

ISSN 2444-4995

Volumen 3, Número 9 – Julio – Septiembre - 2017

Revista de Prototipos Tecnológicos

ECORFAN[®]



ECORFAN-Spain

Indización

Google Scholar

Research Gate

REBID

Mendeley

RENIECYT

ECORFAN-Spain

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

Director Regional

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD.

Director de la Revista

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC.

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD.

Diseñador de Edición

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC.

Revista de Prototipos Tecnológicos, Volumen 3, Número 9, de Julio a Septiembre 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Moralzarzal -Madrid. WEB: www.ecorfan.org/spain, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: MIRANDA GARCÍA- Marta, PhD. ISSN-2444-4936. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA – BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2017.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología.

Consejo Editorial

MARTINEZ-BRAVO, Oscar Mario, PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-UNAM-México

ROMAN-KALISCH, Manuel Arturo, PhD
Universidad Autónoma de Yucatán-México

SOUSA-GONZÁLEZ, Eduardo, PhD
Universidad Autónoma de Nuevo León-México

ARANCIBIA-VALVERDE, María Elena, PhD
Universidad Pedagógica Enrique José Varona de la Habana-Cuba

SALINAS-AVILES, Oscar Hilario, PhD
Centro de Investigación en Energía-UNAM-México

DE AZEVEDO-JUNIOR, Wladimir Colman, PhD
Federal University of Mato Grosso-Brazil

PÉREZ-ROBLES, Juan Francisco, PhD
CINVESTAV-IPN-México

PARTIDA-RUVALCABA, Leopoldo, PhD.
Universidad Tecnológica de Culiacán-México

MARTÍNEZ-RIVERA, María de los Ángeles, PhD
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IP- México

GONZALEZ-TORRIVILLA, Cesar Castor PhD
Universidad Central de Venezuela-Venezuela

DE LA FUENTE-SALCIDO, Norma Margarita, PhD
Universidad Autónoma de Coahuila-México

Consejo Arbitral

MPC, PhD

Universidad de Valladolid- Spain

GGO, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana- México

DGS, PhD

Universidad de Guadalajara- México

RLR, PhD

Universidad Autónoma de Sonora-México

CBMT, PhD

Universidad Autónoma de Baja California-México

HGV, BsC

Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología-México

GOH, PhD

Facultad de Química, UNAM-México

EZNG, PhD

Instituto Nacional de Cardiología-México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Prototipos Tecnológicos

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

Como primer artículo presentamos, *Diseño de máquina universal de pruebas mecánicas destructivas para el control de calidad de bolsas de aire automotrices*, por ESPINOZA-AGUIRRE, Pablo, VÁZQUEZ-SOLÍS, Luis y PÉREZ-CRUZ, Fidencio, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, como segundo artículo tenemos, *Máquina Prototipo para la Identificación y Separación de Residuos Plásticos*, por PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, GÓMEZ-VIEYRA, Armando, ANDRADE-GONZÁLEZ, Edgar Alejandro, y MIRANDA-TELLO, José Raúl, con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, como siguiente artículo tenemos, *Prototipo basado en Redes Neuronales para monitoreo y predicción de temperatura en invernaderos de los Valles Centrales de Oaxaca*, por PÉREZ-PÉREZ, Alejandro, MATADAMAS-ORTIZ, Idarh Claudio, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela y ALTAMIRANO-CABRERA, Marisol, con adscripción en Instituto Tecnológico de Oaxaca, como siguiente capítulo presentamos, *Caracterización numérica de una estufa solar tipo caja con reflectores interiores durante el proceso de cocción de papa*, por TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, VACA-MIER, Mabel, con adscripción en Universidad Autónoma Metropolitana, como siguiente capítulo presentamos, *Evaluación de un secador solar durante el proceso del secado de limón por simulación numérica y sus curvas de secado*, por TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel, con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana, como siguiente artículo presentamos *Prototipo mecatrónico de Visión para la detección de defectos en cremalleras de poliéster*, por MOLINA-CESPEDES, Julio Cesar, LUJAN-RAMIREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GIO, Jesus, y SANDOVAL-CURMINA, Victor, como último artículo tenemos *Desarrollo de un Colector Canal Parabólico con índice de Concentración Variable* por OLGUIN-CAMACHO, Juan, PERALTA-AGUILAR, Nallely, SALINAS-DIEGO, Luis Alberto y JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji, con adscripción en Instituto Tecnológico Superior De Huichapan.

Contenido

Artículo	Página
Diseño de máquina universal de pruebas mecánicas destructivas para el control de calidad de bolsas de aire automotrices ESPINOZA-AGUIRRE, Pablo, VÁZQUEZ-SOLÍS, Luis y PÉREZ-CRUZ, Fidencio	1-6
Máquina Prototipo para la Identificación y Separación de Residuos Plásticos PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, GÓMEZ-VIEYRA, Armando, ANDRADE-GONZÁLEZ, Edgar Alejandro, y MIRANDA-TELLO, José Raúl	7-13
Prototipo basado en Redes Neuronales para monitoreo y predicción de temperatura en invernaderos de los Valles Centrales de Oaxaca PÉREZ-PÉREZ, Alejandro, MATADAMAS-ORTIZ, Idarh Claudio, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela y ALTAMIRANO-CABRERA, Marisol	14-23
Caracterización numérica de una estufa solar tipo caja con reflectores interiores durante el proceso de cocción de papa TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, VACA-MIER, Mabel	24-33
Evaluación de un secador solar durante el proceso del secado de limón por simulación numérica y sus curvas de secado TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel	34-41
Prototipo mecatrónico de Visión para la detección de defectos en cremalleras de poliéster MOLINA-CESPEDES, Julio Cesar, LUJAN-RAMIREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GIO, Jesus, y SANDOVAL-CURMINA, Victor	42-55
Desarrollo de un Colector Canal Parabólico con índice de Concentración Variable OLGUIN-CAMACHO, Juan , PERALTA-AGUILAR, Nallely, SALINAS-DIEGO, Luis Alberto y JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji	56-62

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Diseño de máquina universal de pruebas mecánicas destructivas para el control de calidad de bolsas de aire automotrices

ESPINOZA-AGUIRRE, Pablo †*, VÁZQUEZ-SOLÍS, Luis y PÉREZ-CRUZ, Fidencio

División de Mecatrónica y TIC, Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Recibido Mayo 15, 2017; Aceptado Julio 18, 2017

Resumen

Objetivos, metodología: Diseñar un prototipo de máquina de pruebas de tensión, con accionamiento por motor para diagnóstico de bolsas de aire automotrices, aumentando la velocidad de prueba y reduciendo costos de construcción y mantenimiento respecto a las hidráulicas existentes en el mercado. Se describe el diseño y selección de los sistemas mecánico, eléctrico, de control y registro de datos. El diseño mecánico se realiza en un sistema CAD que simula el ensamble para evitar fallas de armado. Para la adaptación del movimiento de giro del motor a un mecanismo lineal, se usan husillos de bolas, seleccionando su tipo con software de fabricante. Los datos de cada prueba son obtenidos por una tarjeta electrónica de adquisición de datos que almacena la información en una computadora industrial con interface de usuario (HMI) diseñada con software de instrumentación y visualización.

Contribución: Este equipo es necesario en el control de calidad del producto, ya que registra los datos de tensión máxima permitida y la tensión de ruptura en algunas pruebas aleatorias. Lo anterior con propósitos de trazabilidad por tratarse de elementos de seguridad del automóvil.

Bolsas, aire, pruebas, tensión, ruptura

Abstract

Objectives, methodology: Design a prototype test machine with motor drive for the diagnosis of automotive airbags, increasing test speed and reducing construction and maintenance costs compared to existing hydraulics on the market. It describes the design and selection of mechanical, electrical, control and data recording systems. The mechanical design is done in a CAD system that simulates the assembly to avoid arming failures. For the adaptation of the rotation movement of the motor to a linear mechanism, ball screws are used, selecting its type with manufacturer's software. The data of each test are obtained by an electronic data acquisition card that stores the information in an industrial computer with user interface (HMI) designed with instrumentation and visualization software.

Contribution: This equipment is necessary in the quality control of the product, since it records the data of maximum allowed tension and the tension of rupture in some random tests. The above for purposes of traceability because they are elements of safety of the automobile.

Bags, air, tests, tension, break

Citación: ESPINOZA-AGUIRRE, Pablo, VÁZQUEZ-SOLÍS, Luis y PÉREZ-CRUZ, Fidencio. Diseño de máquina universal de pruebas mecánicas destructivas para el control de calidad de bolsas de aire automotrices. Revista de Prototipos Tecnológicos 2017, 3-10: 1- 6

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: pspinozaa@utsjr.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El presente artículo trata sobre el diseño de un prototipo de máquina tipo universal para pruebas de tensión en la costura al fabricar bolsas de aire automotrices, que, a diferencia de las hidráulicas existentes comercialmente, ésta es de accionamiento por motor eléctrico buscando aumentar la velocidad de la prueba y reducir costos de construcción y mantenimiento, ya que no requiere de la fuerza que proporciona un sistema hidráulico de mayor precio.

Distintas pruebas de certificación se realizan al sistema de bolsas de aire, pero comúnmente se hacen al producto terminado. Algunas de ellas son: análisis video gráfico de lo ocurrido en la activación, evaluación de las propiedades de materiales como tela, hule y plástico con las que están construidas. CIATEQ (2016).

En específico la bolsa o cavidad que se infla, es de tela o poliamida y lleva un recubrimiento de neopreno con una capa de silicona para proteger de los gases calientes con los que se llena. En la parte posterior lleva agujeros que hacen la purga de gas (Educarm. sf). Su fabricación requiere de la medición de la resistencia en sus costuras para el aseguramiento de la calidad, por lo que el prototipo de máquina propuesto registra el dato de tensión máxima permitida en cada prueba y el de ruptura en muestras aleatorias, con propósitos de trazabilidad por tratarse de elementos de seguridad del automóvil.

Al obtener los datos de cada bolsa de manera confiable, dispuestos de forma accesible, con un proceso de fabricación tan rápido como lo exige el programa de producción, (dato de rapidez reservado por la empresa fabricante de las bolsas); y directo en planta; se logra un producto listo para ser certificado por terceros, principalmente empresas nacionales, a fin de alcanzar la mayor competitividad en la cadena de producción respecto a la competencia extranjera. (Revista Follow, 2017).

A continuación, se presentan las tecnologías en las que se trabajó para lograr el diseño y selección de los sistemas mecánico, sistema eléctrico, así como de control y registro de los datos.

Sistema mecánico

Se realiza el diseño mecánico de cada pieza y la simulación del ensamble en CAD (SolidWorks® Licencia académica 9710-2092-7651-8462-MGKB-D5FB) con lo que se generan los planos a detalle para la construcción física del prototipo, como se puede observar en la figura 1 y 2.

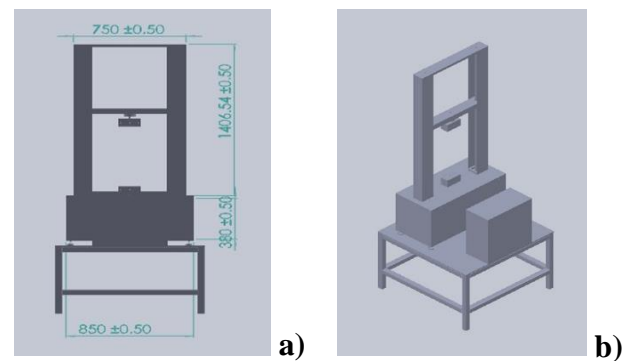


Figura 1 Vista frontal e Isométrico de estructura mecánica. Cotas en mm

Fuente. Diseño propio en SolidWorks® Licencia académica 9710-2092-7651-8462-MGKB-D5FB

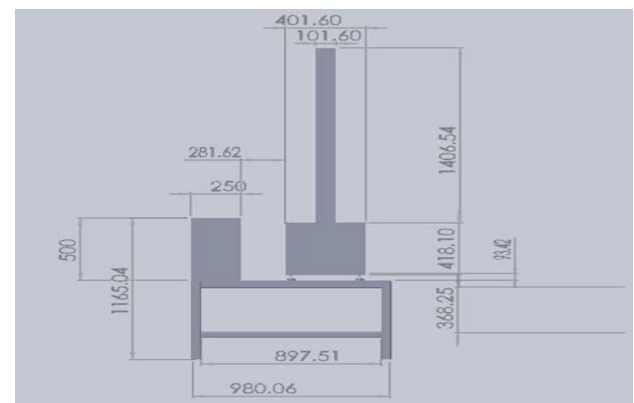


Figura 2 Vista lateral de estructura mecánica. Cotas en mm

Fuente. Diseño propio en SolidWorks® Licencia académica 9710-2092-7651-8462-MGKB-D5FB

Sistema de transmission

El movimiento rotacional del motor se convierte a lineal, mediante husillos de bolas como una adaptación del mecanismo tornillo-tuerca minimizando la fricción (Mott, R.L. 2006), usando un husillo tipo “Thomson” el cuál logra un avance preciso y una fuerza axial de 400kf o 3,922.66N suficientes para lograr la tensión con que la bolsa se rompe de acuerdo con los datos proporcionados por el fabricante de las bolsas. (el dato específico de fuerza de ruptura se reserva por la empresa fabricante de las bolsas).

EL criterio de selección conlleva, en acuerdo con el usuario final de la máquina, un factor extra de seguridad y para futuros proyectos de al menos 45% o 1,765.19N adicionales, quedando un total de carga axial de 5,687.85N o 5.687KN.

Comercialmente se elige un husillo de bolas como el modelo 8105-448-060 de “Thomson”, con 14mm de diámetro, 3mm de paso y 6.7KN de carga axial dinámica de acuerdo con los datos emanados del software en línea para la elección de equipos de Thomson Industries®. (Thomson Industries 2016).

Para la definición del elemento motriz a utilizar se realiza la transformación de la fuerza axial necesaria a par de giro o par motor, usando la siguiente representación y su fórmula según Ipiranga Par de giro (2016):

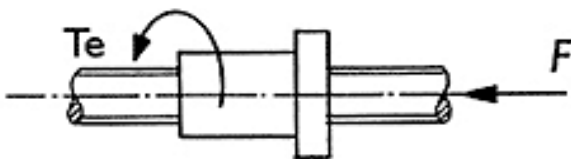


Figura 3 Fuerzas axiales a Par motor
Fuente. Ipiranga par de giro (2016)

Par necesario “Te” (Nm) es igual a:

$$Te = \{Fza \text{ Axial(N)} * \text{Paso nominal (mm)} * n'\} / 2\pi \quad (1)$$

Donde n' es el rendimiento mecánico tomado idealmente como la unidad; resultando:

$$Te = \{6700N * 3 \text{ mm} * 1\} / 2\pi$$

$$Te = 3199Nm$$

La velocidad necesaria para la realización de la prueba es de 1mm/seg. de acuerdo con los requerimientos del fabricante de las bolsas, por lo que girando el husillo seleccionado con un desplazamiento vertical a 15rpm (1/4 de revolución/segundo), se lograr que en un minuto el desplazamiento máximo sea de 45mm, distancia suficiente para terminar el estiramiento esperado, la ruptura y en general la prueba.

Sistema Eléctrico

Para la fuerza motriz se selecciona, a diferencia de un sistema hidráulico que es común para grandes fuerzas de extensión, un sistema eléctrico por medio de motor ya que, con él, se alcanza a obtener la fuerza necesaria para este tipo de aplicación a un menor costo.

Para definir sus componentes primero se calcula la potencia del sistema motriz según Ipiranga. Potencia motriz (2016):

$$P. \text{ Mec (W)} = \text{Vel (rpm)} * \text{Par (Nm)} / 9.55 \quad (2)$$

$$W = 20 \text{ rpm} * 3199 \text{ Nm} / 9.55$$

$$W = 6,699.49 \text{ W y } 1W = 0.00134 \text{ Hp}$$

$$\mathbf{W = 9.0 HP}$$

Comercialmente se elige como una opción a), según catálogo de fabricante Siemens (2007), un Motor trifásico de 7460W (10HP), a 1800rpm con dimensiones NEMA 215T como el modelo A7B10000012688 de Siemens® o el W22 de Weg® WEG (2016); mismo que requiere de un controlador de velocidad, inversor o variador de frecuencia para la aplicación.

La opción b), que es menos recomendada por costo y espacio de montaje; consiste en usar un Motorreductor que otorgue la velocidad aproximada de 20rpm como el modelo K.148-LA132SB4 de Siemens® (Siemens 2008), de 3665 Nm de Par y velocidad de salida de 17.2 rpm, mismo que requiere un motor de 6,6KW u 8.8 HP.

Y que comercialmente tendrá que elegirse el mismo considerado en la opción del inciso a), con la variante de no requerir control de velocidad adicional, pero con menor flexibilidad para ajustes de la rapidez en productos futuros.

El motor seleccionado para la opción a) en montaje directo “motor-husillo”, se controla desde un variador de frecuencia como el comercial SINAMICS G130 de Siemens® (Siemens sf), en él que se deben ajustar los parámetros no solo de velocidad máxima y mínima permitida para las pruebas, también se configura una rampa de aceleración con el fin de lograr ahorros en el consumo de energía del motor, pero sobre todo para no maltratar físicamente el material de prueba (bolsas) con jalones repentinos; además de permitir que la adquisición de datos de la prueba, provenientes del sensor de fuerza (Galga extensiométrica), sea con la mayor precisión posible.

La Galga extensiométrica para detección analógica de la fuerza, es otorgada por el cliente final, y es de 350 Ohms de resistencia máxima con respuesta lineal y un voltaje de operación entre 10 y 30 Vcd por lo que se acopló un circuito divisor de voltaje para entregar una señal de entre 0 y 10 Vcd. El voltaje estandarizado de corriente directa para su alimentación es de 24VCD. Por lo que:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in} \quad (3)$$

Boylestad, R.L. (2004)

$$V_{out} = \frac{360}{500 + 360} * 24 = 10.0 \text{ Vcd}$$

Sistema de control y monitoreo

La adquisición de datos de la prueba se realiza mediante una tarjeta DAQ (Adquisición de datos) de 12 bits como la NI USB-6008 de National Instrument® (National Instrument 2014), misma que se programa mediante el uso de herramientas básicas del software LabView® (NI, 2012).

Y se visualizan diferentes parámetros para el operador como se muestra en la figura 4, creando así una HMI (Human Machine Interface) que trabaja en una pantalla de computadora industrial con ambiente Windows®, montada a pie de máquina.

Se prueban en paralelo los movimientos de la secuencia de operación y la adquisición de datos de registro de cada prueba. Una vez validadas ambas funciones se integran en un solo programa ejecutable a través de LabView® (Labview ni academic site license. No. Serial: M77X43001), el cual se enlaza con al DAQ.

La pantalla de HMI diseñada se muestra en la figura 4, la cual ha sido validada por personal de la empresa. La programación correspondiente se encuentra en el anexo I.

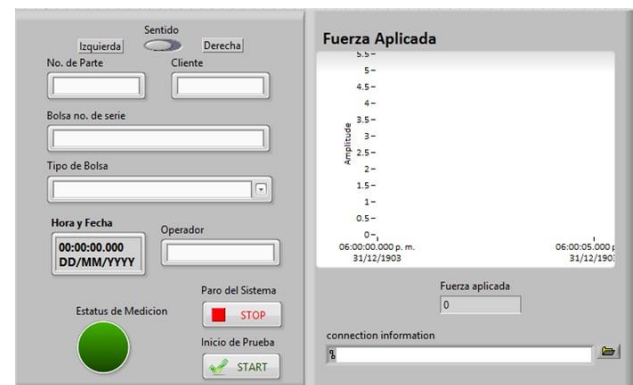


Figura 4 Pantalla de monitoreo e interface hombre – máquina

Fuente: Diseño propio usando Labview ni academic site license. No. Serial: M77X43001

Desarrollo y Pruebas

Las primeras pruebas se han realizado usando los elementos seleccionados dispuestos para su montaje en una mesa de laboratorio sin tener la estructura mecánica completa.

La primera prueba de ruptura de bolsa se desarrolló usando un motor de 10HP controlado con variador de velocidad, acoplado de manera directa al husillo como se propone en la opción marcada como a). Posteriormente se hizo la prueba mediante el motorreductor recomendado como opción b).

En ambos casos se alcanzó la fuerza necesaria de ruptura por lo que se concluye que, por cuestiones de fuerza para la prueba, ambas opciones cumplen los requerimientos, solo que la segunda alternativa resulta más costosa y de mayor complejidad de instalación.

Respecto a la adquisición de datos de campo en el rango de voltaje (0-10 Vcd) de la galga extensiométrica, estos llegan a la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) que los lee a razón de 502 muestras por minuto, de tal manera que la tabla de datos que se genera y la gráfica resultante permiten observar con una exactitud de 0.0199 volts por lectura, suficiente para los requisitos del cliente.

La secuencia de operación programada en la DAQ se describe a continuación: el proceso arranca de manera manual por el operador usando el botón correspondiente en la HMI comenzando así la extensión del material previamente montado manualmente en las mordazas. Al mismo tiempo, se grafican los valores hasta el rompimiento de la bolsa, reflejado en una súbita caída de fuerza detectada por la galga y terminando así la prueba; el programa de operación se muestra en el Anexo I. Los valores capturados son grabados en una base de datos exportable a Access o Excel de la plataforma Windows®.

Resultados y Conclusiones

El diseño propuesto y las pruebas realizadas garantizan un funcionamiento satisfactorio del equipo que como siguiente paso va a la etapa de construcción del prototipo físico y posteriormente a la construcción y puesta en funcionamiento de un equipo ya de operación.

El motor eléctrico acoplado al sistema de husillos da la fuerza y velocidad esperada, requiriendo fácil mantenimiento a un costo menor que un sistema hidráulico, (se reservan los costos y precios específicos a petición de la empresa fabricante de las bolsas).

Pero en comparativa una máquina universal adaptada para pruebas de bosas, que funciona con sistema hidráulico y cubre los requerimientos como la CMSUTM-10 (CMS 2017) tiene un costo mayor a los \$210,000.00, mientras que la presente propuesta gasta en materiales y construcción menos de \$120,000.00 quedando margen para cargar las regalías por diseño y gastos de comercialización requeridos en caso de la venta abierta. El uso de tecnología de control electrónico y adquisición de datos para cada prueba, dan versatilidad y competitividad al equipo y cumplen con la necesidad del fabricante de bolsas para efectos de trazabilidad del producto.

El aprendizaje y la experiencia lograda sirven para variar sin dificultad las características del equipo, de acuerdo con los requerimientos del proceso de pruebas (más de 500 muestras por minuto), y dan oportunidad a implementar posteriormente nuevas funciones al equipo. Esto asegura una máquina a un costo competitivo y con un tiempo de vida útil por arriba del tiempo de retorno de la inversión. Queda para futuro la implementación de un código de barras para identificación automática de la bolsa a probar y con ello garantizar de mejor manera la rastreabilidad. Esta operación es factible gracias a que en la tecnología usada para la adquisición de datos (DAQ), existen ya librerías para tal fin, de tal manera que el costo de esta mejora será bajo en comparación con el aumento de versatilidad del equipo

Anexo 1

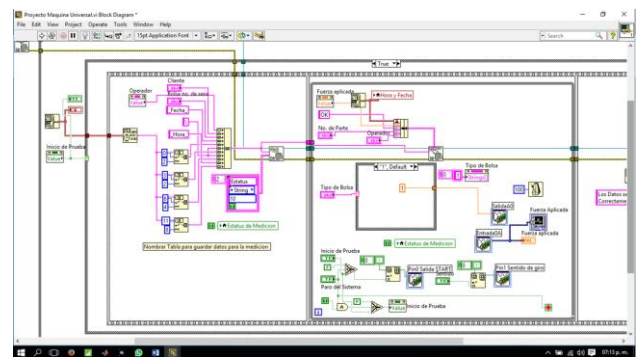


Figura 5 Programación en LabView®

Fuente. Diseño propio usando Labview ni academic site license. No. Serial: M77X43001

Referencias

- Boylestad, R.L. (2004). *“Introducción al análisis de circuitos eléctricos”* 10ma edición. México D.F.
- CIATEQ (2016). *Pruebas Físico-Mecánicas. Pruebas para Airbags*. Consultado el 07 de julio del 2017 en: <http://www.ciatec.mx/laboratorios/pruebas-fisicas/>
- CMS (2017), CMSUTM-10 Máquina de ensayos universal. CMS Metrology. Consultado el 01 de agosto 2017 en: <file:///C:/Users/psespinozaa/Downloads/CMSUTM10%20M%C3%A1quina%20Universal%20computarizada.pdf>
- Educarm (sf). *EL Airbag*. Consultado el 03 de junio del 2016 en: <http://servicios.educarm.es/templates/portal/ ficheros/websDinamicas/21/airbag.pdf>
- Ipiranga Potencia motriz (2016). *“Potencia motriz”*. Ipiranga (2016). SA de CV. Consultado el 12 de mayo del 2016 en: <http://www.ipirangahusillos.com/castellano/catalogo12.php>
- Ipiranga Par de giro (2016). *“Par de giro”*. Ipiranga (2016). SA de CV. Consultado el 12 de mayo del 2016 en: <http://www.ipirangahusillos.com/castellano/catalogo11.php>
- Mott, R.L. (2006). *“Diseño de elementos de máquinas”*. USA. Pearson Education.
- National Instrument (2012). *CORE 1. Manual de curso*. USA. National Instrument®.
- National Instrument (2014). *“DAQ Multifunción”*. Consultado el 03 de junio del 2016 en: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-218>
- Revista Follow, 2017. El Ciatec pionero en evaluar bolsas de aire. Consultado el 13 de julio de 2017 en: <http://www.revistafollow.mx/index.php/columna/escribe-sobre-negocios/es-ciatec-pionero-en-evaluar-bolsas-de-aire>
- Siemens (2007). *“Catálogo general SDO3”*. Consultado el 03 de junio del 2016 en: <http://industria.siemens.com.mx/Motores/Docs/Motores%20NNM.pdf>
- Siemens (2008). *“Motorreductores Motox”* Catálogo D87.1-2008. España 2008. Consultado el 03 de junio del 2016 en: http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/drive_tech/Documents/Catalogo%20Motorreductores.pdf
- Siemens (sf). *“SINAMICS G130 Chasis”* Consultado el 28 de julio del 2016 en: http://www.industry.siemens.com/drives/global/en/converter/low-voltage-drives/sinamicsg/sinamics-g130/Pages/sinamicsg130.aspx#General_20description
- Thomson Industries (2016). *“Herramientas de diseño “Ball Screw”*. USA 2000-2016. Consultado el 19 de mayo del 2016 en: <http://www.thomsonlinear.com/en/product/0215050112>
- WEG (2016). *“W22 Motor trifásico”* México. Consultado el 03 de junio del 2016 en: <http://prosea.com.mx/Recursos/Descargas/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-mexicano-catalogo-espanol2013-6-12-9-45-32.pdf>

Máquina Prototipo para la Identificación y Separación de Residuos Plásticos

PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina†*, GÓMEZ-VIEYRA, Armando, ANDRADE-GONZÁLEZ, Edgar Alejandro, y MIRANDA-TELLO, José Raúl

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Departamento de Electrónica

Recibido Junio 18, 2017; Aceptado Agosto 1, 2017

Resumen

En México existe la necesidad de contar con sistemas automáticos para la identificación y separación de residuos plásticos que sean eficientes y de bajo costo, asequibles para gran parte de la población, esto, debido a que somos uno de los países con mayor generación de residuos plásticos cuyo reciclaje se vuelve una prioridad sustentable. En este proyecto se desarrolla el prototipo de un sistema opto-electrónico para la detección y separación de residuos plásticos, el cual consta de una banda transportadora, un sistema de detección y un sistema de actuación. El prototipo es capaz de identificar hojuelas transparentes de residuos plásticos comerciales de 9 cm² de PET, PVC y PS por medio de sensores ópticos infrarrojos, compuestos por láseres y fotodiodos. La respuesta de transmitancia de cada material varía cuando se le hace incidir una longitud de onda específica, por lo que es posible identificar cada material. La señal recibida por el fotodetector es comparada digitalmente y enviada a un PLC para activar unas electroválvulas cuando el material detectado no es PET, permitiendo así, el paso de las hojuelas de PET a un primer contenedor y arrojando las de PVC y PS a un segundo contenedor.

