

Volumen 3, Número 9 — Octubre — Diciembre - 2019

ISSN 2523-6830

# Revista del Diseño Innovativo



## **ECORFAN-Taiwán**

### **Editor en Jefe**

CAMPOS - QUIROGA, Peter. PhD

### **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

### **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Revista del Diseño Innovativo**, Volumen 3, Número 9, de Octubre a Diciembre 2019, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: [www.ecorfan.org/taiwan](http://www.ecorfan.org/taiwan), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe: CAMPOS - QUIROGA, Peter. PhD. ISSN: 2523-6830. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2019.

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

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

# **Revista del Diseño Innovativo**

## **Definición del Research Journal**

### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas de diseño industrial, innovación tecnológica, sistema generador de electricidad, estrategias de control, Automatización de equipo, sistema de generación de energía, redes neuronales, empresa industrial y biogeneración de energía.

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriado en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

### **Alcances, Cobertura y Audiencia**

Revista del Diseño Innovativo es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de diseño industrial, innovación tecnológica, sistema generador de electricidad, estrategias de control, Automatización de equipo, sistema de generación de energía, redes neuronales, empresa industrial y biogeneración de energía con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias de Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Madrid

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD  
Universidad París XI

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

VEGA - PINEDA, Javier. PhD  
University of Texas

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD  
University of Alberta

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD  
Oak Ridge National Laboratory

LAGUNA, Manuel. PhD  
University of Colorado

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

## **Comité Arbitral**

RODRÍGUEZ - DÍAZ, Antonio. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD  
Universidad Internacional Iberoamericana

CUAYA - SIMBRO, German. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

INZUNZA - GONÁLEZ, Everardo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

AVILÉS - COYOLI, Katia Lorena. PhD  
Instituto Tecnológico de Pachuca

CASTRO - ENCISO, Salvador Fernando. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

CALDERÓN - PALOMARES, Luis Antonio. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

MARTINEZ - MENDEZ, Luis G. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

NAVARRO - ÁLVEREZ, Ernesto. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

AMARO - ORTEGA, Vidblain. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista del Diseño Innovativo emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra

## **Declaración de Autoría**

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

## **Detección de Plagio**

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

## **Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación**

### **Área del Conocimiento**

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de diseño industrial, innovación tecnológica, sistema generador de electricidad, estrategias de control, Automatización de equipo, sistema de generación de energía, redes neuronales, empresa industrial y biogeneración de energía y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

## Presentación del Contenido

En el primer artículo se presenta *Reconocimiento y segmentación de la mano con una cámara infrarroja* por LÓPEZ-DÍAZ, Roberto Enrique, NIETO-YÁÑEZ, Alma Delia, HERNÁNDEZ-BÁEZ, Irma Yazmín y VELASCO-CASTILLO, Miguel Ángel con adscripción Universidad Politécnica del Estado de Morelos como siguiente artículo está *Control Robusto Adaptable para Sistema no inercial: Acrobot sobre un carro* por TREJO-SOSA, Laura Elena & ALAZKI, Hussain con adscripción Universidad Autónoma del Carmen, como siguiente artículo está *Estudio teórico-experimental de la transferencia de calor en el tubo receptor de un colector solar de canal parabólico* por VALENCIA-VEGA, Gustavo A., MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés, ROMERO-DOMÍNGUEZ, Rosenberg J. y ALVARADO-JUÁREZ, Roberto con adscripción en Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, como siguiente artículo está *Diseño e implementación de una Interfaz de Control para la Integración de una Celda de Manufactura Flexible* por ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, RANGEL-ROMERO, Carlos y OCOTITLA-MUÑOZ, Alma Delia con adscripción Universidad Tecnológica de Puebla.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Reconocimiento y segmentación de la mano con una cámara infrarroja</b> LÓPEZ-DÍAZ, Roberto Enrique, NIETO-YÁÑEZ, Alma Delia, HERNÁNDEZ-BÁEZ, Irma Yazmín y VELASCO-CASTILLO, Miguel Ángel <i>Universidad Politécnica del Estado de Morelos</i>	1-7
<b>Control Robusto Adaptable para Sistema no inercial: Acrobot sobre un carro</b> TREJO-SOSA, Laura Elena & ALAZKI, Hussain <i>Universidad Autónoma del Carmen</i>	8-15
<b>Estudio teórico-experimental de la transferencia de calor en el tubo receptor de un colector solar de canal parabólico</b> VALENCIA-VEGA, Gustavo A., MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés, ROMERO-DOMÍNGUEZ, Rosenberg J. y ALVARADO-JUÁREZ, Roberto <i>Universidad Autónoma del Estado de Morelos</i> <i>Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz</i>	16-22
<b>Diseño e implementación de una Interfaz de Control para la Integración de una Celda de Manufactura Flexible</b> ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, RANGEL-ROMERO, Carlos y OCOTITLA-MUÑOZ, Alma Delia <i>Universidad Tecnológica de Puebla</i>	23-28



## Reconocimiento y segmentación de la mano con una cámara infrarroja

### Recognition and segmentation of the hand with an infrared camera

LÓPEZ-DÍAZ, Roberto Enrique †\*, NIETO-YÁÑEZ, Alma Delia, HERNÁNDEZ-BÁEZ, Irma Yazmín y VELASCO-CASTILLO, Miguel Ángel

*Universidad Politécnica del Estado de Morelos, Dirección de Ingeniería en Informática*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Roberto Enrique, López-Díaz / **ORC ID:** 0000-0003-1716-6704, **CVU CONACYT ID:** 212691

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Alma Delia, Nieto-Yañez / **ORC ID:** 0000-0001-8554-8152, **CVU CONACYT ID:** 212730

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Irma Yazmín, Hernández-Báez / **ORC ID:** 0000-0002-3078-9618, **CVU CONACYT ID:** 212658

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Miguel Ángel, Velasco-Castillo / **ORC ID:** 0000-0003-0787-1872, **CVU CONACYT ID:** 582790

**DOI:** 10.35429/JID.2019.9.3.1.7

Recibido 09 Octubre, 2019; Aceptado 03 de Diciembre, 2019

#### Resumen

En este artículo se presenta como a través de una cámara infrarroja se obtienen imágenes bajo diferentes condiciones de luz que permiten segmentar, clasificar y reconocer gestos realizados con una mano. La cámara infrarroja utilizada se construyó haciendo pequeñas modificaciones físicas a una cámara web convencional y agregando un filtro infrarrojo. Adicionalmente, se diseñaron estructuras de LEDs infrarrojos para la iluminación de la escena, logrando que pueda ser utilizada en diferentes condiciones de luz

**Lógica difusa, Vhdl, Temperatura**

#### Abstract

In this article we present how, through an infrared camera, images are obtained under different light conditions that allow us to segment, classify and recognize gestures made with one hand. The infrared camera used was built by making small physical modifications to a conventional webcam and adding an infrared filter. Additionally, infrared LED structures were designed for the lighting of the scene, making it possible to be used in different light conditions.

**Fuzzy logic, Vhdl, Temperature**

**Citación:** LÓPEZ-DÍAZ, Roberto Enrique, NIETO-YÁÑEZ, Alma Delia, HERNÁNDEZ-BÁEZ, Irma Yazmín y VELASCO-CASTILLO, Miguel Ángel. Reconocimiento y segmentación de la mano con una cámara infrarroja. Revista del Diseño Innovativo. 2019 3-9: 1-7

\* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: rlopezd@upemor.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Actualmente la Interacción Humano Computadora (HCI por sus siglas en inglés, Human Computer Interaction) es un concepto muy nombrado entre grandes empresas, pues se busca una relación más intuitiva entre el hombre y la computadora para aplicarla en diferentes dispositivos tecnológicos. Considerando la satisfacción del usuario final al reducir su esfuerzo para realizar tareas. Se han trabajado proyectos donde la comunicación se realiza mediante gestos corporales; Microsoft<sup>1</sup> es una de las empresas que hizo esto posible con uno de sus proyectos nombrado Kinect<sup>2</sup>, otro caso es el de Nintendo<sup>3</sup> con la consola Wii<sup>4</sup>. Es por eso que contribuyendo a la mejora de HCI y las nuevas tendencias de crear interacción con gestos corporales se plantea la búsqueda de interacción con el usuario donde se requiere identificar una mano utilizando luz infrarroja como herramienta clave.

La luz infrarroja brinda información que no se puede obtener de la luz visible. Todos los cuerpos tienden a emitir radiaciones infrarrojas; las cuales dependen directamente de la temperatura en que se encuentra el cuerpo y esta es una de las ventajas que se aprovechan dentro de los desarrollos de visión computacional ya que la captura de imagen proporciona imágenes nítidas, con una iluminación realmente llamativa que permite identificar claramente cuerpos en la escena. Una cámara infrarroja es un dispositivo que, a partir de las emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes luminosas visibles por el ojo humano y el hecho de que cualquier cuerpo con temperatura, emana cierta cantidad de radiación infrarroja hace que este tipo de toma infrarroja esté asociada a los disparos nocturnos o la posibilidad de ver en situaciones de mucha oscuridad (Benitez Restrepo, 2007).

En este proyecto se construye una cámara infrarroja a partir de pequeñas modificaciones a nivel de hardware de una cámara web convencional, logrando una imagen limpia, y mediante la segmentación de la escena se identifica la mano, llevando finalmente a un proceso de reconocimiento de gestos.

El aporte del presente trabajo se puede determinar como la obtención de un dispositivo que permita capturar imágenes con las características mencionadas anteriormente y con lo cual se abre la posibilidad de ser utilizado en proyectos que requieren capturar escenas con condiciones de desventaja de iluminación que favorezca la segmentación e identificación de elementos en ella.

## Trabajos relacionados

En esta sección se presenta parte de la revisión bibliográfica realizada para verificar el estado del arte respecto al reconocimiento de gestos.

Los autores en (Ghotkar, 2012) se propone el desarrollo de un sistema de reconocimiento de gestos para comunicarse a través de una interacción humano-computadora más natural. El objetivo principal es desarrollar un algoritmo de segmentación sólido y eficiente basándose en espacios de color y procesamiento morfológico necesario para la detección del color de piel, la eliminación del fondo de la imagen y con condiciones de iluminación variable. En el trabajo se usó la biblioteca OpenCV para realizar el seguimiento y un algoritmo de recorrido perimetral para la detección del contorno de la mano.

Para (García Cortés, 2014), la detección de gestos es una de las partes importantes en HCI por lo cual propone un trabajo en el que se haga la detección de gestos a través de pre-procesamiento de imágenes para disminuir el ruido además de usar máquinas de soporte vectorial (SVM por sus siglas en inglés) para la detección y extracción de la región donde se encuentran las manos utilizando características evidentes con un enfoque basado en apariencia.

También se hace uso de un clasificador AdaBoost para la detección de los objetos de interés. Como se conclusión se menciona que las características del ambiente no restrictivo influyen en el desempeño del sistema.

En (S. E. Ghobadi, 2007) se describe una técnica de segmentación robusta y rápida, usando la fusión de imágenes 2D y 3D con el objetivo de reconocimiento de gestos.

<sup>1</sup> <https://www.microsoft.com/es-mx>

<sup>2</sup> <http://www.xbox.com/es-MX/Kinect>

<sup>3</sup> <https://www.nintendo.es/>

<sup>4</sup> <https://www.nintendo.es/Wii/Wii-94559.html>

Esta técnica de segmentación se basa en la combinación de dos enfoques de clustering no supervisado como son K-medias y Maximización de la expectativa. Los resultados experimentales mostraron que esta técnica logra segmentar correctamente la mano del cuerpo, la cara, el brazo de una persona y de otros elementos encontrados en la imagen la cual fue tomada con condiciones de iluminación variables en tiempo real.

