madrid: Gráficas Arias Montano.

Balageas D.. (2007). Termografía Infrarroja. 2016, de Asociación argentina de Ensayos No Destructivos y estructurales Sitio web: <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/128.pdf>

Centro de Formación de Infrarrojos. (2011). Guía de termografía Para Mantenimiento Predictivo. 2016, de FLIR Sitio web: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf
<http://www.conevyt.org.mx/>. (2011). Uso de Instrumentos de Medición. 2016, de <http://www.conevyt.org.mx/> Sitio web: http://www.conevyt.org.mx/educhamba/guias_emprendizaje/uso_instrumentos.pdf

Carrión, J., Cuenca, J., Orellana, D.& Carvajal, r.. (2014). balanceo de circuitos de Distribución primaria. 2016, de CEDAMAZ Sitio web: http://unl.edu.ec/sites/default/files/investigacion/revistas/2014-12-1/art_10.pdf

Muhamad H.. (2004).Electrónica de Potencia. Estado de México. Pearson education.
Harry M.. (2011). Electricidad. México D.F. LIMUSA

Stephen D.. charles K.,& Fitzgerald A., (2003). Maquinas eléctricas. Mexico D.F: Mc Graw Hill.

Champan S., (2012). Maquinas eléctricas. México D:F,:Mc Graw Hill.

Maloney T., (2006). Electrónica industrial moderna. México D.F, Pearson education.

Diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto de mango ataulfo por convección forzada

MARROQUÍN-CANO, Sergio F.*†, RUIZ-ARROYO, Jesús E., ROBLES-OCAMPO, José B. y SEVILLA-CAMACHO, Perla Y.

Universidad Politécnica de Chiapas

Recibido 3 de Abril, 2017; Aceptado 2 de Junio, 2017

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto para remoción de humedad de rebanadas de mango ataulfo (*Mangifera indica*-L.) de 2mm de espesor. Se utiliza energía solar como fuente de calor para la deshidratación por medio de un concentrador solar cilindro-parabólico. El sistema aprovecha una irradiancia diaria promedio de 611W/m², correspondiente al municipio de Suchiapa, Chiapas; utiliza aire como fluido de trabajo, calentado hasta una temperatura de 350°C dentro del tubo receptor. La temperatura del aire circundante para la deshidratación oscila entre 40°C-50°C. Se implementó un sistema de control de temperatura con sensores y ventiladores (que se accionan en caso de que se excedan estos valores) dentro de la cámara de secado, alimentado mediante módulos fotovoltaicos de 50W. La cámara de secado almacena 5 kg de mango, manteniéndolo en las condiciones especificadas durante un periodo de 13 horas para obtener un producto deshidratado con el 18% de humedad en base húmeda (cociente de la masa de agua contenida en el producto entre su masa total). El objetivo del proyecto es mostrar el desempeño de un nuevo diseño de deshidratador solar, competitivo con los existentes en el mercado, y que genere un producto de calidad.

Deshidratador solar, cilindro-parabólico, mango deshidratado

Abstract

In this work the design and construction of an indirect solar dehydrator for the removal of moisture from slices of mango ataulfo (*Mangifera indica* L.) of 2mm thickness is presented. Solar energy is used as the heat source for dehydration by means of a parabolic-cylinder solar concentrator. The system uses an average daily irradiance of 611W/m² corresponding to the municipality of Suchiapa, Chiapas; air as working fluid is used, heated to a temperature of 350° C inside the receiver tube. The temperature of the surrounding air for the dehydration oscillates between 40°C-50°C. A temperature control system with sensors and fans (which they are activated if these values are exceed) was implemented inside the drying chamber, powered by 50W photovoltaic modules. The drying chamber stores 5 kg of mango, kept in the specified conditions for a period of 13 hours, obtaining a dehydrated product with 18% moisture in the wet base (quotient between the mass of water containing in the product and its total mass).The objective of this project is to show the performance of a new design of solar dehydrator, competitive with the current ones in the market, and that generate a product of quality.

Solar dehydrator, Cylinder-parabolic, dehydrated mango

Citación: MARROQUÍN-CANO, Sergio F., RUIZ-ARROYO, Jesús E., ROBLES-OCAMPO, José B. y SEVILLA-CAMACHO, Perla Y. Diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto de mango ataulfo por convección forzada. Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-2:9-18

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jrobles@upchiapas.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La deshidratación es un proceso ampliamente usado para la preservación de alimentos perecederos, constituye una alternativa eficiente y de bajo costo. Existe gran variedad de métodos de deshidratación de alimentos, no obstante, los más usados son los que emplean energía térmica (calor) para su funcionamiento, este calor puede provenir de fuentes de energía convencionales derivadas de la quema de hidrocarburos o de energía eléctrica que a la vez provienen de fuentes diversas. En el marco de la preservación medioambiental, el uso de fuentes renovables para la deshidratación de alimentos ha tomado gran enfoque, debido a la formación de procesos sustentables en el funcionamiento de los sistemas empleados para este fin, principalmente la energía solar. La deshidratación de alimentos mediante el uso de energía solar como fuente de energía térmica se ejecuta en sistemas denominados secadores o deshidratadores solares, compuestos principalmente por dos partes constituyentes fundamentales: un colector solar y una cámara de secado.

Los secadores solares más comunes realizan un proceso muy simple para su funcionamiento: se calienta un fluido dentro del colector solar, posteriormente se transporta por acción de la gravedad u otra fuente de flujo hacia la cámara de secado, donde mediante la interacción con el fluido caliente se evapora el agua de la materia a secar con el paso del tiempo, hasta alcanzar el nivel de humedad requerido.

Estos sistemas han demostrado su beneficio en comunidades en vías de desarrollo o rurales, siendo principalmente usados para la preservación de frutas de temporada; contribuyendo así en el aprovechamiento de los recursos y evitando desperdicios.

Además los materiales ocupados son de fácil obtención y cuyo costo se encuentran dentro de márgenes económicos considerables: el costo total del sistema de deshidratación, incluyendo componentes eléctricos y electrónicos, así como los módulos fotovoltaicos, ronda los \$5,000 MNX.

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un deshidratador solar indirecto de convección forzada para la deshidratación de rebanadas de mango ataulfo de la región, basándose en estudios preliminares de este tipo, como los propuestos por Alongue & Ominiwa (2012) y Akoy et. al. (2003).

Consideraciones del diseño.**Parámetros asociados al colector solar**

El tipo de colector solar seleccionado para suministro de energía térmica en el sistema de deshidratación, es el denominado concentrador solar cilindro-parabólico (CCP). Los parámetros de importancia asociados a este tipo de concentrador solar se presentan a continuación:

Recurso solar en el emplazamiento

Para el cálculo de la irradiancia, el cual refleja el recurso solar del emplazamiento, se siguieron los modelos dados por Foster et al. (2010), programando un algoritmo informático que calcula la irradiancia cada 16 minutos para un día completo, lo que permitió determinar la irradiancia promedio diaria para el lugar de emplazamiento del colector y la cámara de secado.

Área de abertura (A_a)

Ésta puede determinarse con la ecuación (1) dada por Pinedo & Asmat (2010) dicha área es la superficie imaginaria de la parábola que será perpendicular a los rayos solares incidentes, siendo la utilizada para reflejar estos al receptor en el sistema de concentración.

$$A_a = 4zp \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

Donde z , es la profundidad de la parábola, factor que se relaciona con la proyección en tres dimensiones de dicha geometría, siendo la dimensión de ésta sobre un eje z imaginario, suponiendo que la parábola se bosqueje en un plano XY ; p es la distancia focal, distancia del vértice de la parábola a su punto focal y ϕ es el ángulo de abertura, ángulo generado entre el eje de simetría de la parábola y una recta que une al punto más alto considerado en la superficie de esta y su punto focal.

Distancia focal (p)

La distancia focal de una parábola utilizada en un sistema de concentración se puede expresar en función de la anchura de la lámina ocupada para su estructuración, parámetro que geoméricamente representa la longitud de arco de la parábola S , esta relación se expresa matemáticamente en la ecuación (2).

$$p = \frac{S}{2[\sqrt{2} + \ln(1 + \sqrt{2})]} \quad (2)$$

Balance de energía

Considerando los parámetros asociados a la transferencia de calor, se puede determinar la temperatura alcanzada por el fluido de trabajo en el tubo receptor del sistema de concentración parabólico, mediante la ecuación (3).

$$T_m = T_0 + \frac{IA_a\gamma\eta}{\dot{m}c_p} \quad (3)$$

Donde T_m , es la temperatura media máxima dentro del tubo receptor; T_0 , es la temperatura ambiente; I es la irradiancia del emplazamiento; A_a es el área de abertura de la parábola; γ la reflectancia del material ocupado para la formación de la superficie parabólica; η es un factor asociado al rendimiento del sistema; \dot{m} es el flujo másico del fluido de trabajo dentro del tubo receptor y c_p es el calor específico a presión constante del mismo fluido.

Parámetros asociados a la cámara de deshidratación

En general, independientemente de la forma geométrica u otros aspectos, la cámara de secado depende de los parámetros que a continuación se exponen.

Cantidad de agua a remover del fruto (m_w)

La cantidad de agua a evaporar del fruto se encuentra en función de los porcentajes de humedad inicial y final de dicho cultivo, expresado en la ecuación (4), dada por Sodha et al. (1987):

$$m_w = \frac{m(M_0 - M_f)}{100 - M_f} \quad (4)$$

Donde m es la masa de agua de la muestra a deshidratar; M_0 es el contenido de humedad inicial en la muestra y M_f su contenido final, ambos parámetros expresados en base húmeda.

Balance de energía

Para la deshidratación del mango ataulfo se puede expresar que el calor latente de vaporización del agua removida del fruto debe ser igual al calor sensible percibido por el fluido de trabajo. Realizando un balance de energía, tal como el hecho por Alongue & Ominiwa (2012), esto se puede expresar en la ecuación (5):

$$\dot{m}_w L_V = \dot{m}_f C_p (T_i - T_s) \quad (5)$$

Donde \dot{m}_f , es el flujo másico del fluido de trabajo; \dot{m}_w es el flujo másico de agua que se evapora en el proceso de deshidratación; L_V es el calor latente específico de vaporización del agua; C_p es el calor específico a presión constante del fluido de trabajo; T_i y T_s son las temperaturas dentro y a la salida de la cámara de secado, respectivamente, de dicho fluido.

La ecuación (5) puede expresarse como una función para determinar el tiempo de retención del fruto dentro de la cámara de deshidratación a unas condiciones del fluido de trabajo dadas, expresadas en la ecuación (6):

$$t = \frac{\dot{m}_w L_V}{c_p \rho A_v v (T_i - T_s)} \quad (6)$$

Donde A_v es el área de ventilación en el deshidratador; v es la velocidad del fluido de trabajo y ρ es su densidad.

Condiciones de diseño

La Tabla 1 muestra las condiciones tomadas en cuenta para los cálculos. Estas condiciones se asocian al emplazamiento del deshidratador solar y del fruto a deshidratar.

Concepto	Condición
Condiciones ambientales	
Lugar de emplazamiento	Suchiapa, Chiapas.
Periodo de pruebas	Mayo-Julio de 2017
Irradiancia promedio por día	611 W/m ²
Condiciones del cultivo	
Lote de secado	5 kg de pulpa
Humedad	81-18% Base húmeda
Calor latente de vaporización	2.26×10 ⁶ J/kg
Consideraciones del concentrador	
Ancho de la lámina	0.9 m
Profundidad de la parábola	1.8 m
Ángulo de abertura	90°
Reflectancia	91%
Eficiencia	70%
Consideraciones de la cámara de secado	
Área de ventilación	0.016 m ²
Temperatura media en el interior	47°C
Temperatura media a la salida	41.44°C
Densidad del aire	1.1095 kg/m ³
Calor específico del aire	1007 J/kg °C

Tabla 1 Condiciones de operación del deshidratador

Fuente: *Elaboración propia*

Construcción del sistema

Construcción del sistema de colección solar

El concentrador solar fue conformado con ayuda de dos estructuras de soporte: la primera, Figura 1(a), es una base para la colocación de la lámina que conformaría la parábola, perfiles zintro fueron cortados y soldados, las dimensiones se ajustaron a las dimensiones de la lámina y la geometría parabólica calculada. La segunda estructura, Figura 1(b), es un pedestal, el cual permitirá mantener al sistema de colección alejado del suelo, evitando así interacciones con polvo y pequeños animales.

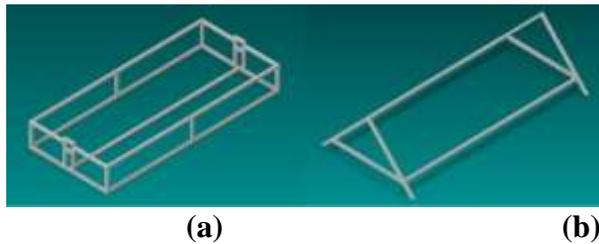


Figura 1 Elementos del concentrador solar. (a) Base de la parábola. (b) Pedestal

Fuente: *Elaboración propia*

Posterior a la conformación de las estructuras se colocó la lámina, asegurándola en puntos estratégicos que permitieron dar una geometría óptima a la parábola. Finalmente se colocó el tubo receptor en los huecos asignados para éste en la estructura. El diseño asistido por computadora se presenta en la Figura 2(a), junto a la fotografía del sistema de concentración en la Figura 2(b).

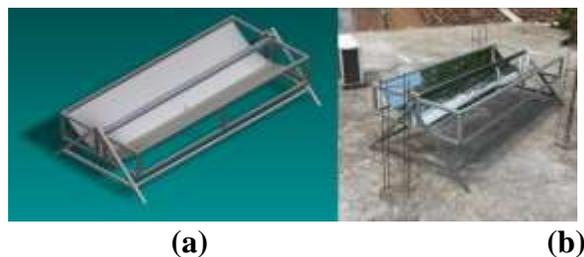


Figura 2 Sistema de concentración solar. (a) Diseño asistido por computadora. (b) Sistema de concentración real

Fuente: *Elaboración propia*

Construcción de la cámara de secado

Se construyó una cámara de secado tipo gabinete con dimensiones de 0.28 m x 0.60 m x 1.36 m, el cual tiene una puerta corrediza en la parte frontal que se desliza hacia el frente. Se encuentra cerrada herméticamente mediante rieles de la misma madera, esta alternativa evita pérdidas de energía térmica.

En las partes laterales de la cámara se encuentran las áreas de entrada y salida de aire, a su vez en la parte izquierda, ubicado a 0.32 m de la base del gabinete se realizó un orificio para la conexión con el concentrador solar. Toda la cámara está hecha de madera, material elegido por su bajo costo comparado con el de estructuras metálicas aisladas térmicamente en el interior; para lo cual se utilizaron tablas de 0.28 m x 3.0 m. En el interior del gabinete se encuentran 6 charolas con dimensiones de 0.20 m x 0.56 m, hechas de tela para mosquitero de plástico y marco de madera, sobre las cuales se colocaría el fruto a secar. Estas charolas se encuentran separadas 0.15 m cada una y sostenidas por barras de madera fijadas con clavos al interior de la cámara. La primera de éstas se encuentra localizada a 0.32 m de la base del gabinete, el diseño asistido por computadora de la cámara de secado se presenta en la Figura 3



Figura 3 Diseño asistido por computadora de la cámara de secado

Fuente: *Elaboración propia*

Sistema de control

Tres sensores de temperatura fueron puestos dentro de la cámara de deshidratación, uno tipo DHT11 para humedad y temperatura en la parte inferior, otro tipo DS18B20 para temperatura en la parte media y el restante en la parte superior del tipo DHT22 para el monitoreo de humedad y temperatura. El criterio de selección de dichos sensores se basó en sus rangos de medición y todos ellos son conectados a una placa Arduino® de donde se extraen los datos de medición para almacenarlos en una tarjeta de memoria SD. En otra derivación del mismo circuito se conectaron dos ventiladores, dirigidos hacia dentro de la cámara de deshidratación, el primero de ellos se localizó en la base de esta y fue programado para activarse en caso de que la temperatura interna sea mayor a 60 °C, el ventilador restante se encuentra dispuesto en el ducto de conexión entre la cámara y el colector solar, es el responsable de accionar el flujo de aire caliente para distribuirse dentro de la cámara y así interaccionar con el mango removiendo su humedad. Este sistema eléctrico es alimentado por un sistema fotovoltaico autónomo de 50 W a 12 V, que se acopló mediante un regulador de voltaje tipo 7805 para los circuitos derivados que requieran una alimentación menor a 12 V. Las características del módulo fotovoltaico se presentan en la Tabla 2.

Marca	Solartec®
Mecánicas	
Tipo	Policristalino
Dimensiones	0.83mx0.53m x 0.05m
Peso	6.08 kg
Eléctricas	
Potencia nominal	50 W
Voltaje nominal	12 V
Corriente máxima (I_{mpp})	2.9 A
Voltaje máximo (V_{mpp})	17.5 V

Tabla 2 Características del módulo solar

Fuente: *Elaboración propia*

Resultados

Cálculos de diseño

Los valores obtenidos de los cálculos de diseño, considerando las condiciones de operación del sistema (presentadas en la Tabla 1), se presentan en la Tabla 3.

Parámetro	Valor	Relación utilizada
Concentrador solar		
Área de abertura	1.41 m ²	Ecuación (1)
Distancia focal	19.6 cm	Ecuación (2)
Temperatura media máxima en el receptor	350.36°C	Ecuación (3)
Cámara de secado		
Cantidad de agua a secar del cultivo	3.84 kg	Ecuación (4)
Periodo de deshidratación	13 horas	Ecuación (6)

Tabla 3 Valores obtenidos de los cálculos

Fuente: *Elaboración propia*

Una vista del sistema completo se presenta en la Figura 4.



Figura 4 Sistema de deshidratación completo

Fuente: *Elaboración propia*

Caracterización del colector solar

Con ayuda de un termómetro infrarrojo digital marca Steren® modelo HER-425 (con un rango de temperatura de -20°C a 350°C), se monitoreó la temperatura del fluido en el interior del tubo receptor, (el cual consiste en un tubo de cristal de boro silicato al vacío tricapa Co/Al-N/Al, marca Sunnergy® de 1.8 m de longitud y 0.058 m de diámetro), el día 07 de mayo de 2017 durante un periodo de aproximadamente 3 horas. Los datos registrados se muestran en el Gráfico 1.

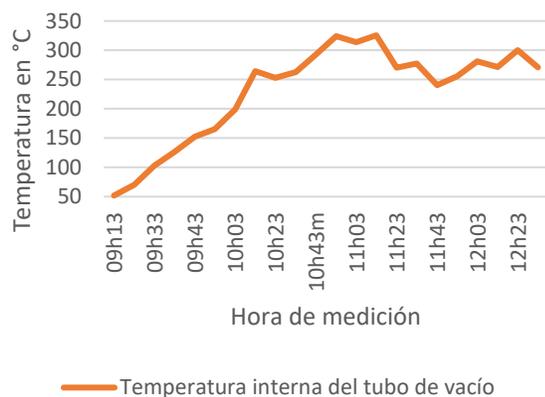


Gráfico 1 Comportamiento de la temperatura en el interior del tubo de vacío

Fuente: *Elaboración propia*

La curva muestra un constante incremento de la temperatura con el transcurso del tiempo, hasta llegar a un pico máximo, registrado a las 11h13 horas; en las horas siguientes se nota una variación entre los 250°C - 300°C ; este comportamiento se debe a los intervalos nubosos y a las condiciones climáticas que se presentaron en este periodo, correspondientes a 31°C de temperatura ambiente con rachas de vientos de entre 6.944 m/s - 7.5 m/s , así como una humedad relativa del 50 %.

Otros factores incluyen la fecha del año misma en conjunto con la ubicación del municipio, ambas condiciones afectan directamente al recurso solar en este emplazamiento.

Pruebas de deshidratación

Se colocaron 5 kg de pulpa de mango ataulfo, cortado en rebanadas con un espesor de aproximadamente 2 mm, dentro de la cámara de deshidratación. Las muestras fueron previamente tratadas con un proceso de deshidratación osmótica, siguiendo la metodología propuesta por Zapata-Montoya & Castro-Quintero (2015); mediante sensores de temperatura se monitorearon dichos parámetros durante el proceso de deshidratación. Los datos registrados se presentan en el Gráfico 2.