Prototipo, detección, separación, residuos plásticos

Abstract

In Mexico there is a need to have automatic systems for the detection and separation of plastic waste that are cost efficient and affordable for a large part of the population. Mexico is one of the countries where the generation of plastic waste is huge, then, recycling becomes a sustainable priority. This project develops the prototype of an opto-electronic system for the detection and separation of plastic waste, which consists of a conveyor belt, a detection system and an actuation system. The prototype is able to identify transparent flakes of commercial plastic waste of 9 cm² of PET, PVC and PS using infrared optical sensors, composed of lasers and photodiodes. The transmittance response of each material varies when a specific wavelength is pointed on it, so it is possible to identify each material. The signal received by the photodetector is digitally compared and sent to a PLC to activate electro valves when the detected material is not PET, thus allowing the pass of the PET flakes to a first container and throwing the PVC and PS to a second container.

Prototype, detection, separation, plastic waste.

Citación: PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, GÓMEZ-VIEYRA, Armando, ANDRADE-GONZÁLEZ, Edgar Alejandro, y MIRANDA-TELLO, José Raúl. Máquina Prototipo para la Identificación y Separación de Residuos Plásticos. Revista de Prototipos Tecnológico. 2017.3-9:7-13

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La industria del plástico cuenta con uno de los mayores volúmenes de producción a nivel mundial. El uso de envases y embalajes plásticos para alimentos, medicamentos, artículos de oficina, muebles, etcétera, crece cada vez más debido a su bajo costo y gran versatilidad. En este trabajo centramos nuestra investigación en tres de los plásticos más ampliamente usados que son: Tereftalato de Polietileno (PET), Policloruro de Vinilo (PVC) y Poliestireno (PS).

En la industria del reciclaje el PET es uno de los plásticos más reciclados debido a que éste se encuentra en botellas plásticas que contienen agua, refrescos, líquidos, entre otros. Siendo México uno de los principales consumidores de estas botellas, su recolección y reciclaje se ha convertido en un área de oportunidad de negocio sustentable y favorable para el medio ambiente. Sin embargo, el proceso de reciclaje del PET exige una alta calidad del material reciclado para que este pueda ser utilizado en las industrias farmacéutica y alimenticia, las cuales, permiten solo 50 ppm de material contaminante (PVC, PS) contenido en el material reciclado (PET), sólo de esta manera puede ser considerado como material de primera.

Existen diferentes técnicas para identificar plásticos que a simple vista pueden parecer iguales. La etapa de identificación y separación de los polímeros es una parte fundamental del proceso de reciclaje y dependiendo su eficiencia es el costo del sistema. A continuación se mencionan las técnicas utilizadas en la industria del reciclaje.

Separación manual: Se realiza en base a la detección del color, forma y código del plástico, la identificación se realiza visualmente, por ende resulta ser una técnica de bajo costo pero de poca confiabilidad debido al factor humano.

Marcadores químicos: Son agregados a los plásticos de tal forma que éstos presentan rasgos o respuestas que permitan su identificación con una respuesta rápida y fiable pero invasiva, además en éstas técnicas se requiere limpiar el material lo que conlleva un mayor costo en el proceso.

Flotación: En ésta técnica los polímeros se distinguen en base a su densidad mediante el grado de flotación en diversas sustancias.

Uso de disolventes: Se disuelven algunos tipos de plásticos y otros no, posteriormente se separan por filtración.

Técnicas espectroscópicas: Se basan en la identificación de plásticos por la respuesta de éstos ante una cierta radiación, éstas técnicas muestran una respuesta rápida y altamente eficiente. Existen dos técnicas de éste tipo: la de fluorescencia de rayos X y la de radiación infrarroja.

La fluorescencia por rayos X consiste en la radiación sobre los polímeros con una fuente de rayos X, generando de esta forma fluorescencia característica del material.

Esta técnica puede resultar dañina para el ser humano en la operación del sistema además de ser costosa. La espectroscopía infrarroja permite identificar diversos polímeros en función de la luz reflejada por el material empleando luz infrarroja.

Esta técnica brinda ventajas al ser no invasiva ni destructiva, además después de haber sido separado el material no existe la necesidad de limpiar el material a diferencia de las técnicas con marcadores químicos.

Sin embargo, los sistemas comerciales existentes con ésta técnica son dedicados para grandes industrias debido al costo tan elevado, por lo que pequeñas industrias o incluso el uso doméstico no puede hacerse de estos sistemas. En este trabajo se propone un sistema de detección y separación de polímeros (PET, PVC, PS).

Usando una técnica eficiente, de bajo costo, no invasiva, no destructiva y de fácil implementación mediante el principio de transmisión infrarroja a 810 nm, que hasta donde tenemos conocimiento no ha sido implementada en un sistema para la detección de polímeros.

Prueba de transmitancia

Debido a la respuesta que tienen los materiales (PET, PVC, PS) en la región infrarroja, como primer paso, se realizó la prueba de transmitancia de los polímeros para la longitud de onda de 810 nm. Se tomaron muestras comerciales de envases de PET, PVC y PS (transparentes y translúcidas), las muestras se limpiaron y cortaron con dimensiones de 9 cm² (ver figura 1).

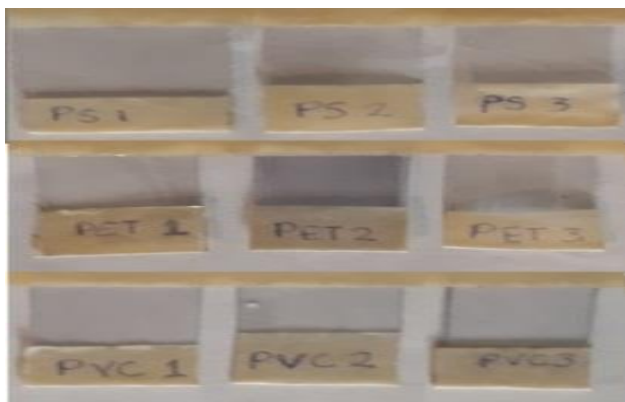


Figura 1 Muestras de PET, PVC y PS recolectadas de envases comerciales

La prueba se realizó colocando un láser con una señal de salida de 1W de potencia centrada a 810 nm, incidiendo a la muestra bajo prueba; se midió la potencia óptica de transmitancia de la muestra con un medidor de potencias óptico, tal como se observa en el arreglo experimental de la figura 2.

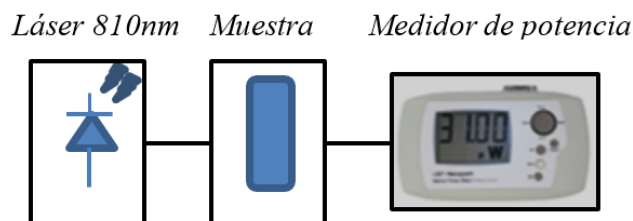


Figura 2 Arreglo experimental para medición de transmitancia

La prueba se realizó cuatro veces para cada muestra y se promedió obteniendo los siguientes resultados.

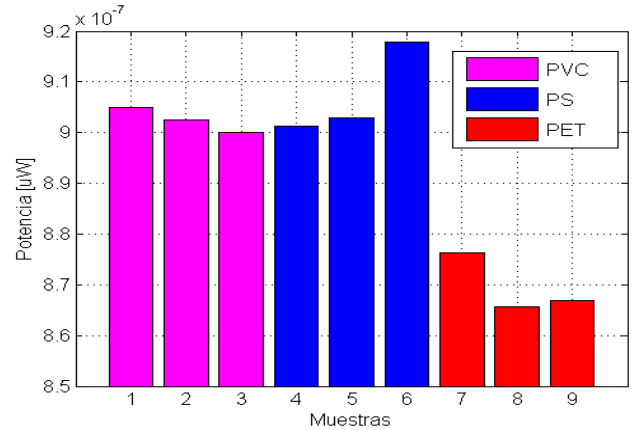


Gráfico 1 Prueba de transmitancia

En la gráfica 1 se muestran los resultados arrojados de la prueba de transmitancia en donde se observa una diferencia bien definida entre las muestras de PET con las de PVC y PS.

Diseño de la etapa de detección

En esta etapa es necesario convertir la señal óptica transmitida por la muestra de polímero en una señal eléctrica para su procesamiento. Para esta prueba se realizó el arreglo experimental de la figura 3, el cual consta de una fuente láser centrada a 810 nm, una lente de línea la cual genera una línea de la señal láser incidente para poder abarcar la mayor superficie sobre la muestra. Posteriormente se encuentra la muestra a una distancia de 30 cm e inmediatamente un fotodiodo SFH203PH para la detección y conversión optoelectrónica de la señal.

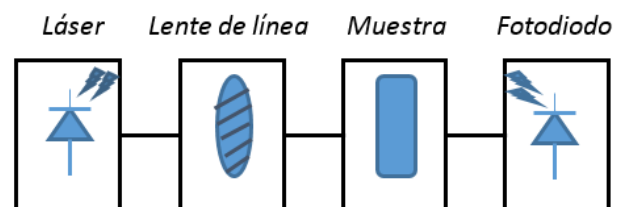


Figura 3 Arreglo experimental para la detección y conversión optoelectrónica de la señal

La salida de la señal eléctrica es acondicionada para los valores arrojados por el fotodiodo que son del orden de milivoltios. Para el acondicionamiento se utilizó el amplificador de instrumentación AD620, con el cual se obtienen los datos de la tabla 1.

Muestras	Voltaje (V)
PVC1	5.5052
PVC2	5.5043
PVC3	5.5025
PS1	5.5032
PS2	5.5040
PS3	5.510
PET1	5.4914
PET2	5.4762
PET3	5.4832

Tabla 1 Valores de transmitancia a la salida del AD620

En la tabla 1 se observan los valores eléctricos de transmitancia de la señal, el rango en el cual se encuentran las muestras de PET está entre 5.45 y 5.5V. El procesamiento de las señales se realizó con el microcontrolador ARDUINO para poder comparar las señales con base a los umbrales de transmitancia. En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo para la programación del microcontrolador.

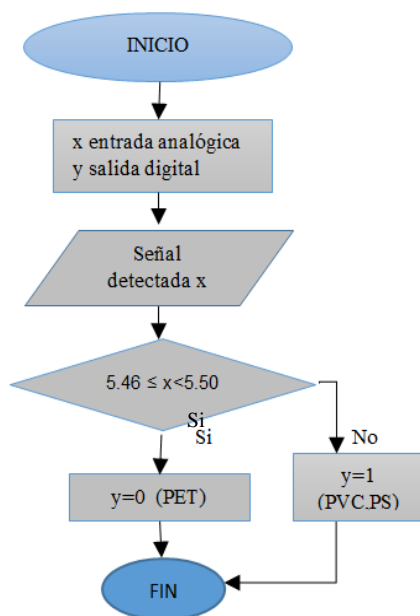


Figura 4 Diagrama de flujo para la detección de polímeros

Posteriormente se realizó la etapa de actuación, la cual consta de un controlador lógico programable (PLC) Allen Bradley MicroLogix 1000 y dos electroválvulas. Las cuales permanecen inactivas si el material detectado es PET, permitiendo que este caiga a un primer contenedor de lo contrario se activan en caso de que el material detectado sea PVC o PS, arrojando de esta manera las muestras a un segundo contenedor. En la tabla 2 se muestran las variables de entrada utilizadas para la programación del PLC.

Símbolo	Dirección
BOTON_ARRANQUE	I0.0
BOTON_PARO	I0.1
BOTON_EMERGENCIA	I0.2
BOTON_MOTOR	I0.3
SENSOR_FOTODIODO1	I0.4
SENSOR_FOTODIODO2	I0.5

Tabla 2 Variables de entrada

En la tabla 3 se muestran las variables de salida utilizadas para la programación del PLC.

Símbolo	Dirección
FOCO_ENCENDIDO	Q0.0
FOCO_APAGADO	Q0.1
FOCO_EMERGENCIA	Q0.2
MOTOR	Q0.3
ELECTROVALVULA1	Q0.4
ELECTROVALVULA2	Q0.5

Tabla 3 Focos o procesos de salida

A continuación se describen las líneas de programación en lógica de escalera del PLC para la activación de las diferentes salidas del sistema (tabla 3) conforme a las señales de entrada (tabla 2).

LINEA 1 FOCO_ENCENDIDO

Activa el foco de encendido al oprimir el botón de arranque y se apaga cuando se oprime el botón de paro o el botón de emergencia, ver figura 5, esta salida indica que el sistema está activo.

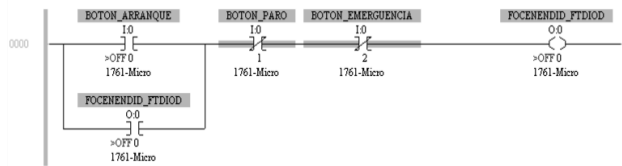


Figura 5 Foco encendido

LINEA 2 FOCO_APAGADO

Activa el foco de apagado al oprimir el botón de paro, ver figura 6, esta salida indica que el sistema está apagado.



Figura 6 Foco apagado

LINEA 3 FOCO_EMERGENCIA

Enciende el foco de emergencia al oprimir el botón de emergencia ver figura 7, se detiene el proceso y el usuario lo oprime en situación de emergencia.



Figura 7 Foco emergencia

LINEA 4 MOTOR

El motor de la banda transportadora se activa cuando el sistema esta encendido y se oprime botón motor, ver figura 8.



Figura 8 Motor

LINEA 5 ELECTROVALVULA 1

La electroválvula1 se activa cuando el sistema está encendido, el motor está activo y si alguno de los dos sensores se ha activado, ver figura 9.

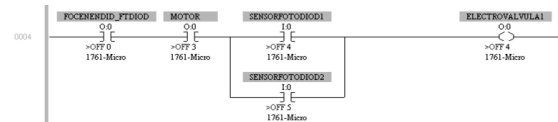


Figura 9 Electrovalvula1

LINEA 6 ELECTROVALVULA 2

Se activa si electrovalvula1 está activa, ver figura 10.



Figura 10 Electrovalvula 2

Finalmente se implementó el prototipo completo que consta de la banda transportadora, la etapa de detección por transmitancia infrarroja y la etapa de actuación. Las electroválvulas fueron colocadas a 10 cm de los fotodiodos en la rampa. Las hojuelas de PET colocadas en la banda caen a un primer contenedor, esto debido a que no se activan las electroválvulas por el umbral de transmitancia que estas presentan, sin embargo, las hojuelas de PVC y PS son arrojadas a un segundo contenedor al activarse las electroválvulas tal como se muestra en la figura 11.

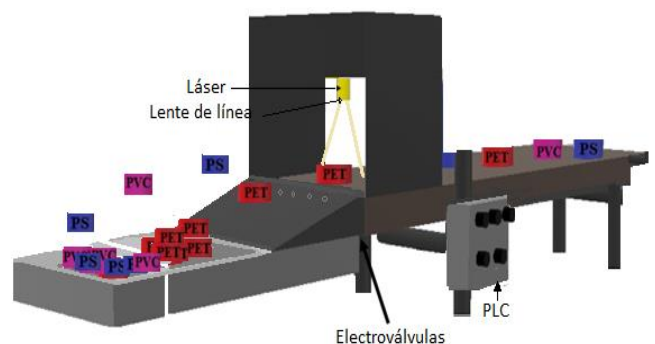


Figura 11 Diseño del prototipo

A continuación se muestra una tabla comparativa de los métodos para detección y separación de polímeros incluyendo nuestro sistema.

Método	Ventajas	Desventajas
Manual	Bajo costo	Alta ineficiencia, no automatizado
Marcadores químicos	Costo medio	Invasivo para el material, no automatizado
Flotación	Bajo costo	Invasivo para el material, no automatizado
Disolventes	Costo medio	Destructivo para ciertos materiales invasivo para el ser humano
Fluorescencia de rayos X	Alta eficiencia, no invasivo para el material, automatizado.	Costo elevado (cientos de miles de pesos MXN), invasivo para el ser humano.
Reflexión infrarroja	Alta eficiencia, no invasivo para el material ni para el ser humano, automatizado.	Costo elevado (cientos de miles de pesos MXN)
Transmitancia infrarroja (nuestra propuesta)	Alta eficiencia, no invasivo para el material ni para el ser humano, automatizado, bajo costo (miles de pesos MXN).	Se han conseguido resultados eficientes para muestras transparentes y traslucidas.

Tabla 4 Tabla comparativa de métodos de detección y separación de polímeros

Conclusiones

En este trabajo se diseñó, desarrolló e implementó el prototipo de un sistema detector y separador de polímeros proponiendo la técnica de transmisión infrarroja, la cual hasta donde tenemos conocimiento, no ha sido propuesta en algún sistema comercial actual para éste propósito, El sistema se implementó utilizando una longitud de onda centrada a 810 nm en donde las muestras de PET presentan una menor transmitancia que las muestras de PS y PVC de acuerdo a las pruebas espectrofotométricas realizadas.

Con esta técnica se logró desarrollar un sistema de de bajo costo y fácil implementación por lo que puede ser asequible para pequeñas y medianas empresas, además de no ser invasivo para el material ni para el ser humano.

Se debe considerar que la implementación del sistema muestra su eficiencia para muestras de PET, PVC y PS transparentes y translúcidas.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, al PRODEP y CONACyT por el apoyo y las becas otorgadas para la realización de este trabajo.

Referencias

Chacón, M., Pacheco, A., Cendejas, M. & Ortega, F. (2016). Tendencia del crecimiento en la cultura del reciclaje. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 63-72. ECORFAN ISSN-2444-4936

Comaniță, E., Ghinea, C., Roșca, M., Simion, I., Petraru, M. & Gavrilăscu, M. (2015). Environmental impacts of polyvinyl chloride (PVC) production process. 2015 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), Romania.

Daniels, W. & Kitson, R. (1958). Infrared spectroscopy of polyethylene terephthalate. *Polymer Chemistry*, 33(126), 161-170.

D M Scott (1995) A two-colour near-infrared sensor for sorting recycled plastic waste, *Meas. sci. Technol*, 156159.

G.G. Pérez-Sánchez, J.A. Álvarez Chávez, J.R. Pérez-Torres, A. Gómez-Vieyra (2015). PET and PVC Separation System Based on Optical Sensors, *Infrared Sensors, Devices, and Applications V*, 9609, 96090T.

Gustafsson, A. & Gedde, U. (1992). Electrical degradation of styrene polymers. Sixth International Conference on Dielectric Materials, Measurements and Applications, UK.

Hamed Masoumi, Sayed Mohsen Safavi, and Zahra Khani (2012). Identification and Classification of Plastic Resins using Near Infrared Reflectance Spectroscopy, World Academy of Science, Engineering and Technology, 6.

Karaca, A., Ertürk, A., Güllü, M., Elmas, M. & Ertürk, S. (2013). Plastic waste sorting using infrared hyperspectral imaging system. 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Turkey.

Liang, C. & Krimm, S. (1959). Infrared Spectra of High Polymers. Journal of Molecular Spectroscopy, 3, 554-574.

Monica Moroni, Alessandro Mei , Alessandra Leonardi , Emanuela Lupo, Floriana La Marca (2015). PET and PVC Separation with Hyperspectral Imagery, Sensors, 2205-2227.

Muñoz, L., Flores, J., Hernández, M. & Nieto, V. (2013). Sistema de entrenamiento hidráulico con componentes industriales. Recuperado de <http://www.ecorfan.org/handbooks/pdf/IT3c19.pdf>

Padilla, M., Sánchez, I. & Oseguera, P. (2016). Control automático de una máquina seleccionadora por color mediante la PixyCam CMUCAM5 para aseguramiento de calidad. Revista de Tecnología e Innovación, 3(8), 35-44. ECORFAN ISSN-2410-3993.

Perdomo, G. (2002). Plásticos y medio ambiente. Revista Iberoamericana de Polímeros, 3(2), 1-13.
Sonnenschein, M. & Roland, C. (1990). Absorption and fluorescence spectra of polyethylene terephthalate dimers. Polymer, 31(11), 2023-2026.

Vijayakumar, S. & Rajakumar P. (2012). Infrared spectral analysis of waste pet samples. International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy, 4, 58-65. doi: 10.18052/www.scipress.com/ ILCPA.4.58

Villareal, O., Perales, M., Yáñez, T. & López R. (2015). Reporte técnico de un triturador de Nopal en el Estado del Arte. Revista de Aplicación Científica y Técnica, 1(2), 90-101. ECORFAN ISSN-2444-4928.

Prototipo basado en Redes Neuronales para monitoreo y predicción de temperatura en invernaderos de los Valles Centrales de Oaxaca

PÉREZ-PÉREZ, Alejandro †, MATADAMAS-ORTIZ, Idarh Claudio, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela* y ALTAMIRANO-CABRERA, Marisol

Instituto Tecnológico de Oaxaca, Departamento de Sistemas y Computación, Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030

Recibido Julio 11, 2017; Aceptado Agosto 2, 2017

Resumen

Se presenta un prototipo para la predicción de temperatura en tiempo $t+1$ en función de las condiciones climáticas actuales (t), teniendo como objetivo principal el desarrollar un sistema para el monitoreo y la predicción de la temperatura construido con tecnología accesible que utilice Redes Neuronales Artificiales (RNA), y la hipótesis de que es posible predecir el comportamiento de la temperatura a través de RNA's utilizando como patrones de entrada información climática de la región de los Valles Centrales del estado de Oaxaca; se desarrolló el prototipo formado por tres módulos: módulo de adquisición de datos (MAD) compuesto por sensores DHT11 capaces de medir los valores de temperatura (T) y humedad relativa (HR), módulo de procesamiento y predicción (MPP) formado por una RNA de tipo Perceptron Multicapa (MLP) totalmente conectada; y la interfaz gráfica de usuario (IGU). Para medir el desempeño del modelo neuronal se utilizó un conjunto de datos de T y HR de una habitación ubicada en los Valles Centrales del estado de Oaxaca durante 44 días. Se concluye que el prototipo es capaz de predecir la temperatura con un porcentaje mayor al 80% de asertividad en condiciones ambientales normales pudiendo ser implementado para el control de temperatura en invernaderos.

Redes Neuronales Artificiales, Predicción de temperatura, Inteligencia Artificial.

Abstract

A prototype for the prediction of temperature at time $t+1$ is presented in function of the current climatic conditions (t), with the main objective being to develop a system for the monitoring and prediction of the temperature constructed with accessible technology that uses Neural Networks Artificial (RNA). The hypothesis says that is possible to predict the behavior of temperature through RNA's using as input patterns climatic information of the region of the Central Valleys of the state of Oaxaca. We developed the prototype consisting of three modules: data acquisition module (MAD), wich is composed of DHT11 sensors capable of measuring the values of temperature (T) and relative humidity (RH), processing and prediction module (MPP) formed by an RNA Multi-layer Perceptron type (MLP) fully connected; And graphical user interface (GUI). To measure the performance of the neural model, it was used a set of T and HR data recollected from a room that is located in the Central Valleys of the state of Oaxaca for 44 days. The conclusion is that the prototype is able to predict the temperature with a percentage greater than 80% of assertivity under normal environmental conditions. s, it could be implemented for the control of temperature in greenhouses.

Artificial Neural Networks, Temperature prediction, Artificial Intelligence

Citación: PÉREZ-PÉREZ, Alejandro, MATADAMAS-ORTIZ, Idarh Claudio, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela y ALTAMIRANO-CABRERA, Marisol. Prototipo basado en Redes Neuronales para monitoreo y predicción de temperatura en invernaderos de los Valles Centrales de Oaxaca. Revista de Prototipos Tecnológicos 2017, 3-9: 14-23.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente la tecnología está presente en la vida cotidiana de todas las personas, con grandes avances cada día, es necesario la adopción de tecnología de sistemas aplicados a ambientes controlados como invernaderos y habitaciones, en cuyo caso algo imprescindible es mantener una temperatura constante y controlada para mantener un confort térmico y así tener las mejores condiciones ya sea para el cultivo de hortalizas, el mantenimiento de equipo, la conservación productos perecederos o simplemente la adecuada estancia de las personas en un recinto.

De manera específica dentro de un invernadero, la temperatura marca notablemente los procesos vitales de un cultivo y condiciona muchas de sus actividades fisiológicas [NUÑO07]. En cada tipo de planta existen umbrales de temperatura durante los cuales el desarrollo y producción son muy satisfactorios, pero si se somete a las plantas a temperaturas muy bajas o muy altas, pueden limitar sus procesos, reflejándose en un menor crecimiento, tamaño y calidad de fruto. El valor umbral entre las distintas plantas es diferente en cada especie, pero es un hecho de que a temperaturas por debajo de 0°C, o por encima de 50°C las reacciones biológicas de importancia en las plantas no pueden desarrollarse [NUÑO07] y [FAO02].

En la actualidad los avances tecnológicos dan pie a la implementación de sistemas de control automático capaces de mantener la temperatura en condiciones óptimas. Al mismo tiempo la generación e implementación de técnicas de Inteligencia Artificial como los algoritmos genéticos, evolutivos, bio-inspirados [TREJ11] pero sobre todo las redes neuronales artificiales, en este tipo de sistemas ha ido en aumento, trabajos como el presentado en [SANT10], en el que se implementa una red neuronal artificial para realizar la predicción climática, han demostrado que el uso de estas técnicas son considerablemente eficientes en el modelado de variables, otro ejemplo de la implementación de este tipo de técnicas de Inteligencia Artificial es el que presenta [LINK98].

ISSN-2444-4995

ECORFAN® Todos los derechos reservados

En donde utiliza un red neuronal para realizar el control del CO2 contenido en el interior de un invernadero. En investigaciones realizadas por [GARC04], [SANT10] y [MAQS04], se proponen diferentes modelos de Redes Neuronales Artificiales para predecir la temperatura en distintos ambientes, logrando una buena aproximación y con resultados comparables a los obtenidos con modelos matemáticos.

Tomando esto en cuenta y con la hipótesis de que es posible implementar un sistema de monitoreo y predicción de temperatura para la región de Valles Centrales en el estado de Oaxaca que utilice RNA's para su funcionamiento, se desarrolló un prototipo para tales efectos por medio de tecnología accesible que aporta información importante que puede ser utilizada en la toma de decisiones durante el control de esta importante variable dentro de ambientes controlados, como los invernaderos.

Redes Neuronales Artificiales en la predicción de variables climáticas

Aunque en la mayoría de las aplicaciones se utilicen a las redes neuronales para clasificación y reconocimiento, diversos son los autores que presentan resultado en la predicción utilizando estas herramientas. Si se habla de RNA utilizadas como herramienta para la predicción de factores climáticos adversos encontramos el trabajo de [OVAN05] en donde se utilizó esta técnica para realizar la predicción de heladas.