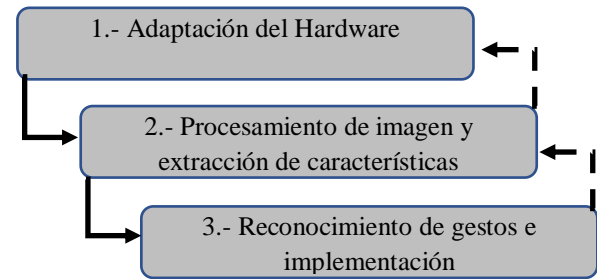
En (Tanibata, 2002) se propone un método de obtención de características de la mano a partir de secuencias de imágenes, específicamente cuando una persona realiza las señas del lenguaje de signos japonesa para reconocer las palabras de dicho lenguaje en un fondo complejo.

Para el reconocimiento se usa la técnica de modelos ocultos de Markov (HMM por sus siglas en inglés) utilizando seis rasgos de la cara y manos. Los resultados presentados indican que se cumple el objetivo de hacer el seguimiento de la cara y las manos.

Por otro lado, en (Byungkyu K., 2013) se presenta un método de predicción de las poses de una mano articulada en tiempo real con una cámara de profundidad (Kinect, Xtion Pro) con el propósito de realizar la interacción en un ambiente de realidad mixta y para realizar el estudio de efectos de modelos de manos articuladas reales y virtuales en un simulador. Para realizar el reconocimiento se usaron bosques de decisión aleatorios, que demostraron tener mejores resultados en aplicaciones de tiempo real evitando los errores típicos en el uso de estas tecnologías, además de mostrar bajo consumo de recursos computacionales y alta precisión.

### Metodología de desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto se decidió adaptar la metodología cascada mejorada empleada en el desarrollo de software (Cabrera, 2009) debido a que esta metodología establece las etapas del ciclo de vida del software, de tal forma que el inicio de cada etapa debe esperar a la finalización de la anterior, sin embargo, permite el mejoramiento de etapas anteriores, si es necesario. En Figura 2, se muestra el esquema de la metodología que incluye tres etapas.

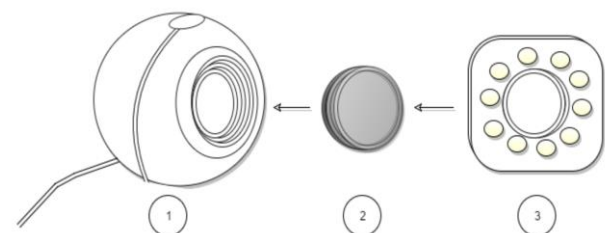


**Figura 1** Esquema de metodología propuesta  
Fuente: Elaboración Propia

La primera etapa nombrada “Adaptación del hardware” se refiere a todas las actividades para obtener la cámara con las modificaciones necesarias, así como la mejor alternativa para la captura de la imagen deseada para continuar con el proceso. En la segunda etapa “Procesamiento de imagen y extracción de características” se definen aspectos importantes para las características a comparar, así como la estructura de la biblioteca a construir. En la tercera etapa “Reconocimiento de gestos e Implementación” que se refiere a cómo se logra el entrenamiento para llegar a la detección de gestos y a implementar la biblioteca en una aplicación.

### Adaptación del hardware

En esta sección se presenta la estructura del hardware y las modificaciones realizadas al mismo para obtener una cámara infrarroja con las características necesarias para el proyecto. En la Figura 2 se presenta un esquema de la cámara y las adiciones necesarias para convertirla en cámara infrarroja.



**Figura 2** Esquema de cámara y adiciones  
Fuente: Elaboración Propia

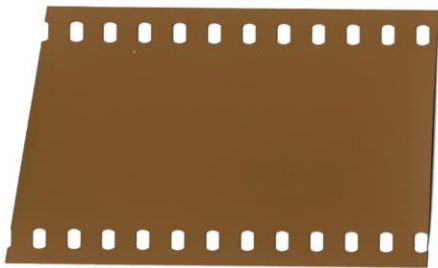
Primeramente se modifica la cámara web (Número 1 en la imagen) modelo COM-105 con sensor CMOS de 480 pixeles, de tal manera que se elimine el filtro ICR siguiendo el procedimiento explicado en (Instructables, 2008) (wikiHow, 2016). Posteriormente, con el objetivo de realizar una iluminación adecuada de la escena que se evaluaría durante las pruebas, es necesario construir un arreglo de LEDs (Número 3 de la imagen).

En una segunda fase, esta estructura se construye usando un arreglo de 10 LEDs modelo TN130BF cuyo mayor ángulo de amplitud de iluminación permiten iluminar los objetos a segmentar de más forma más completa a diferencia de otros modelos de diodos. En la Figura 3 se presenta la estructura terminada.



**Figura 3** Estructura con arreglo de LEDs terminada  
Fuente: *Elaboración Propia*

Finalmente, se utiliza algún material que permita el filtrado de la luz infrarroja para determinar los elementos presentes en la imagen (Número 2 de la imagen). Los materiales usados fueron seleccionados considerando la longitud de onda captada por cada uno de los materiales, realizando pruebas experimentales para determinar aquel que ofreciera la captura adecuada de la mano y los gestos realizados. Al finalizar dichas pruebas, se seleccionó como material el negativo de una película fotográfica en rollo (Figura 4) el cual permite observar elementos con una longitud de onda entre 800nm y 1000 nm.



**Figura 4** Tira de negativo de película fotográfica

### Procesamiento de la imagen y extracción de características

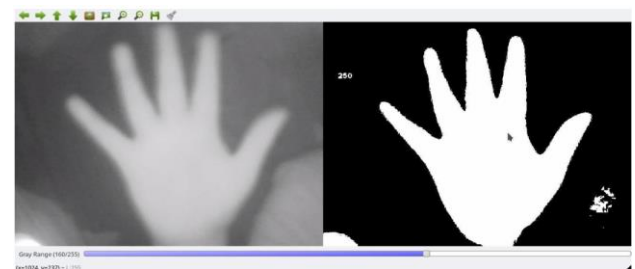
Una vez que se terminan las modificaciones a la cámara, debía comprobarse que las imágenes que se capturan contienen información útil para el reconocimiento de gestos efectuados con una mano. Para realizar la comprobación, se construyó una biblioteca de funciones basadas en lenguaje C++ y la biblioteca OpenCV (OpenCV, 2015).

El primer paso a realizar es la segmentación de una mano en primer plano del resto o fondo de la imagen capturada. La forma seleccionada para realizar esta segmentación se basa en la segmentación por umbral en donde basándose en valores que se establecen por una persona, una imagen en colores obtenida por la cámara construida mediante una máscara que verifica pixel a pixel, si el valor numérico de cada uno de estos pixeles se encuentra en el rango que define una mano y en caso contrario, se determina que ese pixel no pertenece a la mano. En la figura 5 se presenta el proceso para el establecimiento del umbral para un canal de color encontrado en las imágenes.



**Figura 5** Asignación de umbral para el canal con el color rojo y segmentado con esa información  
Fuente: *Elaboración Propia*

Debido a que una de las características de las imágenes capturadas mediante una cámara infrarroja es que dicho tipo de luz es reflejado por los objetos, se analizó el uso de dicho canal para que un programa transformara la información en él, en otra imagen a escala de grises con el objetivo de apoyar a una mejor segmentación de la mano en la imagen. Esta transformación ofreció una mejora en la segmentación, razón por la cual se seleccionó continuar usando la escala de grises. En la imagen 6 se puede observar la imagen resultante de dicho proceso.



**Figura 6** Asignación de umbral para escala de grises y segmentado con dicha información

Ya que la mano se ha segmentado, se deben extraer las características que la definen. Dichas características se obtendrán del análisis del contorno de la mano y de la ubicación del centroide de la misma.

El contorno de la mano se obtiene como una secuencia de puntos utilizando el algoritmo desarrollado por Satoshi en 1985 (Satoshi Suzuki, 1985) y que se encuentra implementado en la biblioteca OpenCV. Una vez obtenido, se debe encontrar la envoltura convexa (polígono mayor que envuelve una figura en la imagen) y sus defectos (puntos profundos entre la envoltura convexa). Esto permite determinar el espacio ocupado por la mano y ubicar la punta de los dedos como puede observarse en la Figura 7. En la figura se pueden observar el inicio y el fin de un defecto los cuales corresponden a la unión del espacio entre los dedos de la mano y la punta de los mismos.

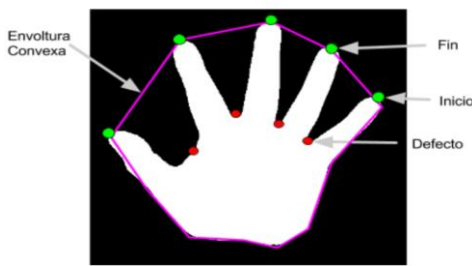


Figura 7 Ubicación y descripción de envoltura convexa y sus defectos

Posterior a la ubicación del polígono mayor, que corresponde a la mano con los dedos incluidos, se determina el centroide de la mano utilizando el polígono detectado (Figura 8).



Figura 8 Ubicación del centroide de la mano

Con lo anterior, se determina que las características a utilizar para identificar los gestos estarían definidos por un defecto y el centroide de la forma definida en la tabla 1.

Característica en la imagen	Característica extraída a partir de la imagen
Defecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distancia de inicio a fin</li> <li>- Distancia de inicio al punto más profundo</li> <li>- Distancia del fin al punto más profundo</li> </ul>
Centroide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distancia de inicio al centroide</li> <li>- Distancia de final al centroide</li> </ul>

Tabla 1 Descripción de características extraídas Fuente Elaboración Propia

Con lo anterior se establece que se usan 20 características para representar una mano extendida a los que se agrega el ancho y la altura de la mano para hacer un total de 22 características a analizar (Figura 9).

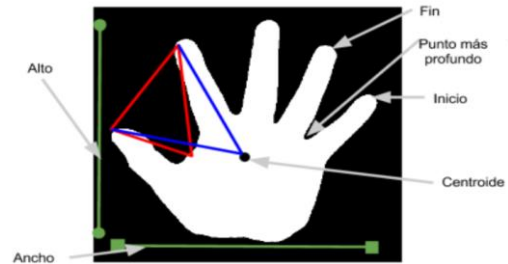


Figura 9 Descripción de características extraídas Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Para comprobar el funcionamiento de identificación de la mano, se desarrollaron funciones para clasificar las características extraídas de las imágenes. Esto se logró usando la técnica de máquinas de soporte vectorial (SVM por sus siglas en inglés) (Morales España, 2005) la cuál aprende a clasificar datos en dos clases distintas. Una implementación de SVM está incluida en la biblioteca OpenCV con lo cual fue posible utilizarla.

Para realizar el entrenamiento de las máquinas, se ejecutó la extracción de características de diversas tomas realizadas con la librería desarrollada y etiquetando cada toma de gesto como cinco dedos y cuatro dedos. Ejemplos de las características se presentan en las figuras 10 y 11.

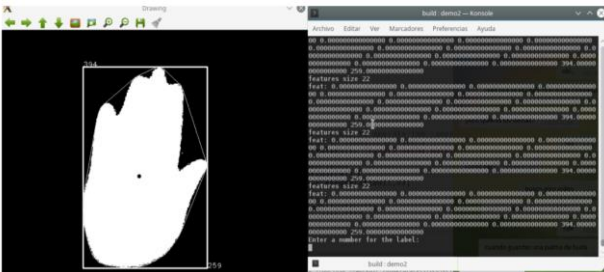
Para cada gesto de dedos extendidos, se usaron 55 muestras con las cuales se entrenó a las máquinas para posteriormente hacer la comprobación con imágenes capturadas directamente de la cámara encendida. Cada gesto se comprueba por separado con otro gesto en donde los dedos no se encuentran separados como se observa en la figura 12.