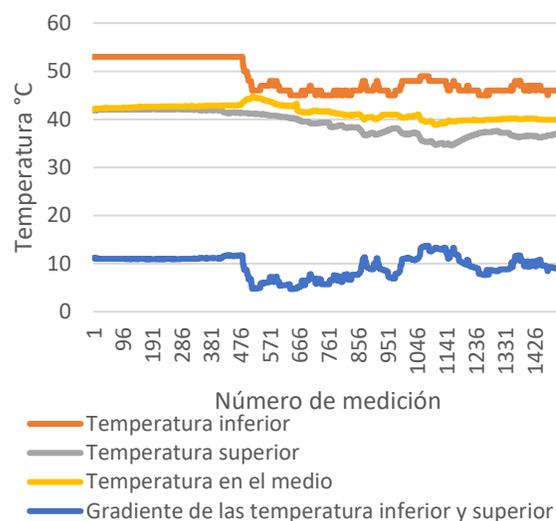
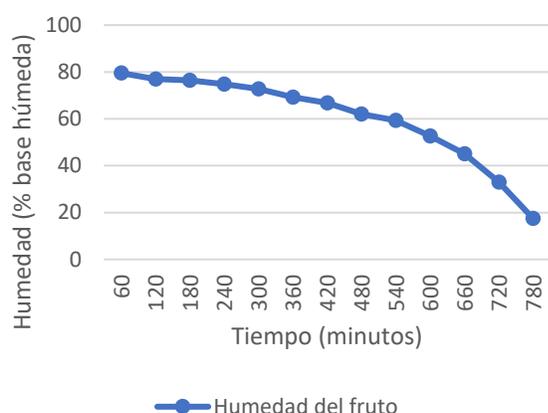


Gráfico 2 Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado

Fuente: *Elaboración propia*

El comportamiento de la temperatura en el interior de la cámara de deshidratación se mantiene casi constante con pequeñas variaciones no mayores a 8°C debidas principalmente a las variaciones mismas en los niveles de irradiancia percibidos por el colector.

Los datos de mayor magnitud son sensados en la parte inferior de la cámara, debido a que la entrada de aire caliente se encuentra localizada en esta zona, por su parte los valores mínimos se registran en la zona superior y su razón se encuentra en que el aire al circular por esta región ya ha extraído parte de la humedad del fruto. Para obtener un registro del comportamiento de la pérdida de humedad en el mango ataulfo se ópto por retirar las muestras cada 60 minutos durante el periodo estimado para la deshidratación; con ayuda de una balanza analizadora de humedad marca Ohasus® modelo MB-23 con precisión de $\pm 1\%$, se obtuvieron los datos que se muestran en el Gráfico 3.



Gráfica 3 Pérdida de humedad en el mango ataulfo

Fuente: *Elaboración propia*

La curva muestra un comportamiento decreciente con el paso del tiempo hasta alcanzar un nivel de humedad de 17.5 % en base húmeda, posterior a todo el proceso de deshidratación. Una vista del fruto después del proceso de deshidratación se presenta en la Figura 5.



Figura 5 Charolas con rebanadas de mango ataulfo después del proceso de deshidratación.

Fuente: *Elaboración propia*

Conclusiones

En lo referente al comportamiento del colector solar y la cámara de deshidratación, en la mayor parte de sus parámetros, se obtuvo que los modelos teóricos seleccionados de investigaciones preliminares, como las presentadas por Alongue & Ominiwa (2012) y Akoy et. al.(2003), aproximan sus resultados al del comportamiento del sistema deshidratador, no obstante los gradientes de temperatura en el interior de la cámara de deshidratación no pudieron ser precedidos teóricamente con exactitud; una caracterización y consideración de diseño exacta requiere el estudio y la inclusión de un modelo teórico que permita calcular la distribución de temperatura del fluido de trabajo a lo largo del trayecto por el sistema de deshidratación. Dicho modelo pudo haber precedido que la inclusión del ventilador (cuya función era regular la temperatura interna de la cámara, a través de la remoción de aire caliente, en caso de que esta superara los 60°C) no era necesaria, ya que no se llegaron a exceder valores mayores a 52 °C en el interior de la cámara.

Por su parte, para la deshidratación del mango ataulfo, se necesitan 13 horas del fruto dentro de la cámara, aprovechando su capacidad máxima que es de 5 kg de pulpa, en condiciones de temperatura de entre 45°C y 51 °C; considerado las horas de sol de un día convencional se requiere de dos sesiones de secado con una duración de 6.5 horas cada una, obteniendo un nivel del 17.5 % de humedad en base húmeda para las muestras con mayor índice de deshidratación. Para mejorar el rendimiento del sistema, se pudo percibir que es necesario el uso de otro tipo de materiales en la cámara de deshidratación y en las conexiones con el colector, principalmente metales aislados térmicamente en su interior que no sufran dilataciones debido a la exposición a altas temperaturas, ya que el uso de madera presentó este inconveniente notorio a lo largo de las pruebas realizadas, además de ser causa de pérdidas energéticas en el ducto de conexión entre la cámara de deshidratación y el colector solar, inclusive al ser aislado con fibra de vidrio. El sistema de deshidratación conformado demostró ser una nueva alternativa para la construcción de estos sistemas, presentando un potencial que puede ser explotado mediante la implementación de mejoras que aumentarán su rendimiento global.

Referencias

- Alongue, A.F. & Ominiwa, A. (2012). Development and Modification of a Direct Passive Solar Dryer. *NABEC/CSBE*, 12, 3-7.
- Akoy, E., Ismail, M., Ahmed, E., & Luecke, W. (2003). Design and Construction of A Solar Dryer for Mango Slices (pp. 1-7). Gottingen, Germany: University of Gottingen. Retrieved from: <http://www.tropentag.de/2006/abstracts/full/501>
- Aravindh, M.A. & Sreekumar, A. (2015). Solar Drying. A Sustainable Way of Food-Processing. Centre for Green Energy Technology, Pondicherry University, Pondicherry 605014, India.
- Bazán-Díaz, J.O. (2009). Diseño de sistema concentrador solar cilíndrico-parabólico para proceso de deshidratación de alimentos automatizado con espejos reflectantes. Universidad de Piura, Facultad de ingeniería mecánico-eléctrica. Piura Perú.
- Buitrago-Huertas, C.A. (2014). Estudio preliminar para la deshidratación solar de mango (*Mangifera Indica L. var. Común*) en Colombia. (Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Ingeniería de Procesos de Alimentos y Biomateriales). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá, Colombia.
- Durán, P., Barbosa, J., Quinto, P., & Moreno, L. (2016). Concentrador Solar PDR Con Seguimiento Solar. *Revista De Aplicaciones De La Ingenieria*, 3(9), 99-100.
- Foster, R., Ghassemi, M., Cota, A. (2010). Solar energy, renewable energy and the environment. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Gupta, P.M., Das, A.S, Barai, R.C., Pusadkar, S.C. & Pawar, V.S. (2017). Design and Construction of Solar Dryer for Drying Agricultural Products. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*.

- Hernández-Venegas, C. & González-Avilés, M. (2016). Desarrollo de un deshidratador solar indirecto por convección forzada, con colector solar de concentración usando la óptica anidólica. Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. Pátzcuaro, Mich., México.
- Ibarra-Muños, E., Castañeda-Losoya, P. & Alvarado-Bañuelos, G. (2016). Sistema de adquisición de datos para un deshidratador de alimentos solar en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 3 (6), 42.
- Juárez-Borbonio, J., Ventura- De la paz, C., Flores Sánchez, V. & Chama-Esteban, J. (2016). Medición y Análisis puntual de la radiación global disponible, en Cuitláhuac, Veracruz para los años 2014 y 2015. *Revista de Energía Química y Física*, 3 (9), 25-26.
- Khashab, H., Ghamedi, M. (2015). Comparison between hybrid renewable energy systems in Saudi Arabia. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*.
- Kumar, M., Sansaniwal, S.K., Khatak, P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Molina-García, M. & Melchor-Hernández, C. (2016). Prototipo de un Sistema Fotovoltaico Autónomo. *Revista De Aplicaciones De La Ingeniería*, 3(8), 9-16.
- Nabnean, S., Janjai, S., Thepa, S. & Sudaprasert, K., Songprakorp, R., Bala, B.K. (2016). Experimental performance of a new design of solar dryer for drying osmotically dehydrated cherry tomatoes. *Renewable Energy*.
- Pinedo, A.A. & Asmat, D.C. (2010). Análisis teórico-experimental del colector solar cilíndrico parabólico. Universidad Privada del Norte-Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo Perú.
- Saiz-Jiménez, J.A. & Cornejo-Royo, L. (2014). Food drying by solar energy. *3C Tecnología*, .3 (4).
- Sharma, A., Chen, C.R., Vu Lan, N. (2009). Solar-energy drying systems: A review. ROC. Department of Mechanical Engineering, Kun Shan University; Da-Wan Road, Yung-Kang City, Tainan Hsien, Taiwan.
- Sodha, M. S., Bansal, N. K., Kumar, A., Bansal, P. K & Malik, M. A. (1987). Solar crop drying. Vol. I and II. CPR press, Boca Raton, Florida, USA.
- Torres, J., Hernández, O., Arce, G. & Vizuet, J. (2016). Secado de nopal (*Opuntia ficus*) utilizando secador solar con sistema de reflectores. *Revista de Energía Química y Física*, 3 (6), 40-44.
- Zapata-Montoya, J.E. y Castro-Quintero, G. (2015). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 52 (1).

Diseño de un registrador de datos usando memorias nand flash basado en un microcontrolador de ultrabajo consumo

DE LEÓN-GORDILLO, Dagoberto*†, MEDINA-RODRÍGUEZ, Cristian Micheel, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir' y SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), Av. Playa Pie de la Cuesta No. 702, Col. Desarrollo San Pablo, Querétaro, Qro. México

'Universidad Tecnológica de Querétaro (UTEQ), Av. Pie de la Cuesta 2501, Col. Unidad Nacional, Querétaro, Qro. México

Recibido 6 de Abril, 2017; Aceptado 9 de Junio, 2017

Resumen

Las memorias NAND Flash son uno de los sistemas de almacenamiento preferido en ingeniería, esto debido a su alta velocidad de escritura, bajo consumo de energía y alta densidad de almacenamiento. En este artículo presentamos la mejora de un registrador de datos o datalogger, el cual inicialmente estaba compuesto por una memoria NAND Flash y dos microcontroladores de bajo consumo en una arquitectura multimaestra. La mejora del datalogger se basa en explotar el paralelismo que permiten los microcontroladores con módulos de acceso directo a la memoria (DMA). El datalogger se comunica mediante el protocolo UART a 460800 baudios y almacena en una memoria NAND Flash mediante el protocolo ONFI 2.0. Adicionalmente, se ha agregado una función de codificación tipo Hamming (255,247), útil para corregir 64 bits erróneos cada 2040 bytes. Se ha caracterizado el tiempo que tarda esta función en corregir desde uno hasta 64 errores lo que permitiría predecir la degradación de la memoria. Se comparó experimentalmente el datalogger mejorado con el anterior, y tiene una velocidad de almacenamiento de 47 KB/s con capacidad de almacenamiento desde 256 MB hasta 8 GB usando solo un microcontrolador de ultrabajo consumo.

Abstract

NAND Flash chips are one of the preferred storage devices in engineering, due to their high writing speed, low power consumption and high storage density. In this paper, we present the improvement of a datalogger, which initially was composed of one NAND Flash memory and two ultra low power microcontrollers in a multi-master architecture. The improvement of the datalogger is based on exploiting the parallelism that allows the microcontrollers with modules of direct memory access (DMA). The datalogger communicates via the UART protocol to 460800 bauds and stores in a NAND Flash memory using the ONFI 2.0 protocol. Additionally, a Hamming coding (255,247) function has been added, which is useful for correcting 64 erroneous bits per 2040 bytes. We characterized the correcting-time function from 1 up to 64 errors. This function allows the prediction of memory chip degradation. The improved datalogger was compared to the previous one, and it has a storage speed of 47 KB/s with storage capacity from 256 MB to 8 GB using only one ultra low power microcontroller.

Datalogger, ECC Hamming, NAND Flash, DMA

Datalogger, ECC Hamming, NAND Flash, DMA

Citación: DE LEÓN-GORDILLO, Dagoberto, MEDINA-RODRÍGUEZ, Cristian Micheel, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir' y SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto. Diseño de un registrador de datos usando memorias nand flash basado en un microcontrolador de ultrabajo consumo. Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-2:19-30

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: leon@posgrado.cidesi.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Un tipo de memoria no volátil y que es muy utilizada en varias aplicaciones es la memoria NAND Flash, las memorias NAND Flash se pueden encontrar en cámaras digitales, aplicaciones móviles, sistemas de almacenamiento no volátil, computadoras, etc. (Michelsoni, Crippa, & Marelli, 2010) (Toshiba America Electronic Components, INC) (Bez, Camerlenghi, Modell, & Visconti, 2003) (Pavan, Bez, Olivo, & Zanoni, 1997) (C. Park, 2003).

Un dispositivo muy utilizado en ingeniería para almacenar datos provenientes de sensores es el registrador de datos o datalogger. Los componentes básicos de un datalogger son: una unidad de almacenamiento masivo y una unidad de control, comúnmente un microcontrolador.

Se hizo un estudio de varios dataloggers y se encontraron algunos con aplicaciones específicas y otros de propósito general. Algunos dataloggers con aplicaciones específicas consideran en su arquitectura sensores apropiados para el monitoreo de variables de medición, un ejemplo de ello es el dataoogger de Nisha y Umesh (2015) el cual contiene sensores de temperatura, humedad, presión, etc. Otra ventaja presentada en dataloggers es que permiten adecuarse a tiempos de muestreo como es el caso del datalogger de Mahzan et al., (2013) con múltiples tarjetas SD o el caso del datalogger de Rajesh et al. (2003) utilizado en aplicaciones de detección fisiológica. Otro datalogger estudiado para aplicaciones de GPS almacena los datos en formato KML el cual permite leerlo mediante la aplicación Google Earth (Ibrahim, 2010).

De los dataloggers encontrados de uso general, algunos han sido utilizados en aplicaciones de biomecánica, tal es el caso del trabajo realizado por Kobsar et al. (2014) el cual utiliza un datalogger logomatic v2 de sparkfun con tarjetas SD.

Algunos ingenieros prefieren utilizar memorias de menor capacidad y a la vez más económicas que dan soporte para aplicaciones de bajo almacenamiento o en las que no se necesita de tiempos de muestreo muy elevados, tal es el caso del datalogger realizado por Rivera (2010) en el que consiste de un PIC 18F2550, una memoria EEPROM 24LC512 y una interfaz para comunicación, la memoria es de 64 KB y el tiempo de muestreo mínimo que lo controla Labview® es de 1 segundo.

El datalogger realizado por Febrian et al. (2016) permite el intercambio de información con máquinas remotas y también puede ser controlado por otros dispositivos, el cual es una ventaja si se considera el uso compartido de datos.

El datalogger realizado por Medina Rodríguez, et al. (2016) es de uso general, este datalogger utiliza una memoria NAND Flash marca Hynix® y dos microcontroladores MSP430 de Texas Instruments® en una estructura de tipo multimaestra. Para garantizar el flujo continuo de datos la arquitectura utiliza el paralelismo de operaciones: mientras el microcontrolador A adquiere y almacena en RAM, el microcontrolador B transmite lo almacenado en RAM a una memoria NAND Flash, el microcontrolador que termina primero su tarea entra a modo de bajo consumo de energía (por las siglas en inglés de Low Power Mode).

Con la finalidad de reducir el número de dispositivos utilizados, nuestro datalogger aprovecha el módulo de operaciones de acceso directo a la memoria que tienen algunos microcontroladores, conocido como DMA y con ello se utiliza un solo microcontrolador. Mientras se escribe o lee datos a la memoria NAND Flash en conjunto con sus operaciones de codificación y decodificación, también se transmite vía UART la información que se escribe o lee de la memoria NAND Flash con la utilización del módulo DMA.

Las operaciones de lectura, escritura y borrado degradan las memorias NAND Flash (Micheloni, Crippa, & Marelli, 2010). Un código ECC tipo Hamming (255,247) es implementado debido al requerimiento mínimo de 24 bits ECC por cada 1080 bytes de datos

El código Hamming implementado agrega 8 bits de paridad por cada 247 bits de mensaje por lo que el código es de 255 bits. El código Hamming implementado puede corregir 1 bit erróneo en un código de 255 bits. En el caso de una página, el código implementado puede corregir 64 bits erróneos por cada 2040 bytes almacenados en página.

Las contribuciones del presente trabajo se resumen en los siguientes puntos:

- 1) La sustitución del uso de dos microcontroladores actuando en paralelo por el uso de un solo microcontrolador con operaciones de acceso directo a la memoria DMA utilizando el protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter por sus siglas en inglés).
- 2) El microcontrolador utiliza el modo de bajo consumo en un 70 % del tiempo de operación para operación de escritura de memoria.

- 3) El datalogger utiliza un código ECC tipo Hamming (255,247) que permite corregir 64 bits erróneos en una página de 2040 bytes siempre que exista un solo error por cada 255 bits de código.

En la sección 2, se presenta la arquitectura del datalogger desarrollado, en la sección 3 los resultados obtenidos, en la sección 4 la discusión del trabajo y finalmente en la sección 5 las conclusiones.

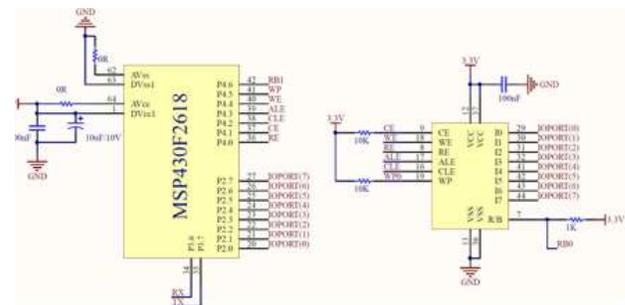


Figura 1 Diagrama esquemático del datalogger

Arquitectura del Datalogger

La Figura 1 es el diagrama esquemático del datalogger el cual muestra las conexiones del microcontrolador MSP430F2618 a la memoria NAND Flash JY27UF084G2B que tiene 2040 bytes en el área de datos y 64 bytes en el área de reserva.

A continuación se presenta la arquitectura del *datalogger* de nuestro trabajo, primero se da a conocer el control mediante operaciones de acceso directo a la memoria, luego la operación de escritura de memoria NAND Flash, luego la operación de lectura y finalmente el código de corrección de errores tipo Hamming (255,247).

Control DMA

El controlador de acceso directo a la memoria transfiere datos desde una dirección a otra, sin intervención del CPU. El uso del control DMA puede incrementar el rendimiento de los módulos periféricos. También puede reducir el consumo de energía permitiendo que el CPU permanezca en modo de bajo consumo hasta que exista una interrupción externa por parte de algún periférico.

En la Figura 2 se presenta el diagrama a bloques del control DMA que se usó para el presente artículo. El control DMA requiere seleccionar el periférico a usar por medio de un multiplexor, en el presente trabajo, se usa el periférico UART para la transmisión y recepción de información. Luego del multiplexor de periféricos, se configuran los registros del control DMA, donde se destacan tres registros.

El registro fuente, el registro destino, y la cantidad de datos que se deben de mover, todo está condicionado por un bit que habilita el control DMA. En la recepción de datos mediante UART controlada por DMA, la dirección origen es el búfer que contiene el dato recibido por serial, este dato es transmitido por el módulo DMA hacia una memoria RAM interna. La transmisión de datos mediante UART tiene como dirección de origen una memoria RAM interna, que por medio del control DMA, mueve uno a uno los datos contenidos en la memoria RAM hacia el búfer de transmisión.

La cantidad de datos que se transmiten vía UART se configura en el registro de “cantidad de datos” que son 1020 correspondientes cuatro códigos Hamming generado (247×4 bytes de mensaje + 8×4 bytes de paridad).

A la derecha de la configuración DMA encontramos la dirección de la memoria interna el cual, los datos en ella son enviados de una dirección a otra de acuerdo a la configuración previamente realizada.

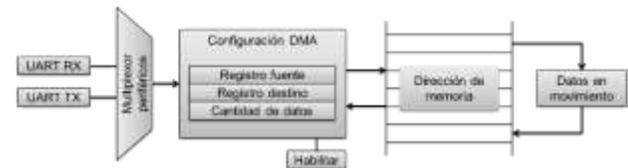


Figura 2 Diagrama de bloques de control DMA

Escritura de página

En la Figura 3 se muestra el diagrama a bloques de la lógica interna del datalogger para la escritura de una página. La recepción de los datos por serial se realiza de manera continua, cada dato recibido se mueve a un vector B mediante el módulo DMA.

El vector B tiene una capacidad de 988 bytes, si la recepción de datos llega a 988 bytes, entonces B se encuentra llena y la información almacenada en B es movida al vector A, el cual tiene una longitud de 1020 bytes. En el tiempo en que se hace el movimiento de la información de B a A, se continúa recibiendo datos por UART, los cuales se continúan moviendo a B, iniciando nuevamente en la posición 1 hasta llegar a los 988. El tiempo que lleva mover los datos de B a A es menor que el tiempo en que se recibe un dato por serial, por lo que no existen pérdidas de información.