En el trabajo presentado por [DARI08] se utilizó un modelo de series de tiempo de RNA para realizar la predicción de los parámetros internos de un invernadero de tomate, utilizando regresión lineal como medida de rendimiento del modelo entre lo previsto y las salidas deseadas, se pudo comprobar en la etapa de pruebas que el error relativo promedio (MRE) fue de 4.23% para un conjunto de datos pequeño (siete días). Utilizando un modelo de regresión basado en la técnica de regresión lineal múltiple (MLR) se puede observar la comparación entre los resultados experimentales obtenidos por la RNA y por el modelo de regresión, aparentemente el enfoque de RNA obtiene una predicción un poco mejor que el método tradicional (MLR).

PÉREZ-PÉREZ, Alejandro, MATADAMAS-ORTIZ, Idarh Claudio, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela y ALTAMIRANO-CABRERA, Marisol. Prototipo basado en Redes Neuronales para monitoreo y predicción de temperatura en invernaderos de los Valles Centrales de Oaxaca. Revista de Prototipos Tecnológicos 2017.

En el trabajo presentado por [SMIT09] se desarrollaron diferentes modelos de predicción de la temperatura del aire utilizando RNA's de acuerdo a las diferentes estaciones de todo un año usando datos meteorológicos detallados recogidos por la Georgia Automated Environmental Monitoring Network (AEMN), obteniendo muy buenos resultados en la predicción con un margen de error de 0.5°C a 3.4°C debido a condiciones climáticas imprevistas. El modelo de RNA final fue desplegado en el sitio web de Georgia AEMN para su uso como herramienta general de soporte a la toma de decisiones durante todo el año. Trabajos más recientes detallan la forma en que se utilizan las redes neuronales para el control y la predicción de variables climáticas, específicamente sobre ambientes controlados como son los invernaderos [FENG16], [SALA17], [OUTA15], [SALA07], [ERED13], algunos autores presentan diferentes modelos de redes neuronales que trabajan en conjunto otras técnicas de la inteligencia artificial como la lógica difusa [YOUS10], [ATIA17] e incluso con técnicas de control como son los controladores PID [QU11], [WANG15], [HU10], [ZENG12].

Prototipo de monitoreo y predicción de temperatura

Para el desarrollo del módulo de adquisición de datos se utilizó un microcontrolador Arduino Uno como centro de procesamiento y sensores de modelo DHT11 para la toma de los valores de temperatura y humedad relativa, mientras que el módulo de procesamiento y temporización de las lecturas fue desarrollado sobre el entorno de programación grafica LabVIEW 2010. Además de utilizar el lenguaje de programación C++ para el desarrollo de la RNA encargada de realizar la predicción. En la figura 1 se presenta el diagrama del sistema propuesto.

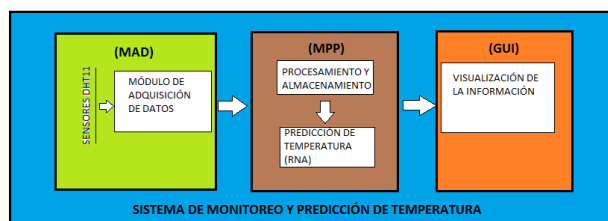


Figura 1 Módulos del sistema

Fuente: Elaboración propia

ISSN-2444-4995

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Para la estructuración del módulo de adquisición de datos se utilizaron dos sensores DHT11 capaces de medir la temperatura y la humedad relativa del ambiente, colocados al interior y al exterior del sitio de muestreo.

Para el desarrollo del módulo de procesamiento y predicción fue necesario contar con un conjunto de datos de entrenamiento, se tomó una muestra de 44 días consecutivos de variables climáticas (T y HR) internas y externas (un sensor para cada una de ellas) en una habitación ubicada en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, con una frecuencia de muestreo de diez minutos, almacenando además la fecha y hora de cada captura, en el periodo comprendido del 10 de Octubre al 22 de Noviembre de 2015, esto con la finalidad de tener muestras correspondientes a un mes completo dentro de una misma estación del año.

Selección del modelo neuronal

Se utilizó una submuestra de diez días seguidos (10 al 19 de Octubre) correspondientes al 23% de la muestra total para definir la arquitectura de la red neuronal, mediante el entrenamiento supervisado y validación implementando el algoritmo de retropropagación de errores (del inglés backpropagation) en una red de perceptrones de tres capas (suficiente para resolver problemas no lineales), usando la sigmoide como función de activación, una razón de aprendizaje de 0.15 y limitado a 100,000 épocas, con salida lineal mediante cinco neuronas (capa de salida, representando una salida binaria de la predicción).

Se realizaron una serie de experimentos utilizando un vector de entrada definido por medio de los valores de temperatura y humedad relativa (tanto fuera como dentro del sitio de muestreo) y la hora de la muestra; aplicando diferente número de neuronas en la capa oculta de la red para seleccionar la que mejor porcentaje de acierto mostrara en su etapa de entrenamiento y validación, buscando una predicción de $t+1$. Para el entrenamiento y la validación se utilizó el 50% de la submuestra (735 patrones) para cada etapa respectivamente.

El vector de entrada hacia la red quedó formado por los siguientes datos: hora (h), minuto (min), temperatura externa (Te), humedad externa (He), humedad interna (Hi) y temperatura interna (Ti).

Posteriormente, y una vez definido el modelo neuronal a utilizar, se implementó la red neuronal seleccionada en el prototipo, haciendo un nuevo entrenamiento y validación del desempeño en la predicción. Para este paso se utilizó un conjunto de datos correspondiente a 27 días de muestra y para la validación de este nuevo entrenamiento se utilizaron los siete días restantes del conjunto completo de datos disponibles.

En la tabla 1 se presenta la distribución de este conjunto de datos en cada uno de los pasos descritos anteriormente.

Días usados	Paso de selección
10 – 19 Oct.	Selección del modelo mediante las diferentes configuraciones.
20 – 15 Nov.	Entrenamiento final
16 – 22 Nov.	Pruebas finales

Tabla 1 Distribución del conjunto de datos en los diferentes pasos

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Se presentan los resultados en el entrenamiento y la validación de cada una de las configuraciones; se realizaron ocho pruebas en total, cambiando en cada una el número de neuronas en la capa oculta (**Noc**) para comparar el desempeño de la red. Los valores en la capa oculta que se utilizaron fueron 5, 7, 10, 12, 15, 20, 25 y 30 respectivamente.

Prueba	Noc	% Ent	% Val	ECM
1	5	64.76	62.99	138.1875
2	7	55.10	54.42	117.3213
3	10	74.14	71.70	97.5875
4	12	68.97	66.80	146.9067
5	15	76.87	66.53	97.4119
6	20	89.52	77.00	49.3496
7	25	82.44	69.79	67.9510
8	30	83.40	66.39	67.6623

Tabla 2 Resultados de las pruebas hechas para diferentes configuraciones

Fuente: Elaboración propia

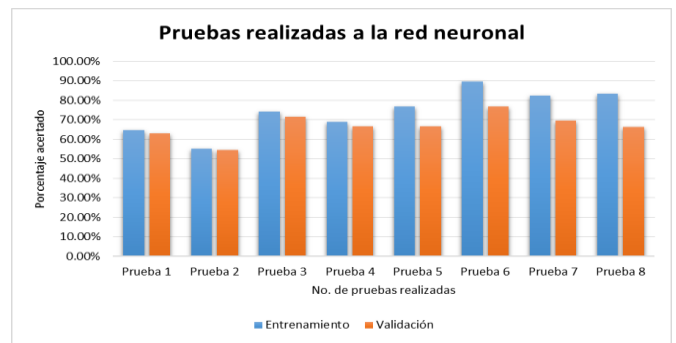


Gráfico 1 Comparación de resultados en las pruebas hechas para diferentes configuraciones

Fuente: Elaboración propia

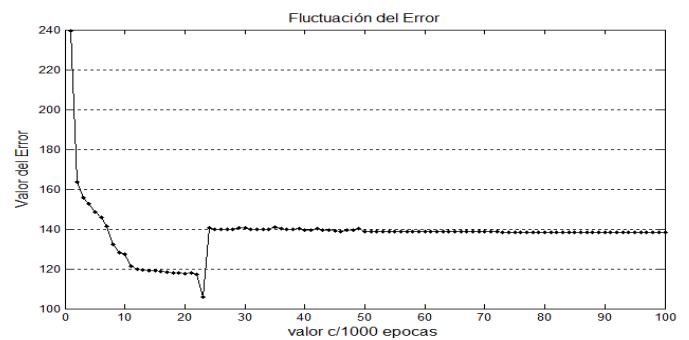


Gráfico 2 Fluctuación del error durante el entrenamiento utilizando cinco neuronas en la capa oculta.

Fuente: Elaboración propia.

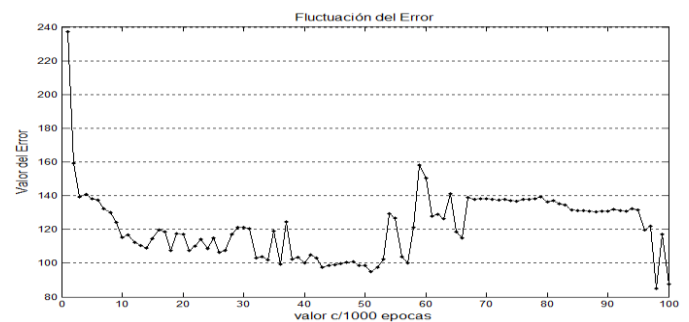


Gráfico 3 Fluctuación del error durante el entrenamiento utilizando siete neuronas en la capa oculta

Fuente: Elaboración propia

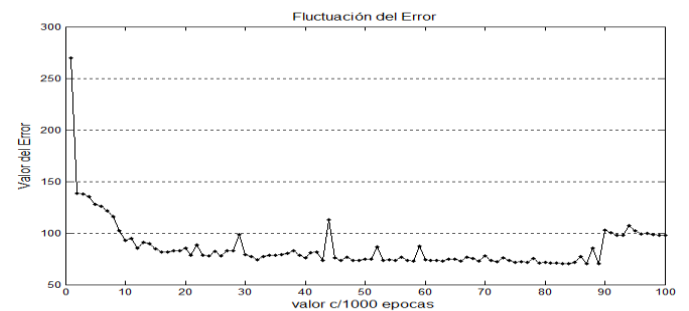


Gráfico 4 Fluctuación del error durante el entrenamiento utilizando diez neuronas en la capa oculta

Fuente: Elaboración propia

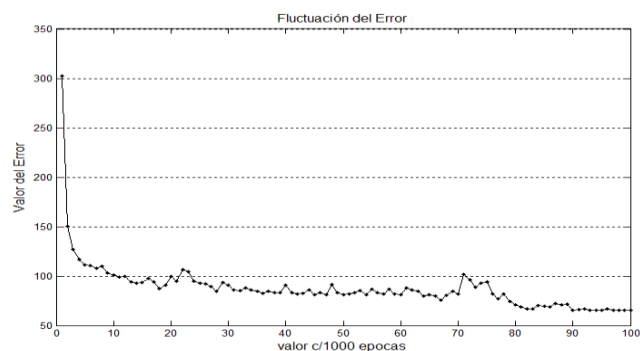


Gráfico 5 Fluctuación del error durante el entrenamiento utilizando 12 neuronas en la capa oculta
Fuente: Elaboración propia.

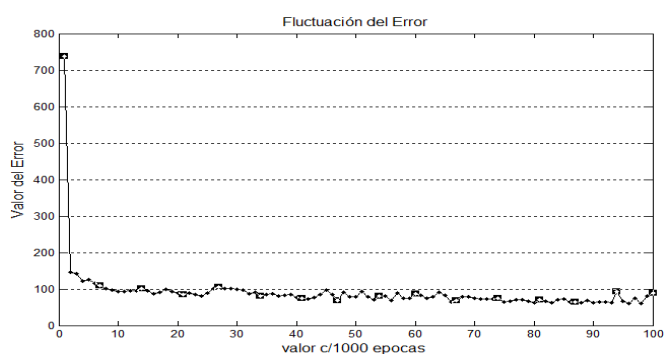


Gráfico 8 Fluctuación del error durante el entrenamiento utilizando 25 neuronas en la capa oculta
Fuente: Elaboración propia

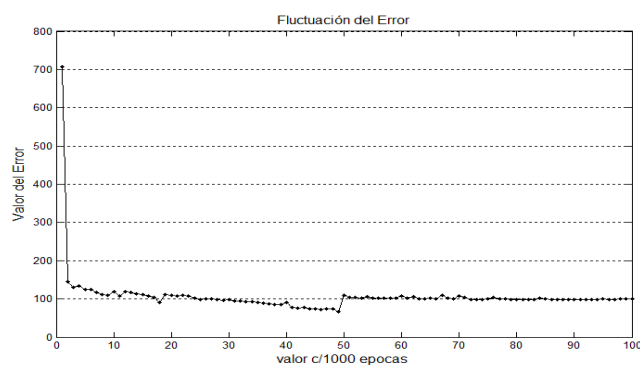


Gráfico 6 Fluctuación del error durante el entrenamiento utilizando 15 neuronas en la capa oculta
Fuente: Elaboración propia

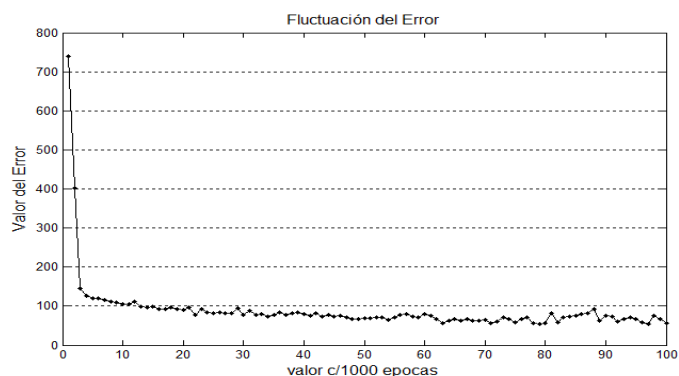


Gráfico 9 Fluctuación del error durante el entrenamiento utilizando 30 neuronas en la capa oculta
Fuente: Elaboración propia

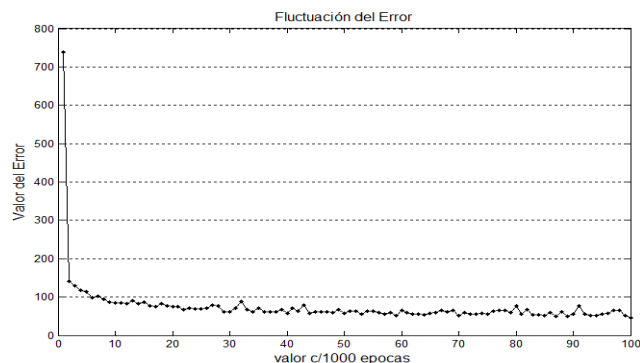


Gráfico 7 Fluctuación del error durante el entrenamiento utilizando 20 neuronas en la capa oculta
Fuente: Elaboración propia

Para la selección del modelo a implementar en el prototipo se tomó en cuenta el porcentaje de aciertos tanto en el entrenamiento como en la validación, por lo que la selección más apropiada como se puede observar en el gráfico 1, es la presentada por la arquitectura seis ya que muestra mayor porcentaje de aciertos en la predicción con 89.52% en el entrenamiento y 77% en la validación.

Además, analizando los gráficos de comportamiento del error drante el entrenamiento se puede observar que es la que muestra una mayor estabilidad (gráfico 7). De ésta manera se determinó la mejor configuración para la RNA formándose con seis neuronas en la capa de entrada, 20 neuronas en la capa oculta y cinco neuronas en la capa de salida.

Para validar el funcionamiento de la RNA con la configuración seleccionada se realizó nuevamente el entrenamiento (prueba final) utilizando una submuestra de 27 días seguidos (20 al 15 de Noviembre) y una etapa de validación (para la proyección de resultados) utilizando siete días (16 al 23 de Noviembre), correspondientes a un 61% y 16% de la muestra total respectivamente.

En los gráficos 10 a 16 se muestran los resultados de la predicción de temperatura. Dichas predicciones se presentan junto a los valores reales de temperatura durante esos días.

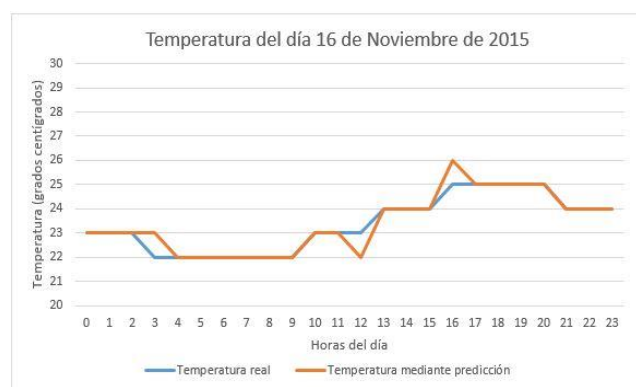


Gráfico 10 Comparación entre valores reales y la predicción del sistema para el 16-11-2015
Fuente: Elaboración propia

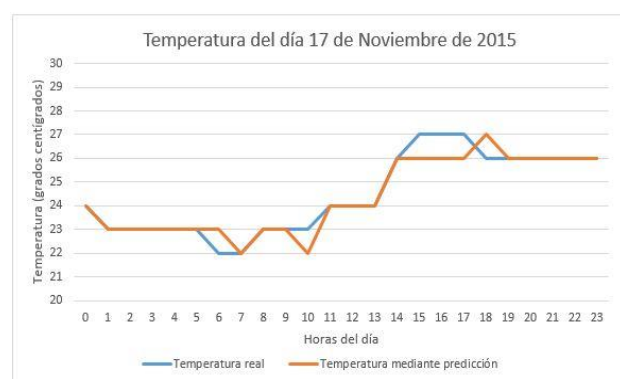


Gráfico 11 Comparación entre valores reales y la predicción del sistema cada hora para el 17-11-2015
Fuente: Elaboración propia.

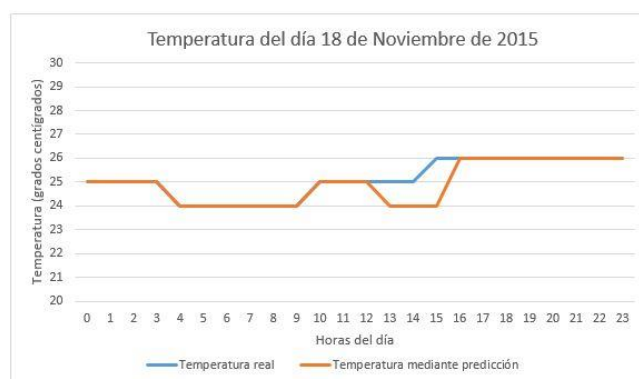


Gráfico 12 Comparación entre valores reales y la predicción del sistema para el 18-11-2015
Fuente: Elaboración propia

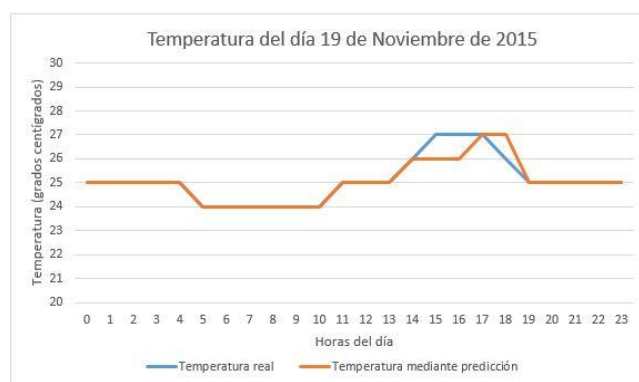


Gráfico 13 Comparación entre valores reales y la predicción del sistema para el 19-11-2015
Fuente: Elaboración propia

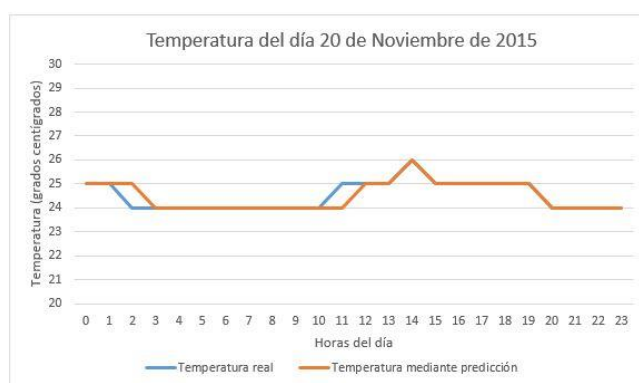


Gráfico 14 Comparación entre valores reales y la predicción del sistema para el 20-11-2015
Fuente: Elaboración propia

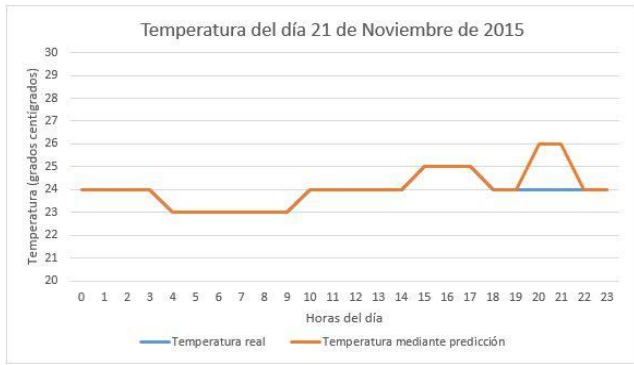


Gráfico 15 Comparación entre valores reales y la predicción del sistema cada hora para el 21-11-2015
Fuente: Elaboración propia.

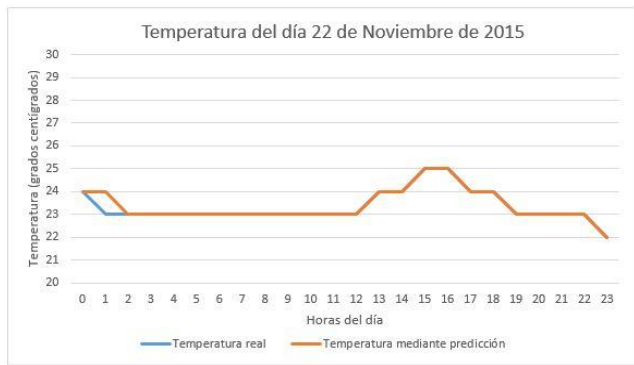


Gráfico 16 Comparación entre valores reales y la predicción del sistema para el 22-11-2015
Fuente: Elaboración propia

De los gráficos anteriores se puede obtener la información de la tabla 3 en donde se presentan los resultados de acierto en las predicciones hechas por la red neuronal.

Día	% de acierto	% de error
16-11-2017	87.50	12.5
17-11-2017	75.00	25.00
18-11-2017	87.5	12.50
19-11-2017	87.50	12.50
20-11-2017	91.66	8.33
21-11-2017	91.66	8.33
22-11-2017	95.83	4.16
Total	88.09%	11.90%

Tabla 3 Resultados en la predicción de temperatura durante las pruebas finales utilizando la red neuronal seleccionada
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior el porcentaje de acierto se mantiene en los valores esperados (obtenidos durante la selección del modelo a utilizar) durante la mayoría de los días de prueba, a excepción del día 17 de noviembre en que el desempeño descendió de manera considerable; aún así, los resultados globales muestran el alto grado de asertividad en las predicciones.

Interfaz de usuario

El modulo de Interfaz de Usuario fué desarrollado utilizando el lenguaje de programación LabVIEW 2010, en las figuras siguientes se presentan las pantallas principales utilizadas para el monitoreo y la consulta de las lecturas hechas mediante el sistema de adquisición de datos. Dichas interfaces están disponibles mediante un sitio web capaz de acceder a los datos almacenados en el SAD añadiendo la flexibilidad del prototipo al ser accesibles de forma remota.



Figura 2 Panel principal del sistema de monitoreo de temperatura
Fuente: Elaboración propia.

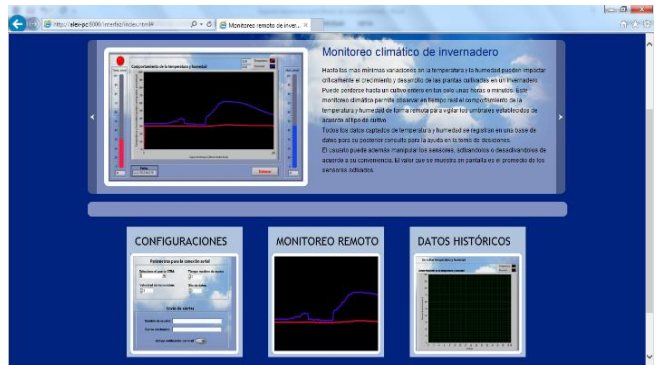


Figura 3 Interfaz de monitoreo en tiempo real del sistema
Fuente: Elaboración propia

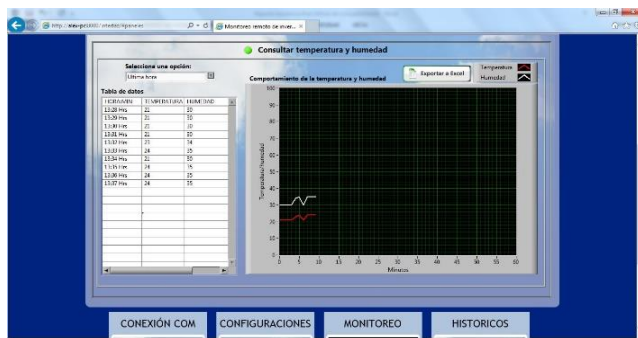


Figura 4 Interfaz de consulta de datos históricos almacenados por el sistema desarrollado

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Analizando los resultados obtenidos se observa que existe una diferencia de $\pm 1^\circ\text{C}$ en los errores entre el valor real y la predicción de la temperatura, concluyendo que mediante la implementación de un modelo de RNA de tipo Multilayer Perceptron se puede predecir la temperatura interna de una habitación con una asertividad mayor al 80%.

Como se muestra en el presente trabajo las predicciones obtenidas por el prototipo son confiables, demostrando así la viabilidad en la implementación de este tipo de sistemas de adquisición de datos, monitoreo y predicción de variables climáticas mediante el uso de tecnologías accesibles tales como Arduino Uno y los sensores DHT11.

Al analizar la respuesta a los cambios en el comportamiento próximo ($t+1$) de la temperatura y su correcta predicción por parte del modelo propuesto se presenta una oportunidad mediante la adecuación del sistema para trabajar con los actuadores más utilizados en el control de dicha variable climática, tales como ventiladores y calefactores; pudiendo llegar a un control automático.

El desarrollo del prototipo plantea una base sobre la cual se puede desarrollar toda una plataforma de control y de monitoreo de variables climáticas en este tipo de microclimas, pudiendo expandir la metodología propuesta a variables como Humedad Relativa, Luminosidad y CO₂.

Aunque los resultados obtenidos muestran la capacidad de la arquitectura implementada para predecir el comportamiento de la temperatura bajo las condiciones con las que cuenta la región de los Valles Centrales del estado de Oaxaca, es necesario tener un conjunto de datos mayor, por ejemplo una estación completa o un año completo, para poder afirmar que nuestro prototipo trabaja de forma efectiva durante un periodo prolongado; de lo contrario buscar los mecanismos que aseguren su buen funcionamiento y posterior implementación en sistemas de control en medios de producción ya sea a gran o pequeña escala.

Trabajos futuros

Como mecanismo para obtener muestras significativas del comportamiento del clima en los Valles Centrales de Oaxaca se pretende expandir el sistema de adquisición de datos para trabajar con variables distintas a la temperatura y humedad relativa, llegando a tener una estación meteorológica instalada en el Instituto Tecnológico de Oaxaca. De esta manera tener datos para trabajar en sistemas de control y monitoreo inteligentes propios que se puedan implantar en actividades de producción.