Figura 10 Identificación de mano con cinco dedos extendidos y características extraídas



**Figura 11** Identificación de mano con cuatro dedos extendidos y características extraídas



**Figura 12** Identificación de mano con cero dedos extendidos y características extraídas

Fuente: *Elaboración Propia*

Los resultados obtenidos permitieron observar que el desarrollo realizado identifica de mejor manera el gesto de cinco dedos contra el gesto sin dedos extendidos que el gesto de cuatro dedos contra el de sin dedos extendidos.

### Conclusiones y trabajos futuros

Con el desarrollo del proyecto se puede concluir que tanto la cámara construida como la librería implementada pueden apoyar en la detección y reconocimiento de los gestos de una mano.

Es de resaltar que las tecnologías desarrolladas son relativamente de bajo costo lo que podría ser parte de consideración al momento de compararse con algunos de los trabajos realizados previamente y analizados en la sección de trabajos relacionados.

No obstante, los resultados obtenidos abren la posibilidad de mejorar las tecnologías desarrolladas después de hacer una revisión de los aspectos negativos que se encontraron.

Uno de ellos por ejemplo es la afectación de la identificación de los gestos debido a la distancia entre la cámara y la mano que hace los gestos, ya que al entrenar a las máquinas de soporte vectorial con una característica como la altura y la anchura, las muestras usadas en entrenamiento pueden no haber sido suficientes para evitar ser susceptible a errores por dicha distancia.

Adicionalmente, en cuanto al hardware modificado, se plantea el cambio en el tipo de diodos utilizados por otro con un ángulo de amplitud mayor para abarcar mayor espacio visible o también cambiar el material usado para filtrado de luz infrarroja de manera que se ajusten a los valores usados por los LEDs.

Por último, se puede buscar modificar la librería desarrollada para evitar que se considere una parte del brazo como parte de la mano lo cual también pudo ser razón por la que se tuvieron algunos problemas en la identificación del tamaño de la mano.

### Referencias

Cabrera, A. S. (2009). Procesos de Ingeniería del Software. Universidad Técnica Particular de Loja.

Benitez Restrepo, H. D. (2007). Procesamiento de imágenes infrarrojas para la detección de defectos en materiales. *Revista Tecnura*, 40-51.

Byungkyu K., R. M. (2013). Real time hand pose recognition with depth sensors for mixed reality interfaces. 2013 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), 171-172.

García Cortés, D. C. (2014). Reconocimiento de gestos de manos como mecanismo de interacción humano-computadora, Trabajo de Grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial.

Ghotkar, A. K. (2012). Hand Segmentation Techniques to Hand Gesture Recognition for Natural Human Computer Interaction. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 3, 15-25.

Instructables. (2008). Infrared (IR) Webcam. Obtenido de Instructables: <https://www.instructables.com/id/Infrared-IR-Webcam/>

Morales España, G. y. (2005). Estudio e implementación de una herramienta basada en máquinas de soporte vectorial aplicada a la localización de fallas en sistemas de distribución. Trabajo de Grado. Bucaramanga: Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander.

OpenCV. (18 de Diciembre de 2015). OpenCV Modules. Obtenido de OpenCV Open Source Computer Vision: <https://docs.opencv.org/3.1.0/index.html>

S. E. Ghobadi, O. E. (2007). Hand Segmentation using 2D/3D Images. Proceedings of Image and Vision Computing New Zealand, 64-69.

Satoshi Suzuki, K. b. (1985). Topological structural analysis of digitized binary images by border following. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Volume 30, Issue 1, 32-46.

Tanibata, N. S. (2002). Extraction of Hand Features for Recognition of Sign Language Words. Osaka: Osaka University, Computer-Controlled Mechanical Systems, Graduate School of Engineering.

wikiHow. (2016). Cómo convertir una cámara web en una cámara infrarroja. Obtenido de wikiHow: <https://es.wikihow.com/convertir-una-c%C3%A1mara-web-en-una-c%C3%A1mara-infrarroja>

**Control Robusto Adaptable para Sistema no inercial: Acrobot sobre un carro****Robust Adaptive Control for System non-inertial: Acrobot on a cart**

TREJO-SOSA, Laura Elena†\* &amp; ALAZKI, Hussain

*Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ingeniería y tecnología*ID 1<sup>er</sup> Autor: *Laura Elena, Trejo-Sosa* / **ORC ID:** ORC ID - 0000-0002-3114-5216, **Researcher ID Thomson:** AAA-1616-2019, **CVU CONACYT ID:**, 850475ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Hussain, Alazki* / **ORC ID:** 0000-0002-1960-3624, **Researcher ID Thomson:** M-1706-2017**DOI:** 10.35429/JID.2019.9.3.8.15

Recibido 09 Octubre, 2019; Aceptado 03 de Diciembre, 2019

**Resumen**

En este trabajo se muestra el modelo matemático del sistema no lineal de un péndulo tipo Acrobot sobre un carro, el cual consiste en un brazo planar de dos uniones de revoluta, con un actuador en el codo, pero sin actuador en el hombro, mediante el método de Euler-Lagrange. Además, se propone una estrategia de control robusto para lograr la estabilización del péndulo Acrobot sobre un carro en su posición invertida en un marco de referencia no inercial, en donde este efecto incluye reacción de fuerzas y movimientos relativos que pueden potencialmente alterar el comportamiento del sistema. El algoritmo propuesto es el control adaptable por modos deslizantes (ASMC), el cual altera la dinámica de un sistema no lineal mediante la aplicación de una señal de control discontinua que obliga al sistema a “deslizarse” hasta alcanzar el punto de estabilidad deseado, cuya principal ventaja es el rechazo de incertidumbres, y efectos no inerciales. Para su implementación se cuenta con una simulación numérica en la plataforma de Simulink

**Sistemas no lineales, Acrobot, Modos deslizantes****Abstract**

This work shows the mathematical modeling of the non-linear system of an Acrobot on a car, which consist in a planar rotational mechanism with two joints of revolute, with an actuator in the elbow, but without actuator in the shoulder through the classical Euler-Lagrange method. In addition, a robust control strategies is proposed to achieve the attitude stabilization of the inverted position of Acrobot on a car in a non-inertial physical framework, these include reactions forces and relative motions which can potentially alter the performance of the system. The algorithm proposed is the Adaptive Sliding Modes Control (ASMC), which alters the dynamic of a non-linear system applying a discontinuous control signal that forces the system to “slide” until reaching the desired stability point, whose the main advantage is reject modeling uncertainties and non-linear effects, which result from the accelerated framework of reference to which Acrobot on a car. Implementing a scheme by numerical simulations in the platform Simulink.

**Non-inertial Systems, Acrobot, Sliding Mode**


---

**Citación:** TREJO-SOSA, Laura Elena & ALAZKI, Hussain. Control Robusto Adaptable para Sistema no inercial: Acrobot sobre un carro. *Revista del Diseño Innovativo*. 2019 3-9: 8-15

---

\* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: [laura\\_lets@hotmail.com](mailto:laura_lets@hotmail.com))

† Investigador contribuyendo como primer autor.



## Introducción

El Péndulo invertido sobre un carro es un ejemplo clásico no lineal de un sistema subactuado [10], cuya respuesta física puede ser acoplada a un marco de referencia inercial o no inercial. En el caso de ser no inercial [21], esto significa que una vez que el sistema sea modelado, y se diseñe una estrategia de control, deben incluirse las fuerzas de reacción y movimientos relativos debido al marco referencial acelerado, los cuales alteran el comportamiento del sistema en general, caso contrario al marco de referencia inercial. En el caso de los péndulos, pueden ser analizados y estudiados desde un marco de referencia no inercial ([7],[8], [20]), con un componente móvil (carro o eslabón) tomado como un marco referencial acelerado (no inercial) o marco de referencia inercial (es decir, sin aceleración).

Los péndulos son sistemas ampliamente estudiados tanto en aplicaciones del área de robótica, como por ejemplo cuando se necesita simular un brazo planar como en [2], así como en teoría de control debido a su respuesta inestable, por lo que pueden presentar diferentes configuraciones agregando complejidad al sistema, tal el caso de: el péndulo simple, el péndulo rotatorio, el péndulo Foucault, péndulo de Furuta, péndulo sobre un carro y los péndulos dobles.

En [13] sistema Cart-Pole está constituido por un péndulo simple invertido que rota libremente mientras es colocado sobre un carrito actuado. Por otra parte, el péndulo doble sobre un carro [15] consiste en dos eslabones no actuados, unidos a una plataforma móvil, sin embargo, existen variaciones de este tipo de péndulo doble, tales como el Pendubot [(2),(19)] y el Acrobot, cuya diferencia radica en la ubicación del torque, ya que el Pendubot, asemeja el brazo de una persona, por lo que la entrada de control se localiza en su primera unión u hombro, mientras que el segundo eslabón o codo rota libremente, caso contrario con el Acrobot, el cual es similar al comportamiento de un gimnasta de barras paralelas, dado que el torque está localizado en el segundo eslabón o cadera, mientras que el primer eslabón rota de forma libre [9]. Para este trabajo, se considera un marco de referencia no inercial aplicado al Acrobot sobre un carro, en el cual se incluirán tanto las fuerzas de reacción como los movimientos relativos que genera el carro al péndulo.

En algunos casos, en el estudio de los péndulos, se contempla en un marco referencial no inercial, presentan reacciones que pueden causar inestabilidad incluso al algoritmo de control, por lo que una alternativa para lidiar con dinámicas indeseadas es contemplar en el modelado perturbaciones, incertidumbres y efectos no lineales. Los métodos de control pueden ser enfocados tanto en la tarea de postura como en la de balance, tal el caso del control robusto, quien puede llegar a rechazar dinámicas y perturbaciones desconocidas de un sistema, ejemplo de ello es el Control por Modos Deslizantes (SMC: Sliding Mode Control) que es una estrategia de control para sistemas no lineales ([18],[22]), sin embargo la principal desventaja del SMC es el fenómeno llamado chattering ([5],[6]), aunque existen métodos para controlarlo, tal el caso de [18] o el uso de un controlador de orden superior por Modos deslizantes ([12],[14]). Un ejemplo para el control de postura y estabilización es [14], en donde una estrategia SMC se aplica a un sistema Cart-Pole, el cual rechaza perturbaciones agregadas y reduce el chattering.

El diseño de un controlador robusto basado en el algoritmo de Super-Twisting para un Acrobot en [3] es utilizado para la estabilización de la postura y el rechazo de efectos no deseados en un marco referencial no inercial. Otra variante del SMC es del Control Adaptable por Modos deslizantes (ASMC: Adaptive Sliding Mode Control), el cual contempla dos metodologías desarrolladas en [11], para ambos casos se cuenta con una ganancia ajustable de manera dinámica [11], es decir, adaptable ([16],[17]), lo cual permite rechazar incertidumbres o perturbaciones acotadas sin su conocimiento, implicando así el mejoramiento de las características dinámicas cuando las propiedades de la planta o el entorno estén variando.

En este trabajo, la estrategia de control ASMC asegura la estabilización de la posición invertida del Acrobot sobre un carro en un marco de referencia no inercial, incluyendo fuerzas de reacción y movimientos relativos que pueden alterar el comportamiento del péndulo. El control será comparado con un PID y finalmente los resultados obtenidos mostrarán la robustez del control estudiado para rechazar los efectos no deseados, frente al control clásico PID.

## Modelo Matemático Del Acrobot Sobre Un Carro.

El Acrobot es un mecanismo subactuado de dos grados de libertad con un torque aplicado en la unión de los dos eslabones [9]. De esta forma y considerando el modelo del Acrobot como un modelo humano, es posible simular un movimiento, y presentar su dinámica. El Acrobot sobre un carro es presentado en la Figura 1, donde una aceleración constante  $\bar{w}$  es tomada en cuenta, debido a que la dinámica del Acrobot es afectada por el movimiento del carro, lo cual significa que el sistema se encuentra bajo un marco de referencia no inercial.