Del vector A se generan los códigos de corrección de errores por medio de la función “conversión”, dando como resultado 32 bytes nuevos, los cuales son concatenados con A, teniendo ahora 1020 bytes de los cuales 988 bytes de información de interés para el usuario y 32 bytes de código de corrección de errores.

El datalogger solo hace uso de 2040 bytes por página, estos bytes lo toma del área de datos. La función conversión crea cuatro códigos Hamming (255,247).

Los datos en A son almacenados en la primera o segunda sección de la página mediante un selector el cual está controlado por el número de paquete recibido (posición 0 a 1020), solo se pueden almacenar dos paquetes por página.

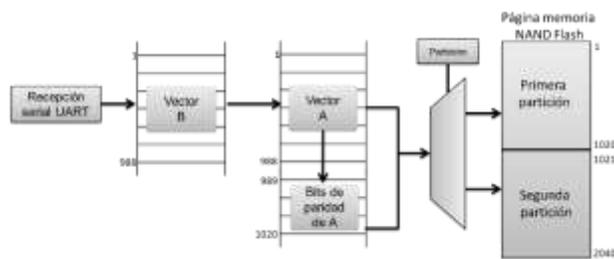


Figura 3 Diagrama de bloques de datalogger para escritura de página

Lectura de página

En la Figura 4 se muestra el diagrama a bloques de la lógica interna del datalogger para la lectura de una página. La asignación de datos a una página de memoria NAND Flash se hace en dos subsecciones de 1020 bytes cada una, dando como resultado 2040 bytes por página. La sección a leer de la página es elegida por un selector y transferido a dos vectores, A' de 988 bytes y ParA de 32 bytes.

El vector A' contiene los datos de interés del usuario y ParA contiene los bits de paridad, ambos vectores fueron almacenados en la página realizada en el proceso de escritura. Con A' se generan nuevos bits de paridad y son almacenados en el vector ParA'. Haciendo uso de ParA y ParA' es posible corregir errores en A' que se hayan generado en el momento de la escritura.

Los datos de A' son transferidos a uno de dos vectores llamados X e Y. X e Y cuentan con 988 bytes y reciben los datos de interés del usuario, la selección para mover los datos de A' a X o A' a Y se realiza por medio de un selector.

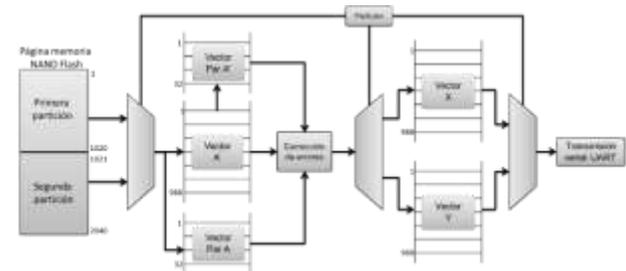


Figura 4 Diagrama de bloques del datalogger para lectura de página

Finalmente el vector seleccionado, X o Y, es transferido por protocolo UART mediante el módulo DMA, la transmisión de estos vectores por UART es continua y se realiza por paquetes de 988 bytes. El tiempo de transferencia por UART permite al datalogger realizar un nuevo ciclo de lectura, en el cual se lee la siguiente partición, en caso de ser necesario corrige el vector A' y se mueven los datos de A' al vector que no está siendo usado por el módulo DMA. Los tres selectores usados en los multiplexores es el controlador por la sección leída, donde a la primera sección le corresponde el vector X y a la segunda sección le corresponde el vector Y.

Módulo Hamming (255,247)

En la Figura 5 se presenta el sistema de codificación y decodificación de mensajes para una memoria NAND Flash, en el presente trabajo, tanto el ingreso como la extracción es la transmisión UART.

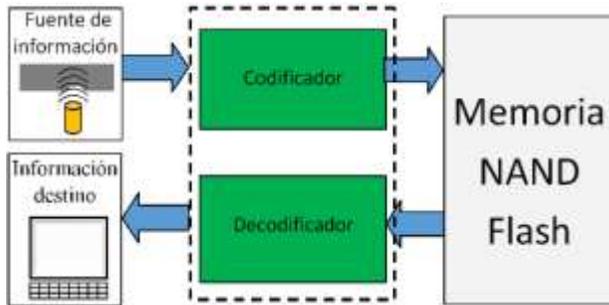


Figura 5 Sistema de codificación y decodificación de mensajes para una memoria NAND Flash

En la construcción de códigos Hamming se deben reacomodar las palabras de código a generar reservando las posiciones que sean potencia de dos para los bits de paridad (Figura 6) (Jiménez, 2016). En la Figura 6, las m son para los bits de mensaje y las u son para los bits de paridad. En la Figura 7, los bits de paridad se calculan utilizando operaciones XOR entre los bits que se encuentran en su fila sombreados en azul y se almacenan en los que se encuentran sombreados en verde.

mensaje	Posición						
	1	2	3	4	5	6	7
	u1	u2	m1	u3	m2	m3	m4
1110	-	-	1	-	1	1	0

Figura 6 Ejemplo de estructura de una palabra código de Hamming

Se realizaron tres arquitecturas de codificación Hamming, las cuales se mencionan en los apartados 2.4.1, 2.4.2 y 2.4.3.

	Posición						
	1	2	3	4	5	6	7
	u1	u2	m1	u3	m2	m3	m4
u1			1		0	1	1
u1	1		1		0	1	1
u2		1	1		0	1	1
u3				0	0	1	1

Figura 7 Ejemplo de construcción de un código Hamming (7,4)

Hamming de forma horizontal

Para poder almacenar los datos y los bits de paridad en una memoria NAND Flash, primero se optó por tomar los bits de mensaje de forma horizontal. Las filas de la Figura 8 son los bytes que serán almacenados, las columnas son los bits de cada byte.

1	...	7	8
9	...	15	16
⋮	⋮	⋮	⋮
241	...	247	248

Figura 8 Primera arquitectura de codificación Hamming la cual toma los mensajes horizontalmente

La arquitectura que codificó utilizando mensajes de forma horizontal fue la presentada en la Figura 9.

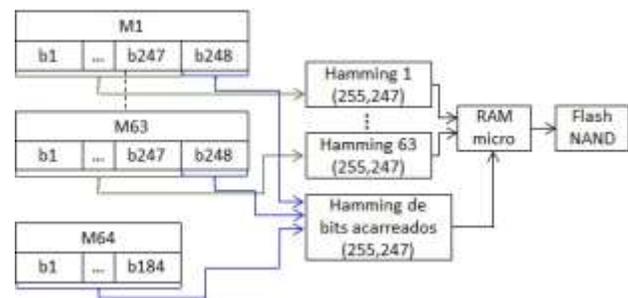


Figura 9 Arquitectura para codificación Hamming (255,247) de forma horizontal

Los 247 bits se reacomodaron siguiendo la metodología de la Figura 6, por lo que se obtuvo la

Figura 10, en donde se nota que las posiciones potencias de 2 se reservan para los bits de paridad.

Hamming de forma vertical

El segundo método para codificar fue tomando los bits de mensaje de forma vertical (Figura 11). Cada fila representa un byte y cada columna representa un mensaje a codificar.

Este método es menos complejo ya que las operaciones xor consideran toda la fila o byte.

u1	u2	m1	u3	m2	m3	m4	u4
m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	u5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m20	m21	m22	m23	m24	m25	m26	u6
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m51	m52	m53	m54	m55	m56	m57	u7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m114	m115	m116	m117	m118	m119	m120	u8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m241	m242	m243	m244	m245	m246	m247	m248

Figura 10 Estructura de un código Hamming de forma horizontal (255, 247)

b8 1	b7 1	...	b1 1
b8 2	b7 2	...	b1 2
⋮	⋮	⋮	⋮
b8 247	b7 247	...	b1 247

Figura 11 Construcción Hamming de forma vertical

Cada página tiene 2048 bytes de datos y 64 bytes para los códigos ECC, por lo que cada página tiene en total 2112 bytes, que corresponden a 8.28 códigos de 255 Bytes. Se optó por tomar 8 códigos que corresponden a 2040 bytes (Figura 12).

Bits de mensaje				Bits de paridad			
0	...	246	...	0	...	7	...
		1729	...			56	...
		1975				63	

Figura 12 Método de almacenamiento en una página

Se procedió a calcular los códigos Hamming mediante operaciones xor mediante el algoritmo de la Figura 13.

El algoritmo de la Figura 13 no está optimizado en cuanto al tiempo que se requiere para la generación de los bits de paridad, es por ello que se implementó un algoritmo que optimizara este tiempo.

```

1. pos_men=0, nx[8]=-1, x_ini={1,2,4,8,16,32,64,128}, xo[8x8]={0}
2. for pos_cod=1:255
3.   if(pos_cod==1,2,4,8,16,32,64,128)
4.     pos_men=pos_men+1;
5.   end if
6.   for i=1:8
7.     if (pos_cod>=x_ini(i))
8.       nx(i)=nx(i)+1;
9.     end if
10.    if ((nx(i)>0) & (mod(nx(i),x_ini(i)*2)<x_ini(i)))
11.      xo(i,:)=xor(x(pos_men,:),xo(i,:));
12.    end if
13.  end for
14. end for
15. end for
    
```

Figura 13 Algoritmo para el cálculo de códigos Hamming

Hamming vertical optimizado

En la Figura 14 se puede observar que m11 es parte de la operación xor tanto para u1, u2, u3 y u4; m10 es parte de u2, u3, y u4; m8 y m9 es parte de u3 y u4. Lo mismo se puede decir para: m4 es parte de u1, m3 de u2 y de u3. Esta observación se utilizó para que el cálculo de u1 ayudara a u2, u2 a u3 y u3 a u4. Con esto fue posible mejorar el tiempo de cálculo de los bits de paridad y con ello optimizar el tiempo de codificación.

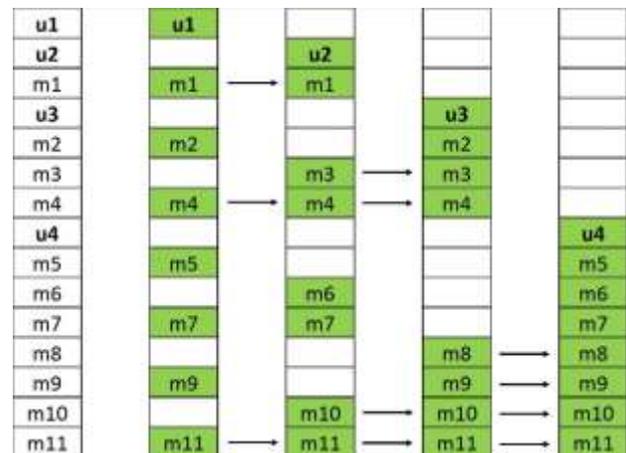


Figura 14 Método para encontrar bits de paridad Hamming de forma optimizada

Las operaciones xor fueron para un código Hamming (255,247).

La Figura 15 muestra el diagrama de bloques para la decodificación. Para la decodificación, primero hay que leer la memoria NAND Flash, este nos entrega el vector de datos A y el vector de bits de paridad ParA.

Luego, se calculan los bits de paridad del vector de datos A' dando como resultado el vector ParA'. Una vez calculados los bits de paridad ParA', se realiza la operación XOR entre los bits de paridad ParA' y ParA.

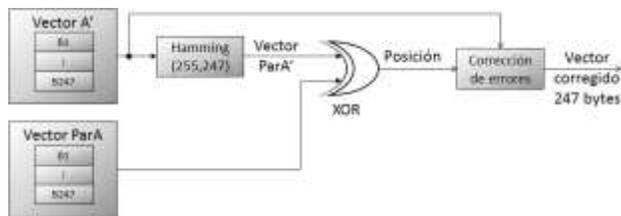


Figura 15 Diagrama de bloques para decodificación Hamming

El resultado de la operación XOR entrega la posición que hay que corregir, que es conocida como síndrome. Una vez teniendo la posición a corregir se corrigen los errores y se entrega como resultado el vector de datos corregido.

Evaluación del módulo Hamming

Para evaluar la corrección de errores, se generaron 1, 2, 4, 8, 16, 32 y 64 errores de forma aleatoria y obligando a que en cada código (n, k) existiera a lo mucho un error. La Figura 16 muestra un ejemplo de generación de 16 errores. Las cruces en rojo representan los códigos en los que existe un error y los números representan la dirección de los bits que mutaron en cada uno de los códigos.

Ejemplo de 16 errores en una página																		
	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
C0				*		*			C0				94		176			
C1									C1									
C2					*		*		C2						206			233
C3	*	*	*				*		C3	153	78	139						89
C4			*						C4					62				
C5								*	C5									10
C6				*		*	*		C6					116		21	10	
C7	*	*			*				C7	31	18				155			

Figura 16 Ejemplo de generación aleatoria de 16 errores

Se generó una señal seno con 1976 puntos (o bytes). Se realizó el cálculo de los bits de paridad de la señal seno. A continuación, a la señal seno se le asignaron las mutaciones de bits de acuerdo a la Figura 16 por lo que se generó una señal seno con puntos erróneos. La señal seno con puntos erróneos y los bits de paridad de la señal sin errores se envían al microcontrolador. El microcontrolador adquiere la señal seno con puntos erróneos y los bits de paridad de la señal sin errores. El microcontrolador realiza la decodificación y corrige errores como se muestra en la Figura 17.

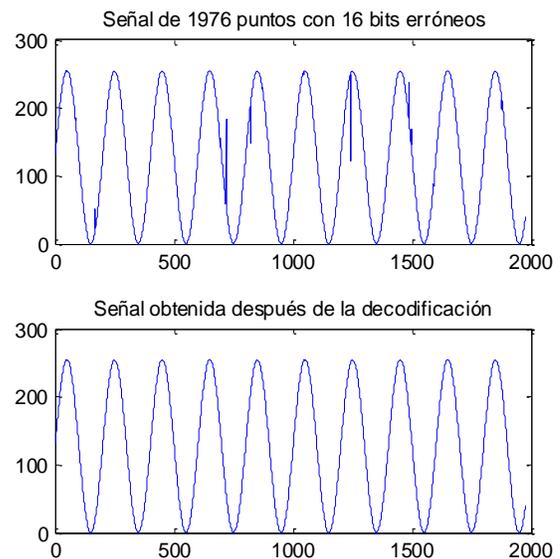


Figura 17 Comparación de la señal con errores enviada y la señal corregida

Resultados y discusión

La implementación de la lectura y escritura de una memoria NAND Flash se realizó en un microcontrolador de Texas Instruments MSP430F2618 operado a 16MHz que es de bajo consumo y tiene operaciones de acceso directo a la memoria (DMA), el almacenamiento se realizó en una memoria marca Hynix® de 256 MB.

El método seleccionado el cual resultó en menor tiempo de codificación y menor complejidad en el programa en C fue el Hamming vertical optimizado.

Los resultados obtenidos para la lectura, escritura y codificación Hamming se mencionan en las secciones 3.1, 3.2 y 3.3.

Escritura de memoria

El resumen de tiempos para la operación de escritura se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y en la Figura 18.

Operación	Tiempos (ms)
Traspaso del vector B a A	2.626
Codificación	6.438
Escritura de NAND Flash	3.374
LPM	30.374
Recepción de datos (RX)	42.85

Tabla 1 Resumen de tiempos para escritura de memoria NAND Flash

De la Figura 18, se puede observar que el tiempo de recepción de datos por UART transcurre en paralelo a las operaciones de codificación, escritura y LPM. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que el tiempo en modo de bajo consumo LPM es de 30.374 ms, lo que equivale a un 70% del tiempo total.

En la **Figura 18** se puede observar las operaciones necesarias para la escritura de una página: traspaso de B a A, codificación, escritura y LPM. La escritura de página se realiza en dos partes, cada una de 1020. También se observa que por cada página se realizan dos veces las operaciones de escritura debido a las dos subsecciones que tiene cada página.

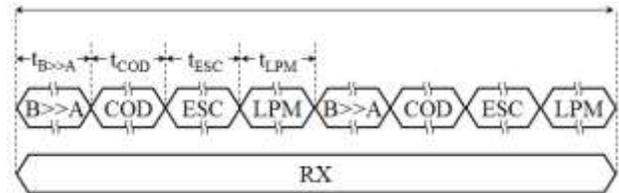


Figura 18 Diagrama de tiempo para escritura de una página en memoria NAND Flash

Lectura de memoria

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el resumen de tiempos en la operación de lectura para cantidad de errores igual o menor a 14 bits por página.

En la **Figura 19** se puede observar que las operaciones de lectura de memoria y decodificación ocurren en paralelo con la transmisión TX, esto se debe a las operaciones de acceso directo a la memoria DMA. También es importante notar de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que el tiempo en modo de bajo consumo LPM casi representa la mitad del tiempo de transmisión.

Operación	Tiempos (ms)
Lectura de NAND Flash	13.1
Decodificación	6.5
Traspaso a vectores X y Y	2.6
LPM	20.3
Envío a usuario	42.85

Tabla 2 Resumen de tiempos de lectura de memoria NAND Flash para una página

En la **Figura 19** se puede observar las operaciones necesarias para la lectura de una página: lectura de NAND Flash, decodificación, traspaso a vectores X e Y y el estado LPM. Al igual que en la escritura, como cada página tiene dos secciones, es necesario leer las dos secciones de la página de memoria NAND Flash.

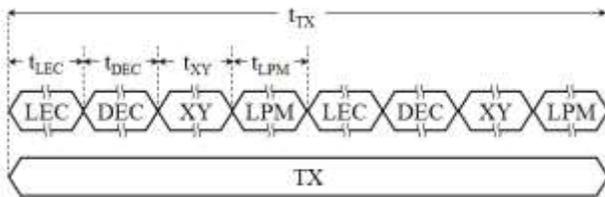


Figura 19 Diagrama de tiempos para lectura de una página en memoria NAND Flash

La **Tabla 3** muestra una comparativa entre trabajar con un microcontrolador que utiliza DMA y ECC Hamming (255,247) contra el uso de dos microcontroladores desarrollado por Medina Rodríguez, et al., (2016). El tiempo de lectura y escritura no varía mucho, sin embargo, se observa que el tiempo de lectura/escritura es menor para el uso del DMA (un microcontrolador), esto debido a que la cantidad de datos que se almacena utilizando un microcontrolador es de 2040 bytes que es menor que 2048 bytes (utilizando dos microcontroladores). La diferencia en bytes almacenados es porque el código Hamming (255,247) utiliza 255 bytes de código por lo que en una página se almacenan múltiplos de 255 bytes. Para aprovechar la mayor cantidad de memoria, se utilizan 2040 bytes que es múltiplo de 255 bytes y no excede el tamaño de página (2112 bytes).

El DMA, no reduce el tiempo de lectura/escritura además de que permite reducir el consumo de energía manteniendo al microcontrolador en modo de bajo consumo LPM.

Característica	2 μ c (Medina Rodríguez, et al., 2016)	Trabajo propuesto
Tiempo de lectura (una página)	44.95 ms	42.85 ms
Tiempo de escritura (una página)	44.95 ms	42.85 ms
ECC	×	Hamming (255,247)
Capacidad de memoria	Hasta 8 GB	Hasta 8 GB
Velocidad de almacenamiento	45.5 KB/s	47.6 KB/s
LPM	✓	✓

Tabla 3 Comparativa en características de la utilización de dos microcontroladores contra un microcontrolador que utiliza DMA

Corrección de errores

Para la codificación, el tiempo ocurre de acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (6.438 ms). La operación de escritura no tiene ningún problema en tiempos ya que el microcontrolador termina en 12.438 ms en hacer el proceso de codificación y escritura de memoria. Los siguientes 30.374 ms el microcontrolador se encuentra en estado de bajo consumo, situación que no siempre ocurre en la lectura de página.

El tiempo de decodificación para una lectura de página depende de la cantidad de bits erróneos que tenga la página que se va a leer. En caso de tener más de 14 errores por página el tiempo de transmisión por UART se incrementa. En el **Gráfico 1** se muestra los tiempos de decodificación en función del número de bits erróneos.



Gráfico 1 Tiempos de decodificación / transmisión para una página

La ecuación 1 es una aproximación del tiempo de transmisión de una página en función del número de bits erróneos por página.

$$t = \left. \begin{cases} 43.5 & [ms] \text{ si } be \leq 14 \\ 1.4 * be + 50.435 & [ms] \text{ si } be > 14 \end{cases} \right\} N, be \in \mathbb{N} \quad (1)$$

Para una cantidad de bits erróneos menor o igual a 14 bits por página, es posible realizar la transmisión en un tiempo de 43.5 ms. En caso de tener de 15 a 64 bits erróneos, la decodificación corregirá los bits mutados sí y solo si un código de 255 bits tiene por mucho un error. En caso de tener más de un error, el algoritmo puede detectar e intentar corregir pero no garantiza la corrección. La caracterización del tiempo de decodificación podría apoyar a predecir la degradación de la memoria.