En una siguiente etapa se espera implantar el sistema de adquisición de datos en un invernadero, durante un rango prolongado de tiempo (un año como mínimo) para obtener así un conjunto de datos representativos de un periodo de cultivo y obtener resultados confiables de la dinámica de comportamiento de las diferentes variables a lo largo de las estaciones del año.

Así también se tiene pensado expandir el sistema para trabajar con variables diferentes a la temperatura, como por ejemplo la humedad relativa, la luminosidad y la cantidad de CO₂ aplicando la misma metodología de predicción mediante redes neuronales. Esto con el fin de lograr un sistema capaz de hacer predicciones que puedan ayudar a realizar el control del microclima presente en invernaderos.

También se desea hacer la integración de estas predicciones como una herramienta de anticipación a condiciones no deseadas en las variables climáticas y así evitar, de ser posible, la fase de corrección en el control de microclimas en ambientes controlados, tales como invernaderos.

Referencias

- [ATIA17] D. Atia, H. El-madany. Analysis and design of greenhouse temperature control using dative neuro-fuzzy inference system. Vol 4. Journal of Electrical Systems and Information Technology. 34-48p. 2017.
- [DARI08] A. Dariouchy, E. Aassif, K. Lekouch, L. Bouirden, G. Maze; Prediction of the intern parameters tomato greenhouse in a semi-arid area using a time-series model of artificial neural networks; Universidad de Georgia, USA. Septiembre 2008, 453-463p.
- [ERED13] P. Eredics, T. Dobrowiecki. Hybrid MLP-RBF Model for Short-Term Internal Temperature Prediction in Greenhouse Environments. 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics. Budapest, Hungaria, 2013. DOI:
- [FAO02] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). Factores que condicionan la producción (en línea). Capítulo 2. El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. Manual preparado por el Grupo de Cultivos Hortícolas. FAO Dirección de Producción y Protección Vegetal 90. Roma, IT. 28/09/2015, de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Sitio web:<http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s04.htm>.
- [FENG16] L. Feng, Q. Lin, M. Qi, W. Gang. Modeling Greenhouse Temperature by Mens of PLSR and BPNN. Proceedings of the 35th Chinese Control Conference. China. 2016.
- [FOUR07] F. Fourati, M. Chtourou. A greenhouse control with feed-forward and recurrent neural networks. Vol. 15. Simulation Modelling Practice and Theory. 1016–1028p. 2007.
- [GARC04] J. García; Modelado y predicción de la temperatura interna en edificios de salones de clase. (Tesis de maestría). Facultad de ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro. México, Abril 2014, 66p.
- [HU10] H. Hu, L. Xu, R. Wei. Nonlinear adaptive Neuro-PID controller design for greenhouses environment base don RBF network. The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2010. DOI: 10.1109/IJCNN.2010.5596982
- [LINK98] R.Linker, I. Seginer, P. Gutman. Optimal CO2 control in a greenhose modeled with neural network. Vol. 19 Computers and Electronics in Agriculture. 1998, 289-310p.
- [MAQS04] I. Maqsood, M. Khan, A. Abraham; An ensemble of neural networks for weather forecasting. Neural Comput. Appl.; Vol. 121, No. 22, USA, Mayo 2004, 112-122p, DOI: 10.1007/s00521-004-0413-4
- [NUÑO07] R. Nuño. (2007). Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California. Baja California, México: Gobierno del Estado de Baja California.
- [OUTA15] M. Outanoute, A. Lachhab, A. Ed-dahhak, A. Selmani, M. Guerbaoui, B. Bouchikhi. A neural network dynamic model for temperatura and reltive humidity control under greenhouse. Third International Workshop on RFID And Adaptive Wireless Sensor Networks (RAWSN). 2015. DOI: 10.1109/RAWSN.2015.7173270
- [OVAN05] G. Ovando, M. Bocco, S. Sayago; Redes Neuronales para modelar predicción de heladas. Agricultura Técnica, Vol. 65, num. 1. Chile, 2005, 65-73p.

[QU11] Y. Qu, D. Ning, Z. Lai, Q. Cheng, L. Mu. Neural networks based on PID control for greenhouse temperature. 27. 307-311. 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.02.053.

[ZENG12] S. Zeng, H. Hu, L. Xu, G. Li. Nonlinear Adaptive PID Control for Greenhouse Environment Base don RBF Network. Sensors (Basel, Switzerland). 12. 5328-48. 10.3390/s120505328.

[SALA17] R. Salazar, D. Dannehl, U. Schmidt, I. López, A. Rojano. (2017). A dynamic artificial neural network for tomato yield prediction. Acta Hort. 1154, 83-90p DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1154.11 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1154.11>

[SANT10] Santhosh S., Kadar I. An Efficient Weather Forecasting System using Artificial Neural Network. Vol. 1, No. 4. International Journal of Environmental Science and Development, USA, Octubre 2010, 321-326p, ISSN: 2010-0264

[SALA07] R. Salazar, I. Lopez, A. Rojano. A Neural Network Model to Control Greenhouse Environment. Sixth Mexican International Conference on Artificial Intelligence, Special Session. 2007. DOI: 10.1109/MICAI.2007.33

[SMIT09] B. Smith, G. Hoogenboom, R. McClendon; Artificial Neural Networks for automated year-round temperature prediction. Universidad de Georgia; USA, Abril 2009, 52-61p.

[TREJ11] E. Trejo, I. Lopez. Técnicas de inteligencia artificial en modelado y control del ambiente de invernaderos: estado del arte, parte 2. Vol 3. Num 2. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 81-86p. 2011. DOI: 10.5154/r.inagbi.2011.11.006

[WANG15] W. Wang, L. Xu, H. Hu, "Neuron adaptive PID control for greenhouse environment", Journal of Industrial and Production Engineering, vol. 32, pp. 291, 2015.

[YOUS10] M. Yousefi, S. Hasanzadeh, H. Mirinejad, M. Ghasemian; A Hybrid Neuro-Fuzzy Approach for Greenhouse Climate Modeling. 5th IEEE International Conference Intelligent Systems, 2010.

Caracterización numérica de una estufa solar tipo caja con reflectores interiores durante el proceso de cocción de papa

TERRES-PEÑA, Hilario †, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, VACA-MIER, Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180. Col. Reynosa Tamaulipas C.P. 02200. Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México, México

Recibido Junio 7, 2017; Aceptado Septiembre 9, 2017

Resumen

En este trabajo se muestran los resultados tanto de la simulación numérica así como de las temperaturas que describen la evolución de la cocción en el tiempo durante el proceso de cocción de papa en una estufa solar tipo caja con reflectores internos. Las temperaturas adquiridas en la experimentación mediante un dispositivo Compact Field Point y el software Labview son utilizadas como condiciones de frontera para la lograr la simulación de la distribución de temperatura y velocidad del aire durante el proceso de cocción. Los resultados logrados identifican tanto las zonas donde la temperatura evoluciona, así como la incidencia de esta en el comportamiento de la velocidad del aire en la estufa. Los valores de temperatura alcanzados son 90 °C para el agua y 85 °C para el centro de la papa. Los valores de velocidad del aire moviéndose en el interior de la estufa se encuentran en un intervalo de 0.04 – 1.18 mm/s. Los resultados pueden ser útiles en el diseño de prototipos de estufas solares debido a que indican la manera en la que se lleva cabo el proceso de cocción en una estufa solar de tipo caja.

Estufa Solar, Temperatura, Radiación solar

Citación: TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, VACA-MIER, Mabel. Caracterización numérica de una estufa solar tipo caja con reflectores interiores durante el proceso de cocción de papa. Revista de Prototipos Tecnológicos 2017, 3-9: 24-33.

Abstract

In this work, the results of the numerical simulation as well as the temperatures that describe the evolution of the cooking in the time during the process of cooking of potato in a solar cooker box-type with internal reflectors are shown. The Temperature data acquired by using a Compact Field Point device and Labview software are used as boundary conditions to achieve the simulation of the temperature and air velocity distribution during the cooking process. The obtained results identify both the zones where the temperature evolves as well as the incidence of this in the behavior of the speed of the air in the cooker. The temperature values reached are 90 °C for water and 85 °C for the center of the potato. The velocity values of the air moving inside the stove are in a range of 0.04 - 1.18 mm / s. The results can be useful in designing solar cookers prototypes because they indicate the way in which the cooking process is carried out in a solar cooker box-type.

Solar cooker, Temperature, Solar Radiation

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad, la simulación numérica es un medio complementario importante para el desarrollo experimental, donde la comparativa de parámetros tales como materiales de construcción, configuraciones geométricas y condiciones de trabajo, deben de ser considerados. Considerando alternativas para estudiar estufas solares, se han desarrollado de modelos matemáticos que permiten describir el comportamiento térmico de estos dispositivos.

Las investigaciones experimentales con dispositivos y equipos solares frecuentemente se ven afectados por su diseño y las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo su operación como la temperatura ambiente y la radiación solar. De aquí que sea importante considerar los efectos en los procesos de transferencia de calor asociados a estas variables.

Pejack 1991, desarrolló un modelo matemático considerando los procesos de transferencia de calor en una estufa solar tipo de caja operando con alimentos. Se consideró la radiación solar y un reflector plano sobre la caja. Se evaluaron pequeños incrementos de tiempo. Mediante su modelo matemático se determinaron temperaturas de aire, comida, paredes interiores y cubierta superior.

En los resultados obtenidos, se consideró el flujo solar a lo largo del período de cocción. El investigador mostró cómo la temperatura de los alimentos se ve afectada por la latitud, el mes, el viento, las nubes, la masa de los alimentos y la resistencia térmica de las paredes de la caja y el ajuste de la misma durante la cocción. Suharta et al. 2001, describieron las variables que afectan a las estufas solares de tipo caja y propusieron un nuevo diseño. Los resultados obtenidos por ellos mostraron que la mejor de las estufas solares, permite alcanzar una temperatura de cocción de 202 ° C entre las 12:00 y 12:45 p.m. para el 7 de octubre de 1997. Se encontró que esta estufa solar tiene una buena capacidad de almacenamiento de calor.

Presentaron la optimización del tamaño, el área de abertura, el espesor del aislante, el volumen de la caja y el área del reflector. Su modelo fue denominado HS 5521. Harmim et al. 2012, desarrollaron un modelo matemático para una estufa solar tipo caja equipada con un concentrador parabólico compuesto como reflector externo. Los resultados obtenidos numéricamente predicen el comportamiento térmico del dispositivo, mostrando los alcances que tiene este tipo de estufas.

El-Sebaai y Aboul-Enein 1997, presentaron un modelo matemático transitorio para una estufa solar tipo caja con un reflector externo de un paso articulado en la parte superior de la estufa. Su modelo se basa en la solución analítica de ecuaciones de energía utilizando la regla de Cramer para diferentes elementos de la estufa. En su trabajo se considero la relevancia de la variación de los coeficientes de transferencia de calor con la temperatura. Grupp, et al. 1991, han investigado estufas solares tipo caja generando resultados muy útiles como referencia a otras investigaciones.

Entre estas, se mostró una simulación numérica para una estufa solar tipo caja. Sus resultados se aplicaron para determinar los efectos en el absorbente y el recipiente, así como el comportamiento térmico en la conductividad del absorbente. Mirdha y Dhariwal 2008, investigaron varios diseños de estufas solares para optimizar su funcionamiento. Considerando una estufa solar de tipo caja convencional, evaluaron varias configuraciones de arreglos con reflectores con espejo para lograr un diseño final, dirigido a obtener una estufa, la cual pueda ser orientada en países diferentes del hemisferio norte.

Esta estufa proporciona temperatura alta en un gran periodo del día. Se consideraron dos y tres cambios de posición para los reflectores. Su diseño se evaluó experimentalmente y se contrastó contra una estufa solar de tipo caja de su uso común.

Schwarzer y Vieira da Silva 2008, presentaron en su trabajo una generalidad de los tipos de estufas solares, sus características básicas y procedimientos experimentales para evaluar diferentes tipos de estufas. Las variables medidas en sus procedimientos son necesarias para calcular parámetros, las cuales son utilizadas para comparar el funcionamiento térmico en estufas solares. También muestran un modelo analítico simplificado para diseñar sistemas de cocción. Amer 2003, estableció un estudio orientado a describir la influencia de los componentes de una estufa solar en su operación térmica.

Sus resultados permiten describir a través de los valores logrados dónde y de qué manera son los valores de temperatura más importantes en el dispositivo. Sharma et al. 2005, realizaron investigaciones sobre la operación térmica de una estufa solar con un colector de tubos evacuados. Su diseño tiene la zona de captación de energía y la zona de calentamiento separadas, estas mismas se encuentran acopladas en una unidad de almacenamiento.

La energía solar es almacenada en la unidad durante las horas radiantes del día y es utilizada para el calentamiento en la tarde/noche. El material utilizado para almacenamiento térmico fue eritrol. Realizaron pruebas de calentamiento para la tarde y noche y observaron que el calentamiento por la tarde no afecta el calentamiento nocturno posibilitando un proceso de calentamiento más rápido. El funcionamiento de la estufa fue estudiado bajo las condiciones climáticas variadas.

Purohit 2010, propone que es necesaria la existencia de un control de calidad mediante procedimientos y metodologías para obtener parámetros característicos del rendimiento de las estufas solares, debido a que su desarrollo tiene un impacto potencial en países en desarrollo y que diversas estufas solares han sido comercializadas en diferentes partes del mundo.

En su estudio presenta los resultados obtenidos de manera experimental mediante el uso de diferentes procedimientos de prueba para caracterizar el comportamiento de la estufa solar según su geometría e instrumentación.

En Tanta, Egipto, Thulasi et al. 1994, obtuvieron un modelo matemático para una estufa solar de tipo caja, la cual muestra los problemas planteados por la gran cantidad de parámetros implicados en el funcionamiento de esta cocina. Sobresalen como resultados relevantes el estudio y análisis de los parámetros de diseño y construcción cuando son considerados en la evaluación de las estufas solares. Funk y Larson 1994, presentaron un modelo paramétrico que muestra la operación de una estufa solar. Su modelo permite predecir la potencia de cocción considerando parámetros controlados (conductividad térmica del absorbedor de la base en placa, coeficiente de pérdida de calor total y área de interceptación solar) y parámetros no controlados (distribución diferencia de temperatura e Insolación).

Zamani et al. 2017, realizaron un estudio para orientarlo a la optimización del rendimiento de una estufa solar de doble exposición basado en la eficiencia exergética. En su investigación se utilizaron dos estufas similares con configuración de espejo parabólico variable. Lograron un modelo matemático de eficiencia exergética a partir de las variables experimentales, las cuales podrían utilizarse para optimizar las posiciones de los espejos en cualquier momento.

Como resultado, se desarrolló un nuevo sistema con un espejo variable en una curva parabólica, que puede producir hasta un 30% de aumento de la eficiencia media de exergía. Chen et al. 2016, muestran que el “efecto estufa solar” puede causar una alta temperatura local de su subreflector y puede afectar directamente al rendimiento de trabajo de un radiotelescopio. Para estudiar el campo de temperatura diaria y el efecto de la estufa solar de un subreflector, realizaron estudios experimentales por primera vez con un radiotelescopio de 3 m de diámetro.

Se realizó también un estudio por simulación numérica para el campo de temperatura solar del subreflector mediante métodos de segmentación y seguimiento de haz de luz. Los estudios experimentales demuestran que el “efecto estufa solar” realmente existe y no debe pasarse por alto. Farooqui 2015, informa sobre un sistema de seguimiento solar para estufas solares de tipo caja, adecuadas para operar hasta seis horas de cocción.

Muestra cómo puede prescindirse de la altitud orientando un espejo de refuerzo relativamente más grande en un ángulo óptimo predeterminado para el día en una ubicación particular. Propone una solución para el seguimiento a lo largo del acimut utilizando la energía potencial gravitacional almacenada en un recipiente de agua conectado a un par de resortes. Sus resultados experimentales indican que el sistema sigue al sol hasta seis horas.

Terres et al. 2016, muestran un trabajo destinado a establecer una evaluación de distintos materiales utilizados como reflectores en una estufa solar tipo caja. Mediante la solución numérica en un modelo matemático elaborado para la estufa solar, se consideran eficiencias termodinámicas de primera y segunda ley como referentes para la actividad. En su trabajo, se consideraron que los reflectores estaban elaborados en diversos materiales para comparar los resultados. Los materiales fueron aluminio pulido, cobre pulido, pintura blanca acrílica, pintura de aluminio, acero inoxidable 301 pulido y cromo. Los resultados indican que los mejores resultados corresponden a los valores obtenidos cuando los reflectores están fabricados en aluminio pulido.

El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados generados tanto de la simulación numérica así como de las temperaturas que describen la evolución de la cocción de papa en el tiempo durante su proceso de cocción en una estufa solar tipo caja con reflectores internos.

Considerando como condiciones de frontera, los datos experimentales de temperatura medidos en distintas partes de la estufa se establecen simulaciones que resultan ser descriptivas del comportamiento térmico de la estufa solar.

Los resultados logrados y que son explicados por las distribuciones de temperatura y velocidad resultan útiles para analizar y evaluar futuros prototipos de estufas solares.

Experimentación y modelado de la estufa solar tipo caja con reflectores internos

La estufa solar considerada tiene en su tapa, dos vidrios para reducir las pérdidas de transferencia de calor por conducción y radiación hacia el exterior, además de generar un efecto invernadero en el interior de la estufa. En el interior se encuentran reflectores colocados en sus paredes de forma recta para incrementar la radiación solar incidente hacia el recipiente que contiene el fluido a calentar. En las figuras 1 y 2 se muestran detalles de la estufa solar.



Figura 1 Estufa solar tipo caja con reflectores internos.

Fuente: Elaboración propia



Figura 2 Estufa solar (corte)
Fuente: Elaboración propia

Un modelo matemático que permite obtener el comportamiento de las temperaturas de operación de la estufa lo forma un conjunto de 5 ecuaciones diferenciales no lineales. Este modelo considera las ganancias y pérdidas de calor que se generan de los procesos de transferencia de calor implicados para los vidrios de la tapa, la tapa del recipiente, el recipiente y el fluido a calentar.

$$m_{v_1} c_{v_1} \frac{dT_{v_1}}{dt} = A_{v_1} G \alpha_{v_1} + A_{v_1} \sigma \epsilon_{v_1} (T_{v_2}^4 - T_{v_1}^4) - A_{v_1} h_{v_1 \rightarrow int_1} (T_{v_2} - T_{v_1}) - A_{v_1} \sigma \epsilon_{v_1} (T_{v_1}^4 - (0.0552 T_{amb}^{1.5})^4) - A_{v_1} h_{v_1 \rightarrow amb} (T_{v_1} - T_{amb}) \quad (1)$$

$$m_{v_2} c_{v_2} \frac{dT_{v_2}}{dt} = \tau_{v_2} A_{v_2} G \alpha_{v_2} + A_{v_2} \sigma \epsilon_{v_2} (T_{v_2}^4 - T_{v_1}^4) - A_{v_2} h_{v_2 \rightarrow int_1} (T_{v_2} - T_{v_1}) + A_t \sigma \epsilon_t (T_t^4 - T_{v_2}^4) - A_{v_2} h_{v_2 \rightarrow int_2} \left(\frac{T_{v_2} + T_t + T_r}{3} - T_{v_2} \right) - A_r \sigma \epsilon_r (T_r^4 - T_{v_2}^4) \quad (2)$$

$$m_t c_t \frac{dT_t}{dt} = -A_t \sigma \epsilon_t (T_t^4 - T_{v_2}^4) + A_t h_{t \rightarrow int_2} (T_t - T_{int_2}) + A_t G \tau_{v_2}^2 \alpha_t - A_t h_{t \rightarrow int_3} (T_t - T_f) - A_t \sigma \epsilon_t (T_t^4 - T_f^4) \quad (3)$$

$$m_r c_r \frac{dT_r}{dt} = -A_r h_{r \rightarrow int_2} \left(\frac{T_{v_2} + T_t + T_r}{3} - T_r \right) + 4 \sum_{i=1}^n \rho A_{ref_n} G \tau_{v_2}^2 \cos(90 - \theta_{ref_n}) - A_r \sigma \epsilon_r (T_r^4 - T_{v_2}^4) - A_r \sigma \epsilon_r (T_r^4 - T_f^4) - A_m h_{r \rightarrow f} (T_r - T_f) \quad (4)$$

$$m_f c_f \frac{dT_f}{dt} = A_t h_{t \rightarrow int_3} (T_t - T_f) + A_t \sigma \epsilon_t (T_t^4 - T_f^4) + A_r \sigma \epsilon_r (T_r^4 - T_f^4) + A_m h_{r \rightarrow f} (T_r - T_f) \quad (5)$$

Donde,

m, masa, kg, *m*.

cp, calor específico a presión constante, kJ/kgK

cv, calor específico a volumen constante, kJ/kgK

t, tiempo, s

Δt , intervalo de tiempo, s

$\psi_{sistema}$, exergía del sistema, kJ

Q, cantidad de calor transferido, kJ

U, energía interna, kJ

U₀, energía interna en el punto muerto, kJ

u, energía interna específica, kJ/kg

V, volumen geométrico, m³

V₀, volumen geométrico en el punto muerto, m³

P, presión, Pa

P₀, presión en el punto muerto, Pa

T, temperatura, K

T₀, temperatura en el punto muerto, K,

S, entropía, kJ/K

S₀, entropía en el punto muerto, kJ/K,

G, radiación solar incidente, W/m²,

A_{vi}, área del vidrio, i, m²,

A_m, área mojada, m²,

A_{ref n}, área del reflector n, m²,

h_{v1-int1}, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura exterior del vidrio 1 y la temperatura interior del vidrio 2, W/m²K

H_{v1-amb}, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura exterior del vidrio 1 y la temperatura ambiente, W/m²K

h_{v2-int1}, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura interior del vidrio 2 y la temperatura interior del vidrio 1 W/m²K,

h_{v2-int2}, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura exterior del vidrio 2 y la temperatura del interior de la estufa, W/m²K

h_{t-int2}, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura de la tapa del recipiente y la temperatura del interior de la estufa, W/m²K,

h_{t-int3}, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura de la tapa del recipiente y la temperatura del medio definido por la interfaz de la superficie del fluido y la tapa del recipiente, W/m²K,

h_{r-int2} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura del recipiente y la temperatura del interior de la estufa, W/m^2K

h_{r-int3} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura del recipiente y la temperatura del medio definido por la interfaz de la superficie del fluido y la tapa del recipiente, W/m^2K

h_{r-f} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura del recipiente y la temperatura del fluido, W/m^2K

a , absorptividad

e , emisividad

r , reflectividad

t , transmisividad

h , eficiencia

s , Constante de Stefan-Boltzmann, $5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$

$\theta_{ref,n}$, Ángulo del reflector n .

Este modelo proporciona valores puntuales y que pueden ser limitados, de aquí que se considere la solución numérica por Elemento Finito, el cual permite establecer distribuciones de temperatura. Aquí se utiliza el software CFD de Autodesk para lograr este objetivo.

Para la simulación numérica se utilizaron valores de temperatura medidos en las paredes interiores de la estufa, en el recipiente y los vidrios de la cubierta, los cuales son considerados como las condiciones de frontera del sistema y que permiten obtener soluciones para el comportamiento de la estufa cuando se considera como un sistema a discretizar. Adicionalmente se midieron las temperatura del centro de la papa y el agua en el cual se encuentra inmersa la misma.

En este proceso de obtención de los datos, se utilizaron termopares tipo k, un sistema de adquisición de datos Compact Field Point y el software LabView. La prueba fue realizada en un intervalo comprendido de 11:00 a 15:00 del día promedio del mes de mayo.

En las figuras 3 y 4 se muestran la ubicación y nomenclatura de referencia de los termopares en la estufa solar y la papa. Los resultados recabados se muestran en los graficos 1 a 4.

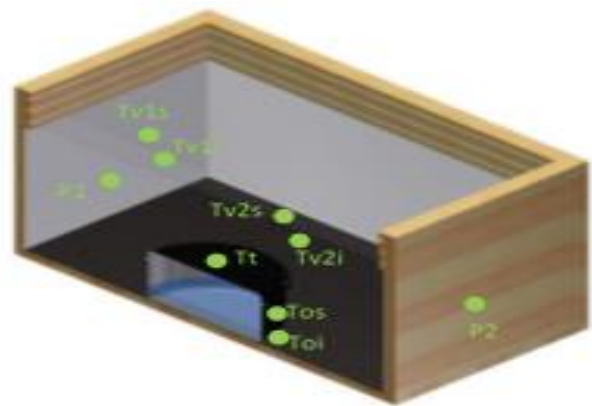


Figura 3 Ubicación de los termopares durante la prueba experimental

Fuente: Elaboración propia

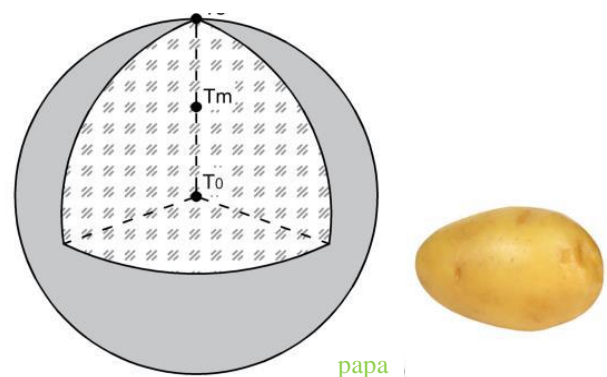


Figura 4 Ubicación de termopares en el centro de la papa.

Fuente: Elaboración propia

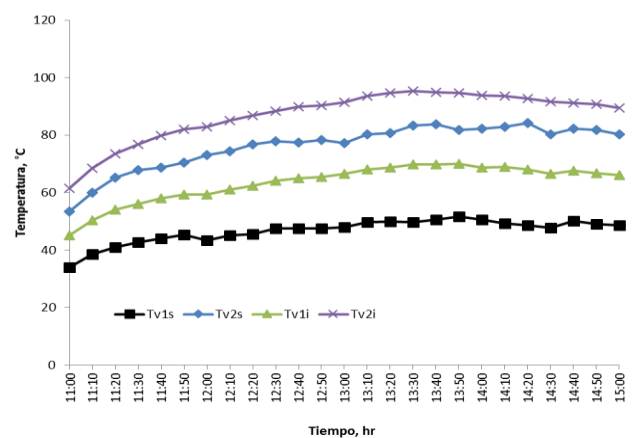


Gráfico 1 Distribución de temperaturas en los vidrios de la cubierta de la estufa solar

Fuente: Elaboración propia

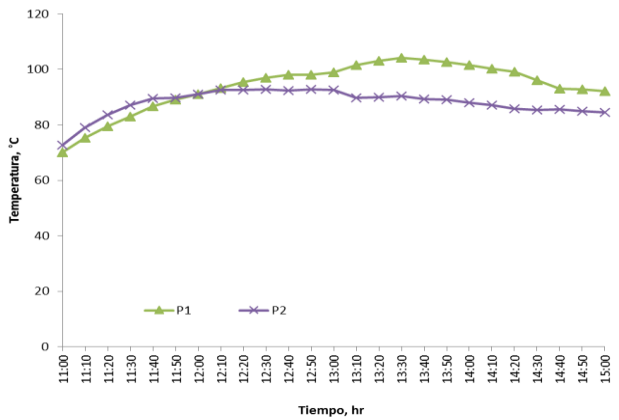


Gráfico 2 Distribución de temperaturas en las paredes (P1 y P2) de la estufa solar
Fuente: Elaboración propia

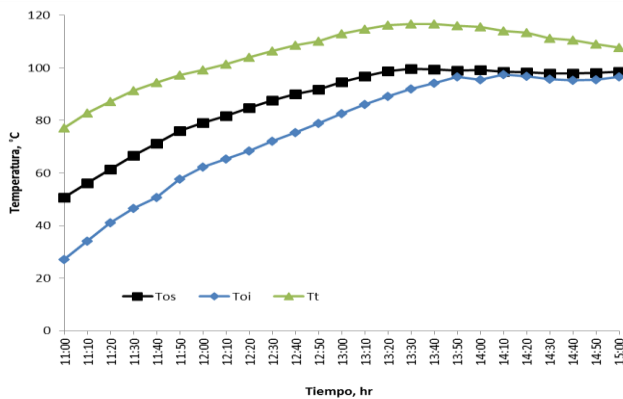


Gráfico 3 Distribución de temperaturas en el recipiente: Tos (superior), Toi (inferior), Tt (tapa)
Fuente: Elaboración propia

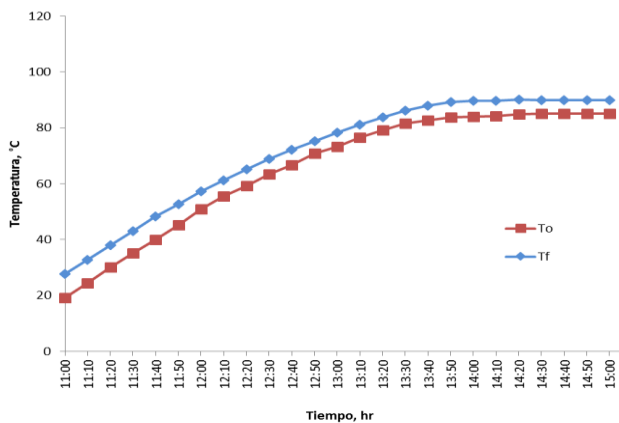


Gráfico 4 Distribución de temperaturas en la papa (centro) y agua (Tf)
Fuente: Elaboración propia

Solución numérica mediante CFD para la estufa solar

Considerando la configuración de la estufa solar y los elementos a evaluar, se procede a realizar la discretización de la misma como sistema y así se define la malla constituida por los elementos y nodos que se muestran en la figura 5.