La función Lagrangiana, obtenida por la ya conocida ecuación de Euler-Lagrange, puede ser calculada mediante en la cual  $Q_i$  representa el vector de fuerzas generalizadas.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = Q_i, \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

Los parámetros del Acrobot sobre un carro son:

$\bar{w}$  = Aceleración horizontal del carro.

$x$  = Desplazamiento horizontal del carro.

$q_1$  = Ángulo entre el eslabón 1 y la horizontal.

$q_2$  = Ángulo entre el eslabón 2 y el eslabón 1.

$\tau$  = Torque de entrada.

$g$  = Aceleración gravitacional.

$m_1, m_2$  = Masas de los eslabones 1 y 2.

$L_1, L_2$  = Longitudes de los eslabones 1 y 2.

$l_{c1}, l_{c2}$  = Distancia del eje del centro de masa de los eslabones 1 y 2.

$I_{1,zz}, I_{2,zz}$  = Momentos de inercia de los eslabones 1 y 2.

Por lo que, sean:

$$\begin{aligned} m_{11}\ddot{q}_1 + m_{12}\ddot{q}_2 - \phi\dot{q}_2^2 - 2\phi\dot{q}_1\dot{q}_2 + \dots \\ + (h_1 + h_2)g = \delta_1 \quad (2) \\ m_{21}\ddot{q}_1 + m_{22}\ddot{q}_2 + \phi\dot{q}_1^2 + h_2g = \tau + \delta_2 \end{aligned}$$

Las ecuaciones dinámicas del sistema, la matriz del Acrobot sobre un carro [3] es descrita:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = Q \quad (3)$$

Donde  $q \in \mathbb{R}^2$  representa el vector de coordenadas generalizadas. La matriz de inercia se describe como:

$$M(q) = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Con los coeficientes

$$\begin{aligned} M_{11} &= m_2 L_1^2 + m_1 l_{c1}^2 + m_2 l_{c2}^2 + I_{1,zz} + I_{2,zz} + \dots \\ &+ 2m_2 L_1 l_{c2} \cos(q_2) \\ M_{12} &= M_{21} = m_2 l_{c2}^2 + I_{2,zz} + m_2 L_1 l_{c2} \cos(q_2) \\ M_{22} &= m_2 l_{c2}^2 + I_{2,zz} \end{aligned}$$

La matriz de Coriolis y la matriz de fuerzas centrífugas:

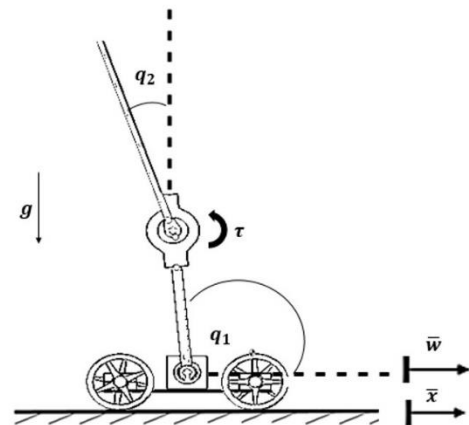
$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} -2\phi\dot{q}_2 & -\phi\dot{q}_2 \\ \phi\dot{q}_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Donde  $\phi = m_2 L_1 l_{c2} \sin(q_2)$ . El vector de gravedad está dado por:

$$G(q) = [(h_1 + h_2) \quad h_2 g]^T \quad (6)$$

Tomando en cuenta que:

$$\begin{aligned} h_1 &= (m_1 l_{c1} + m_2 L_1) \cos(q_1) \\ h_2 &= m_2 l_{c2} \cos(q_1 + q_2) \end{aligned} \quad (7)$$



**Figura 1** Péndulo Acrobot sobre un carro en un marco de referencia no inercial

Fuente: Elaboración Propia

El vector de fuerzas generalizadas es presentado de la siguiente forma:

$$Q = [\delta_1 \quad \tau + \delta_2]^T \quad (8)$$

Donde  $\tau \in \mathbb{R}$  es el torque de entrada, y  $\delta_1, \delta_2 \in \mathbb{R}$  son los efectos inducidos no lineales por el movimiento del carro:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= [(m_1 l_{c1} + m_2 L_1) \sin(q_1) + m_2 l_{c2} \sin(q_1 + q_2)] \bar{w} \\ \delta_2 &= [m_2 l_{c2} \sin(q_1 + q_2)] \bar{w} \end{aligned}$$

Además, el Acrobot sobre un carro puede ser representado mediante Espacio del estado. Dado que

$$\det(M) = M_{11}M_{22} - M_{12}^2 > 0 \quad (9)$$

El Acrobot en [18] es reorganizado y multiplicado por la matriz de inercia  $M^{-1}(q)$ , resultado

$$\ddot{q} = M^{-1}[Q - C(q, \dot{q})\dot{q} - G(q)] = \begin{bmatrix} \delta_1 + \mu_1 \\ \tau + \delta_2 + \mu_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Ahora, los términos son:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= -\phi\dot{q}_2^2 - 2\phi\dot{q}_1\dot{q}_2 + (h_1 + h_2)g \\ \mu_2 &= \phi_1\dot{q}_1^2 + h_2g \end{aligned} \quad (11)$$

La matriz inversa  $M^{-1}$  es:

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} \bar{M}_{11} & \bar{M}_{12} \\ \bar{M}_{12} & \bar{M}_{22} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Con los componentes,

$$\begin{aligned} \bar{M}_{11} &= \frac{M_{22}}{M_{11}M_{22} - M_{12}^2} \\ \bar{M}_{12} = \bar{M}_{21} &= \frac{-M_{12}}{M_{11}M_{22} - M_{12}^2} \\ \bar{M}_{22} &= \frac{M_{11}}{M_{11}M_{22} - M_{12}^2} \end{aligned}$$

Las ecuaciones para las aceleraciones son dadas por:

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 &= \bar{M}_{11}(\delta_1 + \mu_1) + \bar{M}_{12}(\delta_2 + \mu_2) \\ \ddot{q}_2 &= \bar{M}_{12}(\delta_1 + \mu_1) + \bar{M}_{22}(\delta_2 + \mu_2) \end{aligned} \quad (13)$$

La ecuación (13) puede ser reducida sustituyendo:

$$\begin{aligned} f_1(t, q(t)) &= \bar{M}_{11}(\delta_1 + \mu_1) + \bar{M}_{12}(\delta_2 + \mu_2) \\ f_2(t, q(t)) &= \bar{M}_{12}(\delta_1 + \mu_1) + \bar{M}_{22}(\delta_2 + \mu_2) \end{aligned} \quad (14)$$

Los términos representan los efectos no deseados actuando en el sistema. Los efectos no inerciales  $\delta_1, \delta_2$  inducidos por el carro son incluidos como parte de  $f_1, f_2$ . Con  $\tau := u(t)$ ,

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 &= f_1(t, q) + \bar{M}_{12}u(t) \\ \ddot{q}_2 &= f_2(t, q) + \bar{M}_{22}u(t) \end{aligned} \quad (15)$$

El Espacio del Estado es definido de la siguiente manera:

$$x := [q_1, q_2, \dot{q}_1, \dot{q}_2]^T = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T \quad (16)$$

Así, la dinámica del Péndulo, en la representación de Espacio del Estado es:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ f_1(t, x(t)) + \bar{M}_{12}u(t) \\ f_2(t, x(t)) + \bar{M}_{22}u(t) \end{bmatrix} \quad (17)$$

### A. Diseño del Controlador Adaptable

El propósito del control para el Acrobot en un marco referencial no inercial está basado en el Control Adaptable por Modos deslizantes, asegurando un ajuste adecuado de la magnitud de la discontinuidad del control como en [11], dentro de la “fase de alcance”, esto es, cuando las trayectorias están fuera de la superficie de deslizamiento.

La estrategia de control consiste en estabilizar la posición de los estados del Acrobot en su forma invertida mientras rechaza los efectos inducidos no deseados con el movimiento del carro, lo cual se logra con la ganancia dinámica de la parte adaptable. Algunas aproximaciones del control robusto para el sistema péndulo invertido son diseñados como un control de switchado, con una parte que provee el impulso para elevar el péndulo a la posición invertida y otra parte que controla el balanceo, sin embargo, para este trabajo no se toma en cuenta la fase de impulso, ya que serán fijadas las condiciones iniciales indicando la postura de arranque, en donde los eslabones 1 y 2 tendrán la posición invertida:

$$\begin{aligned} x(0) &= (x_1(0), x_2(0), x_3(0), x_4(0)) \\ x(0) &= \left(\frac{\pi}{2}, 0, 0, 0\right) \end{aligned} \quad (18)$$

Para diseñar el ASMC es necesario definir la variable de deslizamiento. Como en [19], esta variable tomará en cuenta los estados correspondientes a la posición y velocidad del péndulo. Esta variable de deslizamiento, en particular, es elegida para que el sistema tenga una respuesta de orden reducido cuando se obligue a esto [17]. La variable de deslizamiento se define como:

$$\begin{aligned} s &:= c_1x_1 + c_2x_2 + x_3 + x_4, \\ c_1, c_2 &> 0 \end{aligned} \quad (19)$$

La cual toma en cuenta a todos los estados del Acrobot. Por otra parte, la variable dinámica de deslizamiento es:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= f_1(x, t) + f_2(x, t) + c_1x_3 + \dots \\ &+ c_2x_4 + (\bar{M}_{12} + \bar{M}_{22})u(t) \\ \dot{s} &= \varphi(x, t) + c_1x_3 + c_2x_4 + \bar{M}\tau \end{aligned} \quad (20)$$

Donde  $\bar{M} = \bar{M}_{12} + \bar{M}_{22}$ , y los efectos no deseados  $f_1(x, t) + f_2(x, t)$  se agrupan

$$\varphi(x, t) := f_1(x, t) + f_2(x, t) \quad (21)$$

El control  $\tau(t)$  debe conducir a la variable deslizante (19) a la estabilidad en tiempo finito, y esto puede ser obtenido con el ASMC considerando:

$$\tau(t) = -\frac{1}{\bar{m}}(u + c_3x_3 + c_4x_4), \quad c_3, c_4 > 0 \quad (22)$$

$$u(s, t) = -K(t) \left( 1 + \lambda \sqrt{||x||^2 + \epsilon} \right) \text{sign}(s(x)) \quad (23)$$

Donde la ganancia  $K(t)$  puede variar en un rango de  $[\eta, k^+]$ ,  $\eta > 0$  es un mínimo valor de  $K$ ,  $\lambda \geq 0, \epsilon > 0$ . El parámetro  $\epsilon$  es introducido para obtener solo valores positivos para  $K$ . De modo que el controlador es descrito como:

$$\begin{aligned} \tau(t) &= -\frac{1}{\bar{m}}(K(t) \left( 1 + \lambda \sqrt{||x||^2 + \epsilon} \right) * \dots \\ &* \text{sign}(s) + c_3x_3 + c_4x_4 \end{aligned} \quad (24)$$

**Simulación de Resultados**

De forma que se muestre el comportamiento del método propuesto en este trabajo, se realizaron simulaciones numéricas para el Péndulo Acrobot. Este control fue probado en el Acrobot sobre un carro con el ASMC usando los parámetros físicos en la simulación mostrados en la Tabla 1, además, un control PID fue comparado en él, de la forma:

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \quad (25)$$

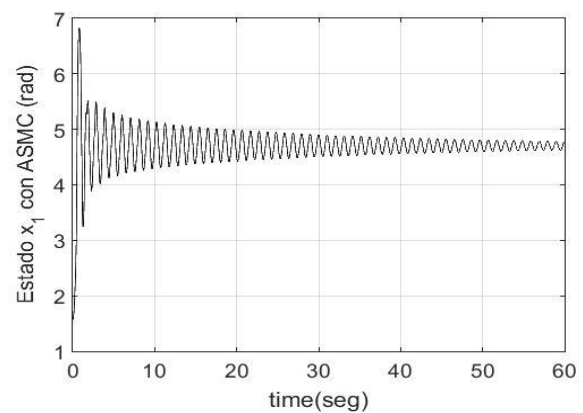
Notación	Valor numérico	Notación	Valor numérico
$m_1$	0.265kg	$l_{c1}$	0.103m
$m_2$		$l_{c2}$	
$L_1$	0.206m	$I_{1,zz}$	$2.3428 \times 10^{-4}$
$L_2$		$I_{2,zz}$	$kgm^2$
$c_1$	1	$c_2$	3
$\eta$	0.001	$\bar{w}$	$0.5m/s^2$
$k^+$	3	$g$	$9.81m/s^2$
$\lambda$	3.2	$\epsilon$	0.003
$P$	-0.0115	$c_3, c_4$	1
$I$	-0.0017	$D$	-0.0183

**Tabla 1** Parámetros para la simulación del Péndulo Acrobot sobre un carro del control ASMC y el PID

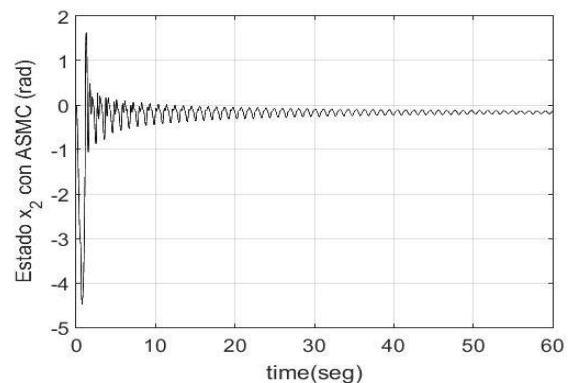
Las condiciones iniciales, en ambos casos, son elegidas en el punto de equilibrio inestable, es decir, posición invertida

$$\begin{aligned} x(0) &= (x_1(0), x_2(0), x_3(0), x_4(0)) \\ x(0) &= \left( \frac{\pi}{2}, 0, 0 \right) \end{aligned} \quad (1)$$

El ASMC estabiliza los estados  $x_1$ , correspondiente al primer eslabón y  $x_2$ , que corresponde al segundo eslabón, en las posiciones deseadas, de modo que en las Figuras 2 y 3, respectivamente, se presentan sus comportamientos.

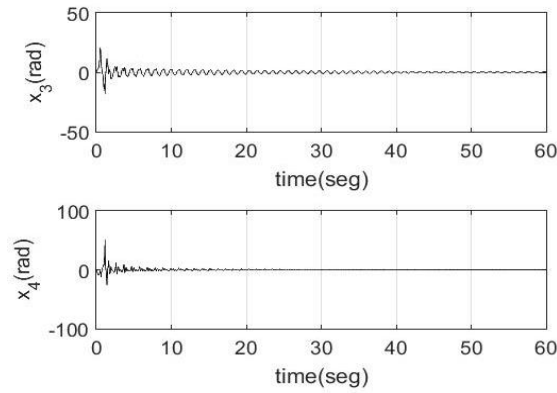


**Figura 2** Respuesta del estado  $x_1$  con ASMC del Péndulo Acrobot sobre un carro  
Fuente: Elaboración Propia



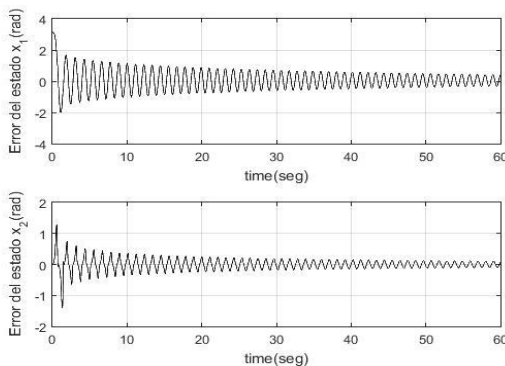
**Figura 3** Respuesta del estado  $x_2$  con ASMC del Péndulo Acrobot sobre un carro  
Fuente: Elaboración Propia

Ambos estados cumplen con las condiciones iniciales. Respecto al estado  $x_1$  se aprecia que estabiliza muy cerca de 4.7124 radianes o  $\frac{3\pi}{2}$ , lo cual significa que el primer eslabón da algunas vueltas antes de alcanzar el punto deseado y el estado  $x_2$  se encuentra cerca de los 0 radianes, lo que físicamente representa varios movimientos previos a la posición invertida, mientras que los estados correspondientes a la velocidad angular  $x_3$  y  $x_4$  presentan en la Figura 4.



**Figura 4** Respuesta de los estados  $x_3$  y  $x_4$  con ASMC del Péndulo Acrobot sobre un carro  
Fuente: Elaboración Propia

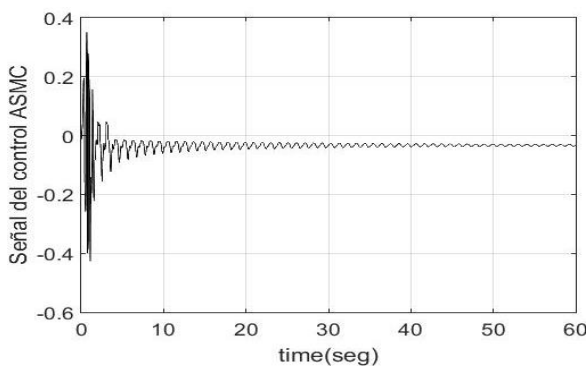
El error a la respuesta del estado  $x_1$ , es decir, el correspondiente a la posición angular del eslabón 1, se presenta en la Figura 5,



**Figura 5** Respuesta del error de los estados  $x_1$  y  $x_2$  con ASMC del Péndulo Acrobot sobre un carro  
Fuente: Elaboración Propia

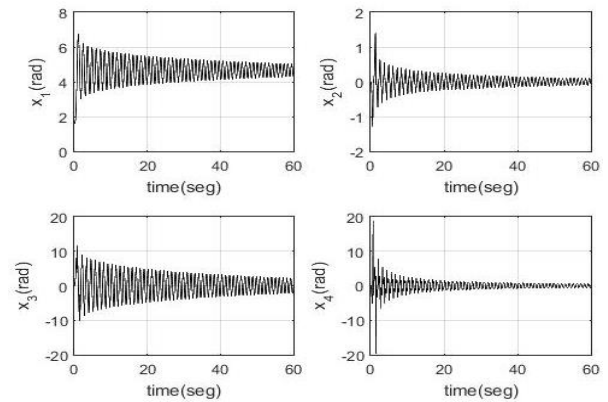
Donde, en la parte superior, mientras que en la parte inferior, se muestra el error correspondiente al estado del segundo eslabón,  $x_2$ .

La respuesta de la señal de control del ASMC respecto al comportamiento del sistema es mostrado en la Figura 6.



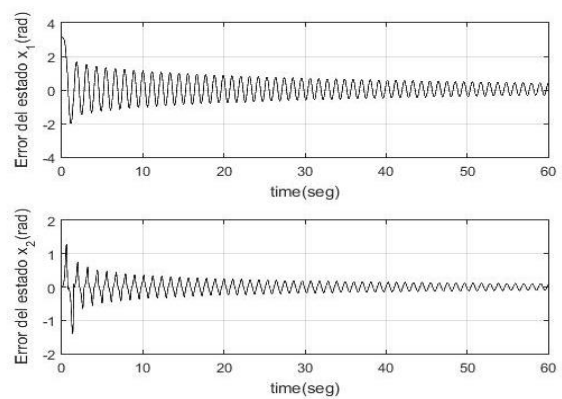
**Figura 6** Respuesta de la señal del control ASMC del Péndulo Acrobot sobre un carro  
Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte y como objeto de demostración de la robustez del ASMC frente a otro control, se eligió el control clásico PID en su forma paralela. La respuesta de los estados  $x_1, x_2, x_3$ , y  $x_4$  que corresponden a las posiciones angulares y las velocidades angulares del Acrobot sobre un carro se pueden apreciar en la Figuras 7, respectivamente.



**Figura 7** Respuesta de los estados del Péndulo Acrobot sobre un carro con PID  
Fuente: Elaboración Propia

La respuesta del error del estado  $x_1$  aplicando el control PID se ve en la Figura 8 en la parte superior, mientras que en la parte inferior se ve el error correspondiente al estado  $x_2$ .

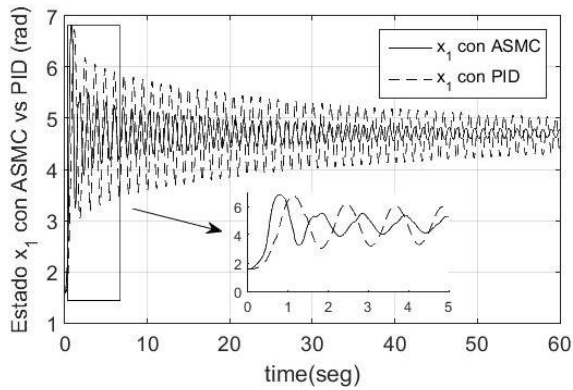


**Figura 8** Respuesta del error de los estados  $x_1$  y  $x_2$  con PID del Péndulo Acrobot sobre un carro  
Fuente: Elaboración Propia

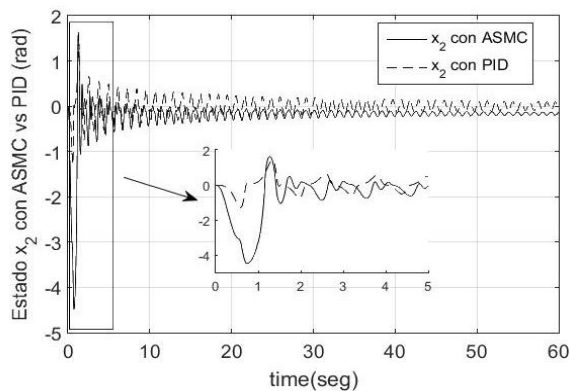
Con las Figuras previas, se realizó una comparación del uso de los controladores ya mencionados.

Es por ello que, en la Figura 9, se presenta la respuesta del estado  $x_1$  cuando el ASMC es aplicado, así como con el PID.

En ella se aprecia la robustez del control elegido frente a la comparación realizada con el PID. Lo mismo se hizo para el estado  $x_2$  (véase Figura 10).



**Figura 9** Comparación de la respuesta del estado  $x_1$  aplicando ASMC y PID al Péndulo Acrobot sobre un carro  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 10** Comparación de la respuesta del estado  $x_2$  aplicando ASMC y PID al Péndulo Acrobot sobre un carro  
Fuente: *Elaboración Propia*

## Conclusión

En este trabajo se presentó un modelo matemático a partir del Lagrangiano seguido de las matrices correspondientes al Espacio del estado para el Acrobot sobre un carro en un marco de referencia no inercial. Además, el diseño del Control Adaptable por Modos Deslizantes fue implementado para estabilizar al sistema en suposición invertida. En la simulación mediante la plataforma de Simulink del software de Matlab<sup>®</sup>, se visualizó el comportamiento del sistema no inercial con la metodología adaptable, la cual fue comparada con la respuesta de un control PID, y los resultados mostraron robustez cuando se aplicó el ASMC al rechazar los efectos no inerciales no deseados.