En caso de requerir mayor capacidad de detección, los códigos Hamming pueden ser expandidos a códigos Hamming extendidos esto añadiendo un bit extra que se calcula mediante la ecuación 2.

$$\mu_x = c_0 \oplus c_1 \oplus \dots \oplus c_{n-1} \quad (2)$$

Con los códigos Hamming extendidos se puede detectar hasta tres errores pero al igual que el Hamming básico, solo garantiza la corrección de un error (Jiang, 2010).

La detección de errores tomaría importancia en caso de que el almacenamiento de datos no fuese en tiempo real. En caso de ser tiempo real, y requerir mayor capacidad de corrección, se pensaría en un código con una capacidad mayor de corrección de errores. Algunos ejemplos de códigos con mayor capacidad de corrección son: LDPC, BCH, Reed Solomon.

Conclusiones

De las ventajas que lleva la arquitectura del datalogger encontramos: 1) la sustitución de un microcontrolador por operaciones de acceso directo a la memoria, esto tiene como resultado la utilización de un solo microcontrolador; 2) la implementación de códigos de corrección de errores, el cual puede corregir un error por cada 255 bits. Para una página se garantiza la corrección de 64 bits erróneos siempre y cuando un código de 255 bits tenga máximo un error. En caso de tener dos errores, puede detectar, intentar corregir, pero no se garantiza la corrección.

Para la decodificación, en caso de que una página tenga más de 14 bits erróneos, el tiempo de transmisión al usuario se incrementa.

Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por el apoyo en la realización del presente trabajo. Fondo Secotrial de Investigación para el Desarrollo Aeroportuario y la Navegación Aérea (ASA-CONACYT), por el proyecto número 242864

Referencias

- Bez, R., Camerlenghi, E., Modell, A., & Visconti, A. (2003). Introduction to Flash memory. *Proceeding of the IEEE*.
- C. Park, J. S. (2003). Cost-efficient memory architecture design NAND Flash memory embedded systems. *International Conf. on Computer design*.
- Febrian, H., Hilwadi, H., Desta, Y., & Muhammad, A. T. (2016). Design and Implementation of Data Logger Using Lossless Data Compression Method for Internet of Things. *IEEE 6th International Conference on System Engineering and Technology(ICSET)*.
- Ibrahim, D. (2010). Design of a GPS data logger device with street-level map interface. *Advances in Engineering Software*, 859.
- Jiang, Y. (2010). *A Practical Guide to Error-Control Coding Using MATLAB®*. Norwood, MA: Artech House.
- Jiménez, L. A. (2016). *Diseño y desarrollo de arquitectura para la detección y corrección de errores en un arreglo RAID-6 para un controlador de memorias NAND-Flash*. Querétaro: CIDESI.
- Kobsar, D., Chad, O., Paranjape, R., Hadjistavropoulos, T., & Barden, J. (2014). Evaluation of age-related differences in the stride-to-stride fluctuations, regularity and symmetry of gait using a waist-mounted tri-axial accelerometer. *Gait & posture*, 553-557.
- M. N.N., O. A. (2013). Design of Data Logger with Multiple SD Cards,» Clean Energy and Technology (CEAT). *2013 IEEE*, 175-180.
- Medina Rodríguez, C. M., De León Gordillo, D., Rodríguez, N. A., G. Hernández, A., & Soto-Cajiga, J. A. (2016). Design of a data logger using a NAND Flash memory with a parallel architecture based on ultra-low power microcontroller. *Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico*.
- Micheloni, R., Crippa, L., & Marelli, A. (2010). *Inside NAND Flash Memories*. Agrate Brianza: Springer.
- N.N., M., A.M., O., S.Z., M. N., & M.Z., M. R. (2013). Design of Data Logger with Multiple SD Cards,» Clean Energy and Technology (CEAT). *2013 IEEE*, 175-180.
- Nisha, K., & Umesh, C. P. (2015). Multi Channel Data Acquisition and Data Logging System for Meteorology Application. *Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*, 220-225.
- Pavan, P., Bez, R., Olivo, P., & Zanoni, E. (1997). *Flash memory cells - an Overview*.
- Rajesh, L., Gao, R., & Krishnamurty, S. (2003). Design and realization of a portable data logger for physiological sensing. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1289-1295.
- Rivera Fárez, J. L. (2010). Diseño e implementación de un módulo datalogger para registro de datos obtenidos de variables analógicas y/o digitales mediante el módulo USB del PIC18F2550 y el software labview para comunicación con un PC.
- Toshiba America Electronic Components, INC. (s.f.). *NAND vs. NOR Flash Memory*.

Análisis comparativo entre el modelo dinámico y el modelo de la IEC para obtener la curva de potencia de turbinas eólicas

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Iliana*†, ESTRADA-GONZÁLEZ, César y HERNÁNDEZ-ARRIAGA, Isaac

Centro de Tecnología Avanzada

Recibido 7 de Abril, 2017; Aceptado 16 de Junio, 2017

Resumen

La curva de potencia de un aerogenerador de eje horizontal indica la potencia de salida a diferentes velocidades del viento. Actualmente existe una gran variedad de métodos paramétricos y no paramétricos para calcular la potencia de salida de los aerogeneradores. En este trabajo se presenta una comparación de dos métodos paramétricos para el cálculo de la curva de potencia: el modelo de la norma IEC-61400-12-1 publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional y el método dinámico basado en la ecuación de Langevin para modelos estocásticos. El objetivo fue modelar con datos reales obtenidos con los instrumentos de medición del mástil meteorológico ubicado en La Ventosa, Oaxaca, México durante el período de un año. Con estos datos se realizó la curva de potencia obtenida con estos modelos y se determinó que la turbulencia si afecta a la curva de potencia del aerogenerador en el sitio de prueba. Finalmente se proponen recomendaciones de ajuste de datos y aumento de la tasa de muestreo.

Turbina Eólica, curva de potencia, método paramétrico, método dinámico, turbulencia

Abstract

The power curve of a horizontal axis wind turbine indicates the output power at different wind speed. At present, there is a great variety of parametric and non-parametric methods to calculate the output power of wind turbines. This work present a comparison of two parametric methods for the calculation of the power curve: the IEC-61400-12-1 model published by the International Electrotechnical Commission and the dynamic method based en the Langevin equation for the models stochastic. The objective was to model with the real data obtained with the instruments of measurement of the meteorological mast located in La Ventosa, Oaxaca, during the period of one year. With these data the power curves obtained with these models were realized and determined that the turbulence really affect the power curve of the wind turbine at the test site. Finally there are recommendatios proposed of data adjustment and increase the sampling rate.

Wind turbine, power curve, parametric method, dynamic method, turbulence

Citación: RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Iliana, ESTRADA-GONZÁLEZ, César y HERNÁNDEZ-ARRIAGA, Isaac. Análisis comparativo entre el modelo dinámico y el modelo de la IEC para obtener la curva de potencia de turbinas eólicas. Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-2:31-38

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En México la principal fuente de obtención de energía eléctrica es por energías convencionales, como son los combustibles fósiles. Los cuales durante el proceso de transformación desprenden compuestos químicos como dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero que dañan y contaminan al medio ambiente (Contreras, Venegas, Arroyo, & Jiménez, 2016) (Jiménez, López, Molinero, & Casillas, 2016). Debido a esto, México es un país en vías de desarrollo en la implementación de energías renovables, como es la energía eólica (AMDEE, 2014), siendo una de las fuentes de energía renovables mejor posicionada para la generación de energía eléctrica (Hernández, Mina, & Claudio, 2016).

El Centro de Tecnología Avanzada sede Querétaro (CIATEQ) ha trabajado desde el 2015 en el desarrollo de turbinas eólicas de baja y mediana potencia, siendo una de sus principales líneas de investigación: el diseño, manufactura y pruebas de aerogeneradores.

Las turbinas eólicas son dispositivos mecánicos que convierte la energía del viento en energía eléctrica, funcionando bajo el principio de sustentación que se desarrolla en el aspa por su diseño aerodinámico, donde el rendimiento máximo de conversión se debe al límite de Betz (Villarrubia, 2012), es decir, se extrae del viento como máximo, solo el 59.3% de energía.

De acuerdo a la norma, para conocer la capacidad de producción de potencia eléctrica, es necesario realizar la prueba de la curva de potencia, llevada a cabo en el terreno de sitio (IEC-61400-12-1, 2005-12) la cual consiste en obtener mediciones de datos de un mástil meteorológico en un período de tiempo de 10 minutos, indicando mediante gráficos cual es la potencia disponible a diferentes velocidades del viento.

Por lo que es necesario analizar y comparar el método de la curva de potencia con dos modelos paramétricos: Modelo dinámico y el modelo normalizado (IEC). Con el fin de determinar si el factor de turbulencia afecta a la prueba de la curva de potencia que se lleva a cabo en el Centro Regional de Energías Renovables (CERTE), de La Ventosa, Oaxaca. Región que cuenta con un comportamiento de distribución bimodal del viento durante el año (Jaramillo & Borja, 2004) (José, 2016) existiendo altas ráfagas de viento y provocando mayor cantidad de turbulencia en el sitio de prueba. Impactando en la producción de energía anual (AEP) del aerogenerador, la cual es la estimación de la producción energética total de una turbina eólica durante un periodo de un año.

La primera sección de este trabajo, comprende un análisis del viento de La Ventosa, Oaxaca, siendo de gran importancia este estudio para determinar el comportamiento anual de la velocidad y dirección del viento utilizando el programa de Matlab® y WindoGrapher®. En la segunda sección se describe el método de la IEC para la realización de la curva de potencia, utilizando la norma IEC-61400-12-1.

Posteriormente en la tercera sección se realiza una descripción general del método dinámico para la realización de la prueba de la curva de potencia y finalmente, se muestran los resultados obtenidos en ambos métodos, realizando una comparación para determinar la variabilidad de ambas graficas de potencia de la turbina eólica.

Metodología a desarrollar

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los pasos desarrollados en cada etapa.

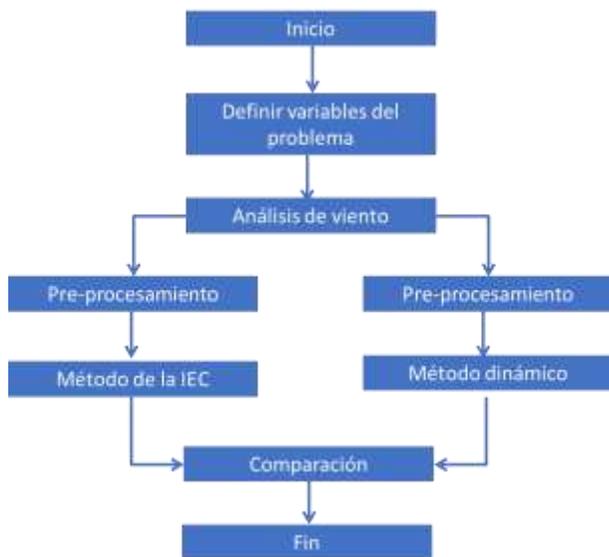


Figura 20 Diagrama de la metodología desarrollada

Fuente (Elaboración propia)

VARIABLES DEL PROBLEMA

El viento es el aire en movimiento que se produce en la atmosfera debido a las diferencias de temperaturas, provocadas por la radiación solar. Se caracteriza por tener una velocidad y dirección, las cuales son afectadas por diferentes factores como: la zona geográfica, el clima y la topografía del terreno.

Para la realización de la prueba de la curva de potencia se deben obtener los datos de los equipos de medición, ubicados en la torre anemométrica (ver Figura 21 Instrumentos de medición en la torre anemométrica

Fuente).

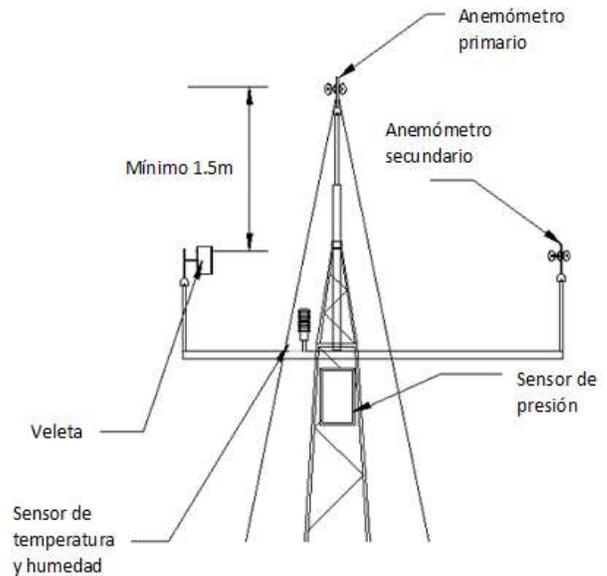


Figura 21 Instrumentos de medición en la torre anemométrica

Fuente (IEC-61400-12-1, 2005-12)

Los datos obtenidos por estos equipos son:

- Velocidad de viento
- Dirección del viento
- Presión
- Temperatura y humedad

Una vez obtenidos los datos se procede a realizar un análisis de viento para obtener: la rosa de los vientos con el fin de determinar la dirección predominante del viento, y realizar un análisis de distribución de frecuencias de la velocidad del viento modelada con RealiaSoft Weibull de probabilidad de función de distribución (PDF).

Análisis del Viento

La Ventosa, Oaxaca, México se caracteriza por tener un gran potencial eólico, por su ubicación geográfica.

Oaxaca está ubicado en medio de cuerpos montañosos que forman una especie de embudo, facilitando el flujo del viento entre el océano Pacífico y el Golfo de México. Observándose velocidades de vientos altos, debido al efecto del fuerte de gradiente de presión en las montañas, provocados por los fuertes vientos que provienen del Golfo de México pasando por el paso de Chivela y desembocando al Océano Pacífico (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la**



Figura 22 Localización de La Ventosa

Fuente (Carranza- Edwards, 2000)

Con los datos proporcionados se realizó la rosa de los vientos (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) con el objetivo de determinar la dirección predominante del viento de La Ventosa, Oaxaca, dando como resultado que el sector predominante es al nornoroeste, con velocidades que van desde los 0 m/s hasta los 30 m/s.

Sector de velocidad	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Total
0 - 5	3722	640	2665	3030	2312	546	397	1837	15149
5 - 10	11351	87	240	440	2015	31	22	1600	15786
10 -15	10524	0	2	0	20	1	131	519	11197
15 - 20	3436	0	0	0	0	0	28	130	3594
20 - 25	746	0	0	0	0	0	0	13	759
25 - 30	27	0	0	0	0	0	0	0	27
Total	29806	727	2907	3470	4347	578	578	4099	46512

referencia.)

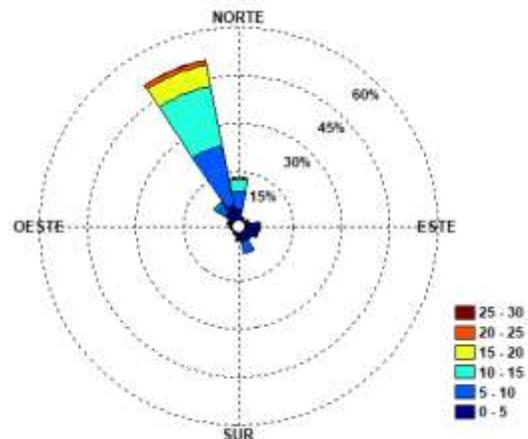


Figura 23 Rosa de los vientos

Fuente (Elaboración propia)

En la

Tabla 4 se muestran las repeticiones de datos dirigidos en la dirección de algún sector y el rango de velocidad, analizando 46512 datos en un periodo de un año a una altura de 40 m.

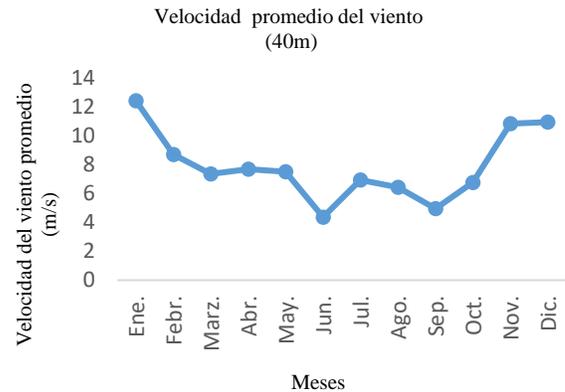


Gráfico 2 Velocidad mensual promedio del viento

Fuente (Elaboración propia)

Para realizar la curva de potencia se debe analizar el viento con la distribución de probabilidad Weibull (IEC-61400-12-1, 2005-12).

Esta distribución de probabilidad es utilizada para analizar las velocidades del viento en los recursos de la energía eólica (Sánchez, 2002). En el Gráfico 3, se muestra la distribución de frecuencia anual y la distribución Weibull con un factor $k=1.54$ y $c=8.89$ m/s.

Sector de velocidad	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Total
0 - 5	3722	640	2665	3030	2312	546	397	1837	15149
5 - 10	11351	87	240	440	2015	31	22	1600	15786
10 -15	10524	0	2	0	20	1	131	519	11197
15 - 20	3436	0	0	0	0	0	28	130	3594
20 - 25	746	0	0	0	0	0	0	13	759
25 - 30	27	0	0	0	0	0	0	0	27
Total	29806	727	2907	3470	4347	578	578	4099	46512

Tabla 4 Repeticiones de datos clasificados por la dirección y el sector de velocidad a 40 m de altura

Realizando el grafico de velocidades promedio del viento mensual (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se observa que el mes donde existe mayores ráfagas de viento es en enero alcanzando los 12 m/s de la velocidad del viento promedio, mes donde se produce mayor cantidad de potencial eólico. Otra observación es que en la gran parte del año el viento promedio esta entre los 8 m/s velocidad en que una turbina opera exitosamente.

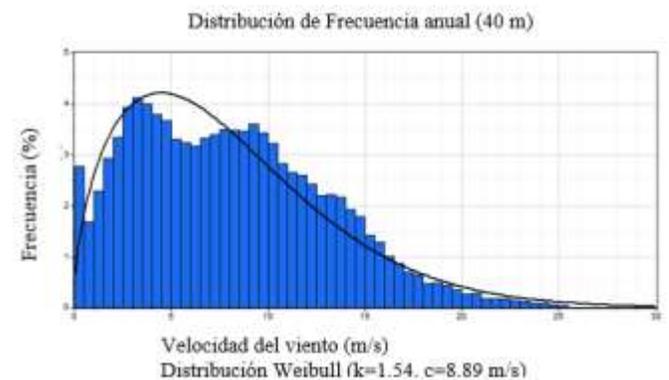


Gráfico 3 Distribución de frecuencias

Fuente (Elaboración propia)

Debido a la zona geográfica de La Ventosa Oaxaca, se realiza un análisis de distribución Weibull PDF doble, con la finalidad de ajustar la distribución al comportamiento de la frecuencia de datos. En el

Gráfico 4 se observa el resultado de aplicar la distribución Weibull PDF para la estación invernal del año analizado, se eligió esta estación ya que esta compuesta por los meses donde el viento predominante es mayor (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Dando como resultado una grafica con distribución bimodal, es decir, esta compuesta por dos distribuciones.



Gráfico 4 Weibull PDF – invierno

Fuente (Elaboración propia)

Donde los parámetros de la distribución Weibull PDF doble se muestra en la Tabla 5, resultados obtenidos con el programa RealiaSoft®.

Parámetros		
Distribución:	Weibull-Mixta	
Parámetros	Weibull 1	Weibull 2
k	2.363253	3.505796
c	4.34005	13.415674

Tabla 5 Parámetros de Weibull PDF- Bimodal

Fuente (Elaboración propia)

Método de la IEC

El procedimiento normativo para estimar la curva de potencia de una turbina eólica se describe en la IEC-61400-12-1. Esta norma es presentada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), para estimar la extracción de potencia de la turbina. Este procedimiento colecta datos para $\{u(t), P(t)\}$ en promedios de 10 min. Donde $u(t)$ es la velocidad del viento y $P(t)$ es la potencia de salida.

La norma describe la metodología para la curva de potencia, desde la prueba de equipos, proceso de medición y resultados de las mediciones.

La medición de la curva de potencia se deriva aplicando el “método de bins” con la finalidad de normalizar los datos usando las siguientes ecuaciones:

$$u_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} u_{n,i,j} \tag{1}$$

$$P_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} P_{n,i,j} \tag{2}$$

Donde u_i es la velocidad normalizada y promediada del viento en el bin i , $u_{n,i,j}$ es la normalización de la velocidad del viento del conjunto de datos j en el bin i , P_i es la normalización del potencial de salida del conjunto de datos j en el bin i y N_i es el número de datos de 10 min en el bin i .