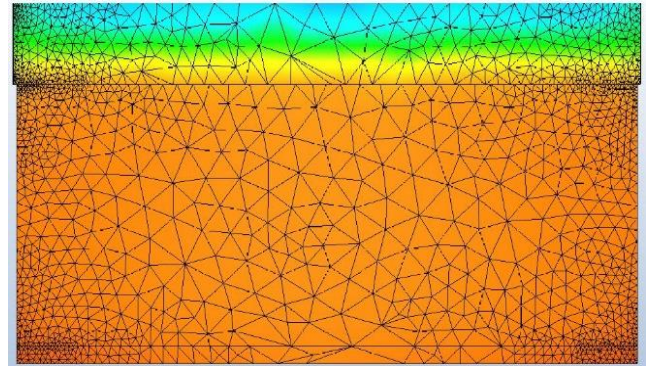


Figura 5 Discretización de la estufa solar para su solución numérica
Fuente: Elaboración propia

Para generar soluciones representativas del proceso de cocción de la papa se consideraron las temperaturas obtenidas para los tiempos inicial, intermedio y final de la prueba. Las soluciones generadas son para temperatura y velocidad del aire interior de la estufa. En las figuras 6 a 11 se presentan los resultados obtenidos.

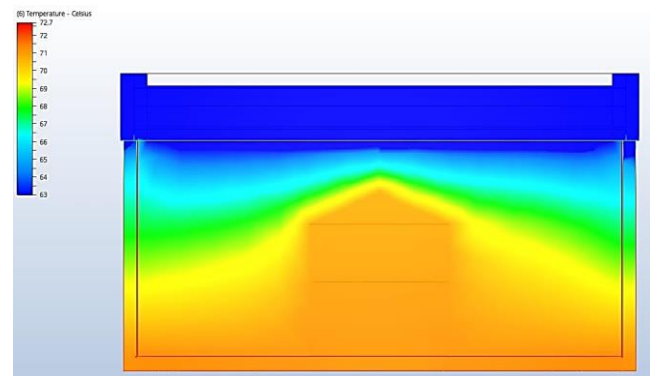


Figura 6 Distribución de temperatura en el interior de la estufa: 11:00 hrs
Fuente: Elaboración propia

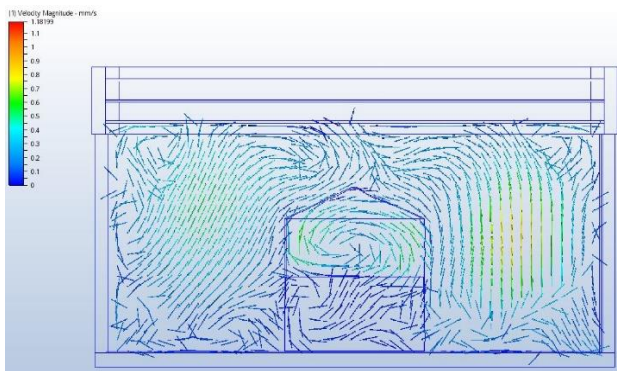


Figura 7 Distribución de velocidad en el interior de la estufa: 11:00 hrs. Elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

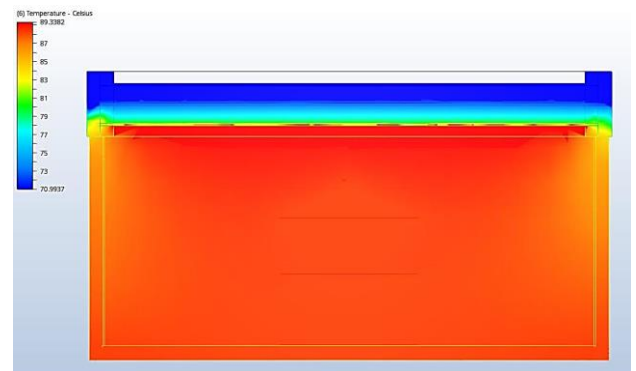


Figura 10 Distribución de temperatura en el interior de la estufa: 15:00 hrs
Fuente: Elaboración propia

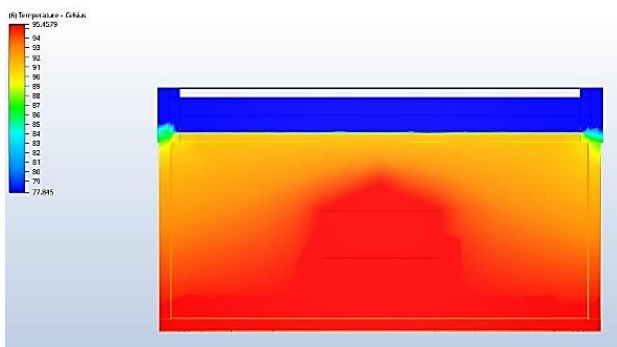


Figura 8 Distribución de temperatura en el interior de la estufa: 13:00 hrs
Fuente: Elaboración propia

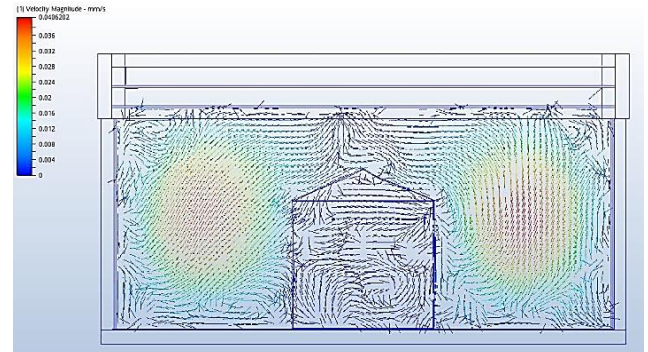


Figura 11 Distribución de velocidad en el interior de la estufa: 15:00 hrs
Fuente: Elaboración propia

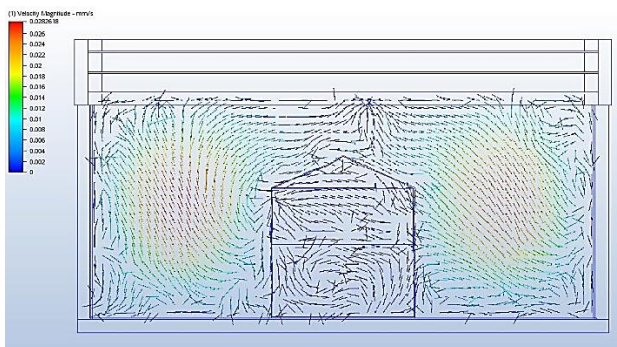


Figura 9 Distribución de velocidad en el interior de la estufa: 13:00 hrs
Fuente: Elaboración propia

Discusión

Como puede verse en el gráfico 4, las temperaturas del centro de la papa y el agua tienden a mantener un valor constante a partir de las 14:00 horas, esto es, después de 3 horas de iniciada la prueba. Los valores alcanzados fueron de 85 °C y 90 °C que corresponden a la papa y al agua respectivamente. El valor logrado para el centro de la papa corresponde adecuadamente a la temperatura de cocción del producto, lo que garantiza la cocción completa.

De acuerdo con los gráficos de temperatura 6, 8 y 10, la temperatura en el interior de la estufa presenta un incremento para las 13:00 horas (y un descenso a las 15:00 horas. Para este último tiempo la temperatura del aire en el interior es casi uniforme de 90 °C aproximadamente.

En las paredes la temperatura presenta disminuciones asociadas a las pérdidas de calor por conducción que de manera inevitable ocurren durante el proceso de calentamiento. Los valores de las temperaturas en los vidrios son considerables y muestran que mucha de la energía que incide sobre el dispositivo se ve afectado por la propiedad absorbancia del vidrio.

Dadas las características del recipiente el cual tiene un espesor muy delgado, la temperatura de la pared de éste es similar al del agua que contiene. Dado que el proceso de calentamiento es muy lento, la distribución de temperatura ocurre también lentamente y de forma casi uniforme tal y como lo indican los gráficos ya mencionados.

Las figuras 7, 9 y 11, muestran el comportamiento de la velocidad del aire en el interior para los tiempos 11:00, 13:00 y 15:00 horas. De los resultados de la simulación se desprende que la velocidad del aire tiende disminuir en comparación con el inicio de la prueba. La interpretación gráfica de los resultados mostrados indica que en el centro de la estufa, justo a los lados del recipiente se tienen las distribuciones de velocidad mayores. El orden de magnitud de las velocidades al finalizar la prueba es de 0.04 mm/s.

Conclusiones

Los resultados mostrados indican como ocurren las distribución de temperatura y su asociación con la velocidad del aire que se encuentra dentro de la estufa solar.

Los órdenes de magnitud en unión con las interpretaciones gráficas logradas permiten identificar de manera específica como los efectos de la conductividad propia de los materiales se explican en términos de su difusión de energía plasmada por las temperaturas. Se contempla para futuros trabajos el considerar el efecto de los materiales en la construcción de estufas así como en variaciones para las cubiertas de la estufa, sustituyendo el vidrio con espesores variados y utilizando acrílicos con tramientos especiales.

La aportación fundamental es que se han presentado resultados útiles para el diseño y no existentes en la literatura especializada para el estudio de estufas solares mediante simulación.

Referencias

- Amer, Emad H., 2003. Theoretical and experimental assessment of a double exposure solar cooker, *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, 2651–2663.
- Chen, D., Wang, H., Qian, H., Zhang, G., Shen, S., 2016. Solar cooker effect test and temperature field simulation of radio telescope subreflector, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 109, 147-154.
- El-Sebaili, Aboul-Enein, 1997. A box-type solar cooker with one-step outer reflector, *Energy*, Volume 22, Issue 5, May. 515-524.
- Farooqui, S., 2015. An improved power free tracking system for box type solar cookers, *Solar Energy*, Vol. 120, 100-103.
- Funk, P. A., Larson, D. L., 1994. Parametric model of solar cooker performance, *Solar Energy*, Vol. 62, No. 1, 63-68.
- Grupp, M., Montagne, P., Wackernagel, M., 1991. A novel advanced box-type solar cooker, *Solar Energy*, Volume 47, Issue 2, 107-113.
- Harmim, A., Merzoukb, M., Boukara, M., Amara, M., 2012. Mathematical modeling of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator, *Solar Energy* 86 (4) 1673-1682.
- Mirdha, U., Dhariwal, S., 2008. Design optimization of solar cooker, *Renewable Energy*, Vol 33, 530-544.
- Pejack, 1991. Mathematical Model of the Thermal, Performance of Box-type Solar Cookers, *Renewable Energy* Volume 1, No. 5/6, 609-615.

Purohit, Ishan, 2010. Testing of solar cookers and evaluation of instrumentation error, *Renewable Energy*, 35, 2053-2064.

Sharma, S., Iwata b, T., Kitano, H., Sagara, K., 2005. Thermal performance of a solar cooker based on evacuated tube solar collector with a PCM storage unit, *Solar Energy*, 78, 416-426.

Schwarzer, K., Vieira da Silva, M., 2008. Characterisation and design methods of solar cooker, *Solar Energy*, Vol 82, 157-163.

Suharta, H., Sayighb, A. M., Abdullahc, K., Mathewd, K., 2001. The comparison of three types of Indonesian solar box cookers, *Renewable Energy*, Volume 22, Issues 1-3, January-March, 379-387.

T.C. Thulasi Das, S. Karmakar, D.P. Rao, 1994. Solar Box Cooker: part I-modeling and part II-analysis and simulation, *Solar Energy*, Vol 52 (3), 274-295.

Zamani, H., Mahian, O., Rashidi, I., Lorenzini, G., Wongwises, S., 2017. Exergy Optimization of a Double-Exposure Solar Cooker by Response Surface Method, *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, Vol 9, (1), 1-9.

Evaluación de un secador solar durante el proceso del secado de limón por simulación numérica y sus curvas de secado

TERRES-PEÑA, Hilario *†, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180. Col. Reynosa Tamaulipas C.P. 02200. Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México, México

Recibido Julio 18, 2017; Aceptado Agosto 1, 2017

Resumen

Se se muestran los resultados de la evaluación del proceso de secado de limón mediante el uso de la simulación numérica en Autodesk CDF y los datos de las curvas de secado generadas en un secador solar. El secador tiene cinco charolas para depositar el limón. Estas se enumeran de 1 a 5, donde la charola 1 se encuentra a la entrada y la 5 la salida del secador. La simulación numérica considera datos de temperatura medidos dentro del secador como condiciones de frontera. Se usaron termopares tipo k, un dispositivo Compac Field Point y el software Labview. Los resultados establecen distribuciones de temperatura y velocidad del aire en el interior del secador, que describen su comportamiento térmico e identifican las zonas de calor y los puntos de velocidad del aire más importante durante el proceso de secado, ubicadas en la zona media del dispositivo. Las disminuciones de masa en el limón fue de 47.2, 43.7, 49.6, 44.3 y 48.1 % que corresponden a las charolas 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Los resultados logrados son importantes para definir parámetros de diseño en secadores solares, por que permiten evaluar el comportamiento de flujo y distribución de temperatura del aire en estos.

Secador Solar, Temperatura, Velocidad

Abstract

Results of the lemon drying process evaluation by numerical simulation in Autodesk CDF and their drying curves in a solar dryer are shown. The dryer has five trays to deposit the lemon. These are listed from 1 to 5, where tray 1 is at the entrance and 5 is the outlet of the dryer. The numerical simulation considers temperature data measured inside the dryer as border conditions. Type k thermocouples, a Compac Field Point device, and Labview software were used. The results establish temperature and air velocity distributions inside the dryer, which describe their thermal behavior and identify the heat zones and air velocity points that are most important during the drying process, located in the middle zone of the device. The mass decreases in the lemon were 43.7, 49.6, 44.3 and 48.1% corresponding to the trays 1, 2, 3, 4 and 5 respectively. The obtained results are important to define design parameters in solar dryers, because they allow to evaluate the flow behavior and distribution of air temperature in these.

Solar dryer, Temperature, Velocity

Citación: TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel. Evaluación de un secador solar durante el proceso del secado de limón por simulación numérica y sus curvas de secado. Revista de Prototipos Tecnológicos 2017, 3-9: 34-41.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: tph@correo.azc.uam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

A través del tiempo durante el estudio del proceso de secado solar, se han realizado contribuciones importantes en la materia, situación que muestra las bondades de considerar este proceso para el aprovechamiento de alimentos que son susceptibles de ser desechados.

Saleh y Badra 2009, diseñaron un secador solar doméstico con superficies externas transparentes, el cual fue evaluado. Realizaron estimaciones para ponderar el periodo de secado en varios productos y establecieron que la temperatura del medio de secado es uno de los factores que afecta la relación de secado en la exponencial de los modelos afines. Este hecho crea un problema cuando se busca predecir la relación de secado bajo condiciones donde la temperatura del medio no es constante.

Su artículo apunta a un propuesta del desarrollo de un secador solar con un perfil de temperatura uniforme lo que genera variaciones en la exponencial de los modelos, así, dieron a conocer una simple y precisa herramienta de diseño. Su secador está caracterizado para recolectar la máxima energía solar posible para un periodo grande de secado lo que genera ventajas técnicas y económicas en el sistema. El funcionamiento del secador fue evaluado bajo condiciones diferentes de operación y fueron consideradas las características experimentales del secado para establecer variantes en la conducción de experimentos.

El secador desarrollado es capaz de reducir la humedad en los productos probados en periodos considerados de 12 horas. Sus resultados logrados plasmados en un modelo exponencial fueron evaluados comparándolos con las curvas experimentales obtenidas, para establecer así una adecuada congruencia entre los resultados para el periodo de secado completo. Gbaha et al. 2007, diseñaron y construyeron un secador solar por convección natural. Evaluaron en él bananas y mango. Su actividad fue realizada para establecer el comportamiento del secador. Su estudio relaciona principalmente la cinética y los balances de calor del secado.

Se estableció la influencia de los parámetros que gobiernan la transferencia de calor y masa, así como también la radiación solar incidente, la masa de flujo de aire de secado y la efectividad en el funcionamiento térmico. Sus resultados se reflejan en datos experimentales que permiten establecer ecuaciones de secado para predecir el tiempo total de secado de cada producto. Sarsavadia 2007, desarrolló un secador auxiliado por convección forzada para estudiar el efecto de la relación de flujo de aire, temperatura del aire y fracción de aire reciclada necesaria en el secado de rebanadas de cebolla.

El secador está compuesto por un calentador solar de aire de placa plana que cuenta con aletas triangulares y corrugadas en la placa absorbadora. En el secado de las rebanadas de cebolla el contenido de humedad era de 86% para finalizar cercanamente a 7%. La contribución del porcentaje de energía por el calentador de aire, calentador eléctrico y soplador se encontró entre 24.5% y 44.5%, 40.2% y 66.9%, y 8.6% y 16.3%. Las ganancias en la energía debidas a la fracción del aire reciclado fueron determinadas en 65 y 75°C para la temperatura del aire en las tres relaciones de flujo. Bentayeb et al. 2008, presentaron la simulación numérica del funcionamiento de un secador solar de madera para las condiciones atmosféricas de Marruecos. Realizaron una comparación de resultados numéricos respecto de los experimentales mostrando una buena concordancia.

Los resultados muestran que el periodo de secado está ligado a las partes del vidrio y características del espesor en la cámara. Mostraron que el tipo de ventilación no tiene efecto en el periodo de secado. Shanmugam y Natarajan 2006, realizaron investigaciones en un secador solar que considera convección forzada indirecta y un desecante como elementos constitutivos del dispositivo. Sus pruebas fueron para las condiciones de calor y humedad en Chennai India. El sistema consiste de un colector solar de aire de placa plana, cámara de secado y una unidad desecante.

Los experimentos de secado se realizaron para chícharos verdes en diferentes relaciones de flujo de aire. Establecieron que el equilibrio de humedad contenido se alcanza en 14 horas. Establecieron una discusión sobre la razón de humedad específica extraída, la pérdida de masa adimensional y la relación de secado. Afriyie et al. 2011, determinaron un modelo matemático para simular la ventilación de un secador solar de cultivos. El análisis se realizó bajo condiciones sin carga. La velocidad del aire en el exterior del secador fue utilizado como indicador para definir el rendimiento de la ventilación.

Como condiciones de frontera se establecieron la temperatura de la cubierta de la chimenea, el aire de la chimenea, la placa de absorción de la chimenea, la base de la cámara de secado, y la base de la cámara de secado. Los coeficientes de convección se calcularon empíricamente. Los parámetros variados fueron ángulo de techo (de 40° a 85°), área de entrada-salida (de 1.1 : 1 hasta 7.8 : 1), chimenea / cámara de secado, la relación de altura y cámara de secado-piso. Encontraron que su modelo predice las temperaturas dentro de 1.5% de diferencia con respecto a los datos experimentales.

Por lo tanto se confirmó la validez del código como una herramienta de diseño eficaz. Maiti et al. 2011, presentaron el diseño y desarrollo de un secador solar de convección natural indirecto (por lotes) equipado con un reflector norte-sur. El área del colector fue diseñado en función del área requerida para carga de 5 kg. Los reflectores ayudaron a mejorar el secador, dado que aumentaron la eficiencia del 40% al 58% en condiciones altas de irradiación solar durante un día típico de enero.

En Bhavnagar. Este secador puede alcanzar una temperatura del aire de salida del colector de 73-76 ° C. En carga máxima la eficiencia fue de 13%. Romero et al. 2014, realizaron una obra en beneficio de los habitantes de Quintana Roo atendiendo su producción del secado de vainilla.

En su trabajo el propósito fue disponer de un secador solar capaz de conservar las propiedades de la vainilla con el método de secado tradicional. El secador fue diseñado y construido en la Universidad de Caribe en Cancún. Se realizó simulación con ANSYS FLUENT considerando la geometría y las propiedades de los materiales. Los resultados mostraron que las temperaturas son similares a los resultados experimentales. Las variaciones ocurren sólo dentro del gabinete.

La reducción en el peso fue del 62% en un mes, este resultado es muy bueno con respecto al tiempo empleado en el método tradicional. Ibarra et al. 2016, proponen un sistema de adquisición de datos implementado en un deshidratador de alimentos solar que se ubica en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez. Su logro fundamental fue el diseño del sistema para la adquisición de datos en un dispositivo al cual conectan sensores, y que se comunica a una computadora. Lograron obtener datos de los factores principales que influyen en el funcionamiento del deshidratador solar.

Rodríguez et al. 2016, muestran el desarrollo de un prototipo de deshidratador solar, este dispositivo aprovecha la energía solar fototérmica para el proceso de deshidratado en alimentos y además utiliza energía fotovoltaica para actuadores e instrumentación que se ocupa y que le permiten hacer más eficiente el proceso de secado. Su orientación esta fijado tanto en la determinación de tiempos de deshidratado de diferentes alimentos, así como el estudio de propiedades organolépticas de los alimentos al finalizar el proceso de deshidratación.

Rabha y Muthukumar 2017, presentan los estudios del desempeño de un secador solar de convección. Su secador esta compuesto de dos calentadores solares de aire de doble paso, una cáscara con base de cera de parafina, un módulo de almacenamiento de calor latente en forma de tubo, un soplador y una cámara de secado. El secador se probó secando 20 kg de chile rojo en el intervalo de temperatura del aire de secado de 36-60 ° C.

El contenido de humedad promedio inicial del chile fue 73.5% (pb) y se redujo al contenido final de humedad del 9.7% (pb) en 4 días consecutivos. Realizaron una evaluación del rendimiento de cada componente del sistema de secado mediante análisis de energía y exergía. El consumo de energía eléctrica del secador fue de 0.7 kWh por kg de humedad, que representa el 10.3% del consumo energético específico del chile. Defraeye y Radu 2017, realizaron un estudio considerando un modelado conjugado el cual fue validado y que permite lograr una visión de cómo la cinética de secado se relaciona con el calor convectivo y el intercambio de masa respecto del flujo turbulento del aire circundante aire en fruta.

El modelado conjugado se asocia con el calor y el transporte de masa en el aire y los límites de la fruta establecidos como dominios. Como resultado de su trabajo se indican la relevancia del impacto de considerar la uniformidad en el flujo del aire, lo cual concluye que no debería utilizarse el modelado isotérmico, ni siquiera para condiciones tales como el secado a baja temperatura. Su aportación fundamental está en proporcionar elementos al modelado en el proceso de secado.

Wang et al. 2017, trabajaron en un modelo numérico tridimensional para estudiar el efecto de la radiación solar en el colector solar de un secador solar cuando influye la presión ambiente en el proceso de secado. Sus resultados muestran que las simulaciones sobre estiman la energía solar obtenida por el colector solar y subestiman la pérdida de calor. El rendimiento de enfriamiento mejora cuando la intensidad de la radiación solar o la presión ambiente es alta.

La temperatura y la velocidad del aire aumentan con el aumento de la intensidad de la radiación solar. Sin embargo, la presión ambiente tiene efectos inversos sobre los cambios de temperatura del aire y velocidad.

Alkhedhair et al. 2013, presentan una investigación numérica del pre-enfriamiento de aire de entrada con pulverizadores de agua en torres de enfriamiento. Para este trabajo se utilizó un modelo numérico 3-D de un canal de prueba considerando la evaporación en una sola boquilla de pulverización. De acuerdo a sus resultados, la evaporación de gotas y permitió predecir el enfriamiento resultante del aire para variaciones de condiciones en el aire de admisión y las características de pulverización.

Según sus resultados es posible lograr hasta un 81% de evaporación de gotitas de agua de 20 mm a una velocidad de 1 m/s. Anum et al. 2017, estudian un secador solar híbrido para establecer el rendimiento del secado de cebolla, jengibre y repollo bajo condiciones climáticas locales. De acuerdo a su resultado, se muestra que en las primeras horas de sol se eliminó el alto contenido inicial de humedad de los productos sin ningún costo de energía primaria. El contenido de humedad final se alcanzó entre 10 y 16 h para todos los lotes de cebolla, jengibre y col. Se eliminó en promedio, más del 70% de humedad de los productos. Finalmente, se determinó que la eficiencia media global del secador es del 42.79%.

El trabajo que se presenta en este artículo, está dirigido a evaluar el proceso de secado de limón considerando las curvas de secado y su comportamiento térmico obtenido mediante simulación numérica en CFD.

Los resultados logrados expresados por el comportamiento de flujo y distribución de temperatura del aire en estos son importantes para definir parámetros de diseño en secadores solares.

Proceso experimental en el secador solar

El secador utilizado está fabricado en acero galvanizado y tiene en su parte superior un arreglo de dos vidrios separados entre sí a través de los cuales pasa la radiación solar radiación hacia el interior del secador.

En su interior se encuentra ubicado la zona de secado donde se ubican cinco charolas que contienen el limón. El secador solar se muestra en la figura 1



Figura 1 Secador solar con 5 charolas

Fuente: Elaboración propia

Para la experimentación se consideraron la colocación de 250 grs de limón en rodajas en cada charola. Las dimensiones aproximadas del limón fueron de 3 cm de diámetro y de 5mm de espesor aproximadamente. El peso del producto fue medido en intervalos de 10 minutos. En la figura 2 se muestra la distribución del limón en las bandejas.



Figura 2 Distribución del limón en las charolas del secador solar

Fuente: Elaboración propia

Se midieron mediante las temperaturas en el vidrio (T_{g1} , T_{g2}) y en el interior del secador (T_{T1-k} , T_{T2-k} , T_{T3-k}).

Para esto se realizó instrumentación y la adquisición de datos utilizando un Compac FieldPoint y el software LabView. Para la medición de las masas del limón se utilizó una balanza digital con una resolución de 0.1 gr. La radiación solar se realizó utilizando un pirómetro Eppley modelo 8-48. En la figura 3 se indican la ubicación de los termopares y charolas en el secador.