## Referencias

- Adhikary, N., & Mahanta, C. (2013). Integral backstepping sliding mode control for underactuated systems: Swing-up and stabilization of the Cart-Pendulum System. *ISA transactions*, 52(6), 870-880.
- Alazki, H., Ordaz, P., & Poznyak, A.. (2013, December). Robust bounded control for the flexible arm robot. In *52nd IEEE Conference on Decision and Control*, (pp. 3061-3066). IEEE.
- Arevalo, D. I., & Alazki, H. (2018, September). Robust Control for Stabilization of Non-Inertial System: Pendulum-Acrobot. In *2018 15th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*(pp. 1-6), IEEE.
- Astrom, K. J., & Wittenmark, B. (1994). *Adaptive control 2nd Edition*. Addison-Wesley Pub Co., 1994.
- Boiko, I., & Fridman, L. (2005). Analysis of chattering in continuous sliding-mode controllers. *IEEE transactions on automatic control*, 50(9), 1442-1446.
- Boiko, I., Fridman, L., Pisano, A., & Usai, E.. (2007). Analysis of chattering in systems with second-order sliding modes. *IEEE transactions on Automatic control*, 52(11), 2085-2102.
- From, P. J., Gravdahl, J. T., & Pettersen, K. Y. (2016). *Vehicle-manipulator systems*. Springer London Limited.
- Graichen, K., Treuer, M., & Zeitz, M.. (2007). Swing-up of the double pendulum on a cart by feedforward and feedback control with experimental validation. *Automatica*, 43(1), 63-71.
- Hauser, J., & Murray, R. M. . (1990). Nonlinear controllers for non-integrable systems: The acrobot example.
- Henmi, T., Deng, M., & Inoue, A. (2009). Swing-up controller for the acrobot using skill of human movements. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 6(3), 222-229.
- Huang, Y. J., Kuo, T. C., & Chang, S. H.. (2008). Adaptive sliding-mode control for nonlinear systems with uncertain parameters. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)* , 38(2), 534-539.

- 12 Levant, A. (1993). Sliding order and sliding accuracy in sliding mode control. *International journal of control*, 58(6), 1247-1263.
- 13 Mori, S., Nishihara, H., & Furuta, K.. (1976). Control of unstable mechanical system control of pendulum. *International Journal of Control*, 23(5), 673-692.
- 14 Plestan, F., Glumineau, A., & Laghrouche, S. (2008). A new algorithm for high-order sliding mode control . *International Journal of Robust and Nonlinear Control: IFAC-Affiliated Journal*, 18(4-5), 441-453.
- 15 Rubi, J., Rubio, A., & Avello, A. (2002). Swing-up control problem for a self-erecting double inverted pendulum. *IEE Proceedings-Control Theory and Applications*, 149(2), 169-175.
- 16 Sastry, S., & Bodson, M. (2011). *Adaptive control: stability, convergence and robustness*. Courier Corporation.
- 17 Shtessel, Y., Edwards, C., Fridman, L., & Levant, A. (2014). *Sliding mode control and observation*. New York: Springer New York, pp. 163-166.
- 18 Slotine, J. J., & Sastry, S. S. (1983). Tracking control of non-linear systems using sliding surfaces, with application to robot manipulators. *International journal of control*, 38(2), 465-492.
- 19 Spong, M. W., & Block, D. J. (1995, December). The pendubot: A mechatronic system for control research and education. . In *Proceedings of 1995 34th IEEE Conference on Decision and Control*, (Vol. 1, pp. 555-556). IEEE.
- 20 Teodorescu, P. P. (2008.). *Mechanical Systems, Classical Models: Volume II: Mechanics of Discrete and Continuous Systems*. Springer Science & Business Media.
- 21 Tocaci, E. (2012). *Relativistic mechanics, time and inertia (Vol.8)*. Springer Science & Business Media.
- 22 Utkin, V., & Gulder, J. Y. Shi j. (1999). “Sliding Mode Control in Electromechanical Systems”. Taylor & Francis.
- 23 Utkin, V. I., & Poznyak, A. S. (2013). *Adaptive sliding mode control*. In *Advances in sliding mode control* (pp. 21-53). Springer, Berlin, Heidelberg

## Estudio teórico-experimental de la transferencia de calor en el tubo receptor de un colector solar de canal parabólico

### Theoretical-experimental study of the heat transfer in the receiver tube of a Parabolic-trough solar collector

VALENCIA-VEGA, Gustavo A. <sup>1</sup> †, MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés<sup>1</sup>, ROMERO-DOMÍNGUEZ, Rosenberg J. <sup>1</sup> y ALVARADO-JUÁREZ, Roberto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Morelos/ Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Avenida Universidad 1001, C.P. 62209, Colonia Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México.

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Av. Universidad No. 350. Carretera Federal Cuitláhuac - La Tinaja Localidad Dos Caminos, Cuitláhuac, Ver. CP. 94910

ID 1<sup>er</sup> Autor: Gustavo A., Valencia-Vega / ORC ID; 0000-0002-7786-374X; Researcher ID Thomson: G-2874-2019

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Moisés, Montiel-González / ORC ID; 0000-0001-6726-9344; Researcher ID Thomson: T-7690-2018, CVU CONACYT ID: 230353

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Rosenberg J, Romero-Domínguez / ORC ID; 0000-0003-2625-7464; Researcher ID Thomson: J-1220-2012, CVU CONACYT ID: 25457

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Roberto, Alvarado-Juárez / ORC ID; 0000-0002-4153-3626; Researcher ID Thomson: E-5222-2013 CVU CONACYT ID: 438170

DOI: 10.35429/JID.2019.9.3.16.22

Recibido 13 Octubre, 2019; Aceptado 05 de Diciembre, 2019

#### Resumen

La captación de energía solar mediante colectores de canal parabólico es una aplicación tecnológica para el aprovechamiento de energías limpias, esto permite reducir el uso de combustibles fósiles y disminuir la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por ello, en este artículo se presenta un estudio teórico-experimental de la transferencia de calor en el tubo receptor de un colector de canal parabólico a través del cual fluye el fluido de trabajo. El tubo receptor es de cobre con diámetro nominal de 1" y está cubierto por un tubo de cristal borosilicato con diámetro exterior de 2 1/2" x 2.5 m de largo, para disminuir las pérdidas convectivas. El estudio teórico se realiza en coordenadas cartesianas bidimensionales (2D) y condición de frontera axi-simétrica para modelar y simular la dinámica de fluidos y analizar el comportamiento de la transferencia de calor convectiva entre el aire del espacio anular y el fluido de trabajo. Las temperaturas del fluido simuladas fueron de 80 a 180 °C, este intervalo incluye diversas aplicaciones industriales donde se requiere calor de proceso. Los valores de radiación directa simulados fueron de 600 a 1100 W/m<sup>2</sup>. La diferencia entre los resultados teóricos con experimentales fue menor a 8 %.

**Colectores de canal parabólico, Transferencia de calor convectiva, Dinámica de fluidos**

#### Abstract

The capture of solar energy through parabolic trough collectors is a technological application for the use of clean energy, this allows reducing the use of fossil fuels and reducing the generation of greenhouse gases (GHG). Therefore, this article presents a theoretical-experimental study of the heat transfer in the receiver tube of a parabolic channel collector through which the working fluid flows. The receiver tube is made of copper with a nominal diameter of 1" and is covered by a borosilicate glass tube with an outer diameter of 2 1/2" x 2.5 m long, to reduce convective losses. The theoretical study is carried out in two-dimensional (2D) Cartesian coordinates and axi-symmetric boundary condition to model and simulate fluid dynamics and analyze the behavior of convective heat transfer between the air of the annular space and the working fluid. The simulated fluid temperatures were from 80 to 180 °C, this range includes various industrial applications where process heat is required. The simulated direct radiation values were from 600 to 1100 W / m<sup>2</sup>. The difference between the theoretical and experimental results was less than 8%.

**Parabolic trough collectors, Convective heat transfer, Fluid dynamics**

**Citación:** VALENCIA-VEGA, Gustavo A., MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés, ROMERO-DOMÍNGUEZ, Rosenberg y ALVARADO-JUÁREZ, Roberto. Estudio teórico-experimental de la transferencia de calor en el tubo receptor de un colector solar de canal parabólico. Revista del Diseño Innovativo. 2019 3-9: 16-22

† Investigador contribuyendo como primer autor.



## Introducción

La energía solar es uno de los recursos energéticos renovables más importantes con que contamos en México. Gracias al avance de la ciencia aplicada, innovación y desarrollo tecnológico, en la actualidad se cuenta con diferentes dispositivos para aprovechar el recurso solar. Ya que los altos niveles de irradiación que se reciben en el país y en el mundo hacen factible el uso de sistemas de concentración solar para diversas aplicaciones, entre ellas, el calor de proceso [ (A. Fernández-García, 2010), (Kalogirou, 2003)].

Los concentradores solares son dispositivos que aprovechan la energía proveniente del sol en un área de captación expuesta a la radiación directa y transfieren la energía concentrada a un fluido de trabajo para elevar su temperatura hasta el nivel requerido. Los concentradores de canal parabólico (CCP) son la tecnología más madura y más estudiada desde el siglo pasado. Algunos estudios se enfocan en analizar diferentes parámetros tales como: el diseño óptico, las condiciones óptimas de funcionamiento, la transferencia de calor en tubos y el uso de diferentes fluidos de trabajo en los CCP para una reducción global de gases contaminantes. Gran cantidad de autores han estudiado en forma teórica y/o experimental el comportamiento térmico de los CCP [ (A. Fernández-García, 2010), (Kalogirou, 2003), (Marnay López Martínez), (Martínez, 2018)].

Algunos autores se enfocan en mejorar la transferencia de calor entre el tubo absorbedor y el fluido de trabajo de un CCP. Estos estudios se centran en cambiar las estructuras mecánicas de los colectores solares, mejorar la capacidad de absorción de los recubrimientos o reducir las pérdidas de calor en el colector [ (Adel. Kh. Alfozan, 2015), (J.Subramania, 2017), (Ricardo Vasquez Padilla, 2011)]. Los colectores solares operan satisfactoriamente y eficientemente operan con fluidos de trabajo con puntos de ebullición elevados cuando la temperatura supera el punto de ebullición del agua, siempre y cuando se encuentre en estado líquido y no alcance la temperatura de cambio de fase [ (Kalogirou, 2003), (J.Subramania, 2017), (Ricardo Vasquez Padilla, 2011), (Forristall, 2003), (M. Eswararmoorthy, 2010) ].

El agua como fluido de trabajo tiene un fundamental uso en la industria.

En este sentido, Ashish y Sharmaa (2017) realizaron una revisión bibliográfica exhaustiva, con más de 200 referencias, donde reportan el uso de tecnologías de concentración solar para aplicaciones industriales de calor de proceso a nivel mundial. Debido a la necesidad de caracterizar fluidos de trabajo más eficientes, resulta interesante proponer modelos así como desarrollar metodologías para experimentar con nuevos fluidos de trabajo. [ (P.Selvakumar, 2014)]. La eficiencia de los ciclos de calentamiento de aire para uso doméstico e industrial, en la mayoría utiliza combustibles fósiles que son agentes contaminantes del medio ambiente, por lo que es necesario la implementación de nuevas tecnologías [ (Kalogirou, 2003), (Marnay López Martínez), (Forristall, 2003), (Ahmet Lokurlu, 2005), (C. Chang, 2014), (Mohammed Hasan Abbood, 2018), (C. Ramos, 2014), (N. Galanis, 2009)].

Con la ayuda del presente estudio, se verifica y valida el uso de un CCP en el cual se tienen todas las condiciones y consideraciones para realizar un estudio teórico, en dicho estudio se modelan y simulan ciertos parámetros y condiciones experimentales que permiten reducir el error entre ambos estudios (teórico-experimental) [ (Xiaoping Yang, 2012), (Z.D Cheng, 2010)]. En este trabajo se desarrolló un código computacional para realizar simulaciones que permite el uso de diferentes fluidos de trabajo, así como realizar un análisis paramétrico, considerando las propiedades termo físicas de cada fluido de trabajo. Sin embargo, la validación se realiza sólo con 2 experimentos que cumplieron con las condiciones apropiadas.