El sistema de adquisición de datos para este método se basa en muestras de datos estadísticos descriptivos:

- Valor medio
- Desviación estándar
- Valor máximo
- Valor mínimo

Método dinámico

El objetivo de la metodología del método dinámico es determinar la conducta real de viento en la turbina eólica, basado en la ecuación de Langevin, teniendo como propósito obtener la curva de potencia de la turbina eólica, a partir de datos de alta frecuencia de mediciones de la velocidad del viento $u(t)$ y la potencia de salida $P(t)$.

El método utiliza datos frecuentes en lugar de promedios de 10 min, obteniendo una curva de potencia confiable, hasta con una cantidad de muestreo pequeña. Para obtener una parte determinista y otra parte estocástica. La parte determinística corresponde al comportamiento real de la turbina eólica y la parte estocástica corresponde a otros factores externos como la turbulencia del viento.

La potencia de un aerogenerador se realiza mediante un proceso estocástico satisfaciendo la propiedad de Markov (M., S. Suresh, A. Immanuel, & G. Edwin, 2013).

$$P(t) = P_{stat}(u) + p(t) \tag{3}$$

Donde $P(t)$ es la serie de datos de potencia, P_{stat} es el valor de potencia estacionaria dependiente de la velocidad u y $p(t)$ corresponde al tiempo corte de fluctuaciones causado por la turbulencia.

Resultados

En las siguientes gráficas se muestran los resultados obtenidos comparando el método de la IEC y el método dinámico para la prueba de la curva de potencia de una turbina eólica ubicada en La Ventosa, Oaxaca, México.

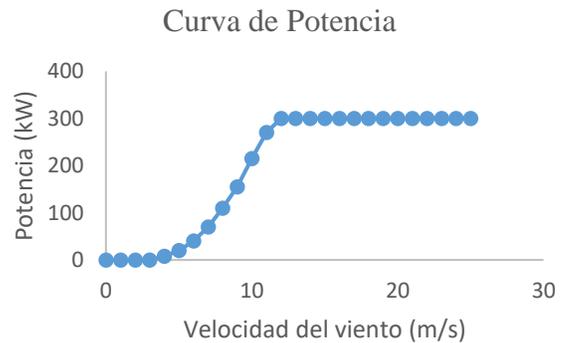


Gráfico 5 Curva de Potencia con el método de la IEC

Fuente (Elaboración propia)

Obteniendo los siguientes datos:

- Velocidad de cut-in es de 3 m/s
- Velocidad de cut-out fue de 25 m/s
- AEP es de 554,428 kWh.

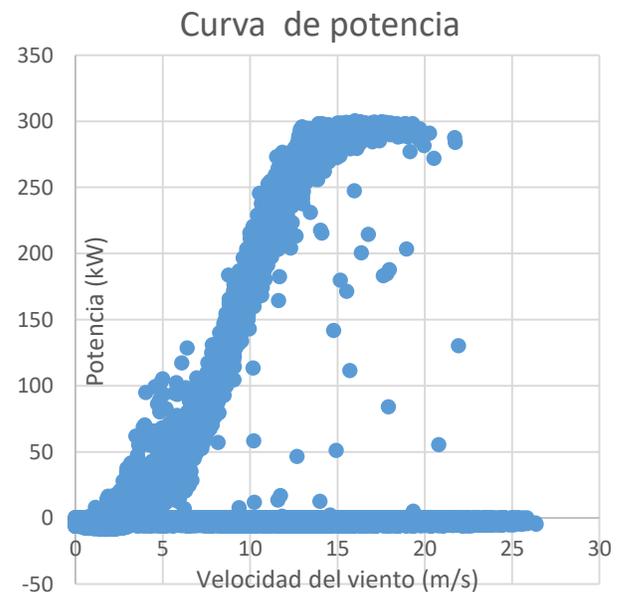


Gráfico 6 Curva de potencia con el método dinámico

Fuente (Elaboración propia)

En la Gráfico 6 se observa la curva de potencia con el método dinámico, la cual axiste una gran variabilidad de datos.

Agradecimiento

El primer autor agradece a CONACYT por hacer posible esta investigación, así como al CEMIE-Eólico por la obtención de datos analizados para este trabajo y a CIATEQ por la colaboración en el proyecto P07.

Conclusiones

Al realizar la prueba de la curva de potencia con ambos métodos, podemos observar que existe una variabilidad de datos entre ambos modelos. La curva realizada con la curva de potencia de la IEC utiliza datos estadísticos descriptivos, haciendo que la curva sea menos precisa ya que no considera la turbulencia del sitio. Siendo un gran factor ya que, en La Ventosa, Oaxaca, existe tiene vientos fuertes, dando origen a la turbulencia del sitio, debido a la zona geográfica y este factor debe ser considerado para evitar peligros en la turbina.

Referencias

AMDEE. (2014). Asociación Mexicana de Energía Eólica. Obtenido de <http://www.amdee.org/>

Carranza- Edwards, A. (2000). Ambientes sedimentarios recientes de la llanura costera sur del Istmo de Tehuantepec. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias del Mar y Limnología.

Contreras, A. L., Venegas, T. T., Arroyo, L. J., & Jiménez, B. R. (2016). Análisis armónico de

un aerogenerador y un STATCOM basado en una técnica mejorada para la obtención de la solución periódica. *Revista Aplicaciones de la Ingeniería*, 34.

Hernández, O., Mina, J., & Claudio, A. (2016). Emulador de Turbina Eólica basado en el Control Vectorial de una Máquina Eléctrica. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 117-130.

IEC-61400-12-1. (2005-12). Wind Turbines. Part 12-1: Power Performance Measurements of Electricity Producing Wind Turbines. IEC.

Jaramillo, O. A., & Borja, M. A. (2004). Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: a bimodal probability distribution case. *ELSEVIER*.

Jiménez, R. A., López, G. V., Molinero, H. D., & Casillas, F. C. (2016). Metodología de Diseño del Perfil Aerodinámico de Hub para Turbinas de Viento de Eje Horizontal de Baja Capacidad. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 9-25.

José, C. D. (Noviembre de 2016). Evaluación de la confiabilidad de torres de aerogeneradores sujetas a viento turbulento. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

M., L., S. Suresh, K., A. Immanuel, S., & G. Edwin, P. (2013). A comprehensive review on wind turbine power curve modeling techniques. *ELSEVIER*, 1-9.

Sánchez, G. (Mayo de 2002). Evaluación del Recurso Eólico, Factibilidad Técnica y Aportación de Potencia Eólico-Eléctrica a un Sistema de Bombeo en Soto la Marina Tamaulipas. Monterrey, N. L.

Villarrubia, L. M. (2012). Ingeniería de la Energía Eólica. Barcelona, España: Alfaomega.

Diseño e implementación de un sistema de conversión de energía térmica a energía eléctrica

ALCALA-BAROJAS, Iván*†, CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, RUMBO-MORALES, Jese Yoe

Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos, División Académica de Mecánica Industrial, Av. Universidad tecnológica No. 1. Col. Palo Escrito, C.P. 62760, Emiliano Zapata Morelos, México

Recibido 7 de Abril, 2017; Aceptado 15 de Junio, 2017

Resumen

En base a un estudio se llegó a la conclusión de que uno de los elementos que no faltan, o básicamente uno de los recursos a los que se tiene mayor acceso en una zona rural es el fuego, es por esta razón que se llegó a la idea de crear un sistema que utilizara el fuego pero que transformara esta energía para mayor beneficio en electricidad. Se realizó un sistema de conversión de energía térmica en energía eléctrica en la fase de prototipo, el cual tuvo como fin aprovechar el efecto seebeck para transformar la energía. El prototipo se llevó a cabo utilizando placas seebeck, se usaron placas de cobre para hacer un esqueleto que absorbiera rápidamente el calor y transfiriera este a las placas seebeck. Dicho sistema se realizó con el cuidado y selección de componentes para eficacia y bajo costo. Otros objetivos fueron diseñar un prototipo pensado para ser portátil, lograr alcance de entre 1 a 5 Watts, mantener una salida constante de 5 V, determinar la viabilidad del sistema expuesto a situaciones reales tanto como su rentabilidad, ventajas y monto de inversión.

Efecto seebeck, energía eléctrica, energía térmica, prototipo

Abstract

Based on a study, it was concluded that one of the elements that are not missing, or basically one of the resources that has the greatest access in a rural area is fire, it is for this reason that the Idea to create a system that uses the fire but that will transform this energy for greater benefit in electricity. A system of conversion of thermal energy into electrical energy was carried out in the prototype phase, which was aimed to take advantage of the seebeck effect to transform energy. The prototype was carried out using seebeck plates, copper plates were used to make a skeleton which absorbed heat quickly and transferred this to the seebeck plates. This system was done with the care and selection of components for efficiency and low cost. Other objectives were to design a prototype designed to be portable, reach range of between 1 to 5 Watts, maintain a constant output of 5 V, to determine the feasibility of the system Exposed to real situations as well as their profitability, advantages and amount of investment.

Seebeck effect, electric energy, thermal energy, prototype

Citación: ALCALA-BAROJAS, Iván, CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, RUMBO-MORALES, Jese Yoe. Diseño e implementación de un sistema de conversión de energía térmica a energía eléctrica. Revista de Innovación Sistemática. 2017. 1-2:39-45

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ivanalcala@utez.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

La energía térmica es generada en cualquier sistema ya sea mecánico, eléctrico, biológico, químico, etc., ésta, genera una entropía o pérdida que se disipa en el entorno. Así como el fuego es usado como método de calefacción o cocción, pero el calor emitido por éste en parte es desaprovechado, de modo que hay una pérdida enorme, por lo que se busca que esta energía sea canalizada y aprovechada en otro tipo de sistema que trabaje a partir de ella.

El efecto seebeck es aquel que permite trabajar a partir de cierta concentración de calor o diferencia de temperatura entre la unión de dos metales de diferente naturaleza permitiendo un flujo de corriente o diferencia de potencial, lo que significa que aprovecha el calor emitido de un sistema y lo transforma en energía eléctrica.

La energía térmica que se genera alrededor de una llama puede convertirse en energía eléctrica con la utilización de los elementos adecuados que utilizan el efecto seebeck de forma que se aproveche la mayoría de la energía ayudando de esta forma a economizar gastos y reducir el uso de otras fuentes de energía no renovables.

Algunas zonas rurales actualmente en México aún carecen del servicio de electricidad y demasiadas comunidades están lejos de contar con ello, por esta misma razón el enfoque del proyecto va orientado a brindar una ayuda o establecer una alternativa de servicio eléctrico de bajo presupuesto.

Efecto Seebeck

Una diferencia de temperatura entre dos puntos en un conductor o semiconductor da como resultado una diferencia de voltaje entre estos dos puntos.

Dicho de otra forma, un gradiente de temperatura en un conductor o un semiconductor da lugar a un sistema incorporado en campo eléctrico. Este fenómeno se denomina el efecto Seebeck o el efecto termoeléctrico. El coeficiente de Seebeck mide la magnitud de este efecto (Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. 2011). El voltaje termoeléctrico desarrollado por unidad de diferencia de temperatura en un conductor se denomina coeficiente de Seebeck. Sólo la diferencia neta de tensión Seebeck entre los diferentes metales se puede medir. El principio del termopar se basa en el efecto Seebeck. (Kasap, 2001).

Aislamiento térmico

Para mantener la temperatura de un cuerpo sin aplicarle más calor constantemente debemos reducir estas transmisiones de calor al mínimo Alfredo, J. B., Carmen, G. T., & Gabriel, B. S. (2014).

En la naturaleza hay infinidad de aislantes térmicos de este tipo: la paja, la madera, el corcho, el pelo de los animales etc. Por su parte, la tecnología moderna ha logrado sintetizar materiales aislantes especialmente diseñados para esta función, como poliuretano-expandido, espuma de poliuretano, lana mineral, fibra de vidrio y una gran variedad de plásticos que pueden esponjarse y adquirir gran volumen con muy poca masa. (Jiménez, 2004)

Materiales cerámicos

Destacan entre las ventajas de los materiales cerámicos para aplicaciones industriales su peso ligero, gran resistencia y dureza, buena resistencia al calor y al desgaste, poca fricción y propiedades aislantes. (Smith, & Hashemi. 2006).

Convertidor elevador (boost)

Su aplicación principal es en fuentes de energía de Corriente Continua (CC) regulada y en el frenado regenerativo de motores de CC. Como implica su nombre, el voltaje de salida siempre es más grande que el voltaje de entrada.

Cuando el interruptor está encendido, el diodo es de polarización inversa, lo que aísla la etapa de salida. La entrada suministra energía al inductor.

Cuando el interruptor está apagado, la etapa de salida recibe energía tanto del inductor como de la entrada. (Mohan, Undeland, & Robbins, 2009)

En la figura 1 se muestra el diagrama de un convertidor cc-cc elevador de voltaje, para mayor entendimiento de la construcción y funcionamiento del mismo.

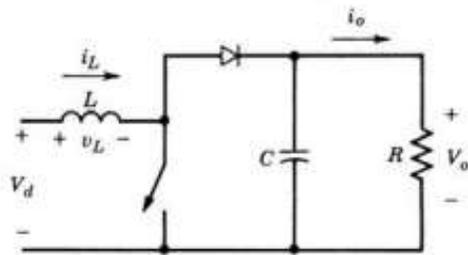


Figura 1 Diagrama de un convertidor elevador

Desarrollo

Se diseñó una estructura previa al armado como modelo 3D, una vez adquiridas las placas de cobre, el perfil de aluminio y el tubo de cobre, se cortaron estos y se armó el esqueleto de cobre que sirvió como soporte y sistema de conducción del calor por la parte de cobre y sistema de enfriamiento o disipación de la estructura final del prototipo en la parte de aluminio.

Una vez edificada la estructura se trabajó en la parte electrónica que se encargaría de la estabilización de la energía eléctrica generada, se realizó la prueba del funcionamiento de los convertidores cc-cc para elevar y mantener un voltaje fijo de salida, para ello se empleó una fuente de voltaje regulable en la que se verificó la multiplicación del mismo.

Se diseñó e implementó un sistema para recargar una batería en la que se mantuviera conservada la energía producida por las placas Seebeck y se acondicionó una salida para carga de celulares y otros dispositivos electrónicos por cable USB.

Una vez realizadas las pruebas de los sistemas por separado tanto como de generación, concentración, disipación de calor y el sistema de regulación y estabilización de voltaje se unieron todos en el montaje final para realizar la prueba de funcionamiento adecuado.

Se llegó a la mejor alternativa al momento de que se encontró una placa de semiconductores que trabajan mejor que los termopares comunes, esta placa llamada generador termoeléctrico trabaja con el principio de Seebeck aprovechando una diferencia de temperatura entre sus dos caras cerámicas generando una diferencia de potencial apegada a lo que se requería.

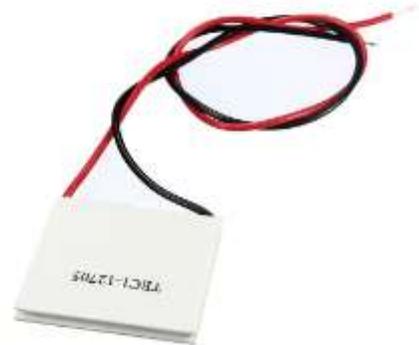


Figura 2 Placa de efecto Seebeck

Se realizó un prototipo en 3D (figura 3) para una visualización a futuro del mismo.

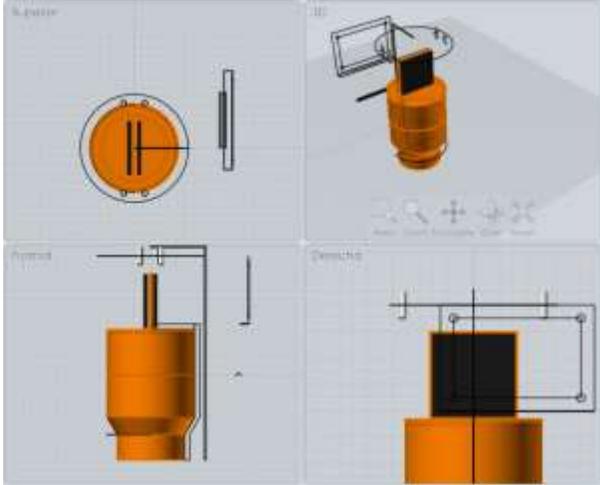


Figura 3 Diseño 3D del prototipo

Después de la realización del bosquejo en 3D y la búsqueda de material para la carcasa y esqueleto del prototipo se procedió a cotizar y solicitar el material (figura 4).



Figura 4 Materiales usados en el esqueleto provisional

Como siguiente paso se llevó a cabo una prueba de la velocidad de conducción que tenía cada metal, el cobre resulto tener una conducción más rápida relativamente al aluminio como se muestra en la tabla 1 de conductividades térmicas de algunos metales.

Material	$k, W/m \cdot ^\circ C^*$
Diamante	2 300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (l)	8.54
Vidrio	0.78
Ladrillo	0.72
Agua (l)	0.607
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio (g)	0.152
Caucho suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire (g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

Tabla 1 Conductividades térmicas de algunos materiales

El cobre tiene una conductividad térmica casi del doble del aluminio por esta razón alcanza una temperatura alta en menor tiempo, el cobre alcanza los $250^\circ C$ en 3 minutos mientras que el aluminio alcanza una temperatura de $150^\circ C$ aproximadamente, por lo que éste se tomó para formar parte del esqueleto concentrador de calor y el aluminio para la parte del sistema de disipación.

Con la adquisición de las placas Seebeck se realizó una prueba de funcionamiento la cual consistió en colocar un reductor de cobre sobre el corte realizado a una base de metal, sobre la reducción de cobre se colocó la placa Seebeck y sobre esta se colocó un disipador de aluminio con un ventilador conectado a una fuente de voltaje variable establecida a 7 Volts el cual servía para dispersar el calor más rápidamente y conservar una temperatura baja en la cara fría de la placa Seebeck, en la parte de abajo y para calentar una de las caras de la placa Seebeck se utilizó una vela de parafina en un contenedor de aluminio (Figura 5).



Figura 5 Base de prueba

De esta forma se realizó la primera prueba conectando las terminales de la placa Seebeck a un multímetro para hacer visible el nivel de voltaje producido por esta como se muestra en la figura 6.



Figura 6 Prueba de placa Seebeck

Comparando los datos de su hoja técnica (ver Figura 7) con la producción real en la que hubo una diferencia de 0.6 volts.

Posteriormente se procedió a realizar las anotaciones y variaciones de la temperatura en cada una de las caras y el voltaje generado en la placa.

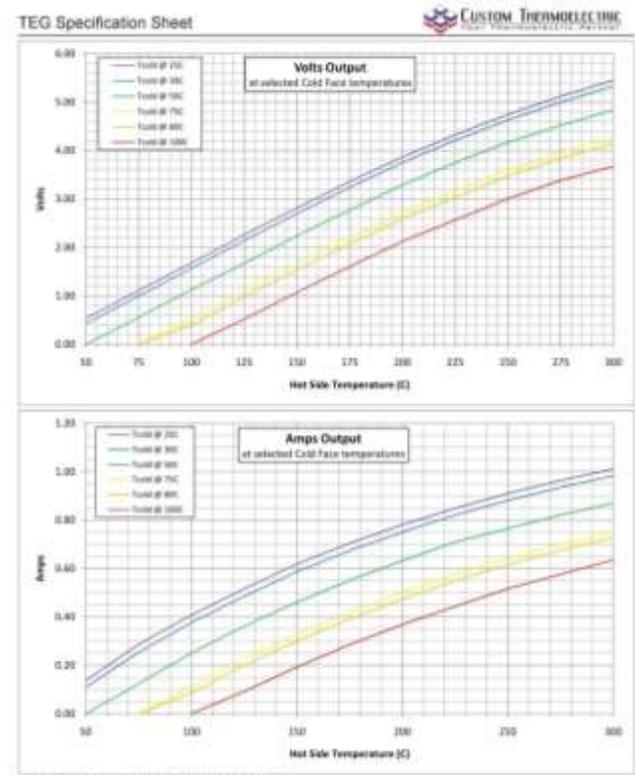


Figura 7 Hoja técnica de placas Seebeck

En las primeras pruebas en las que todo se montó provisionalmente, el máximo voltaje logrado fue de 1.4 V a una diferencia de temperaturas de 30°C aproximadamente, cuando el funcionamiento de acuerdo a la hoja de datos técnicos indicó que a una diferencia de temperatura de 200°C aproximadamente entre las dos caras, genera una salida constante de 5 V, esto se debe a los componentes de la placa son semiconductores los cuales al aplicarles una diferencia de temperatura generan una diferencia de potencial creando un flujo de electrones y mientras más diferencia de temperatura haya entre las dos caras, mayor es la producción de electrones que estas uniones de semiconductores generan.