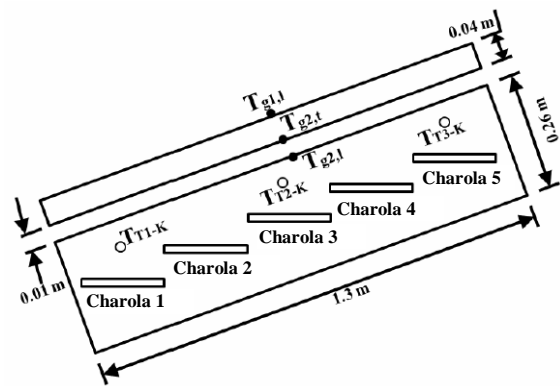


Figura 3 Distribución de termopares y charolas en el interior del secador solar

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron varias pruebas experimentales y se selecciono la mejor de estas. Estas pruebas se realizaron en la Ciudad de México entre los meses de febrero y marzo.

Resultados experimentales y numéricos

En la tabla 1 se muestran las temperaturas para el tiempo inicial, medio y final de la prueba considerada.

Hora	Termopares					
	$T_{g1,t}$	$T_{g2,t}$	$T_{g2,l}$	T_{T1-k}	T_{T2-k}	T_{T3-k}
10:00	21.1	21.2	22.4	21.2	25	24.1
12:00	37.0	39.2	44.8	37.8	47.2	46.2
14:00	38.3	40.1	48.5	38.2	39.0	43.7

Tabla 1 Temperaturas medidas en el secador solar

Fuente: Elaboración propia

La masa perdida en el tiempo y la reducción del porcentaje de masa se muestran en los gráficos 1 y 2 respectivamente.

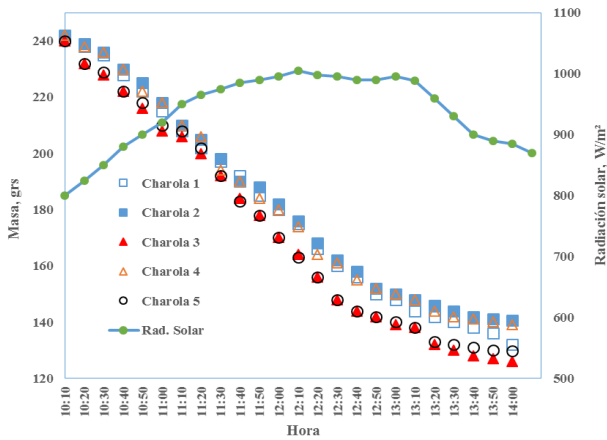


Gráfico 1 Reducción de masa del limón en las charolas del secador solar

Fuente: Elaboración propia

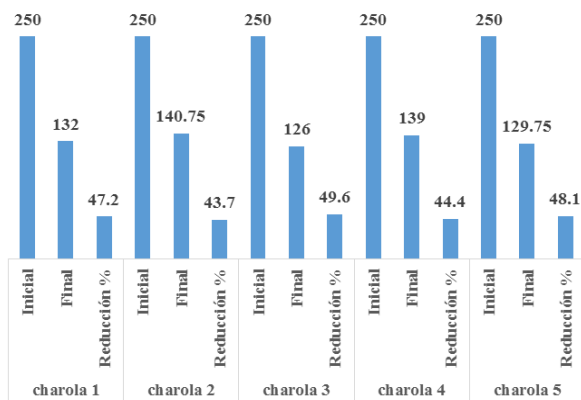


Gráfico 2 Comparativa de la reducción de la masa de limón en las charolas del secador solar

Fuente: Elaboración propia

En la simulación, se consideraron tres instantes, al inicio (10:00), tiempo intermedio (12:00) final de la prueba (14:00). Utilizando las temperaturas de la tabla 1, es posible obtener las distribuciones de temperatura y velocidad del aire en el interior del secador. Considerando las temperaturas como condiciones de frontera es posible resolver el modelado discretizado del secador utilizando para esto el CFD de Autodesk. En las figuras 4, 5 y 6 se muestran los resultados para la distribución de la temperatura. Las figuras 7, 8 y 9 muestran los resultados para la velocidad representadas mediante sus líneas de corriente.

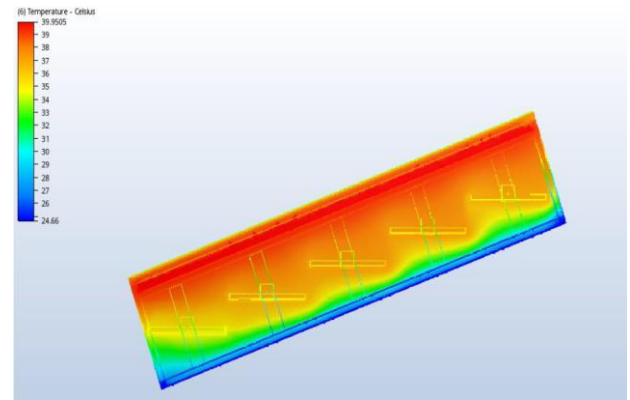


Figura 4 Distribución de temperatura: 10:00

Fuente: Elaboración propia

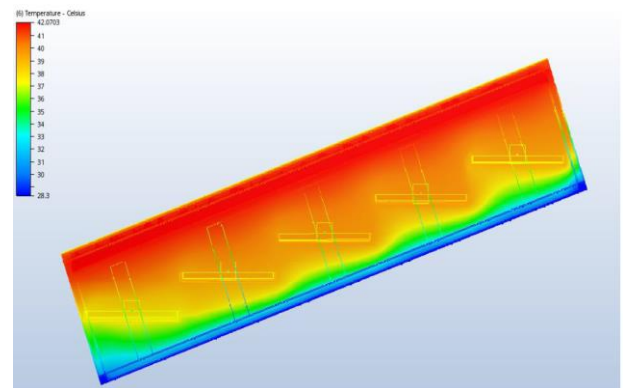


Figura 5 Distribución de temperatura: 12:00

Fuente: Elaboración propia

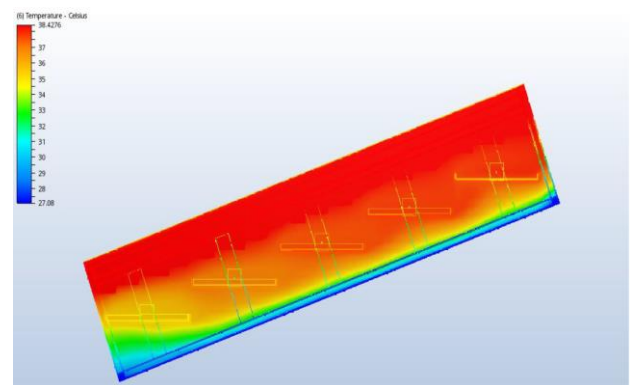


Figura 6 Distribución de temperatura: 14:00

Fuente: Elaboración propia

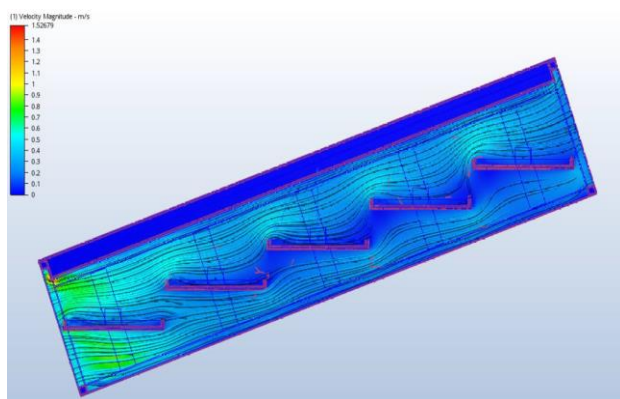


Figura 7 Distribución de velocidad: 10:00

Fuente: Elaboración propia

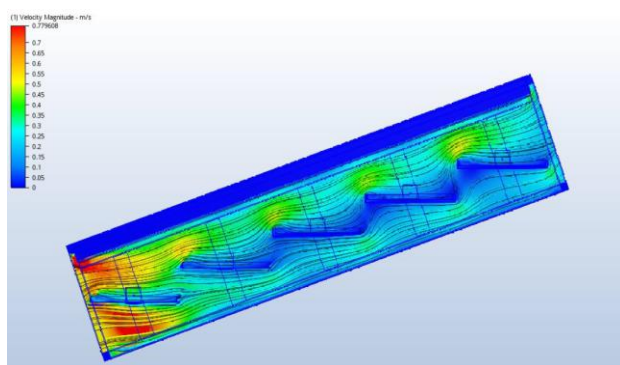


Figura 8 Distribución de velocidad: 12:00

Fuente: Elaboración propia

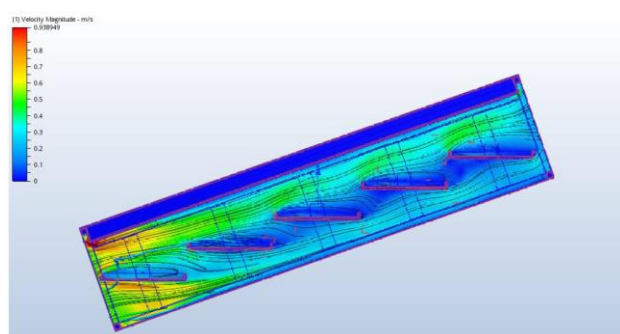


Figura 9 Distribución de velocidad: 14:00

Fuente: Elaboración propia

Discusión

De acuerdo con el gráfico 2, la reducción de masa del limón es 47.2, 43.7, 49.6, 44.4 y 48.1 % que corresponden a la reducción de la masa de limón en la charolas 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

Considerando las figuras 4, 5 y 6 la distribución de la temperatura aumenta en el interior de la cámara al paso del tiempo, esto es, aunque el valor de las temperaturas distribuidas es prácticamente constante, la manera en que ocurre la distribución en el área interior aumenta.

Las figuras 7, 8 y 9 muestran la distribución de las líneas de corriente de la velocidad en el interior de la cámara de secado.

Como puede apreciarse, las velocidades son mayores en la entrada de la cámara y tienden a disminuir a lo largo de la misma. En donde se encuentran las charolas con el producto, los valores de velocidad son lo menores siempre durante todo el proceso de secado.

La identificación de como ocurre la distribución de temperatura puede ser particularmente útil para establecer adecuadamente el lugar donde se pueden colocar las charolas para lograr mejorar y aumentar la reducción del secado, lo cual transformado en tiempos, puede resultar en información muy importante a la teoría del secado por el mecanismo presentado en este trabajo.

Conclusiones

En este trabajo se presento una evaluación del proceso de secado de limón considerando su reducción de masa y el comportamiento de la distribución de temperatura en el interior de la cámara de secado.

Los resultados permiten establecer la forma en que ocurre el proceso de secado en asociación directa de la temperatura y velocidad del aire en el interior del secador.

Los datos logrados permiten ser utilizados para establecer las variantes que se contemplaran para futuros trabajos donde se considera la variación del ángulo de inclinación del secador y la ubicación de las charolas respecto de la cercanía con los vidrios de su cubierta.

Referencias

- Alkhedhair, A., Gurgenci, H., Jahn, I., Guan, Z., He, S., 2013. Numerical simulation of water spray for pre-cooling of inlet air in natural draft dry cooling towers, *Thermal Engineering*, Vol. 61, 416–424.
- Afriyie J.K., Rajakaruna H., Nazha M.A.A., Forson F.K., 2011. Simulation and optimization of the ventilation in a chimneydependent solar crop dryer, *Solar Energy* Vol. 85, No. 7, 1560-1573.
- Anum, R., Ghafoor, A., Munir, A., Study of the Drying Behavior and Performance Evaluation of Gas Fired Hybrid Solar Dryer, *Journal of Food Process Engineering*, Vol. 40, No. 2, 50-62.
- Bentayeb, F., Bekkioui, N., Zeghmami, B., 2008. Modelling and simulation of a wood solar dryer in a Moroccan climate, *Renewable Energy*, Vol. 33, No. 3, 501-506.
- Defraeye, T., Radu, A., 2017, Convective drying of fruit: A deeper look at the air-material interface by conjugate modeling, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 108, 1610-122.
- Gbaha, P., Andoh, H., Saraka, K., Koua, K., Toure, S., 2007. Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow, *Renewable Energy*, Vol. 32, No. 11, 1817-1829.
- Ibarra, E., Castañeda, P., Alvarado, 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*, Vol. 3 No. 6, 41-50.
- Maiti S., Patel P., Vyas K., Eswaran K., Ghosh P., 2011. Performance evaluation of a small scale indirect solar dryer with static reflectors during non-summer months in the Saurashtra region of western India, *Solar Energy* 85, No. 11, 2686-2696.
- Rabha, D., K., Muthukumar, P., 2017. Performance studies on a forced convection solar dryer integrated with a paraffin wax-based latent heat storage system, *Solar Energy*, Vol. 149, 214–226.
- Rodríguez, M., López, M., Cano, J., Ambriz, F., 2016. Desarrollo de un prototipo de deshidratador solar instrumentado sustentable, *Revista de Prototipos Tecnológicos*, Vol. 2, No.4 22-29.
- Romero V., Cerezo E., Garcia M.I., Sanchez M., 2014. Simulation and validation of vanilla drying process in an indirect solar dryer prototype using CFD Fluent program, *Energy Procedia* Vol. 57, 1651-1658.
- Saleh, A., Badran, I., 2009. Modeling and experimental studies on a domestic solar dryer, *Renewable Energy*, Vol. 34, 2239-2245.
- Shanmugam, V., E. Natarajan, E., 2006. Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer, *Renewable Energy*, Vol. 31, No. 8, 1239-1251.
- Sarsavadia, P., 2007. Development of a solar-assisted dryer and evaluation of energy requirement for the drying of onion, *Renewable Energy*, Vol. 32, No. 15, 2529-2547.
- Wang, Q., Zhu, J., Lu, X., 2017. Numerical simulation of heat transfer process in solar enhanced natural draft dry cooling tower with radiation model, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 114, 977–983.

Prototipo mecatrónico de Visión para la detección de defectos en cremalleras de poliéster

MOLINA-CESPEDES, Julio Cesar *†, LUJAN-RAMIREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GIO, Jesus, y SANDOVAL-CURMINA, Victor

Recibido Juno 18, 2017; Aceptado Agosto 3, 2017

Resumen

El prototipo mecatrónico de visión para la detección de defectos en cremalleras de poliéster consiste en un sistema de procesamiento de imágenes que detecta la presencia de defectos en cremalleras para automatizar el proceso de selección del material. Este prototipo se construye con materiales de bajo costo, utilizando un motor a pasos, una cámara industrial con interfaz USB3, un microcontrolador y una computadora. Primero se determina la resolución espacial de la cámara, relacionando el número de pasos del motor y el tamaño de la imagen para establecer la tasa de velocidad de adquisición de muestras. Se evalúan tres algoritmos diseñados con MATLAB para la detección de defectos y con base en el desempeño se elige el algoritmo con mejor resultados, sometiendo a este último a pruebas adicionales con diferentes defectos para verificar su validez mediante un estudio del tamaño del defecto mínimo permisible para determinar las muestras válidas. El algoritmo desarrollado genera una semilla y a partir de esta una segmentación para contabilizar los píxeles y determinar si la muestra contiene defectos, lográndose una eficiencia del 98.7% en la detección de defectos con mayor frecuencia en las muestras. Este prototipo será fundamental en el desarrollo de maquinaria especializada de inspección.

Visión, procesamiento de imágenes, mecatrónica, algoritmo de segmentación y control de calidad

Abstract

The mechatronic vision prototype for the detection of defects in polyester zippers consists of an images processing system to detect the presence of defects in polyester zippers to automate the material selection process. This prototype is built with low-cost materials, using a stepper motor, an industrial camera with the USB3 interface, a microcontroller and a computer. Through the digital image processing is calculated the spatial camera resolution, relating the number of steps of the motor and the size of the image to establish the sample acquisition rate. Three algorithms are tested to detect defects with MATLAB scientific software and the algorithm with the best performance is chosen, subjecting the latter to other tests with different defects to verify their functionality by a study of the minimum allowable defect size to determine valid samples. The developed algorithm generates a seed and from it a segmentation to count the pixels and then to determine if the sample contains defects, achieving an efficiency of 98.7% in the detection of the most frequency defects in the samples. This prototype will be a fundamental part in the development of specialized inspection machinery.

Vision, images processing, mechatronics, segmentation algorithm and quality control

Citación: MOLINA-CESPEDES, Julio Cesar, LUJAN-RAMIREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GIO, Jesus, y SANDOVAL-CURMINA, Victor. Prototipo mecatrónico de Visión para la detección de defectos en cremalleras de poliéster. Revista de Prototipos Tecnológicos 2017, 3-9:42-55.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: julio.molina@upy.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En el ámbito industrial de hoy, las empresas deben invertir en tecnología para mejorar sus procesos y así puedan ofrecer a sus clientes soluciones de alta calidad en el menor tiempo posible a costos de operación rentables y con el menor impacto al medio ambiente (Lárraga, 2016). Estas buscan la eficiencia y mejora continua en el aprovechamiento de las materias primas, manejo de los materiales, inspección de calidad del producto y embalaje. La inspección de materiales de proveedores y productos terminados consume tiempo y recurso humano durante el análisis de los defectos.

En el caso de las cremalleras de poliéster se presentan las siguientes problemáticas con un inspector humano: el ojo presenta cambios de percepción debido a las variaciones de iluminación, el operador se distrae y se fatiga al estar realizando una operación repetitiva, o cuando se necesita revisar una mayor cantidad de producto se precisa de operarios que atienden otras áreas.

Todas estas problemáticas originan reprocesos y retrasos de tiempo que provocan pérdidas y disminución de la productividad. Es aquí en donde intervienen los *sistemas de visión artificial automatizados*, que integran a la ingeniería multidisciplinaria de sistemas mecánicos, electrónicos y de computación a lo que hoy le conocemos como *mecatrónica y la inteligencia artificial*.

Los sistemas de inspección visual capturan imágenes, éstas se procesan y posteriormente se analizan e interpretan para dar una respuesta (Vargas, 2010). Estas respuestas rechazan productos dañados o de forma incorrecta. Sus aplicaciones son muchas ya que pueden controlar robots en una cadena de producción en donde puede detenerse cuando se detectan defectos en el producto. Un ejemplo de ello lo muestra la Figura 1.



Figura 1 Sistema de Visión en una cadena de producción. Cognex

Existen compañías, muchas extranjeras, que pueden proveer de maquinaria de inspección, pero con altos costos de inversión debido a la importación. También en ocasiones no se tiene el respaldo del soporte técnico para realizar futuras adaptaciones dados diferentes procesos. Hay otras compañías establecidas en México que tienen soluciones de inspección por imágenes, sin embargo los costos no son tan rentables para la empresa mediana. (Mitropulosa, 1999), (Azorín-López, 2007), (Ulloa, 2009).

El presente artículo plantea un nicho de oportunidad para el desarrollo de maquinaria especializada como alternativa a las fallas por el error en un operador inspector humano. Se propone un prototipo de inspección para la detección de defectos utilizando una cámara con interfaz USB3 con velocidades muy cercanas a GigaETHERNET, un microcontrolador de bajo coste, una computadora personal, un motor a pasos y algunos elementos mecánicos simples. La motivación es desarrollar un prototipo integrando varias tecnologías para su uso en la industria, en donde las condiciones de trabajo son exigentes con el costo más bajo posible. Ejemplos de estos sistemas se presentan en (Flores, 2017) y (Delgado, 2016). El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: La Sección 2 presenta una descripción de los defectos presentes comúnmente en rollos de cremallera.

La Sección 3 explica el desarrollo y construcción del prototipo mecatrónico propuesto para la solución del problema. La Sección 4 muestra los algoritmos seleccionados que pueden resolver el problema de detección de defectos. La Sección 5 muestra las pruebas y resultados obtenidos. Finalmente, en la Sección 6 se presentan las conclusiones y el prototipo final implementado.

Descripción de los defectos

La cremallera, “Zipper” o *cierre*, es uno de los pequeños elementos que se utiliza en botas, bolsos, equipo de camping, fundas, ropa, en materiales quirúrgicos y en trajes espaciales. En este trabajo se describe la cremallera de poliéster, ya que es el más utilizado por su simpleza de fabricación, versatilidad y uso.

Está conformada por dos cintas tejidas de poliéster, ambas unidas a un monofilamento en espiral de nylon o de poliéster, se ensamblan a través de un elemento mecánico de unión llamado deslizador o corredera. En la figura 2 se observa el resultado de dicho proceso. Se le denomina cadena a una cantidad de cremallera continua unida. Se selecciona para el estudio, la cremallera de poliéster de color blanco, ya que es de mayor demanda. La cantidad de defectos son diferentes entre cadenas de 1000 m, por lo que se han clasificado las cadenas en tres calidades, que tienen una proporción como muestra la tabla 1.



Figura 2 Formación de la cremallera de poliéster.I ZIPPER®

Calidad A	Calidad B	Calidad C
<25	>25 y <50	>50

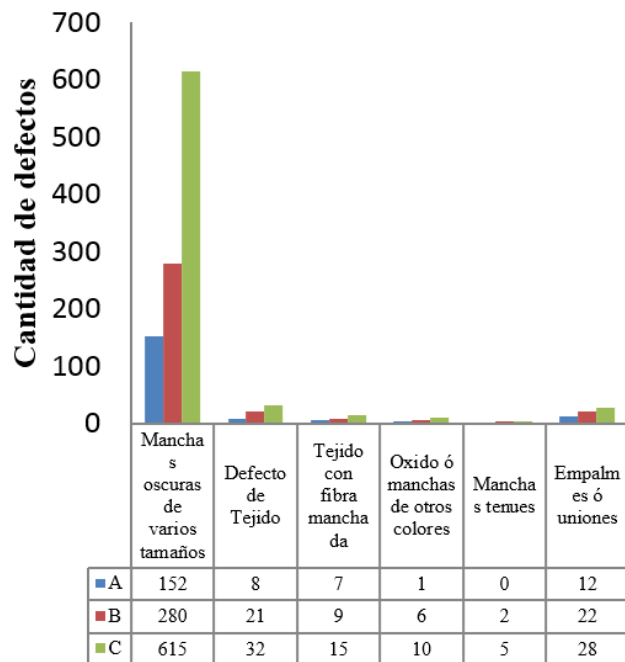
Tabla 1 Clasificación de calidad de la cremallera de acuerdo al número de defectos por cada 1000 m

En la tabla 2 se muestran los diferentes tipos de defectos a detectar definidos por el usuario.

Descripción del defecto	Imagen
Manchas oscuras grandes	
Manchas oscuras pequeñas	
Defecto de tejido	
Tejido con fibra manchada	
Oxido ó manchas de otros colores	
Manchas tenues	
Empalmes ó uniones	

Tabla 2 Diferentes tipos de defectos en las cremalleras de poliéster

Tomando como muestra 10000 m de cadena se contabilizaron todos los defectos para detectar los de mayor incidencia y a partir de ahí realizar el diseño de los algoritmos. En la gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos al realizar dicho conteo.



Gráfica 1 Cantidad de defectos en 10000 m de cadena de las calidades A, B y C

De la gráfica anterior se puede concluir que los defectos de mayor importancia son las manchas oscuras de varios tamaños y con menor incidencia óxido ó manchas de otros colores y manchas tenues.

Desarrollo y construcción del prototipo

Se ha dividido el prototipo en las siguientes etapas

- Diseño mecánico.
- Diseño electrónico

El funcionamiento del prototipo de visión es: adquirir una imagen de una sección de cremallera con una cámara industrial y esta enviarse a una computadora por medio del puerto USB3.

Esta toma la imagen la procesa con un algoritmo de inspección y determina si la muestra contiene defectos o no. En el caso de que la imagen contenga defectos se envía una señal de alarma a un microcontrolador deteniendo el proceso. Si la imagen es correcta la computadora se prepara para hacer avanzar la cremallera y procesar otra imagen.

La detección la realiza analizando imagen por imagen. Se utiliza un motor a pasos para mover la cremallera y detener el proceso en el instante requerido. Tanto el procesamiento de la señal de alarma como el control del motor a pasos se realizan con un microcontrolador. En la figura 3 se muestra el esquema general del sistema propuesto.



Figura 3.Prototipo mecatrónico de Visión propuesto

Diseño mecánico

La parte mecánica de este prototipo está integrada por una estructura, guías para la cremallera, superficie para la visión de la cremallera, guías ajustables para las lámparas LED y cámara de visión hechas en aluminio. Una unidad de tracción mueve la cremallera accionada por el motor a pasos. En la figura 4 se muestra el sistema mecánico del prototipo de visión propuesto.



Figura 4. Sistema mecánico del prototipo de Visión.
Fuente: Elaboración propia

Por la superficie de visión pasa la cremallera. La particularidad de esta superficie es que contiene una línea negra de 25 mm de ancho, como se muestra en la figura 5. La estrategia de utilizar esta línea se debe a dos motivos:



Figura 5 Superficie para Visión
Fuente: Elaboración propia

1. Funciona como elemento de fondo para los defectos en el tejido; esto es cuando la cremallera contiene orificios ya sea en el tejido o en la zona del filamento en espiral.
2. Se observó una mejor matización de los defectos al colocar el fondo negro.

Las guías ajustables para las lámparas LED y cámara de visión contienen unas correderas en los tres ejes, para ajustar la cámara y las lámparas LED. Cabe señalar que se seleccionaron lámparas LED de tipo *arrays* debido a que se necesitaba iluminación a lo largo de la cremallera y evitar sombras por el relieve del filamento de la cremallera. Se colocó la cámara a una distancia de 210 mm aproximadamente, esto arroja una resolución de 91 mm de longitud por imagen. En la figura 6 se muestra la estructura para las lámparas LED y cámara de visión.



Figura 6 Estructura para las lámparas LED y cámara de Visión.
Fuente: Elaboración propia

La unidad de tracción está compuesta por un motor a pasos, reductor y rodillos. Todos estos elementos están colocados como se muestra en figura 7.



Figura 7 Sistema de tracción con motor a pasos
Fuente: Elaboración propia

Este motor a pasos es de la marca *SANYO DENKI*, modelo: 103G770-1856. Es de tipo unipolar de 6 hilos, 1.8 grados/paso, con torque 4.8 kg/cm. Tiene un eje de 6.5 mm y ensamblado en él una polea dentada de 25 dientes con un diámetro total de 15mm. Este torque es el suficiente para mover la cremallera. Para completar una vuelta se divide 360 grados entre 1.8°/paso y con esto se determina el número de pasos por revolución (PPR) como:

$$PPR = \frac{360^\circ}{1.8^\circ/\text{paso}} = 200 \text{ PPR} . \quad (1)$$

El reductor está compuesto por la polea dentada de 15 mm del motor a pasos y una polea dentada de 37 mm. A través de una banda del mismo tipo se transmite el movimiento, como se puede apreciar en la figura 8. Estos tienen una relación de vuelta de:

$$G = \frac{D1}{D2} = \frac{15 \text{ mm}}{37 \text{ mm}} = 0.405. \quad (2)$$

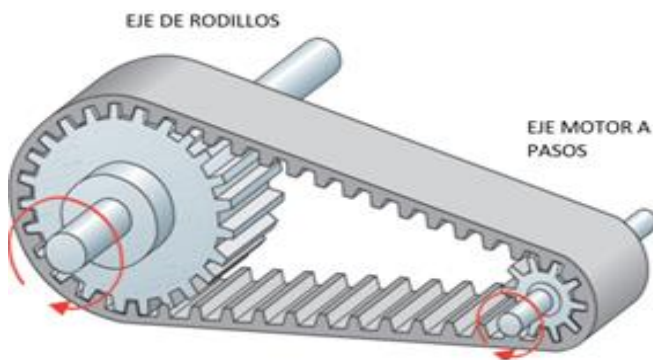


Figura 8. Figura representativa del reductor

Fuente: <http://www.pasionporvolar.com/el-autogiro-cap-11-el-reductor/>

Es decir por cada vuelta en el eje del motor a pasos, el eje de los rodillos girará 0.405 de vuelta, por lo que necesita 2.46 vueltas el eje del motor para completar una vuelta en el eje de rodillos. Los rodillos están compuestos por dos elementos, uno superior de 50 mm y el otro inferior de 51 mm. Ambos presionan a la cremallera con una palanca y un resorte, ver detalle en Figura 9.