## Desarrollo

En la Tabla 1 se presentan los parámetros teóricos y dimensiones del CCP.

Dimensión concentrador	Magnitud	Unidad
Temperatura ambiente	25-35	°C
Temperatura de entrada	20 - 35	°C
Temperatura de salida	80 - 95	°C
Radiación directa	600 - 1100	W/m <sup>2</sup>
Longitud del tubo	4.88	m
Area del colector	5.18	m <sup>2</sup>
Diámetro tubo de cobre	0.0254	m
Diámetro tubo de vidrio	0.0635	m
Area tubo de cobre	0.000506707	m <sup>2</sup>
Area tubo de vidrio	0.003166922	m <sup>2</sup>
Apertura del ccp	1.063	m
Ángulo de borde	90	°
Distancia focal	0.266	m

**Tabla 1** Parámetros y dimensiones del CCP

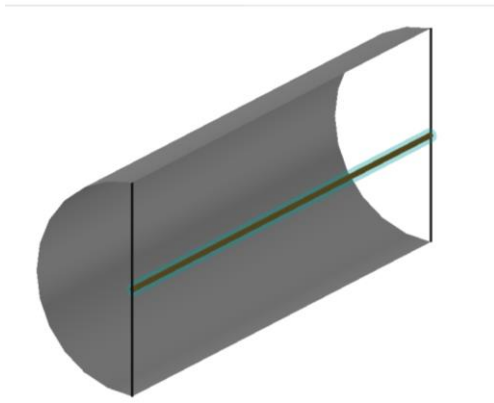


Figura 1 Modelo físico del CCP. Programa CAD (AutoCAD) 2015- Estudiantil

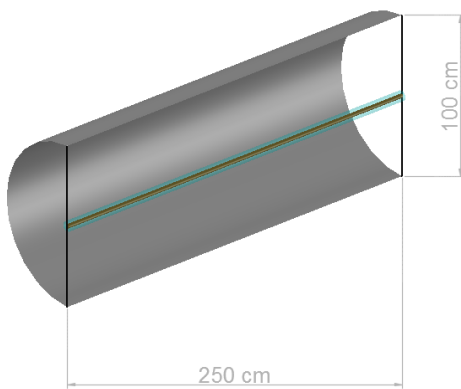


Figura 2 Modelo físico del CCP vista isométrica

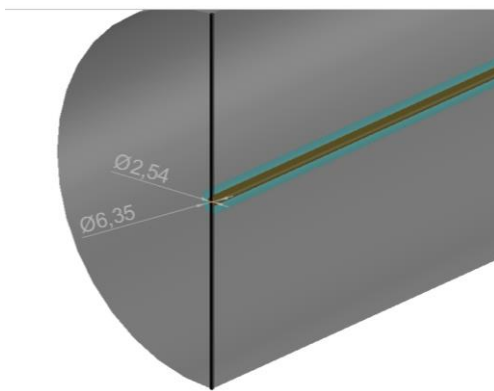


Figura 3 Modelo físico del concentrador vista isométrica tubo colector y recubrimiento

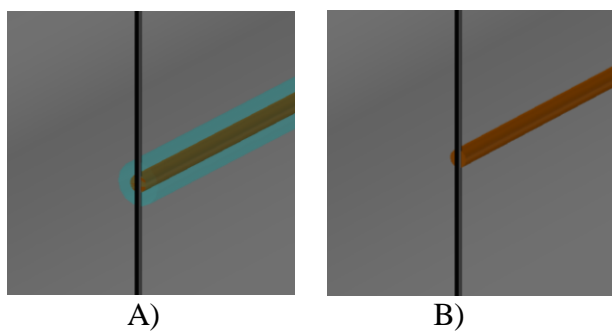


Figura 4 Vista isométrica tubo colector a) con recubrimiento de vidrio, b) sin recubrimiento

Las propiedades de los fluidos de trabajo se tomaron a temperatura promedio y presión atmosférica.

Propiedades Agua	Magnitud	Unidad
Viscosidad (85 °C)	3.33E-04	kg/m s
Densidad (85 °C)	968.1	kg/m <sup>3</sup>
Cp (85 °C)	4201	J/kg K
Conductividad (85 °C)	0.673	W/m K
Pr (85 °C)	2.08	

Tabla 2 Propiedades del agua “Transferencia de calor y masa”

Propiedades Aire	Magnitud	Unidad
Viscosidad (85 °C)	2.10E-05	kg/m s
Densidad (85 °C)	0.9994	kg/m <sup>3</sup>
Cp (85 °C)	1008	J/kg K
Conductividad (85 °C)	0.02953	W/m K
Pr (85 °C)	0.7154	

Tabla 3 Propiedades del aire “Transferencia de calor y masa”

Propiedades Cobre	Magnitud	Unidad
Conductividad(300 k)	401	W/m K
Diametro interior tubo	0.026787	m
Diametro exterior tubo	0.028575	m

Tabla 4 Propiedades del cobre comercial “Transferencia de calor y masa”

Propiedades Vidrio Pirex	Magnitud	Unidad
Conductividad(300 k)	1.2	W/m K
Cp (300 K)	835	J/kg K
Diametro interior tubo	0.0605	m
Diametro exterior tubo	0.0635	m

Tabla 5 Propiedades de vidrio pyrex “Transferencia de calor y masa”

**Modelo Teórico**

El modelo teórico requirió las propiedades básicas necesarias para el cálculo numérico computacional del coeficiente de transferencia de calor global, el factor de remoción, el calor útil y la eficiencia del CCP. Estos se calcularon con base en las ecuaciones de J. A. Duffie y W. A. Beckman (2013).

Con estas ecuaciones se desarrolló un código computacional para modelar y simular la dinámica de fluidos y la transferencia de calor en el tubo receptor.

## Metodología Experimental

Debido a que los colectores de canal parabólico (CCP) son de foco lineal, el tubo receptor es un elemento fundamental, ya que el rendimiento térmico depende en gran medida de la conductividad térmica y propiedades ópticas de la superficie del tubo receptor.

El tubo receptor interior es de cobre pintado de color negro mate, la cual posee una alta absorptividad y baja emisividad en el espectro infrarrojo, lo que se traduce en un elevado rendimiento térmico.

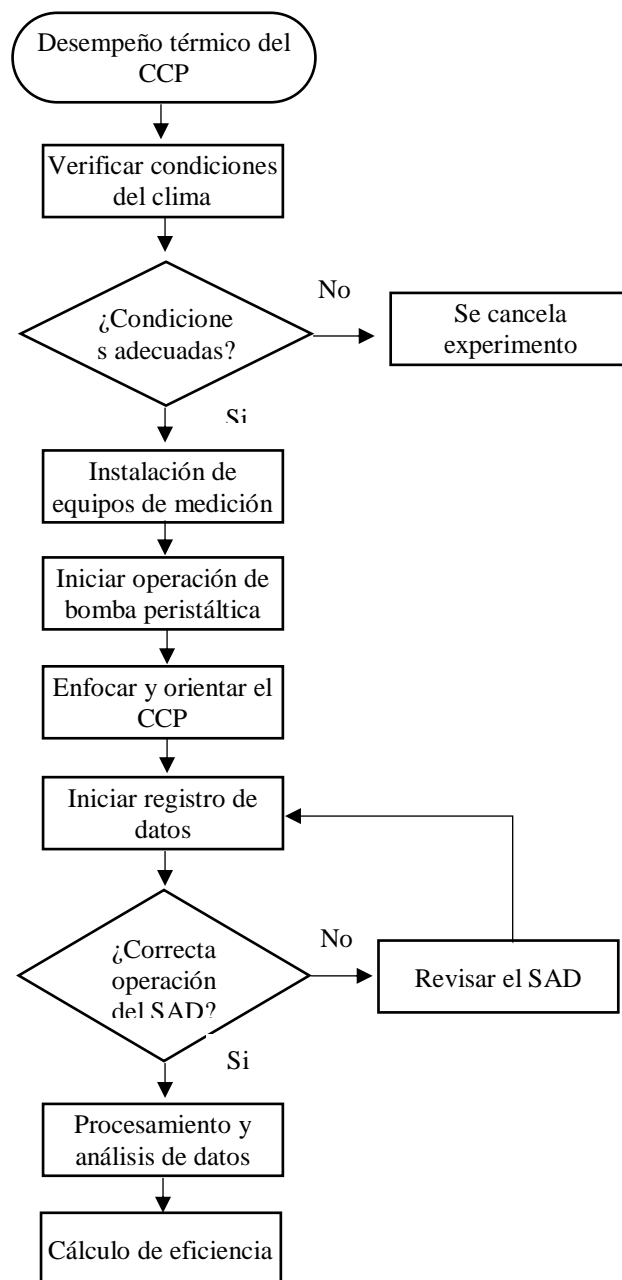
El tubo exterior es de vidrio borosilicato para reducir las pérdidas térmicas por convección en el tubo metálico, así como protegerlo.

Para mantener el tubo receptor en la línea focal de la parábola, se utilizaron 3 perfiles tubulares (PTR) de 1.1 m de longitud, uno en cada extremo y otro a la mitad del canal parabólico como se observa en la figura 4.

En la figura 5 se muestra un diagrama de flujo de la metodología que se siguió para realizar los experimentos y así determinar el desempeño térmico del CCP.



**Figura 4** Fotografía del tubo receptor del CCP



**Figura 5** Diagrama de flujo de la metodología experimental

Para llevar a cabo la evaluación del desempeño del CCP se utilizaron los criterios establecidos por el estándar ANSI-ASHRAE 93-2003:

- Irradiancia solar directa (mayor a  $790 \pm 32 \text{ W/m}^2$ )
- Velocidad del viento (2.2 – 4.5 m/s)
- Temperatura ambiente (15 – 30 °C)
- Temperatura del fluido a la entrada y salida del colector (variación  $\pm 1 \text{ °C}$ )
- Flujo másico ( $0.02 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2 \pm 2\%$ )

El equipo utilizado para el registro de temperaturas del fluido de trabajo, es un sistema de adquisición de datos (SAD) KEYSIGHT 34970A, cuenta con tres espacios para insertar tres tarjetas multiplexoras.

La tarjeta multiplexora es modelo 34901A y cuenta con 22 canales disponibles donde se conectan los termopares y los piranómetros que miden la radiación global y la difusa, respectivamente (Figura 6).



Figura 6 Piranómetros utilizados

Para el registro de temperaturas se utilizó el software Agilent Technologies versión 4.3 para transferir los datos registrados por el adquirente a una PC.

La bomba peristáltica que se utilizó es marca MasterFlex de la serie I/P modelo 07591-22 con las siguientes características:

- Rango de operación de 6 – 650 rpm, por lo que alcanza un caudal máximo de 8 l/min.
- Precisión de  $\pm 0.25\%$
- Soporta una presión máxima del sistema de 2.7 bar.



Figura 7 Bomba peristáltica y SAD

La medición de la temperatura se realizó con termopares tipo T (cobre/constantan) los cuales son ideales para trabajar a medianas temperaturas, con un límite máximo de temperatura de  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  y puede utilizarse en atmósferas oxidantes, reductoras o de gas inerte. No se oxidan en atmósferas húmedas (WIKA, 2014).

## Resultados

En la figura 8 se muestra la gráfica del comportamiento térmico de los colectores utilizando un flujo volumétrico de 4 litros por minuto y un volumen total de 40 litros al interior del termotanque.