Cuando la estructura estuvo conformada por completo se procedió al armado del sistema electrónico, el convertidor elevador fue la primer parte debido a que se requería mantener un voltaje alto y constante en la salida a pesar de que el valor de entrada o de generación fuera relativamente bajo. Se utilizó un sistema de regulación de voltaje aparte, el cual se encargó de regular la tensión a 5 volts para que fuera usado para la carga de celulares, tabletas u otros dispositivos electrónicos que requieran de una conexión de este tipo para su carga.



Figura 8 Boost (elevador de voltaje)

Se usaron dos placas en serie para que estas sumaran su voltaje generado y se añadieron terminales para cualquier otro tipo de aplicación deseado o requerido por el usuario del prototipo, se anexo también una batería recargable para que no se pierda la energía y se pudiera tener una carga reservada para emergencias.

Una vez terminadas las pruebas de los dos sistemas tanto térmico como electrónico, se juntaron en el sistema final del prototipo para comenzar a caracterizar su comportamiento haciendo uso de una vela como combustible en la parte caliente y el cuerpo disipador como la parte fría.

Resultados

El sistema diseñado logró alcanzar la potencia de 2 Watts y supero la expectativa que se tenía de lograr una potencia de 1Watt dando así una respuesta satisfactoria.

Se logró mantener una salida constante de 5 Volts en un puerto USB, a su vez (paralela a la salida de 5 V) se logró tener una salida independiente de 12 V para otros dispositivos que requiriesen de mayor carga.

Conclusiones

Se logró diseñar un sistema funcional o prototipo que cumpliera las expectativas de la problemática planteada.

Se superó el nivel establecido de valores iniciales de salida en voltaje y potencia

Referencias

Jiménez. (2004). *Ingenios solares*. Pamplona, España.: Pamiela.

Kasap (2001). *University of Saskatchewan*. Obtenido de http://electronicmaterials.usask.ca/Samples/The_rmoelectric-Seebeck.pdf

Smith, & Hashemi. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México, D.F.: McGraw Hill

Mohan, Undeland, & Robbins. (2009). *Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño*. México, D.F.: McGraw Hill.

Alfredo, J. B., Carmen, G. T., & Gabriel, B. S. (2014). *Termodinámica*. México, D.F.: GRUPO EDITORIAL PATRIA, S.A. DE C.V.

Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. Fundamentos y aplicaciones*. México, D.F: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Smith, & Hashemi. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* . México, D.F.: McGraw Hill .

El uso de radiación de microondas para la síntesis de Nanopartículas

SEGURA-DE JESÚS, Yara*† y CARBAJAL-FRANCO, Guillermo

Instituto Tecnológico de Toluca

Recibido 11 de Abril, 2017; Aceptado 16 de Junio, 2017

Resumen

Recientemente se ha incrementado el uso de microondas para la obtención de nanopartículas. Algunos métodos usan la radiación de microondas para la evaporación de sustancias químicas, para calentar coloides a altas temperaturas, como fuente de energía para el crecimiento de semillas y para pirólisis asistida. La radiación con microondas se ha usado en otras aplicaciones para obtener sulfuros, nitratos y el crecimiento de cristales de diferentes materiales. Existen algunas publicaciones que reportan el uso de microondas para la obtención de óxidos metálicos mediante la evaporación de metales con bajo punto de fusión, a presión atmosférica y usando un crisol como agente susceptor. La radiación con microondas presenta numerables ventajas comparado con otros procesos, ya que las nanopartículas se pueden obtener en un corto tiempo de depósito y a un bajo costo. En este trabajo se presenta una revisión del uso de la energía de radiación de microondas para la obtención de nanopartículas. Se presentan y comparan las técnicas más comunes: reacciones en autoclave, evaporación de soluciones químicas y calentamiento a alta temperatura usando un material susceptor; con la finalidad de encontrar las diferencias que hacen única cada una de las técnicas.

Método de microondas, nanopartículas, radiación

Abstract

In the last years, the use of microwave electromagnetic radiation has been widely used as new path to synthesize nanomaterials. Many of these methods use the microwave irradiation-heating technique to evaporate chemical preparations, to heat aqueous colloidal suspensions at high pressures, as a source of energy for seed growing, and as an assisted pyrolysis technique. Currently, the microwave radiation method has been used for many applications to obtain sulphides, nitrates and the crystal growth of other materials. There are also some publications dealing with the use of microwave radiation for the synthesis of metallic oxides, by the evaporation of a metal with a low fusion temperature at standard atmosphere conditions; using a crucible based on a susceptor material. The microwave irradiation has some advantage over other process; in this regard, nanoparticles can be obtained in a short deposition time with a reduced cost due to the inexpensive equipment. In this paper, a review of the use of microwave radiation as an energy source for nanoparticles synthesis is presented. The most common techniques such as autoclaved reactions, chemical solution-evaporation and high temperature heating based on a susceptor material are analysed and compared, finding the main differences that make each approach unique

Microwave method, nanoparticles, radiation

Citación: SEGURA-DE JESÚS, Yara y CARBAJAL-FRANCO, Guillermo. El uso de radiación de microondas para la síntesis de Nanopartículas. Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-2:46-56

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ysegurad@toluca.tecnm.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

En las últimas décadas, poder obtener y lograr manipular la materia a escala nanométrica ha sido de gran interés para los investigadores debido a que los nanomateriales tienen cambios considerables, como son la pérdida de propiedades ferroeléctricas y ferromagnéticas, cambio en sus propiedades eléctricas y catalíticas, disminución del punto de fusión y una gran relación superficie-volumen (Almendárez & González, 2011; Guozhong Cao, 2004; Lu, 2013).

Una forma de clasificar los métodos de obtención que se han usado para la obtención de nanopartículas son los llamados de “Arriba-abajo” y de “Abajo a arriba” (Bozon et al., 2009; Guozhong Cao, 2004; Zanella, 2012).

Los métodos de arriba-abajo y de abajo-arriba se pueden clasificar además en procesos físicos y químicos. Dentro de los procesos químicos se encuentran los de fase líquida como los de precipitación, sol-gel (Fuentes, Vazquez, & Vazquez, 2016; Gao et al., 2010; Vargas-Hernández, Barrón-Baza, García-Garcilazo, & Soriano-Silverio, 2016) y los hidrotermales (Guangxia Cao et al., 2016; Komarneni, Roy, & Li, 1992); y en su fase gaseosa se encuentran generalmente los procesos de hidrólisis (Akhter et al., 2017; Guangxia Cao et al., 2016; Zhu et al., 2002). Asimismo, están los procesos físicos como el de molienda, deposición física a través de vapor (plasma) y el calentamiento con microondas (Lin Wang, 2003; Wang et al., 2002).

El uso de microondas es una técnica innovadora que permite la obtención de nanopartículas en un corto tiempo (Baghurst & Mingos, 1988; Guo, Zhan, & Zhou, 2009; Komarneni et al., 1992; Kruis, Fissan, & Peled, 1998; Lü et al., 2011; Panneerselvam & Rao, 2003; Serrano, Cavazos, Peña, & Gómez, 2014; Yu & Dutta, 2011). En la última década se ha incrementado su uso debido a que ha sido útil para la sinterización de materiales, vulcanización de polímeros, química sintética, catálisis (Bond, Moyes, & Whan, 1993; Schmink & Leadbeater, 2011) y el procesamiento de materiales inorgánicos. Además, permite reducir el tiempo del calentamiento de materiales, debido a la ausencia de inercia dentro del horno, y ahorro de energía (Cherradi et al., 1998; Oghbaei & Mirzaee, 2010; K. I. Rybakov et al., 2006). Entre los primeros experimentos que se realizaron para la síntesis por microondas, se encuentran la síntesis de cerámica mediante el uso de microondas, utilizando materiales que presenten pérdidas dieléctricas lo suficientemente bajas; que aseguraran el calentamiento volumétrico (K. I. Rybakov et al., 2006; Spatz, 1995).

En 1971 se propuso por primera vez el uso de un horno de microondas, pero fue en 1986 cuando se usó por primera vez un microondas convencional para calentar reacciones orgánicas en solución (Gedye et al., 1986).

La radiación de microondas ha sido usada para la evaporación de soluciones químicas (Akhter et al., 2017; Hariharan et al., 2016; Ikuma, Oosawa, Shimada, & Kamiya, 2004; Lü et al., 2011; Zhu et al., 2002), para el calentamiento de coloides a altas temperaturas (Serrano et al., 2014; Zhong, Wang, Chen, & Liu, 2011), para pirólisis asistida (Miura et al., 2004; Zhang et al., 2016), y usando un agente susceptor (Rashidzadeh, Carbajal-Franco, & Tiburcio-Silver, 2015, 2016).

Calentamiento por microondas

Se conoce como microondas a las ondas electromagnéticas con frecuencias entre 300MHz y 300GHz (Bhattacharya & Basak, 2016; Oghbaei & Mirzaee, 2010; Schmink & Leadbeater, 2011).

Las microondas se caracterizan por tener una serie de propiedades que hacen que la síntesis sea más rápida y energéticamente eficiente. Su radiación permite un calentamiento selectivo de compuestos en una mezcla, con aceleración de velocidad de reacción durante la transferencia de energía electromagnética a térmica (Kirill I. Rybakov, Olevsky, & Krikun, 2013).

Sin embargo, la síntesis de materiales asistida por microondas, requiere un amplio conocimiento acerca de los cambios que los materiales puedan sufrir durante este proceso como son su forma, tamaño, estructura molecular, energía superficial, punto de fusión y sus propiedades ópticas por citar algunas (Cherradi et al., 1998; Gedye et al., 1986).

Ahora bien, la transmisión de energía electromagnética reduce la transferencia de calor por conducción térmica; entonces, la capacidad de calentar materiales está basada en la interacción de las moléculas con un campo electromagnético capaz de llegar al centro del material, generando así calor desde su interior (Bhattacharya & Basak, 2016; Kitchen et al., 2014; Oghbaei & Mirzaee, 2010).

De igual manera, la calefacción por microondas se ha convertido en un método importante durante el proceso de materiales, ya que permite un control óptimo de la velocidad de transferencia de calor en un reactor microestructurado eliminando las resistencias de transporte térmico (Gao et al., 2010).

La generación interna de calor que produce el horno de microondas en los materiales presenta algunos beneficios, comparado con los hornos convencionales. La radiación de microondas interactúa directamente con los componentes de reacción, lo que da como resultado una transferencia muy rápida de energía y conduce a aumentos rápidos de temperatura (Kitchen et al., 2014).

La calefacción por microondas se produce internamente, desde el centro del material generando calor dentro de la muestra; en la medida en que un material responde a los campos eléctricos y magnéticos alternos del microondas, como se muestra en la Fig. 1 (Bhattacharya & Basak, 2016; Miura et al., 2004).

Además, el método de calentamiento durante la síntesis modifica las propiedades finales, el tamaño y la forma del material. Asimismo, una de las propiedades que influye fuertemente en el método de calentamiento son sus características ópticas y la fotoluminiscencia, esta última, debido a cambios en los defectos superficiales del material que pueden actuar como rutas de escape (Serrano et al., 2014).

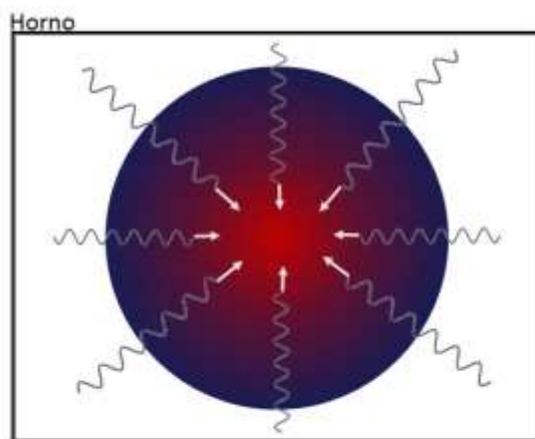


Figura 1 Calentamiento de microondas

Fuente: (Bhattacharya & Basak, 2016)

Por otra parte y sabiendo que la constante dieléctrica determina la capacidad de un material para almacenar energía electromagnética, mientras que la pérdida dieléctrica determina la capacidad del material para convertir la energía eléctrica en calor, es posible determinar los tipos y la cantidad de materiales que puedan exponerse a la radiación de microondas (Bhattacharya & Basak, 2016).

El susceptor como auxiliar para el calentamiento con microondas

No todos los materiales pueden ser calentados por microondas, es por esto que se usa un susceptor.

Un susceptor es un material que transforma la energía electromagnética en térmica (Chen, Warning, Datta, & Chen, 2017; Labuza & Meister, 1992). El susceptor en conjunto con el microondas aceleran el proceso de calentamiento al ser de forma bidireccional (de adentro hacia afuera por parte del microondas y de afuera hacia adentro del material por parte del susceptor) con pérdidas de calor reducidas en la superficie del material (Kitchen et al., 2014; Suriapparao & Vinu, 2015).

Al calentamiento asistido con un material susceptor se le conoce como calentamiento híbrido (Lasri, Ramesh, & Schächter, 2000; Menezes, Souto, & Kiminami, 2007; Ramesh, Brandon, & Schächter, 1999; Zhao et al., 2000). Cuando un susceptor es calentado por la radiación del microondas, el calor es transferido a la muestra desde la parte superficial (Fig. 2).

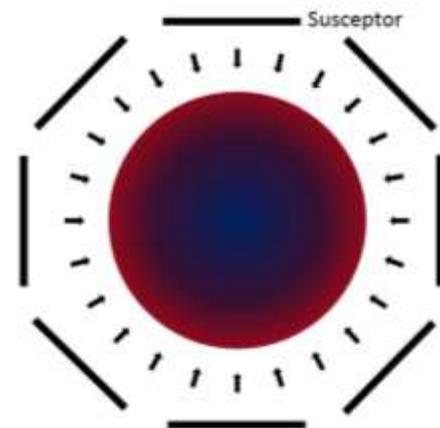


Figura 2 Calentamiento auxiliado por un material susceptor. (Fuente: Bhattacharya & Basak, 2016)

Debido a la unión del microondas y el agente susceptor la temperatura de la muestra puede llegar a su punto fusión (Fig.3). (Bhattacharya & Basak, 2016).

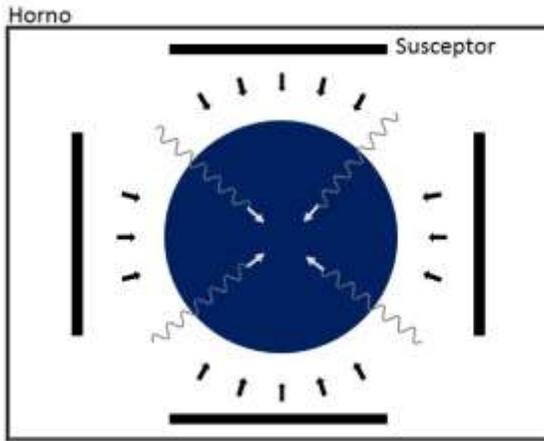


Figura 3 a) Transferencia de energía electromagnética hacia la muestra. Fuente: (Bhattacharya & Basak, 2016)

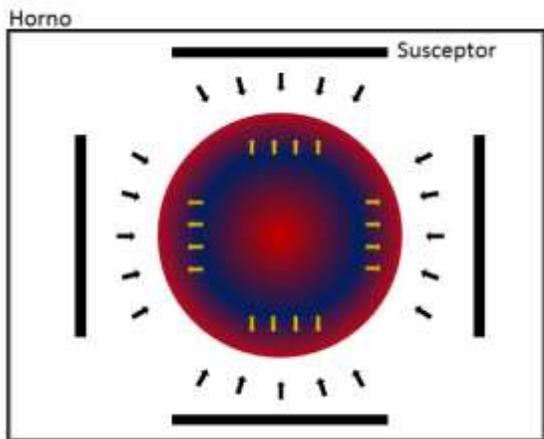


Figura 4 b) Calentamiento híbrido. Fuente: (Bhattacharya & Basak, 2016; Oghbaei & Mirzaee, 2010)

Por esta razón algunos investigadores han introducido los susceptores como auxiliar para elevar la temperatura de algunos materiales de una manera más rápida (Alford, Gadre, Vemuri, & Theodore, 2012; Dbowski, 2017; Suriapparao & Vinu, 2015; Vargas, Pantoya, Saed, & Weeks, 2016).

En 1999, Kuo Chung Lee et al., estudiaron el efecto del susceptor modelando anillos de Si concéntricos con diferentes diámetros colocados sobre un plano de cuarzo para mejorar el espesor de óxidos en un sistema RTP (procesamiento térmico rápido) de temperatura no uniforme. El método de utilizar anillos de Si separados como un susceptor mejora el espesor de los óxidos en sistemas RTP.

En el 2015, Suriapparao & Vinu, presentaron varios experimentos diseñados para comprender los defectos de potencia de microondas en diferentes susceptores en forma de polvo como el grafito, carbón activado, aluminio, carburo de silicio, lignina y cenizas volantes para evaluar y optimizar la composición del producto, para la recuperación de polímeros sintéticos. Al final del estudio clasificaron los susceptores basados en su velocidad de calentamiento, demostrando que al optimizar los parámetros de reacción se pudo obtener aceite a partir de plásticos de desecho por pirólisis asistida por microondas.

En el 2017, Marcin Antoni Dbowski, centró su estudio en el recubrimiento aplicado sobre policarbonato y sustratos de polimetilmetacrilatos, usando susceptores que contienen aluminio, materiales basados en carbono y carburo de silicio entre otros. Así como Dbowski, otros investigadores como Alford utilizan el carburo de silicio como agente susceptor, quien demostró que estos son una alternativa viable al calentamiento primario por microondas, especialmente en materiales que no absorben eficazmente la energía de microondas a temperaturas más bajas como es el silicio, en donde la temperatura en sus experimentos, oscilaba entre 620 y 720 °C (Alford et al., 2012; Dbowski, 2017). Sin embargo, el uso de un susceptor puede causar contaminación en los productos y la generación de plasma.

No obstante, el plasma inducido con microondas se ha utilizado eficazmente como un reemplazo para un susceptor, ya que el plasma transfiere energía entre la radiación del microondas y los reactivos, permitiendo que cualquier sólido pueda ser calentado (Kitchen et al., 2014). Aunque la formación de plasma puede ser indeseable en algunos casos, ya que interrumpe temporalmente el proceso además de infligir cambios abruptos en los patrones de calentamiento.

Resultados

El calentamiento por microondas ha tenido mayor relevancia para los investigadores en los últimos años, principalmente durante la obtención de materiales.

En 2010, Pengzhao Gao et al., sintetizaron películas finas de ferrita con diversos tamaños de grano sobre sustratos de silicio policristalino por el método de sol-gel, posteriormente calcinaron en un horno de microondas a una temperatura de 600 a 800 °C de 1 a 3 horas, dando como resultado del tratamiento térmico el aumento del tamaño de grano de 12 a 27 nm.

En 2011, Hailiang Lü et al., prepararon cristales de Cromito de Magnesio dopados con CO₂ utilizando una solución acuosa preparada con nitrato de magnesio y cromo, que posteriormente se sintetizó en un horno de microondas durante aproximadamente 20 minutos con una energía de microonda de 600W y una agitación de 750 rpm, formando un gel orgánico viscoso. Este método no requirió ningún proceso adicional de separación o enjuague.

En el 2014, T. Serrano et al., presentan resultados de la síntesis de un sistema coloidal comparado con el método de microondas, donde el Sulfuro de Plomo actuó como núcleo envuelto en sulfuro de zinc. En el caso del sistema coloidal, las nanopartículas obtenidas se mantuvieron en condiciones de reflujo durante 6 horas, mientras que las nanopartículas sintetizadas por el método de microondas se obtuvieron durante diferentes ciclos sometidos a la radiación con microondas dentro del horno, en ciclos de apagado/encendido con tiempos de calentamiento de 60 s, ajustando el pH de la solución a 7.0 con NaOH. Ambas muestras se centrifugaron, se lavaron con acetona y acetonitrilo, y luego se dispersaron nuevamente en agua para su caracterización.

En el 2016, V. Hariharan et al., analizaron el comportamiento magnético y electroquímico de nanomateriales de óxido de tungsteno dopado con cobalto, utilizando la irradiación directa del microondas a temperatura ambiente. Una solución de ácido volfrámico disuelto en NaOH y una solución de hexafluoruro de cobalto con ácido volfrámico y agua desionizada, dando una agitación por 20 min; posteriormente se transfirió la mezcla al horno de microondas durante 10 min a 180 W, obteniendo un precipitado amarillo, que fue recocido en un horno tubular con el fin de eliminar subproductos no deseados.

En el 2016, Mehrdad Rashidzadeh et al., demostraron una manera de obtener nanopartículas de CdO evaporando hojuelas de Cadmio, utilizando como agente susceptor un crisol que permitió elevar su temperatura hasta su evaporación, para poder ser depositados en un sustrato de vidrio en un tiempo menor a 2 min, obteniendo cubos de CdO de tamaños nanométricos.