Figura 9 Rodillo del sistema de tracción.

Fuente: *Elaboración propia*

Dado que la resolución espacial de la muestra es de 91 mm, la cremallera deberá recorrer esta longitud en la adquisición de cada imagen. Para calcular el número de pasos que debe dar el motor para completar esta longitud se deben realizar los cálculos siguientes: Primero calculamos la longitud total que avanza la cremallera por vuelta del rodillo inferior. Esto se logra usando el perímetro del rodillo más el grosor de la cremallera que es de 1 mm. Los resultados se muestran a continuación:

$$p = \pi * D = 3.1416 * 51\text{mm} = 160.22 \text{ mm}, \quad (3)$$

$$L = p + 1 \text{ mm} = 160.22 + 1 = 161.22 \text{ mm}. \quad (4)$$

Como es mayor a 91 mm, se calcula la fracción de vuelta que tiene que girar el rodillo inferior para avanzar 91 mm de cremallera, lo que queda como:

$$\text{Fracción de vuelta} = \frac{91\text{mm}}{161.22} = 0.564 \text{ vuelta}. \quad (5)$$

Este dato se utiliza en la relación de vueltas con la polea del motor y se calcula el número de pasos que se necesitan para completar los 91 mm de cremallera. Sabiendo que 200 PPR = 0.405 de vuelta del rodillo inferior, entonces:

$$\# \text{ de pasos a } 91\text{mm} = \frac{0.564 \text{ vuelta} * 200\text{PPR}}{0.405} = 278.73 \text{ pasos} \quad (6)$$

Por lo tanto, el motor a pasos necesita 278.73 pasos para trasladar 91 mm de cremallera. Lo hemos fijado en 278 pasos.

Diseño Electrónico

Para el funcionamiento de la unidad de tracción se implementó un driver de potencia que controla el motor a pasos. Las entradas están opto-acopladas y los elementos de potencia son MOSFET de canal N. Para el diseño se utilizó el software *Proteus*. En la figuras 10 se muestra el diseño electrónico y en la figura 11 el PCB (*Printed Circuit Board*).

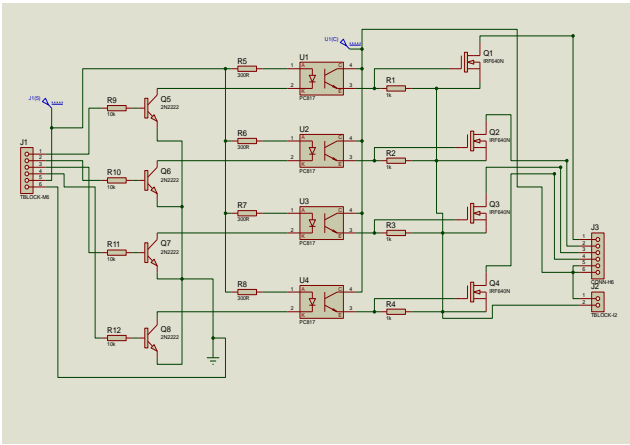


Figura 10 Diagrama esquemático del driver de potencia
Fuente *Elaboración propia*



Figura 11 PCB del driver de potencia
Fuente *Elaboración propia*

El motor a pasos contiene 4 bobinas de 3.5 Ω conectadas a 12 VDC. La fuente de 12VDC para alimentar el driver y el motor a pasos se requiere que trabaje con una corriente de 5 A.

Se usó el microcontrolador ATMEGA328P-PU, basado en la plataforma ARDUINO UNO debido a que su programación es “open source” y además es un sistema de fácil implementación ya que tiene integrado el puerto USB convencional. (Flores, 2017). Este se encarga de controlar el movimiento del motor a pasos y la salida de la alarma activando un buzzer.

Se establecieron tres comandos para su operación:

- “on”.
- “off”.
- “alarma”.

Con el comando “on” el motor a pasos recorre los 275 pasos (91 mm) y se detiene esperando otro comando “on”.

Durante el intervalo de detención se captura la imagen y al final del periodo del procesamiento se envía otra vez este comando para que se traslade de nuevo la cremallera otros 91 mm. Con el comando “off” el motor a pasos se detiene cuando se interrumpe el proceso. Con el comando “alarma”. El motor a pasos se detiene y genera una señal de alarma que activa un buzzer.

Se ha seleccionado la cámara Basler Ace acA1300-30um/uc con interfaz USB3 VISION de la compañía *National Instrument* debido a que es de uso industrial y de bajo costo para su segmento comparado con otras marcas. Es una cámara *Progressive Scan* (escaneo progresivo) para superficies y es ideal para el prototipo que aquí se describe. Además, la cámara se seleccionó de tipo monocromática debido a que en la mayoría de los procesos de inspección se utilizan imágenes en escala de grises para evitar un procesamiento extra. La resolución de esta cámara es de 1296 x 966. En la figura 12 se muestra la cámara seleccionada.



Figura 12 Cámara Basler Scan Ace USB3

Fuente: <http://www.baslerweb.com/en>

Las ópticas adecuadas para esta cámara usan lentes que reconstruyen la imagen para que el sensor obtenga la luz necesaria y pueda realizarse la captación adecuada. El modelo seleccionado es de la marca Computar modelo: M1214-MP2. Consta de un lente de apertura que controla la cantidad de luz y un lente focal para la nitidez de la imagen. El ajuste se realiza manualmente. El ensamblado es de tipo C, usado ampliamente en la industria.

Algoritmos empleados

La implementación de algoritmos de visión por computadora desde el lenguaje C resulta muy costosa en tiempo, ya que requiere de la manipulación de punteros, gestión de memoria, etc. (Lujan, 2012). Sin embargo la cámara Basler trabaja con una plataforma basada en C++, y dada sus características de alto y bajo nivel, la hace la más apropiada para la implementación de algoritmos de visión computacional.

Utilizar C++ para el periodo de prueba exige un tiempo mayor de corrección de errores debidos al proceso de implementación del algoritmo. Todos estos problemas pueden ser resueltos si la implementación de prueba es realizada en MATLAB utilizando su toolbox de procesamiento de imágenes, con ello el tiempo de implementación de pruebas se convierte en el mínimo con la confianza de utilizar algoritmos científicamente probados y robustos.

El sistema de visión primero adquiere la imagen a través del uso de Visual Studio con Visual C++ y la cámara Basler, luego la guarda en un archivo para posteriormente tratarla y procesarla en Matlab. Entonces se diseña el algoritmo de detección y posteriormente se migra a C++ para su versión final.

Para adquirir las imágenes se utilizó las librerías de la plataforma *Pylon 4* en Visual C++. Estas librerías contienen absolutamente todos los elementos necesarios para el manejo de la cámara Basler.

Ajuste de tamaño de imagen

Si bien el sensor de la cámara tiene un tamaño estándar de 960 x 1280, para obtener el máximo rendimiento de la cámara esta se ajusto para obtener imágenes de un tamaño de 470 x 1280 pixeles. Este tamaño de imagen se ajusta a lo ancho de la cremallera de poliéster.

Por la experiencia de inspección de los operadores, así como por la definición de los defectos, se calculó el área del *defecto mínimo*, siendo este de 0.1 mm^2 , esto con una imagen de 33 x 91mm y una resolución de 464 x 1280 pixeles. Con estos datos podemos calcular la cantidad de pixeles que necesita el defecto mínimo. Cabe señalar que el área del defecto mínimo puede ser de cualquier forma, sin embargo para el cálculo consideramos al área de un cuadrado. Para obtener la cantidad de pixeles, se calcula el tamaño del pixel de acuerdo a la resolución con las siguientes expresiones:

$$\text{Ancho pixel} = \frac{33 \text{ mm}}{464 \text{ pixel}} = 0.071 \frac{\text{mm}}{\text{pixel}} \quad (7)$$

$$\text{Alto pixel} = \frac{91 \text{ mm}}{1280 \text{ pixel}} = 0.071 \frac{\text{mm}}{\text{pixel}} \quad (8)$$

Para el cálculo de la longitud de cada lado del cuadrado se tiene:

$$L = \sqrt{0.1} = 0.3162 \text{ mm}, \quad (9)$$

Y en la figura 13 se muestra como queda el área utilizada para el defecto mínimo.

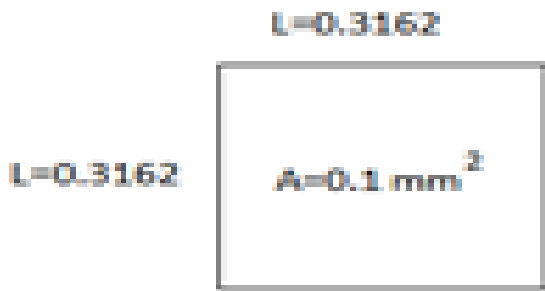


Figura 13 Área representada por el defecto mínimo

Fuente: *Elaboración propia*

Para el cálculo de la cantidad de pixeles por cada lado del cuadrado

$$L_{pixel} = \frac{0.3162 \text{ mm}}{0.071 \text{ mm/pixel}} = 4.45 \text{ pixeles} \quad (10)$$

Finalmente, se calcula la cantidad de pixeles del defecto mínimo en el area cuadrada.

$$\#pixeles \text{ Defecto M\u00ednimo} = 4.45 \times 4.4 = 19.83 \approx 20 \text{ pixeles} \quad (11)$$

Dise\u00f1o del algoritmo de detecci\u00f3n

La idea b\u00e1sica de nuestro algoritmo es encontrar una imagen con defecto, mostrarla y avisar. El operador observa dicho defecto y determina si lo elimina o lo marca. Este algoritmo debe ser lo m\u00e1s r\u00e1pido posible. Una vez que se encuentre el defecto m\u00ednimo en una imagen entonces ya no hay necesidad de inspeccionar todo lo que resta de la imagen. Es decir, al primer defecto m\u00ednimo detectado considerar toda la imagen con defecto.

Existe literatura que muestra t\u00e9cnicas y algoritmos para la detecci\u00f3n de defectos en telas, que si bien son los m\u00e1s parecidos a las cremalleras, sin embargo todos ellos est\u00e1n basados en el an\u00e1lisis de la estructura homog\u00e9nea del tejido que son las tramas y urdimbre. No es preciso aplicar fielmente esas t\u00e9cnicas y algoritmos, (*aunque es expandible para otros trabajos y l\u00edneas de investigaci\u00f3n*) dado que para el caso de la cremallera, el tejido es homog\u00e9neo en algunas zonas pero puede cambiar por ser de diferente proveedor.

Por lo que tendr\u00edamos que aplicar diferentes algoritmos en cada tipo de tejido; esto genera complejidad y tiempo de computo. En su caso es necesario dise\u00f1ar un algoritmo m\u00e1s simple. En las figuras 14 y 15 podemos observar la diferencia de tramas y urdimbres.

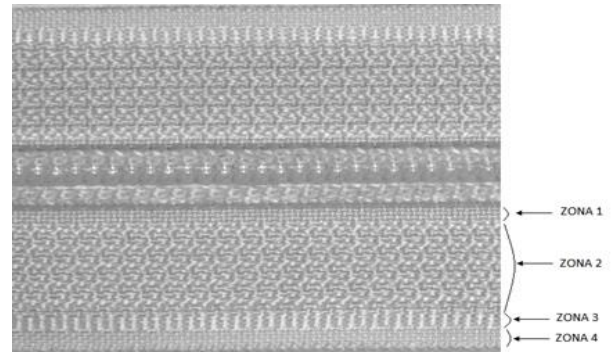


Figura 14 Tipos de tejidos en muchas zonas de un cierto proveedor

Fuente: *Elaboraci\u00f3n propia*

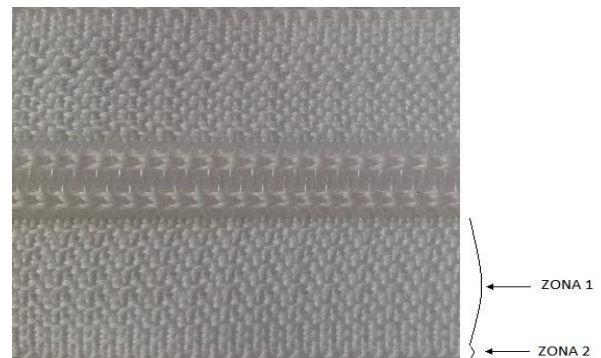


Figura 15 Tipos de tejidos con pocas zonas de otro proveedor

Fuente: *Elaboraci\u00f3n propia*

Como vemos en las im\u00e1genes hay varios tipos de tejidos que se encuentran a lo largo de la cadena de cremallera. Ya se ha comentado anteriormente que la cremallera de poli\u00e9ster no es una superficie homog\u00e9nea totalmente, ya que contiene un filamento en espiral en el centro que forma un relieve y tejido homog\u00e9neo por zonas, sin embargo esta estructura no cambia y en cierta forma puede tratarse como homog\u00e9nea. Esta idea nos permite identificar toda forma que no pertenezca a esa superficie, extraerla, analizarla y generar la se\u00f1al de error si es necesario.

Con esta lógica se puede extraer valores de una imagen correcta y compararla con la que se inspecciona, este valor sin duda es dado por un filtro de promedio. La imagen promedio se ajusta en un rango de 200.

Calibración de umbral

Con base en la adquisición de imágenes, se determinó que el umbral que más se adapta al color blanco es el de 100 en un rango de intensidad pixel de 0-255. Se realizaron pruebas con distintos defectos en varias tonalidades desde lo más bajos a los más altos, siendo este valor el que más favorece en ambos extremos de valores de pixel. Si el promedio de la imagen es 200 entonces el umbral está a la mitad.

Algoritmos

Se probaron 3 algoritmos de detección que tienen la siguiente estructura secuencial:

Algoritmo 1. Filtro promedio, Binarización a través de un umbral y segmentación parcial.

Algoritmo 2. Binarización a través de un umbral y segmentación parcial.

Algoritmo 3. Generación de semillas a través de un Umbral y segmentación parcial.

Como se puede ver la umbralización y la segmentación son procesos comunes en todos los algoritmos. Para el caso de la segmentación se utilizó la lógica de guardar las direcciones de pixeles debajo del umbral y posteriormente utilizar esas direcciones para realizar un recorrido alrededor de ese pixel para verificar si se encuentran debajo del umbral; si es así, estos pixeles se marcan para no volverlos a detectar. Todos los pixeles vecinos debajo del umbral se cuentan hasta llegar al defecto mínimo, que en este caso se ha definido a 20.

Se guarda la dirección de cada pixel encontrado y se marca dándole otro valor para no ser contado nuevamente. Cada dirección genera un nuevo ciclo de recorrido para detectar pixeles debajo del umbral, se cuentan y se marcan.

ISSN-2444-4995

ECORFAN® Todos los derechos reservados

En la Figura 16 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de segmentación implementado.

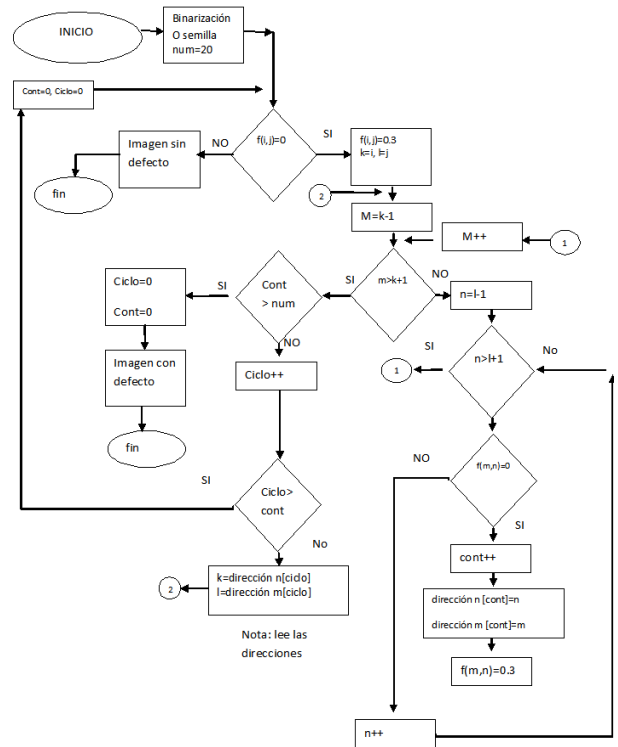


Figura 16 Diagrama de flujo del algoritmo de segmentación

Fuente: Elaboración propia

Pruebas y resultados

Se realizaron pruebas a los tres algoritmos tomando una muestra con el defecto de menor tamaño necesario a detectar.

Pruebas con el primer algoritmo

El filtro promedio suaviza la imagen y con el dato del promedio de la imagen de referencia se realiza la binarización de esa nueva imagen, de manera que los puntos que quedan fuera del umbral son pintados en negro. Posteriormente se aplica una segmentación para contabilizar la cantidad de pixeles negros para determinar si la imagen contiene defectos.

Pruebas con el segundo algoritmo

Este algoritmo se omite el filtro de suavizado. Se realiza una binarización a través del umbral con el dato del promedio de la imagen de referencia, quedando en negro los puntos que están fuera del umbral. Posteriormente se aplica la segmentación para contabilizar los píxeles.

Pruebas y resultados con el tercer algoritmo

Se generan semillas o puntos a través de un umbral. Luego se contabilizan y se marcan los píxeles con una segmentación en un intervalo de valores de grises entre el valor del umbral y un 50% sobre él, es decir entre 100 y 150. El nivel de detalle lo determina este porcentaje. El algoritmo detecta el defecto cuando el conteo se pasa de los 20 píxeles. En las figuras de la 17 a 19 se muestran imágenes que ilustran las fases del proceso de que consta el Algoritmo 3.

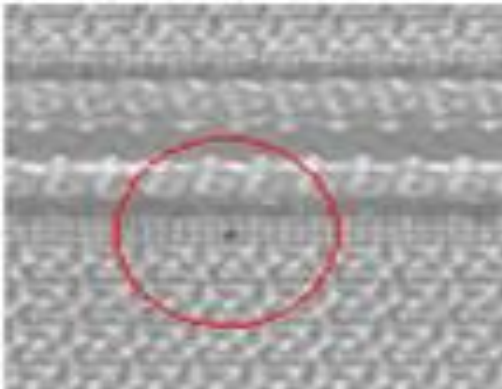


Figura 17 Imagen original
Fuente:Elaboracion propia

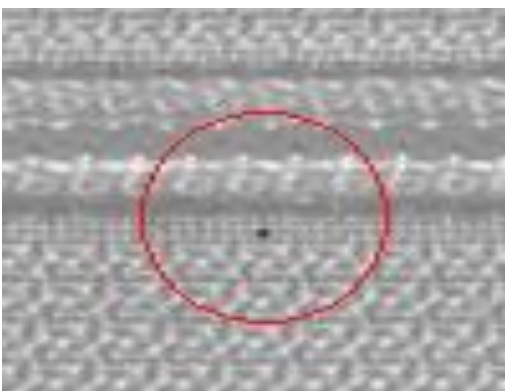


Figura 18 Imagen generando semilla para la segmentación
Fuente: Elaboracion propia

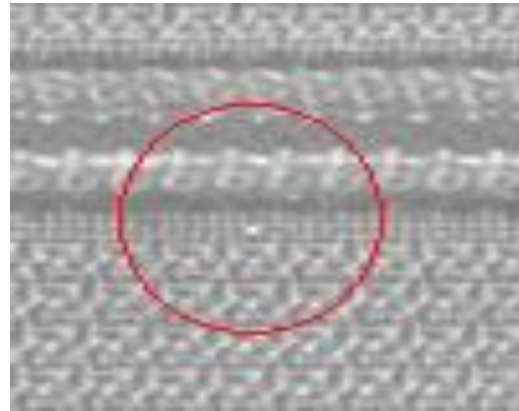


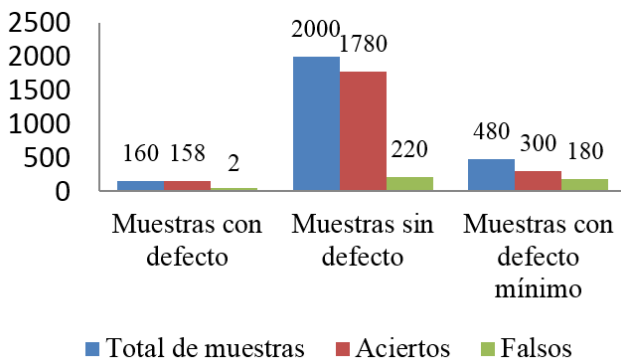
Figura 19 Imagen segmentada
Fuente Elaboracion propia

Comparativa entre algoritmos

Para los defectos muy grandes y oscuros el algoritmo uno funciona bien, sin embargo el algoritmo dos realiza esto adecuadamente sin la necesidad de filtro promedio. En este caso el algoritmo dos funciona para defectos de tamaño mediano y oscuro y es muy rápido. El algoritmo 3 permite detectar defectos pequeños y más tenues con valores superiores al 50% del umbral, y aunque es más lento que el algoritmo dos, es funcional y cumple el objetivo planteado.

Resultados con varios tipos de defectos

Se aplicaron muestras con defectos, sin defectos, defectos mínimos válidos y defectos atenuados para observar el comportamiento del tercer algoritmo. Las muestras fueron tomadas de cremalleras de calidad tipo C de un solo proveedor. Las muestras representan un metraje de 250 m. En la gráfica 2 se muestra el resumen de estos resultados.



Gráfica 2 Resultados de detección de defectos con el algoritmo 3 en cremalleras tipo C

Fuente:Elaboracion Propia

Conclusiones y trabajos a future

De acuerdo a las pruebas realizadas se observó que el uso del tercer algoritmo resulta en resultados favorables, aunque para los defectos atenuados no es muy eficiente. Sin embargo, las muestras con este tipo de defectos representan un porcentaje muy pequeño comparado con los otros tipos de defectos.

Para los defectos de mayor incidencia en los lotes de cremalleras se observa una eficiencia del 98.7 %. Para las muestras sin defecto se observa una eficiencia del 89%, sin embargo los falsos defectos son debidos a arrugas del material o por causas imputables al umbral en la iluminación, sin que esto represente gran problema puesto que no es muy recurrente. Para el caso de las muestras con defectos míniamente válidos se observa un porcentaje del 75%, este se considera un porcentaje bajo, pero los que no se detectan se consideran tolerables según el estándar que se definió de 0.1 mm² (20 pixeles). En las pruebas se observó una velocidad de traslación media de la cremallera de 1000 m /1.5 hrs, considerando que esta era intermitente.

El prototipo. Para efectos del prototipo que aquí se propone, el funcionamiento es intermitente, ya que en el instante de la captura de la imagen la cremallera está detenida. La justificación de ello es que en el algoritmo de inspección podamos evitar usar imágenes borrosas o un procesamiento extra debido al movimiento de la cremallera.

Tal condición no exenta que en desarrollos futuros pueda trabajarse con un movimiento continuo, puesto que el prototipo está diseñado para soportar tal funcionamiento.

Sobre el diseño mecánico. El diseño mecánico fue elaborado considerando materiales de fácil adquisición, siendo las partes estructurales de aluminio. También se ha de comentar que se ajustaron y adaptaron algunas piezas que fueron tomadas de partes de otras máquinas. La finalidad de ello, fue para disminuir costos en la construcción y conseguir una rápida integración.

El diseño del mecanismo de arrastre de la cremallera se basó en esquemas de maquinaria industrial que maquila los cierres de cremallera, en donde se tomaron ideas sobre las guías y el modo de traslación del material. Sobre la estructura de las lámparas de LED y cámara, es un diseño propio con versatilidad de ajuste manual de las alturas.

Sobre el algoritmo. Dado que el prototipo funciona en un ambiente industrial, las imágenes adquiridas son sometidas a cambios en la iluminación. Esto se resolvió con un proceso de calibración en donde el usuario ajusta la iluminación a través de una rejilla integrada en el lente de la cámara. El programa te muestra el promedio de la imagen, este debe estar dentro de un rango de $200 \pm 5\%$; es decir, entre 190 y 210.

En este rango se detecta de mejor forma los defectos, ya que a menor umbralización los valores cercanos a los defectos son muy oscuros por lo que el defecto pierde información de los pixeles vecinos. Por otro lado, las imágenes muy claras presentan una borrosidad en defectos más tenues, lo que lleva consigo la pérdida de la detección del defecto. La importancia en la calibración de la cámara radica en la necesidad de mantener la imagen adquirida en un rango de iluminación adecuada para conseguir la máxima fiabilidad.

En el proceso de inspección, este umbral se revisa dentro del algoritmo del programa, verificando 10 imágenes sucesivas. Si este está fuera del rango definido, el algoritmo corrige este umbral aplicándole un incremento o decremento de intensidad calculado a base de un porcentaje. Se calcula cuánto porcentaje se desvía y este valor se aplica como compensación. En la experiencia práctica de las pruebas, el desajuste de la intensidad siempre se debió a una baja iluminación, por lo que siempre el ajuste fue para incrementar.

Dentro de los trabajos futuros se encuentran:

- Desarrollar una interfaz gráfica para que el usuario pueda interactuar con la máquina y establecer los parámetros necesarios para realizar la detección de defectos.
- Optimizar el algoritmo y ajustar la tasa de captura de imagen lo más posible buscando la mayor rapidez y con esto el motor este trabajando en tiempo real y ajustar la velocidad adecuada con cada captura de la imagen y obtener la máxima velocidad posible.
- Realizar la inspección de la cremallera del poliéster en ambas caras con la misma imagen, esto es posible con la modificación del ancho de la imagen y el diseño del mecanismo para rotar la cremallera. En especial los equipos que existen implementan varias cámaras, la novedad es utilizar solamente una.
- Modificar el nivel de detalle de la cámara. Esto es posible de logra con el ajuste de la resolución espacial determinado por la altura de la cámara, por lo que se prevé automatizar la altura de la cámara para que se ajuste a diferentes tamaños de imagen y con esto tener mayor nivel de detalle dependiendo de las necesidades de inspección.
- Trabajar con redes neuronales para la clasificación y detección de defectos utilizando imágenes de referencia en donde el sistema tenga la capacidad de aprender.
- Explorar el manejo de otros tipos de plataformas o dispositivos embebidos que puedan ser exigidos por las condiciones de un entorno industrial, ya que debido a la sencillez de aplicación el prototipo se implementó con un microcontrolador a base de la plataforma Arduino.

Agradecimientos

Gracias a la Empresa I-ZIPPER por el apoyo económico para el desarrollo del proyecto y al Tecnológico Nacional de México a través del Instituto Tecnológico de Mérida por el aporte de conocimientos y facilidades para realizar el proyecto.