Además, existen investigaciones donde se ha utilizado el método de microondas para el crecimiento de nanohilos, como lo hicieron Guangxia Cao et al., en el 2016, al hacer crecer matrices de nanohilos de ZnO por un método hidrotérmal asistido por microondas, sobre sustratos de vidrio de óxido de estaño dopado con flúor. Este proceso de calentamiento por microondas se realizó durante 5 horas a 640 W para hacer crecer las matrices de nanohilos de ZnO con diferentes longitudes. Durante el crecimiento, las soluciones precursoras se inyectaron continuamente en el reactor a un caudal de 7 ml/min.

Recientemente en 2017, Akshter Hashi et al., fabricaron de un sensor de hidracina a base de nanopartículas magnéticas de Fe₂O₃ recubiertas con silicio, obtenidas por un método de irradiación de microondas. El calentamiento homogéneo producido por la irradiación fue la clave para lograr el revestimiento efectivo y uniforme de las nanopartículas.

Conclusiones

El microondas se ha usado para la síntesis de materiales a escalas pequeñas, el crecimiento de nanohilos incluso la obtención de plasma, debido al aumento instantáneo de temperatura al exponer soluciones, sales, hojuelas o películas de algunos materiales a su radiación.

Dentro de sus usos se encuentran la síntesis de nanopartículas por métodos físicos y químicos, así como el crecimiento de matrices de nanohilos. Algunos investigadores han usado agentes susceptores para incrementar la temperatura en caso de que el material a calentar tenga un punto de fusión elevado o que el tiempo de exposición a las ondas electromagnéticas sea insuficiente para llegar al punto de fusión.

Es cierto que el método de microondas ofrece ventajas sobre otros métodos, como son el tiempo de depósito, trabajo a presión atmosférica y suele ser más barato incluso se puede observar la presencia de plasma. Sin embargo, existen materiales que, debido a las características y punto de fusión elevados, no serían posibles sintetizarlos usando solamente un horno de microondas, por lo que se requiere ayuda de un agente susceptor. No obstante, la presencia de susceptores puede contaminar una muestra si el material del susceptor presenta un punto de fusión más bajo que el material a calentar.

Agradecimientos

Agradecemos al Cosejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Instituto Tecnológico de Toluca, por su apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Akhter, H., Murshed, J., Rashed, M. A., Oshima, Y., Nagao, Y., Rahman, M. M., Asiri, A. M., Hasnat, M. A., Uddin, M. N., & Siddiquey, I. A. (2017). Fabrication of hydrazine sensor based on silica-coated Fe₂O₃ magnetic nanoparticles prepared by a rapid microwave irradiation method. *Journal of Alloys and Compounds*, 698, 921–929.
- Alford, T. L., Gadre, M. J., Vemuri, R. N. P., & Theodore, N. D. (2012). Susceptor-assisted microwave annealing for activation of arsenic dopants in silicon. *Thin Solid Films*, 520, 4314–4320.
- Almendárez, A., & González, J. A. (2011). Nanomateriales: su crecimiento, caracterización estructural y tendencias. *Ide@s CONCYTEG*, 6(72), 772–787.

- Baghurst, D. R., & Mingos, D. M. P. (1988). Application of microwave heating techniques for the synthesis of solid state inorganic compounds. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, (12), 829–830.
- Bhattacharya, M., & Basak, T. (2016). A review on the susceptor assisted microwave processing of materials. *Energy*, 97, 306–338.
- Bond, G., Moyes, R. B., & Whan, D. A. (1993). Recent applications of microwave heating in catalysis. *Catalysis Today*, 17(3), 427–437.
- Bozon, F., Fiévet, F., Piquemal, J.-Y., Brayner, R., El Kabouss, K., & Soumare, Y. (2009). Nanoparticles of metal and metal oxides : some peculiar synthesis methods , size and shape control , application to catalysts preparation. *Brazilian Journal of Physics*, 39(1A), 134–140.
- Cao, G. (2004). *Nanostructures & Nanomaterials. Synthesis, Properties & Applications*. London WC2H 9HE: Imperial College Press USA.
- Cao, G., Hong, K., Wang, W., Liu, L., & Xu, M. (2016). Fast growth of well-aligned ZnO nanowire arrays by a microwave heating method and their photocatalytic properties. *Nanotechnology*, 27, 435402–7.
- Chen, F., Warning, A. D., Datta, A. K., & Chen, X. (2017). Susceptors in microwave cavity heating: Modeling and experimentation with a frozen pie. *Journal of Food Engineering*, 195, 191–205.
- Cherradi, A., Marinel, S., Lakhdari, Z., Desgardin, G., Provost, J., & Raveau, B. (1998). A symmetric cavity that saves energy during microwave processing of materials. *Microwave Journal*, 41, 84–94.
- Dbowski, M. A. (2017). Low temperature microwave processing of silicone resin coatings containing microwave susceptors. *Surface & Coatings Technology*, 320, 13–17.
- Fuentes, T., Vazquez, C., & Vazquez, K. (2016). Incorporación de nanomateriales en el concreto fotocatalítico para la reducción de NOX y CO₂. *Revista de Energía Química y Física*, 3, 50–56.
- Gao, P., Rebrov, E. V., Verhoeven, T. M. W. G. M., Schouten, J. C., Kleismit, R., Kozłowski, G., Cetnar, J., Turgut, Z., & Subramanyam, G. (2010). Structural investigations and magnetic properties of sol-gel Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄ thin films for microwave heating. *Journal of Applied Physics*, 107, 44317–8.
- Gedye, R., Smith, F., Westaway, K., Ali, H., Baldisera, L., Laberge, L., & Rousell, J. (1986). The use of microwave ovens for rapid organic synthesis. *Tetrahedron Letters*, 27, 279–282.
- Guo, X. F., Zhan, H., & Zhou, Y. H. (2009). Rapid synthesis of LiFePO₄/C composite by microwave method. *Solid State Ionics*, 180(4–5), 386–391.
- Hariharan, V., Aroulmoji, V., Prabakaran, K., Gnanavel, B., & Parthibavarman, M. (2016). Magnetic and electrochemical behaviour of cobalt doped tungsten oxide (WO₃) nanomaterials by microwave irradiation method. *Journal of Alloys and Compounds*, 689, 41–47.
- Ikuma, Y., Oosawa, H., Shimada, E., & Kamiya, M. (2004). Effect of microwave radiation on the formation of Ce₂O(CO₃)₂.H₂O in aqueous solution. *Solid State Ionics*, 151, 347–352.
- Kitchen, H. J., Vallance, S. R., Kennedy, J. L., Tapia-ruiz, N., Carassiti, L., Harrison, A., Whittaker, A. G., Drysdale, T. D., Kingman, S. W., & Gregory, D. H. (2014). Modern Microwave Methods in Solid-State Inorganic

- Materials Chemistry: From Fundamentals to Manufacturing. *Chemical Reviews*, 114, 1170–1206.
- Komarneni, S., Roy, R., & Li, Q. H. (1992). Microwave-hydrothermal synthesis of ceramic powders. *Materials Research Bulletin*, 27(12), 1393–1405.
- Kruis, F. E., Fissan, H., & Peled, A. (1998). Synthesis of nanoparticles in the gas phase for electronic, optical and magnetic applications—a review. *Journal of Aerosol Science*, 29(5–6), 511–535.
- Labuza, T., & Meister, J. (1992). An alternate method for measuring the heating potential of microwave susceptor films. *Journal of microwave power and electromagnetic energy*, 27(4), 2015–208.
- Lasri, J., Ramesh, P. D., & Schächter, L. (2000). Energy conversion during microwave sintering of a multiphase ceramic surrounded by a susceptor. *Journal of the American Ceramic Society*, 83(6), 1465–1468.
- Lin Wang, Z. (2003). Nanobelts , Nanowires , and Nanodiskettes of Semiconducting Oxides From Materials to Nanodevices **. *Advanced Materials*, 15(5), 432–436.
- Lü, H., Ma, W., Zhao, H., Du, J., & Yu, X. (2011). Synthesis and Characterization of MgCr₂O₄:CO₂₊ Fabricated by a Microwave Method. *Materials and Manufacturing Processes*, 26, 1233–1235.
- Lu, K. (2013). *Nanoparticles Materials: Synthesis, Characterization and Processing*. New Jersey: Wiley. A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Menezes, R. R., Souto, P. M., & Kiminami, R. H. G. A. (2007). Microwave hybrid fast sintering of porcelain bodies. *Journal of Materials Processing Technology*, 190(1–3), 223–229.
- Miura, M., Kaga, H., Sakurai, A., Kakuchi, T., & Takahashi, K. (2004). Rapid pyrolysis of wood block by microwave heating. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(1), 187–199.
- Oghbaei, M., & Mirzaee, O. (2010). Microwave versus conventional sintering: A review of fundamentals, advantages and applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 494(1–2), 175–189.
- Panneerselvam, M., & Rao, K. J. (2003). Novel microwave method for the synthesis and sintering of mullite from kaolinite. *Chemistry of Materials*, 15(11), 2247–2252.
- Ramesh, P. D., Brandon, D., & Schächter, L. (1999). Use of partially oxidized SiC particle bed for microwave sintering of low loss ceramics. *Materials Science and Engineering: A*, 266(1–2), 211–220.
- Rashidzadeh, M., Carbajal-Franco, G., & Tiburcio-Silver, A. (2015). Nanoparticulated hydrophobic CdO coatings deposited by microwave procedure. *Micro and Nano Letters*, 10, 653–656.
- Rashidzadeh, M., Carbajal-Franco, G., & Tiburcio-Silver, A. (2016). Hydrophobic Coatings Composed by Cubic-Shaped CdO Nanoparticles Grown by a Novel and Simple Microwave Method. *Journal of Nanoparticles*, 2016, 1–6.

- Rybakov, K. I., Olevsky, E. A., & Krikun, E. V. (2013). Microwave sintering: Fundamentals and modeling. *Journal of the American Ceramic Society*, 96(4), 1003–1020.
- Rybakov, K. I., Semenov, V. E., Egorov, S. V., Ereemeev, A. G., Plotnikov, I. V., & Bykov, Y. V. (2006). Microwave heating of conductive powder materials. *Journal of Applied Physics*, 99, 1–10.
- Schmink, J., & Leadbeater, N. (2011). *Microwave heating as a tool for sustainable chemistry. Microwave Heating as a Tool for Sustainable Chemistry*.
- Serrano, T., Cavazos, J. L., Peña, Y., & Gómez, I. (2014). Synthesis and Characterization of PbS/ZnS core/Shell Nanoparticles by Microwave Method. *Chalcogenide Letters*, 11, 21–28.
- Spotz, M. S. (1995). Thermal Stability of Ceramic Materials in Microwave Heating. *Journal of the American Ceramics Society*, 78(4), 1041–1048.
- Suriapparao, D. V., & Vinu, R. (2015). Resource recovery from synthetic polymers via microwave pyrolysis using different susceptors. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 113, 701–712.
- Vargas-Hernández, J., Barrón-Baza, G. A., García-Garcilazo, J. E., & Soriano-Silverio, K. (2016). Síntesis de nanopartículas de TiO₂ con alta área superficial para degradación de contaminantes en agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2, 27–32.
- Vargas, E., Pantoya, M. L., Saed, M. A., & Weeks, B. L. (2016). Advanced susceptors for microwave heating of energetic materials. *Materials and Design*, 90, 47–53.
- Wang, Y., Meng, G., Zhang, L., Liang, C., & Zhang, J. (2002). Catalytic Growth of Large-Scale Single-Crystal CdS Nanowires by Physical Evaporation and Their Photoluminescence. *Chemistry Material*, 14(4), 1773–1777.
- Yu, Y. T., & Dutta, P. (2011). Synthesis of Au/SnO₂ coreshell structure nanoparticles by a microwave-assisted method and their optical properties. *Journal of Solid State Chemistry*, 184(2), 312–316.
- Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Www.Mundonano.Unam.Mx*, 5(1), 69–81.
- Zhang, L., Lan, J., Yang, J., Guo, S., Peng, J., Zhang, L., Zhou, C., & Ju, S. (2016). Facile Synthesis of Nanocrystal Tin Oxide Hollow Microspheres by Microwave-assisted Spray Pyrolysis Method. *Journal of Materials Science & Technology*.
- Zhao, C., Vleugels, J., Groffils, C., Luypaert, P. J., & Van Der Biest, O. (2000). Hybrid sintering with a tubular susceptor in a cylindrical single-mode microwave furnace. *Acta Materialia*, 48(14), 3795–3801.
- Zhong, C., Wang, J., Chen, Z., & Liu, H. (2011). SnO₂-Graphene Composite Synthesized via an Ultrafast and Environmentally Friendly Microwave Autoclave Method and Its Use as a Superior Anode for Lithium-Ion Batteries. *The Journal of physical chemistry C*, 115, 25115–25120.

Zhu, J., Zhu, J., Liao, X., Fang, J., & Zhou, M. (2002). Rapid synthesis of nanocrystalline SnO₂ powders by microwave heating method. *Materials Letters*, 53, 12–19.

Desarrollo de un sistema embebido para el control de asistencia motriz y autodiagnóstico de personas en sillas de ruedas

ROMERO-VÁZQUEZ, Juan Carlos*†, JIMÉNEZ-FLORES, Gustavo Aldair, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León

Departamento de Investigación de la escuela profesional de Ingeniería, Universidad de Ixtlahuaca CUI

Recibido 12 de Abril, 2017; Aceptado 26 de Junio, 2017

Resumen

En este artículo se presenta el diseño y aplicación de un sistema embebido que proporciona apoyo a las personas que asisten a los discapacitados que utilizan una silla de ruedas. El sistema es capaz de sensar la fuerza aplicada en el manillar de la silla por medio de un transductor pasivo que convierte un desplazamiento mecánico, producido por una fuerza, en un cambio de resistencia. La asistencia motriz del sistema debe ser capaz de darse en ambos sentidos de desplazamiento de la silla (atrás-adelante), por lo que para este sensado se acopla el eje de un encoder de cuadratura a una llanta de la silla. Estas señales son procesadas por un microcontrolador que a través de una etapa de potencia bidireccional en corriente es enviada a los motores que se encuentran sobre el eje de la silla, cabe mencionar que la fuerza sensada es proporcional al esfuerzo que realiza la persona que impulsa la silla de ruedas. Adicionalmente el sistema auto diagnosticara al paciente postrado en la silla, sensando sus signos vitales como su ritmo cardiaco y temperatura, con ayuda de sensores de fotodiodos que emiten señales infrarrojas y un sensor termopar que se adaptaría al cuerpo del paciente.

Sistema embebido, autodiagnóstico, convertidor de potencia

Abstract

This article presents the design and application of an embedded system that provides support to people attending the disabled who use a wheelchair. The system is capable of sensing the force applied to the handlebar of the chair by means of a passive transducer that converts a mechanical displacement produced by a force into a change of resistance. The driving assistance of the system must be able to be in both directions of displacement of the chair (back-forward), so for this sensation the axis of a quadrature encoder is coupled to a wheel rim. These signals are processed by a microcontroller which, through a current bidirectional power stage, is sent to the motors located on the axis of the chair, it is worth mentioning that the sensed force is proportional to the effort made by the person driving the Wheelchair. In addition, the system automatically diagnoses the patient lying on the chair, sensing their vital signs as their heart rate and temperature, with the help of photodiode sensors that emit infrared signals and a thermocouple sensor that would fit the patient's body.

Embedded system, self-diagnosis, power converter

Citación: ROMERO-VÁZQUEZ, Juan Carlos, JIMÉNEZ-FLORES, Gustavo Aldair, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León. Desarrollo de un sistema embebido para el control de asistencia motriz y autodiagnóstico de personas en sillas de ruedas. Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-2:57-67

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: juan.romero@uicui.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

Impulsar una silla de ruedas suele ser un poco desgastante para las personas que asisten a un discapacitado, entre las principales discapacidades encontramos enfermedades degenerativas, accidentes, entre otras. Para impulsar al paciente, se requiere de un esfuerzo proporcional al peso del usuario, en consecuencia al esfuerzo también podría ocasionar daños a la persona que asiste.

En ocasiones se requiere de ir monitoreando los signos vitales del paciente como su ritmo cardíaco y temperatura, por lo que suele ser complicado llevar un control de la persona lesionada.

En este artículo se presenta el diseño del sistema, además de platicar acerca de los sensores como temperatura, ritmo cardíaco y presión. Los sistemas embebidos son parte fundamental del proyecto ya que en la actualidad la tecnología empleada en el diseño y desarrollo de los sistemas embebidos es económico, robusto y accesible, por lo que el desarrollo del sistema se vuelve más factible.

En la actualidad se han desarrollado sistemas de asistencia enfocados a la automatización de sillas de ruedas, las sillas son manejadas con joystick o una botonera que el sistema apoya a la persona que manipula la silla [1].

Así como este sistema existen otros que van enfocados a las personas que no son capaces de manipular la silla ellos mismos, en este caso se ha recurrido al manejo de voz como medio, a través de una interfaz electrónica, que reconoce y procesa instrucciones por comando de voz, como “adelante”, “atras”, “izquierda”, etc.[2]

En la revisión del estado del arte nos encontramos con un sistema de control adaptativo que presenta alternativas de mando en base a sensores ultrasónicos y que se puede aplicar en espacios reducidos como en las casas de los pacientes [3].

El sistema que se presenta en este artículo está propuesto para el apoyo motriz a sillas de ruedas, mediante uno o más motores que son acoplados al eje de la silla, sin necesidad de modificar su estructura y en consecuencia generar tracción a la silla mediante la fuerza detectada en los sensores.

El sistema cumple con reducir el esfuerzo que realizan las personas al impulsar la silla de ruedas, así mismo detectar al mismo tiempo el sentido de giro de la silla (hacia atrás o adelante), ajustándose a cualquier tipo de silla convencional. Además de detectar el ritmo cardíaco y temperatura de la persona postrada en la silla, mostrando los datos en una interfaz amigable hacia la persona que dirige la silla de ruedas.

Es un sistema de fácil uso, así como accesible, este proyecto supera los principales obstáculos que genera la adquisición de un equipo electrónico de asistencia, teniendo una adaptación más amigable al entorno en el que se desarrollan las personas discapacitadas y por supuesto tendrán mejor comodidad tanto los discapacitados y sus asistentes.

Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos se pueden definir como todo sistema que no es una computadora, se define como un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar funciones dedicadas y que esta acoplado o es parte de algun dispositivo de hardware completo [4].

Los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microprocesador incorporado sobre el mismo, o también utilizando los compiladores específicos como C y C++. Los sistemas embebidos suelen tener en una de sus partes una computadora con características especiales conocida como microcontrolador que viene a ser el cerebro del sistema [5].

El microcontrolador utilizado en este sistema, para hacer la etapa de control es el circuito ATMega 328, que se encuentra en el sistema de desarrollo Romeo (figura 1), fabricado por la empresa DFRRobot y puede ser programado con el Arduino IDE.



Figura 1 Sistema Romeo [6]

Fuente: <https://www.arduino.cc/ArduinoBoardMega2560>

Con el Microcontrolador se hace un control de las señales que se reciben al utilizar el sistema y sea procesada esta información.

Sensor de presion (galga extensiometrica) y encoder de cuadratura

Una galga extensiometrica es un dispositivo transductor pasivo que se utiliza para la detección de esfuerzos aplicados (figura 2). Las galgas son fabricadas con alambres resistentes de diámetros, para detectar la tension aplicada sobre el dispositivo, este cambio de resistencia debe ser proporcional a la fuerza ejercida [7].

La galga extensiometrica puede ser adherida en la superficie de interés para counstruir un sistema para transformar las microdeformaciones en variables eléctricas y sean fácilmente medibles.



Figura 2 Galga Extensiometrica [8]

Fuente: <https://steadlands.com/product/fsr400-interlink-electronics/>

Esta resistencia de detección de fuerza es un componente pasivo que actua como una resistencia variable, con la resistencia a disminución en respuesta a la creciente fueza aplicada [9].

Este dispositivo esta acoplado al manillar, que normalmente es donde se asiste una silla de ruedas, la detección de la fuerza esta dado por medio del contacto humano con el sensor, por consecuente se hace sensible a la fuerza producida por una persona (figura 3).

Cabe mencionar que la fuerza aplicada sobre el sensor no es lineal acorde a la fuerza aplicada por la persona, por lo que el voltaje que se suministra impacta directamente a la respuesta del motor que esta coplado al eje de la silla.



Figura 3 Prototipo, sensor de fuerza en el manillar

Fuente: Propia

El control de este sistema puede darse en ambos sentidos de giro (enfrente-atras), llevando acoplado a una de las ruedas de la silla un encoder de cuadratura, teniendo dos salidas que al mismo tiempo generan ondas cuadradas que se defasan entre si según el sentido de desplazamiento de las ruedas (figura 4).

Este sentido de defasamiento es el que permite detectar el sentido de giro de la rueda acoplada al encoder, esta señal es interpretada por el microcontrolador, cuando llega primero.

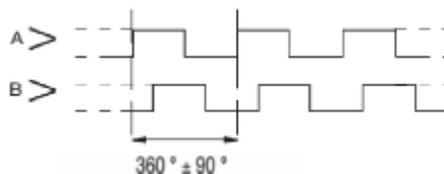


Figura 4 Desasamiento del enconder de cuadratura

Fuente: Propia

Las señales deberán llegar al microcontrolador de la siguiente manera: primero llegara el pulso de la señal A, y posteriormente el pulso de la señal B y por consecuente las ruedas de la silla giran en un sentido, pero si la detección de los pulsos por el microcontrolador es cotrario y primero llega la señal B y posterior a ello llega la señal A, el sentido de giro será invertido [10].

Una de las características de dicho control es lograr el éxito del desplazamiento de la silla en el entorno en el que se encuentra, detectando el sentido de giro de la misma, esta dado por una funcionalidad y mecanismo de dirección automática especializada para satisfacer una de las necesidades de la persona que asistirá al discapacitado en la silla de ruedas.

Sensor de ritmo cardiaco y temperatura

El sensor de ritmo cardiaco que es conocido también como oxímetro de pulso (figura 5), este sensor opera la saturación de oxígeno al comparar cuanta luz roja e infraroja es absorbida por la sangre, al medir cuanta luz alcanza al fotodetector [11].

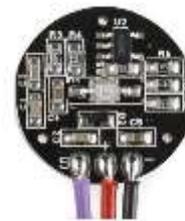


Figura 5 Sensor de ritmo cardiaco

Fuente: Solibella Bencomo (2016)

Al comparar la cantidad de luz que se absorbe, la solución a este es analizar únicamente la absorbancia de la sangre arterial, ignorando los efectos de los tejidos que rodean el dedo del paciente.

Por ende cualquier absorbancia variable en el tiempo se debe a la sangre arterial que circula en el dedo [12].

El sensor de ritmo cardiaco o sensor de un oxímetro de pulso consiste en dos LED's de longitudes de ondas específicas, que contiene un fotodetector, el detector empleado por este sensor es un fotodiodo (figura 6).

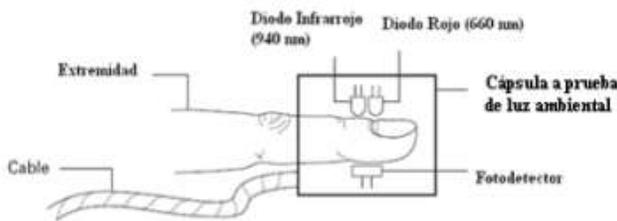


Figura 6 Sensor y componentes

Fuente: Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigación Biomedica.

Para la determinación del pulso cardiaco se usa la señal pulsada que proviene del dedo del paciente. Se detecta el número máximo del pulso, lo que genera una señal, cuyo periodo es igual al ritmo cardiaco, cada latido activará un temporizador que medirá el tiempo transcurrido entre los latidos y dicho tiempo transcurrirá por un minuto, obteniendo el número de pulsaciones del paciente por minuto.

La temperatura corporal en un paciente es vital para un mejor diagnóstico, dicho dato nos permite evaluar la diferencia de la regulación térmica que se presenta en el cuerpo humano, acorde a los cambios en la temperatura ambiental y la intensidad de la actividad realizada. La temperatura normal de un ser humano (tabla 1), de acuerdo a la Asociación Médica Americana, puede oscilar entre 36.5°C y 37.2°C, esta temperatura puede variar según el paciente que es atendido [13].

Niños 5 a 9 años	98.3°F	36.83°C
Niños 9 a 13 años	98°F	36.67°C
Niños 13 años a adultos	97.8 a 99.1°F	36.56 a 37.28°C

Tabla 1 Temperatura corporal por edad aproximada

Fuente: Propia

El sensor utilizado es el termistor Ntc (Sensor de Temperatura), el cual es un dispositivo basado en materiales semiconductores, cuya resistencia varía con la temperatura (figura 7).



Figura 7 Sensor de temperatura

Fuente: Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigación Biomedica.

Los termistores al igual que otro dispositivo construido en base a semiconductores tienen algunos parámetros que son de suma importancia para su elección y especificaciones con mayor frecuencia:

1. Resistencia a potencia cero: Es la resistencia del termistor cuando no existe efecto de autocalentamiento.

2. Variación de la resistencia con la temperatura: Es la sensibilidad; típicamente de 40Ω/°C, dependiendo del sensor.

3. Constante de disipación de potencia: Es la potencia requerida para que el termistor aumente su temperatura en un grado Celsius respecto al medio que lo circunda.

4. Estabilidad: Es la capacidad de un termistor para mantener sus características dentro del rango $0.03\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ en un periodo de 12 años.

5. Autocalentamiento: Es la potencia disipada en el termistor.

6. Temperatura máxima: Es la temperatura máxima en la cual el termistor conservará su operación con características de estabilidad aceptables ($-75^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$) [13].

La temperatura de las personas normalmente es tomada de manera interna o parte del cuerpo humano donde es concentrada, el dato es tomado presionando el brazo del paciente con el torax como se muestra en la figura 8.



Figura 8 Toma de temperatura

Fuente: Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigacion Biomedica

Desarrollo del sistema

El primer paso para el desarrollo fue interpretar mediante el micro controlador el esfuerzo realizado por la persona que impulsa la silla. Para lograrlo se utilizó el sensor de fuerza que varía su resistencia al ser deformado (figura 9).



Figura 9 Sensado de la fuerza aplicada

Fuente: Propia

Es posible detectar el cambio de resistencia al conectarse en un divisor de voltaje, como se muestra en la figura 10. La misma figura muestra la conexión de los dispositivos requeridos para el control del circuito de potencia (puente H), que permite activar un motor de CD mediante la señal del encoder de cuadratura y proporcionar así una tracción a la silla.

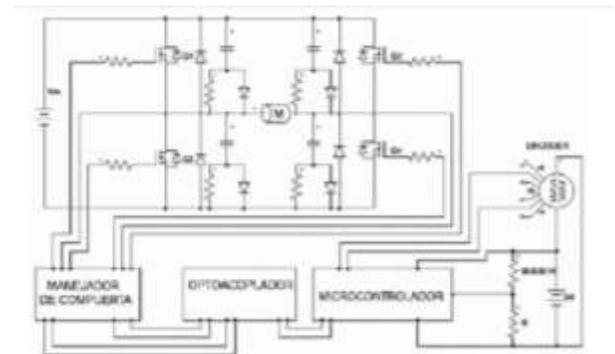


Figura 10 Conexión de los dispositivos

Fuente: Propia

El puente H está formado por cuatro transistores MOSFET que permiten controlar la velocidad del motor en ambos sentidos de giro. Esto se logra al controlar la activación de los transistores mediante señales moduladas en ancho de pulso (PWM).

Si modificamos el ancho de pulso generado por el microcontrolador, de acuerdo al al esfuerzo detectado por el sensor (figura 11), se podría variar la velocidad del motor.

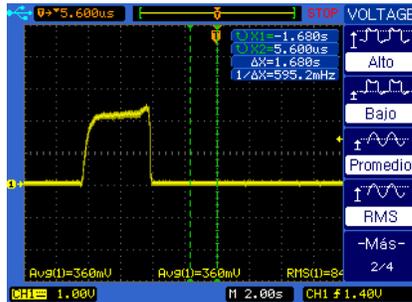


Figura 11 Deformación del sensor de fuerza

Fuente: Propia

Esto nos indica que si se disminuye el esfuerzo en el manillar de la silla, se reduce la velocidad del motor o viceversa a mayor esfuerzo, mayor será el ancho de pulso que se genera y la velocidad aumentará. El circuito repite la señal de PWM que proviene del microcontrolador y permite proporcionar valores de voltaje y corriente que conmutan los transistores. Cada transistor cuenta con su red de snubber, lo que protege al transistor contra cambios en la magnitud del voltaje, entre el colector y emisor de los mismos.

En la figura 12 se muestra el sistema embebido desarrollado, y las etapas que lo conforman, destacando el encoder de cuadratura, manillar con sensor de fuerza, sistema de desarrollo Romeo, motor eléctrico de CD a ¼ HP y su circuito manejador, así como el sistema de baterías que alimentan al motor y al sistema digital.



Figura 12 Prototipo del sistema embebido para la asistencia motriz

Fuente: Propia

Los sensores de temperatura y ritmo cardíaco son acoplados al sistema para la detección de los signos vitales del paciente, la temperatura del paciente es tomada del brazo del mismo presionándolo hasta obtener el dato, visualizando dichos datos en una pantalla LCD (figura 1).



Figura 13 Visualización de los datos en pantalla

Fuente: Propia

El acoplamiento del sensor de ritmo cardíaco se toma a partir del dedo índice del paciente (figura 14), por lo tanto en base a esto se puede determinar si el ritmo cardíaco de la persona es normal. Por regla general, la frecuencia normal en reposo oscila entre 50 y 100 latidos por minuto.



Figura 14 Toma de ritmo cardiaco de la persona

Fuente: Propia

Siendo estas las etapas que conforman el sistema, esta diseñado para la persona que asiste a un discapacitado que no cumple con las condiciones de manipular una silla de ruedas el mismo, además de brindar ayuda al disminuir su esfuerzo, el sistema cumple con determinar datos de la persona postrada en la silla.

Resultados

El sistema cumple con reducir el esfuerzo que realizan las personas al impulsar la silla de ruedas, así mismo detectar el sentido de giro de la silla (hacia atrás o adelante), ajustándose a cualquier tipo de silla convencional. Además de comunicar los sensores de fuerza sobre el manillar de la silla, que se conectan directamente con el microcontrolador que recibe además las señales del encoder de cuadratura, y así acoplar el motor a la rueda de la silla como se muestra en la figura 15.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos de la caracterización de la galga extensiométrica, donde se registro una tensión asociada a la fuerza vista por el sensor, no es lineal acorde a la fuerza que se aplica por la persona (figura 16).



Figura 15 Prototipo del sistema embebido

Fuente: Propia

Por lo tanto, la respuesta del voltaje entregado por el divisor tampoco lo es, impactando de manera directa con la respuesta del motor de CD.

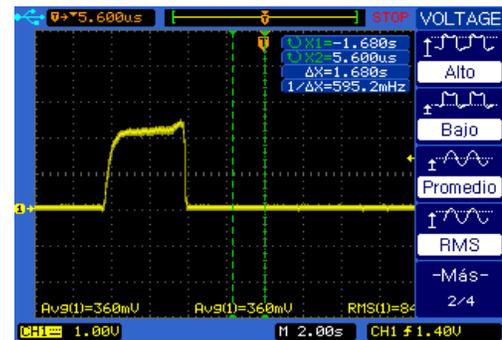


Figura 16 Caracterización de la galga extensiométrica

Fuente: Propia

Así mismo detectar el ritmo cardiaco en el dedo índice del paciente (figura 17), y temperatura de la persona postrada en la silla, mostrando los datos en una interfaz amigable (Figura 18) con la persona que dirige la silla de ruedas. Dicho lo anterior fue posible modificar la velocidad y sentido de giro del motor que proporciona tracción mediante la técnica de control que relaciona la detección del esfuerzo y dirección de desplazamiento de la silla.

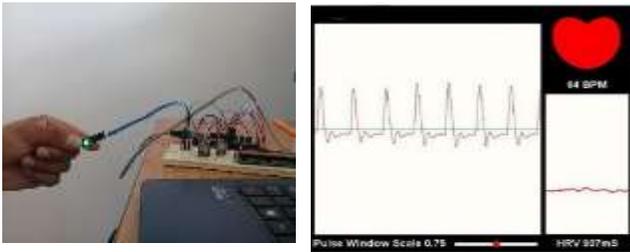


Figura 17 Toma del ritmo cardiaco

Fuente: Propia



Figura 18 Datos de temperatura mostrados en LCD

Fuente: Propia

Se puede mejorar el diseño utilizando técnicas de control predictibles, así como adaptar un mecanismo a las sillas de ruedas convencionales, con algún tipo de motor desmontable. Además de proponer mejoras en base a las pruebas que se realizaron al sistema, es un sistema muy amigable con el entorno y las personas que lo manipulan y en caso de ser requerido, se podría cambiar el diseño del sistema para tener una mejor comodidad incluso para el paciente.

Agradecimiento

A la Universidad de Ixtlahuaca CUI, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto, tanto material como moral, siendo una universidad comprometida con el desempeño de sus alumnos, brindando la oportunidad de mostrar su interés hacia la investigación de esta manera, tanto a sus alumnos como a los docentes que desempeñan dentro de ella, así mismo agradecer el apoyo brindado a mi compañero Gustavo Aldair, una persona que siempre muestra interés hacia el proyecto, dejando su empeño y dedicación con sus aportaciones hacia el mismo, al mismo tiempo agradecer al M. en C. Jorge Mastache por su dedicado tiempo y colaboración dentro del proyecto, siendo el una persona fundamental para que se llevase a cabo la realización de este trabajo de investigación y poder llevar a cabo el prototipo del proyecto.

Conclusiones

El sistema está enfocado a las personas que asisten a un discapacitado que tiene la necesidad de postrarse en una silla de ruedas, siendo en muchas ocasiones uno de los problemas a los que se enfrentan muchas personas, el poder asistir a una persona con estas características.

El sistema cumple con disminuir el esfuerzo que se realiza al impulsar la silla de ruedas, en muchas ocasiones el esfuerzo debe ser proporcional al peso del usuario por lo que es un gran problema para estas personas que asisten, el sistema junto con sus características es capaz de dar un impulso a la silla, sin necesidad de forzar su movimiento, además de ser un sistema amigable con las personas y de fácil uso ya que no se requieren métodos de entrada como teclados o botones que interfieran en el manejo del sistema.

En muchas ocasiones tener un control de las personas en cuanto a signos vitales, es un poco incomodo cuando se trasladan en sillas de ruedas. El sistema es capaz de tomar las medidas con el uso de sensores que facilitan el trabajo de la persona que asiste al discapacitado, y tener un mejor control del estado de la persona que se encuentra postrada en la silla, dichos datos son visualizados en una interfaz amigable con el usuario, mostrando los datos de una manera entendible y así poder hacer lectura de los mismos.

Debido al uso del sistema y su etapa de alimentación, se pretende aumentar la vida de duración del sistema, mediante el uso y acoplamiento de un freno regenerativo que mediante imanes permanentes se podrá regenerar la energía que se despende al utilizar el sistema y poder almacenarla de nuevo en la batería.

Referencias

- [1] Auat; Navegación Autónoma Asistida Basada en SLAM para una Silla de Ruedas Robotizada en Entornos Restringidos. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial.8.81-92. 2011.
- [2] Paredes, M.; Gutiérrez.Silla de ruedas controlada por voz. Memorias del 6° Congreso Nacional de Mecatrónica. Inst. Tecnológico de San Luis Potosí – Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. 6. 179-187. 2007.
- [3] Mario Rojas; Control adaptativo para navegación de una silla de ruedas inteligente empleando lógica difusa tipo1 y tipo2. Tecnológico de monterrey, Campus Ciudad de Mexico. Research in computing Science 91. 2015.
- [4] Sol Pedre; Sistemas embebidos. Laboratorio de robotica y sistemas embebidos. Departamento de computación FCEN. 2012.
- [5] UNED; controladores industriales de diseño de alto nivel. Sistemas Embebidos. Ingeniería de los sistemas embebidos.2013
- [6] Arduino Mega 2560, s.f., Arduino, descargado de: <https://www.arduino.cc/ArduinoBoardMega2560>.
- [7] Ramon pallás Areny. (2003). Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona(España): Carles ParcerisasCivit.
- [8] FSR400, fuerza de detección de Resistencias, STEADLANDS, descargado de: <https://steadlands.com/product/fsr400-interlink-electronics/>
- [9] POLOLU. (2017). sensor de fuerza FSR. 19/06/2017, de POLOLU Sitio web: <https://www.pololu.com/product/1695>
- [10] D. Schultz, M. Allen, SF Barrett . (2011). Dotar a una silla de ruedas automatizada con un puerto de infrarrojos del codificador rueda de odómetro. 24/06/2017, de ISA Sitio web: <https://www.isa.org/store/equipping-an-automated-wheelchair-with-an-infrared-encoder-wheel-odometer-biomed-2011/122220>
- [11] Solibella Bencomo. (2016). aplicacion para el monitoreo de frecuencia cardiaca. En revista ingenieria UC(4-6). Universidad de Carabobo: Solibella et al.
- [12] Solibella Bencomo. (2016). aplicacion para el monitoreo de frecuencia cardiaca. En revista ingenieria UC(6-7). Universidad de Carabobo: Solibella et al.
- [13] Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigacion Biomedica. 25/06/2017, de Dalcame Sitio web: http://www.dalcame.com/tc.html#.WVBeCWg1_IW

[14] Aleida Cantor Rudas. (2016). Frecuencia cardiaca despues de la exposicion a longitudes de onda del espectro visible en areas del cuerpo humano. Revista de Ingenieria UC, 23, 2-7.

[15] Ramirez Lopez. (2015). aplicacion de la biotelemetria para tres signos vitales. Ciencia y Poder aereo, 10, 2-8.

Instrucciones para autores

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

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

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

Resumen

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keywords

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

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para autores

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

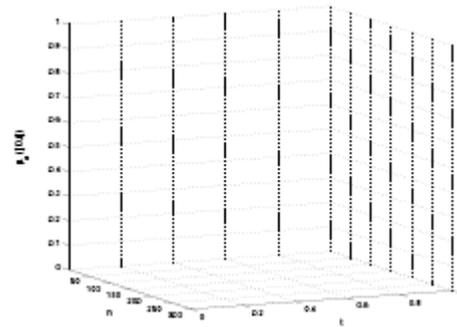


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

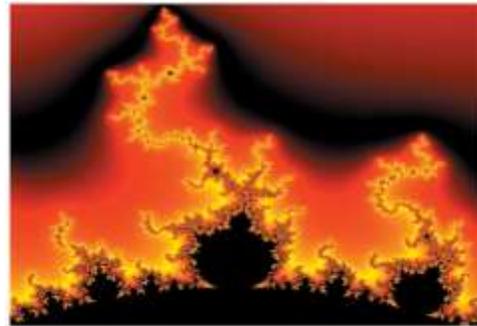


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

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

Instrucciones para autores

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

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

Conclusiones

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

Referencias

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

Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Formato de Originalidad



Taipei-Taiwan a ____ de ____ del 20 ____

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

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Taipei-Taiwan a ____ de ____ del 20____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN- Taiwan 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- Taiwan 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 Innovación Sistemática

“Desarrollo de un Simulador para el Robot SCARA utilizando SolidWorks y LabView”

VÁZQUEZ-CUEVAS, Ignacio, LÓPEZ-CORELLA, José, HERNÁNDEZ-RUIZ, Sergio, y HERRERA-VELARDE, Maribel

Instituto Tecnológico de Nogales

“Diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto de mango ataulfo por convección forzada”

MARROQUÍN-CANO, Sergio F., RUIZ-ARROYO, Jesús E., ROBLES-OCAMPO, José B. y SEVILLA-CAMACHO, Perla Y.

Universidad Politécnica de Chiapas

“Diseño de un registrador de datos usando memorias nand flash basado en un microcontrolador de ultrabajo consumo”

DE LEÓN-GORDILLO, Dagoberto, MEDINA-RODRÍGUEZ, Cristian Micheel, RODRÍGUEZ-OLIVARES, Noé Amir y SOTO-CAJIGA, Jorge Alberto

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial

Universidad Tecnológica de Querétaro

“Análisis comparativo entre el modelo dinámico y el modelo de la IEC para obtener la curva de potencia de turbinas eólicas”

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Iliana, ESTRADA-GONZÁLEZ, César y HERNÁNDEZ-ARRIAGA, Isaac

Centro de Tecnología Avanzada

“Diseño e implementación de un sistema de conversión de energía térmica a energía eléctrica”

ALCALA-BAROJAS, Iván, CONTRERAS-CALDERÓN, Enrique, BELTRÁN-ESCOBAR, Alberto Miguel, RUMBO-MORALES, Jeseo Yoe

Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos

“El uso de radiación de microondas para la síntesis de Nanopartículas”

SEGURA-DE JESÚS, Yara y CARBAJAL-FRANCO, Guillermo

Instituto Tecnológico de Toluca

“Desarrollo de un sistema embebido para el control de asistencia motriz y autodiagnóstico de personas en sillas de ruedas”

ROMERO-VÁZQUEZ, Juan Carlos, JIMÉNEZ-FLORES, Gustavo Aldair, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León

Universidad de Ixtlahuaca



www.ecorfan.org