Referencias

- Azorín-López, J. (2007). *Modelado de sistemas para visión de objetos especulares. Inspección visual automática en producción industrial.* (Tesis doctoral). Universidad de Alicante. Alicante, España. Recuperado de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7751/1/tesis_doctoral_jorge_azorin_lopez.pdf
- Bolton, W. (2010). *MECATRÓNICA Sistema de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica.* 4ta edición. Alfaomega. México D.F. Páginas 170-217.
- Cuevas E. V., Navarro, D. S. (2006) *Visión por computadora utilizando Matlab y el Toolbox del procesamiento digital de imágenes.* Recuperado de <http://proton.ucting.udg.mx/tutorial/vision/cursosovision.pdf>
- Delgado, S. H., Gallegos, J. L. (2016). Tarjeta de Adquisición de datos USB para LabVIEW. *Revista de Sistemas Computacionales y TIC's*, 2 (3), 53-60.
- Flores, M.I, Medina, L., Mayorquín, J., García, O. (2017). Detección de Objetos a Color en Tiempo Real con Técnicas de Visión Artificial y Arduino. *Revista de Prototipos Tecnológicos*, 3(7), 1-7.

Lárraga, H., Piedad, A., Zapata, N., Espinosa, O. (2016). Algoritmo para control de calidad mediante procesamiento de imágenes aplicado a la industria alimenticia. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 2(3), 1-7

Lujan, C. A. (2012). *Adquisición y procesamiento digital de imágenes para la obtención de la trayectoria de los vectores de posición de camarón y la jaiba*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia en cooperación con el Departamento de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Mérida. Valencia España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/17502>

Mitropulosa, P. (1999). *A Real-Time Vision System for Defect Detection and Neural Classification of Web Textile Fabric*. Applied Electronics Laboratory, bVLSI Design Laboratory Department of Electrical and Computer Engineering University of Patras, Grecia. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228601204_Realtime_vision_system_for_defect_detection_and_neural_classification_of_web_textile_fabric

Morantes O. F., Alférez E. S. (2006). *Algoritmo de segmentación automática para la detección de defectos en imágenes termográficas*. (Tesis para el grado de físico). Universidad industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

Otero L. M., Valenzuela W. D. (2009) *Análisis de defectos estructurales en textiles mediante el procesamiento digital de imágenes*. (Tesis de Ingeniería). Escuela de Ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, Facultad de de ingenierías Físico Mecánicas, Universidad Industrial de Santander. Colombia. Recuperado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/handle/123456789/3391>

Sucar, L. E., Gómez G. (2008). *Visión computacional*. Instituto Nacional de astrofísica, óptica y electrónica. Puebla México. Helmholtz Zentrum Munchen. Nueherberg, Alemania. Recuperado de <http://www.ppgia.pucpr.br/~facon/ComputerVisionBooks/2008VisionComputacionalSucarGomez.pdf>

Turpín, J. (2011). *Desarrollo de un Sistema de Inspección Visual Automatizado para una línea de envasado de morteros industriales*. (Memorias). Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1954/pfc4060.pdf?sequence=1>

Ulloa A. E. (2009). *Diseño y comparación de métodos para la detección automática de defectos en tela*. (Tesis de ingeniería). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima Perú. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/45338?show=full>

Vargas V. (2010). *Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromadas*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería Mecánica, Eléctrica, Unidad Azcapotzalco. México, D.F. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/45338?show=full>

Desarrollo de un Colector Canal Parabólico con índice de Concentración Variable

OLGUIN-CAMACHO, Juan *†, PERALTA-AGUILAR, Nallely, SALINAS-DIEGO, Luis Alberto y JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji

Instituto Tecnológico Superior De Huichapan

Recibido Julio 13, 2017; Aceptado Septiembre 11, 2017

Resumen

Actualmente el crecimiento en el consumo de energía exige la búsqueda de fuentes alternativas que sirvan como sustituto o sistema de apoyo y respaldo, un ejemplo son los colectores de canal parabólico, los cuales son útiles en aplicaciones que exigen grandes cantidades de combustible para el aumento en la temperatura de un fluido. El presente trabajo reporta el diseño y construcción de un colector solar de canal parabólico con índice de concentración variable, aplicado a la evaporación de agua para un ciclo cerrado, el cual fue desarrollado con base a las necesidades del proceso. Obteniendo como resultado un sistema de control del suministro de calor mediante la modificación de la línea focal del canal parabólico, utilizando un mecanismo de barras de un grado de libertad impulsado por un servomotor y controlado mediante un dispositivo programable. El funcionamiento del sistema fue verificado mediante su implementación en un evaporador de tubos, en el cual se utilizó un aceite como agente de intercambio.

Mecanismo, foco, control

Abstract

Currently, the increase in energy consumption requires the searching of alternative sources of energy to be used as substitute or support systems, one example is the parabolic thermal collector which is used in applications that require great amount of fuel to increase the temperature of a fluid destined to the thermal interchange in evaporation process. This work reports the design and construction of a parabolic solar collector with variable concentration index used to evaporate water in a closed cycle. This device was developed taking into account the specific needs of the process. The result of this work was a heat control system based in the variation of the focal line of the parabolic channel. It was used a 1 degree of freedom bar mechanism moved by a servomotor and controlled using a programmable device. The function of the system was tested in a tube evaporator using oil as exchange agent.

Mechanism, focus, control

Citación: OLGUIN-CAMACHO, Juan, PERALTA-AGUILAR, Nallely, SALINAS-DIEGO, Luis Alberto y JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji. Desarrollo de un Colector Canal Parabólico con índice de Concentración Variable. Revista de Prototipos Tecnológicos 2017, 3-9: 56-62.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jolguin@iteshu.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El aprovechamiento de la energía solar térmica, utiliza diferentes tecnologías de concentración solar tales como: heliostatos, Fresnel, disco parabólico y canal parabólico; en donde las cantidades de energía solar captada y su aprovechamiento son de gran interés para el proceso en donde son implementadas.

Ejemplo de lo anterior son los trabajos de: Serfain *et al* realizó un análisis de la irradiación solar en diferentes ciudades al norte de México (este lugar se designó ya que en verano es la zona con mayor temperatura en el país) donde se obtuvo diferentes datos, como la energía disponible mes a mes, así como las curvas de frecuencias que se acumularon, esto es útil para conocer la producción de un sistema híbrido solar-geotérmica para la generación de electricidad [1].

Beltran *et al* desarrollaron un nuevo modelo geométrico de un concentrador parabólico solar de foco fijo mediante coordenadas cartesianas, se le incorporó un modelo térmico de un receptor de cavidad para determinar sus dimensiones, este modelo se utilizó para diseñar distintos concentradores en diferentes aplicaciones usando motor Stirling, mostrando como desventaja el ajuste de los parámetros de diseño y condiciones de operación [2].

Escobar *et al* diseñó un colector canal parabólico, el objetivo principal de esto fue construir un dispositivo modular el cual genere vapor con temperatura hasta 120°C [3];Rodríguez *et al* realizó un estudio de los colectores parabólicos para el análisis sobre la implementación y uso de concentradores solares como una alternativa para satisfacer la demanda energética, [4];Carbarcas *et al* diseñó un sistema de energía solar el cual integre un colector del tipo cilíndrico parabólico y un intercambiador de tubo/coraza para disminuir el consumo energético de un proceso de secado [5].

Rafael *et al* Desarrollaron un técnica óptica para la detección del foco real, esto debido al desgaste y deformaciones de los colectores solares, se usó un método mediante un láser donde realiza un dibujo detallado de la forma del colector, posteriormente mediante un análisis matemático se determinó el foco de este, este método tiene un rango de error de 10mm [6]; Sánchez *et al* diseñaron un canal concentrador parabólico para la degradación acelerada en polímeros de desecho el cuál emplea la radiación UV-B presente en la irradiación solar.

Para su diseño se utilizaron modelos que se basan en método de geometría analítica y cálculo vectorial para determinar las coordenadas de la superficie reflectora esto ayudo a aumentar la eficiencia del diseño [7]; Sassi *et al* realizó un estudio de un concentrador parabólico fotovoltaico mediante un calorímetro y un intercambiador solar, por el cual se obtuvo que la eficiencia del ciclo varía entre 44% y 77 % [8].

Velasco *et al* desarrollo una metodología para el análisis de propiedades geométricas y ópticas de los colectores parabólicos donde se utiliza escáneres láser, este método realiza un escaneo con un sensor laser para el dibujo en 3D donde se evalúa los errores de la superficie y la desviación en la posición del tubo receptor [9]; Salgado desarrollo un sistema de control para un colector cilindro parabólico, este generó un seguimiento del sol para la mayor obtención de energía posible, mediante un movimiento de rotación buscando la perpendicularidad de los rayos solares [10].

De los trabajos anteriores se observa vital interés en el aumento de eficiencia en la captación de energía, sin embargo, existen diferentes procesos donde se necesita cantidad de calor específica o variable [13, 14 y 15], lo cual genera dificultades cuando las temperaturas de colección son superiores puesto que se debe gastar energía en reducir dicha temperatura.

En el presente trabajo se reporta el desarrollo de un colector canal parabólico con índice de concentración variable para la regulación de temperatura acorde a la requerida para procesos de intercambio.

Desarrollo

En el presente trabajo se desarrolló un colector de canal parabólico con índice de concentración variable, se diseñó un sistema el cual sea capaz de alterar su concentración de calor con el cambio de lado recto, mediante un análisis de posición-concentración, por medio de un sistema de control de temperatura en el punto focal.

Diseño

Se estudió el comportamiento de una parábola al variar el lado recto, utilizando para el análisis la distancia del foco con respecto al punto más bajo de la parábola, esto con la finalidad de conocer la variación de este punto referente a un modelo de referencia.

Principio de funcionamiento

Para determinar las características del mecanismo de operación se planteó un proceso de modelado por medio del dibujo asistido por computadora, en el cual se determinaron parábolas base, bajo la siguiente metodología e ilustrada en la figura 1: a) tomar una parábola base con las dimensiones de 122 cm de longitud y una altura focal de 25cm [11], b) dibujar 2 parábolas donde cumpla con la misma longitud y su altura focal sea diferente, c) segmentar en n líneas rectas las parábolas realizadas donde su longitud sean iguales entre sí, d) crear n circunferencias donde sea coincidente a los extremos de las líneas rectas, e) construir una parábola de la misma longitud donde se realice el proceso de segmentar y sus extremos de las líneas rectas sean coincidentes con la circunferencia esto generó un control en la altura focal.

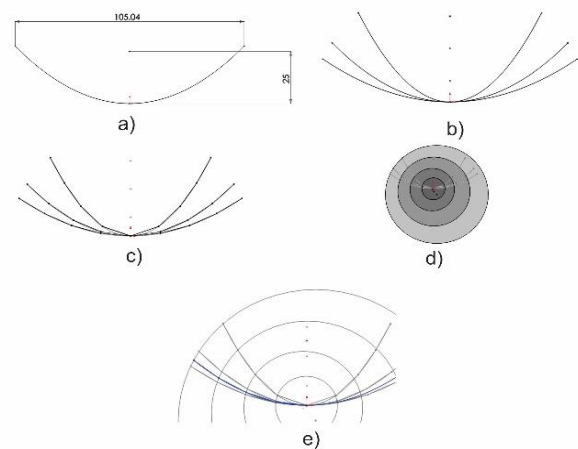


Figura 1 Metodología de diseño de mecanismo de parábolas

Cabe destacar que en este proceso solo se estudió un lado de la parábola debido a la simetría de esta.

Diseño

A partir del principio de funcionamiento desarrollado en el apartado anterior se realizó un modelo por computadora con el programa Solidworks® en el que se determinó un conjunto de componentes para la operación del mecanismo de ajuste de la parábola, los componentes de dicho mecanismo son mostrados en la figura 2, y cumplen con las siguientes funciones:

1. **Guías.** Estas cumplen con la tarea de conservar la forma de una parábola, el uso de estas ayudó dar estabilidad al canal parabólico, así como dirigir al mecanismo para su trayectoria correcta.
2. **Correderas.** Cumplen con la tarea de sujetar al elemento reflejante con el mecanismo capaz de mover su posición a través de las guías.
3. **Elemento reflejante.** consta de una lámina reflejante delgada y flexible utilizada para generar la envolvente de las parábolas creadas por el mecanismo. 9
4. **Soporte de tubo.** Consta como elemento de sujeción del tubo receptor de calor.

- 5. **Tubo focal.** Recipiente fijo del líquido que se calentará debido a elemento reflejante.
- 6. **Base.** Consta de un soporte para el mecanismo de cambio de apertura de la parábola.

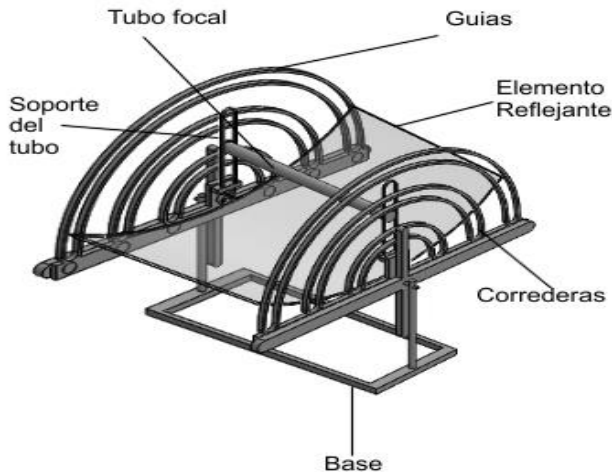


Figura 2 Componentes del Colector

El mecanismo que se planteó para generar el cambio de apertura, se eligió ya que se desea tener el mismo comportamiento en ambos lados, una de las problemáticas a resolver fue la distancia que se encontraba el eslabón con el mecanismo así que se planteó una ranura libre por lo cual facilitará el cambio de distancia entre estos dos. El objetivo de utilizar un elemento reflejante flexible fue el de generar una envolvente en el mecanismo para reconstruir la parábola con la guía y de esta manera aproximar la forma en mayor medida, esto con la finalidad de no crear n número de placas rectas para para reconstruir dicha forma, buscando así optimizar la cantidad de energía obtenida.

Control de aperture

Para controlar el comportamiento de la parábola ajustable, se implementó un sistema de control, el cual consta de: un servomotor, una etapa de potencia y un dispositivo programable (Arduino®) este tiene la finalidad de controlar la posición de retracción de la parábola por medio de un mecanismo de engrane-biela acoplado a las guías, como se puede observar en la vista parcial en la figura 3.

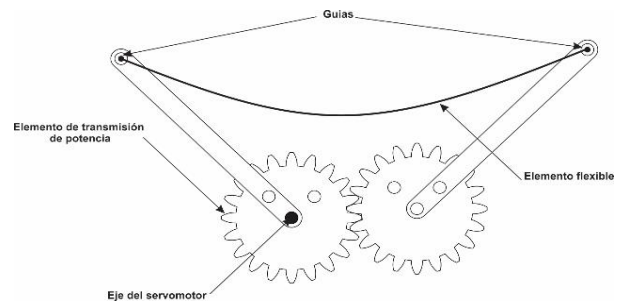


Figura 3 Vista parcial de elementos de transmisión de potencia

El algoritmo implementado en ARDUINO constó de un driver de control de posición del motor y una referencia de entrada en un rango de cero a cien donde el cincuenta indica la posición de referencia y el cero y el cien indican las posiciones extremas. Lo anterior se obtuvo mediante el cálculo de la relación del movimiento entre el motor implementado en el engrane con el eslabón en la guía, además del control del mecanismo se añadió dos sensores de temperatura, para la obtención de datos en el tiempo de ejecución.

Análisis de concentración y punto focal

Para determinar la concentración y la deflexión del punto focal del mecanismo se realizó un análisis geométrico en Solidworks® estimando el cambio del foco, y la desviación de los rayos, en la tabla 1 se muestra la deflexión promedio del foco de la parábola discreta de referencia respecto a la parábola base en tres puntos del recorrido del mecanismo.

Posición	Distancia del foco ideal	Distancia promedio	Deflexión
Inicial	10cm	22.583 cm	12.417 cm
Media	25 cm	37.73 cm	12.27cm
Final	40cm	87.165 cm	47.835cm

Tabla 1 Análisis de concentración

Lo anterior se realizó dibujando n número de líneas tangentes simulando los rayos solares como se observa en la figura 4, las líneas salientes de la parábola representan los rayos reflejados en ella.

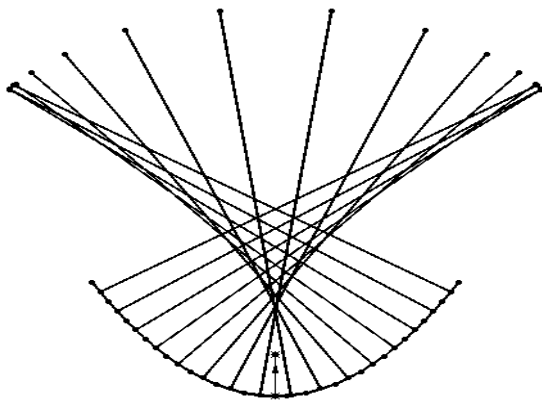


Figura 4 Simulación de rayos solares

Como se puede observar en la figura 4 y la tabla 1 existe una desviación de los rayos en los extremos de la parábola, por ello se propuso el uso de una lámina flexible para generar una envolvente en el mecanismo y así reducir dicha desviación, lo cual se puede observar en la figura 5.

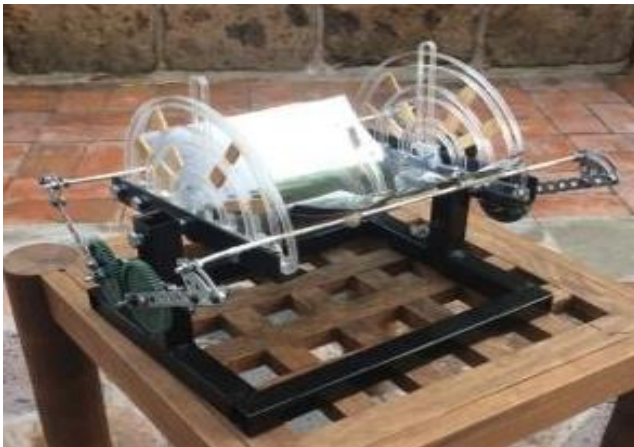


Figura 5 Prototipo con control lámina flexible implementada

Resultados

Para validar la corrección de la deflexión del punto focal, se realizaron pruebas utilizando un láser para determinar la distancia promedio del foco corregido. Las cuales se muestran en la tabla 2.

Posición	Distancia del foco ideal	Distancia promedio	Deflexión
Inicial	21.357cm	23.412 cm	2.055 cm
Media	36.873cm	36.937 cm	0.064cm
Final	84.312cm	88.478 cm	4.166cm

Tabla 2 Desviación de foco con lámina flexible implementada.

Posteriormente es sometido al concentrador a una prueba de campo de 6 días que consistió en exponer el colector parabólico a los rayos solares iniciando la distancia focal menor hacia la mayor para el análisis de su comportamiento haciendo un muestreo cada cinco minutos de la temperatura en el foco de la parábola base en el periodo comprendido desde el amanecer al atardecer.

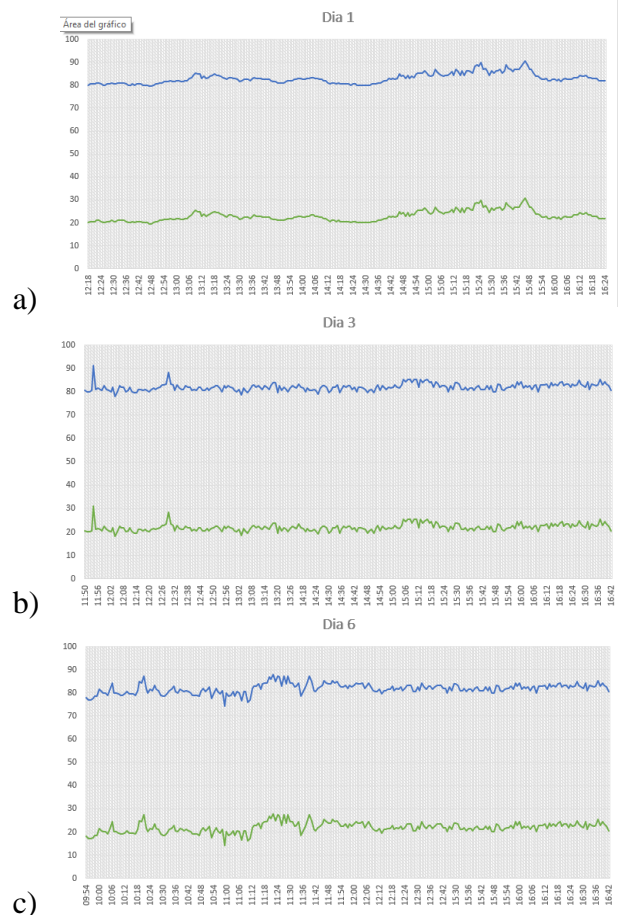


Figura 6 Temperatura del ambiente y colector.

En la figura 6 se muestran los datos de la temperatura del ambiente (Verde) a la que fue sometido el concentrador y la temperatura obtenida en el tubo focal (Azul), de esta manera se comprueba que el sistema planteado cumple con su propósito.

Conclusión

Se creó un colector de tipo cilindro parabólico con índice de concentración variable donde su temperatura máxima obtenida es de 87.3°C donde esta puede cambiar debido al mecanismo establecido. Por su parte el diseño de las guías ayudo a aproximar la parábola al momento de cambiar la apertura. El sistema de control establecido ayudó a controlar la apertura de la parábola y con ello poder variar la temperatura del colector lo cual es factible para su implementación en procesos donde se requiera regular la temperatura dentro de los límites de trabajo del concentrador. En trabajos futuros se plantea desarrollar un sistema de control que incremente la temperatura en el tubo focal.

Referencias

- [1] Serfain S. L. Alvarado R. L. H. Almanza R., Tovar R. (2009), Available energy and cumulative frequency curves for parabolic trough concentrators with alignment north-south, in the northwest of Mexico, Ingeniería mecánica tecnología y desarrollo, 3-12.
- [2] Beltran R. C. Ruelas E. J. R. Velázquez N. L. (2011), Diseño de un concentrador solar acoplado a un motor Stirling fijo. Ingeniería mecánica tecnología y desarrollo, 24-36.
- [3] Escobar L. G. V. (2007), Colector de canal parabólico para la generación directa de vapor para calor de proceso. UNAM, 5-49.
- [4] Rodríguez M. B. (2014), Concentradores solares como alternativa para satisfacer la demanda energética en el estado de Veracruz. IEEE, 4-56.
- [5] Carbarcas J. J. Almanza T. G. C. G. (2013), Diseño de un sistema de secado industrial basado en la concentración de energía solar usando un colector tipo cilindro-parabólico acoplado a un intercambiador de calor de tubo/coraza, Universidad De Cartagena, 3_78.
- [6] Rafael S. A.; (2014), Prueba de calidad en la superficie reflectora de un concentrador solar de canal parabólico con el uso de luz estructurada, Universidad del Istmo, 1-9.
- [7] Sánchez M. P. González E. M. (2014), Desarrollo de un concentrador solar para la degradación acelerada de polímeros de desecho. Universidad Autónoma del Estado de México, 47-58.
- [8] Sassi B. S. S. Salwa B. (2014), Experimental study of two types of solar heat exchanger used to determine concentrated solar energy in solar parabolic concentrator. IEEE, 2-6.
- [9] Velasco, C. P. (2012). Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay. 12- 50
- [10] Salgado L. C. (2012), Diseño y construcción de un sistema de control para la orientación de un concentrador solar cilindro-parabólico este-oeste, Instituto Politécnico Nacional, 2-9.
- [11] Mentado I. D. Elizalde C. S., Jiménez I. D. (2015), Simulación de un Concentrador Solar de Canal Parabólico mediante el Software SolTrace. Ecorfan, 68-73.
- [12] SolidWorks® 2016 Education Edition, Dassault System, Todos los Derechos Reservados N° Serie [9710-0013-0010-7303-THGK-R53J]

- [13] Contreras E. E. Barbosa S. J. Moreno P. L. (2016), Diseño de Sistemas con Generación Directa de Vapor con el Uso de Concentradores Solares de Canal Parabólico utilizando el Software SOLEEC. Revista de Prototipos Tecnológicos, 36-45.
- [14] Peña T. H. Ramos L. A. López C. R. Vacamier M. (2016) Evaluación numérica de los reflectores internos de una estufa solar tipo caja mediante sus eficiencias termodinámicas de 1ª y 2ª Ley. Revista de Prototipos Tecnológicos, 10-20.
- [15] Castillo T. B. Pilatowsky F. I. Castillo T. M. Sierra O. J. (2016) Estudio experimental de una evaporadora solar de alimentos Prototipos Tecnológicos, 82-89.

Instrucciones para Autores

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

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

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

Resumen

Titulo

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keyword

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

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para Autores

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

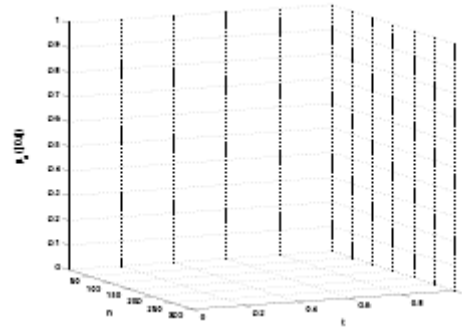


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

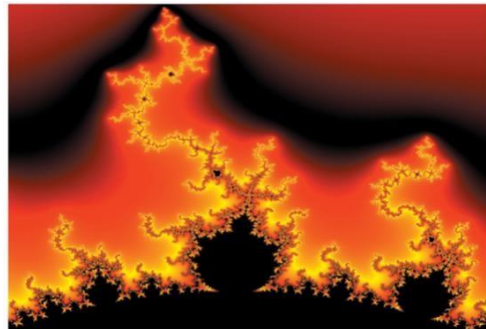


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No 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

Referencia

Formato de Originalidad



Madrid, España 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



Madrid, España 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-Spain 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-Spain 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 Prototipos Tecnológicos

“Bastón electrónico para personas invidentes con sensor de distancia y luz”

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, María Mayela, ORTÍZ-SIMÓN, José Luis y HERNÁNDEZ-CRUZ, Nicolás.

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

“Desarrollo de APP con impacto en la Educación”

RODRÍGUEZ, Agustín, ORTEGA, Héctor, GALICIA, Christian y VALENTIN, Carlos.

Universidad Tecnológica de Tehuacán

“Desarrollo del sistema de control para un robot manipulador por medio de Labview”

PARRA-CRUZ, Jesús Daniel, CARRIZALES-DE LA CRUZ, Gustavo Adolfo, ORTIZ-SIMÓN, José Luis y CRUZ-HERNÁNDEZ, Nicolás

“Guante háptico para el manejo de Objetos de Aprendizaje Geométricos Virtuales a través del Sentido del Tacto para Personas Ciegas y Débiles Visuales (Etapa 1)”

CASTAÑEDA, Carolina Yolanda, ESPINOSA, Raquel, MUÑÍZ-Marbella y JUNCO, José Ramón.

Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

“Home automation, an implementation with android app and video-vigilance system security”

RAMÍREZ-CHÁVEZ, Mayra, ZAPIEN-RODRÍGUEZ, José Manuel, ESCOTO-SOTELO, Edgardo y BURGARA-MONTERO, Oscar

“Metodología para la determinación de la calidad molinera del arroz pulido”

GONZÁLEZ-ROMÁN, Maribel, ARANDA-BENÍTEZ, Antonio, VILLAVICENCIO-GÓMEZ, Laura y GARCÍA-HERNÁNDEZ, Edgar

“Elaboración de prototipo y fabricación de un colector solar funcional en aluminio”

SÁNCHEZ-OCAMPO, César, ANGUIANO-LIZAOLA, Jorge Ignacio, CABRERA-CORDOBA, Eduardo y TONG-DELGADO, Miriam Arlyn