Se muestra el incremento de la temperatura del agua contra el tiempo a la salida del tubo receptor cuando este se encuentra desnudo y cuando está cubierto por el tubo de vidrio.

Donde:

- T1 es la temperatura del agua a la salida del tubo receptor, cuando está desnudo, representado por los puntos verdes.
- T4 es la temperatura del agua a la salida del tubo receptor, cuando está cubierto por el tubo de vidrio, representado por los puntos rojos.

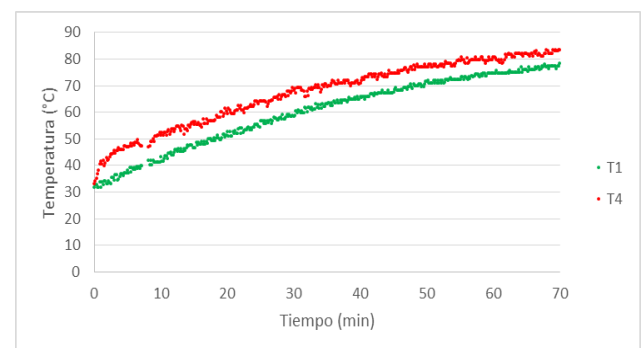


Figura 8 Temperatura en el tubo receptor respecto al tiempo

La diferencia de temperatura promedio entre ambos casos fue de  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Con los coeficientes de transferencia de calor global se logró calcular las pérdidas convectivas.

En la figura 9 se muestran los resultados obtenidos para la eficiencia del CCP, la diferencia porcentual máxima entre los resultados del modelo teórico respecto a los experimentales fue de  $7.5\%$ .

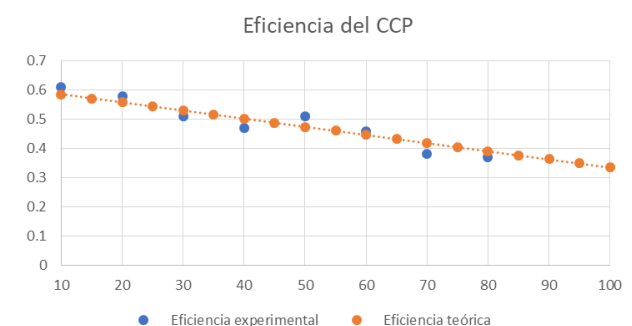


Figura 9 Eficiencia del CCP

La eficiencia teórica satisface la siguiente relación:  $\eta = 0.6128 - 2.324 \left(\frac{\Delta T}{G_B}\right)$

### Conclusiones

Se modeló y simuló un colector de canal parabólico (CCP) con los parámetros geométricos, mecánicos y térmicos necesarios para comparar un modelo teórico con resultados experimentales para el CCP. En general se concluye:

1. Se desarrolló un código computacional que permite el uso de diferentes fluidos de trabajo, parámetros y condiciones de operación del tubo receptor de un CCP.
2. La instrumentación, puesta en operación y experimentación del CCP, permitió validar los resultados teóricos con los experimentales.
3. Con los resultados experimentales se obtuvo la curva de eficiencia del CCP.
4. La diferencia entre los resultados teóricos con experimentales fue menor a 8%.

### Referencias

A. Fernández-García, E. Z. (2010). Parabolic-trough solar collectors and their applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1695-1721.

Adel. Kh. Alfozan, S. N.-A. (2015). Experimental Study of Parameters Affecting the Temperature of an Absorption Tube of Parabolic Trough Collector. *Defect and Diffusion Forum*, 84-91.

Ahmet Lokurlu, F. R. (2005). High efficient utilisation of solar energy with newly developed parabolic trough collectors (SOLITEM PTC) for chilling and steam production in a hotel at the Mediterranean coast of Turkey. *Int. J. Energy Technology and Policy*, 137-146.

Ashish K. Sharma, C. S. (2017). Solar industrial process heating: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124-137.

C. Chang, X. L. (2014). Experimental and numerical study of the heat transfer characteristics in solar thermal absorber tubes with circumferentially non-uniform heat flux. *Energy Procedia* 49, 305-313.

C. Ramos, R. R. (2014). Potential assessment in Mexico for solar process heat applications in food and textile industries. *energy procedia* 49, 1879-1884.

Forristall, R. (2003). *Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver*. National Renewable Energy Laboratory.

J.Subramania, P. O. (2017). Efficiency and heat transfer improvements in a parabolic trough solar 1 collector using TiO<sub>2</sub> nanofluids under turbulent flow regime. *Renewable Energy*.

John A. Duffie, W. A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.

Kalogirou, S. (2003). The potential of solar industrial process heat applications. *Applied Energy* 76, 337-361.

M. Eswararmoorthy, S. S. (2010). Thermodynamic analysis of solar parabolic dish thermoelectric generator. *Int. J. Renewable Energy Technology*, 348-360.

Marnay López Martínez, J. L. (s.f.). ANÁLISIS DE TRAZADO DE RAYOS DE UN CONCENTRADOR DE CANAL PARABÓLICO (CCP) MEDIANTE EL SOFTWARE SOLTRACE. XLII semana nacional de energía solar (pág. 6). ciudad de mexico: international solar energy society.

Martínez, C. M. (2018). Diseño de un Concentrador de Canal Parabólico (CCP) para suministro de energía térmica. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NAYARIT.

Mohammed Hasan Abbood, M. M. (2018). Experimental and Theoretical Investigation to Generate Steam by Parabolic Trough Solar Collector with Using Different Heat Transfer Fluids. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, 11-22.

N. Galanis, E. C. (2009). Electricity Generation from Low Temperature Sources. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 55-67.

P.Selvakumar, P. . (2014). An Experimental Study on Evacuated Tube Solar Collector using Therminol D-12 as Heat Transfer Fluid Coupled with Parabolic Trough. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 110-117.

VALENCIA-VEGA, Gustavo A., MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés, ROMERO-DOMÍNGUEZ, Rosenberg y ALVARADO-JUÁREZ, Roberto. Estudio teórico-experimental de la transferencia de calor en el tubo receptor de un colector solar de canal parabólico. *Revista del Diseño Innovativo*. 2019

Ricardo Vasquez Padilla, G. D. (2011). Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver. *Applied Energy*, 5097-5110.

Wu Yu-ting, L. B.-f. (2009). Convective heat transfer in the laminar-turbulent transition region with molten salt in a circular tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1128-1132.

Wu Yu-ting, L. B.-f. (2009). Convective heat transfer in the laminar-turbulent transition region with molten salt in a circular tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1128-1132.

Xiaoping Yang, X. Y. (2012). Numerical simulation study on the heat transfer characteristics of the tube receiver of the solar thermal power tower. *Applied Energy*, 142-147.

Z.D Cheng, Y. H. (2010). Three-dimensional numerical study of heat transfer characteristics in the receiver tube of parabolic trough solar collector. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 782-787.

## Diseño e implementación de una Interfaz de Control para la Integración de una Celda de Manufactura Flexible

### Design and implementation of a Control Interface for the Integration of a Flexible Manufacturing Cell

ROJAS-GARNICA, Juan Carlos†\*, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, RANGEL-ROMERO, Carlos y OCOTITLA-MUÑOZ, Alma Delia

*Universidad Tecnológica de Puebla*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Juan Carlos, Rojas-Garnica* / ORC ID: 0000-0002-2261-587X, CVU CONACYT ID: 66417

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *José Lorenzo, Muñoz-Mata* / ORC ID: 0000-0001-7813-5579, CVU CONACYT ID: 177117

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Carlos, Rangel-Romero* / ORC ID: 0000-0003-4879-4228, CVU CONACYT ID: 894477

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Alma Delia, Ocotitla-Muñoz* / ORC ID: 0000-0002-3266-3226

DOI: 10.35429/JID.2019.9.3.23.28

Recibido 27 Octubre, 2019; Aceptado 16 de Diciembre, 2019

#### Resumen

En la industria moderna los sistemas de manufactura flexible (SMF) son indispensables para el incremento en la productividad y en la calidad de los productos. Las celdas que los constituyen cuentan con varias estaciones de trabajo conectadas entre sí a través de un protocolo de comunicación, por lo tanto, con lo cual son capaces de identificar y distinguir entre las diferentes partes o productos procesados en el sistema. Además, tienen la capacidad de ajustarse a la demanda de procesar diferentes productos y cantidades. En los SMF se utilizan protocolos de comunicación tales como Device Net, Ethernet, entre otros. Sin embargo, existen casos en los que no se cuenta con módulos de comunicación, por lo que es necesario desarrollar dispositivos alternos para comunicar entre sí las estaciones de trabajo para integrar una celda de manufactura flexible que cuente con las características necesarias para ser considerada como tal. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del estudio de infraestructura para el desarrollo de una interfaz de comunicación de una celda de manufactura flexible utilizando un microcontrolador, con la capacidad de comunicar dos estaciones de trabajo. En este caso particular, un robot FANUC M6iB con un centro de maquinado HAAS VF2.

**Sistemas de Manufactura Flexible, Robot Industrial, CNC**

#### Abstract

In modern industry, flexible manufacturing systems (FMS) are indispensable to increase productivity and product quality. The cells that constitute them have several work stations connected to each other through a communication protocol, therefore, with which they are able to identify and distinguish between the different parts or products processed in the system. Furthermore, they have the ability of adaptation to the demand of processing different products and quantities. In the FMS communication protocols are used such as Device Net, Ethernet, among others. However, there are cases in which there are no communication modules; however, it is necessary to develop alternative devices to communicate the work stations with each other to integrate a flexible manufacturing cell with the necessary characteristics. This paper presents the results obtained from the study of infrastructure for the development of a communication interface to integrate a flexible manufacturing cell using a microcontroller, with the capability of communicating two work stations. In this particular case, a FANUC M6iB robot with a HAAS VF2 machining center.

**Flexible Manufacturing System, Industrial Robot, CNC**

**Citación:** ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, RANGEL-ROMERO, Carlos y OCOTITLA-MUÑOZ, Alma Delia. Diseño e implementación de una Interfaz de Control para la Integración de una Celda de Manufactura Flexible. Revista del Diseño Innovativo. 2019 3-9: 23-28

\* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: carlos.rojas@utpuebla.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Los sistemas de manufactura flexible (SMF) son los más seleccionados en la industria debido a las numerosas ventajas, tales como: baja cantidad de material en almacenamiento, alta competitividad, alta calidad de producción, bajo tiempo de fabricación y bajo costo, los cuales han sido conceptualizados desde los años 60's (Emin 2015). Los SMF se pueden definir como estaciones de trabajo controladas por computadora y manejo de materiales. Son un tipo de celda con equipos automatizados que aplica la tecnología de grupos, el cual contiene conglomerados de estaciones de trabajo con diversos procesos, interconectados por un sistema automático de carga, almacenamiento y descarga de materiales (Siwamogsatham 2007). Es flexible, porque es capaz de procesar varios tipos de enseres a diferentes cantidades, que pueden ser ajustadas en respuesta a los comportamientos de una determinada demanda (Groover 2001).

El SMF debe tener la habilidad para identificar y distinguir entre las diferentes partes o productos procesados por el sistema. Contar con un rápido cambio de las instrucciones de operación y un rápido cambio de la configuración física. La flexibilidad es un atributo que aplica a los sistemas manuales y automatizados (Kang 2016).

Para que un sistema sea considerado flexible debe satisfacer las siguientes pruebas: variedad de partes, cambio de programación, recuperación de errores y de nuevas partes.

Los SMF se emplean protocolos de comunicación industrial, tales como: DeviceNet, Ethernet, Profibus, Fieldbus, entre otros (Guerrero et al. 2009).

Pero existen situaciones, en los que no se cuenta con dicha infraestructura éstos llegan a ser demasiado costosos para su implementación, por lo que es necesario implementar medios alternativos para la comunicación entre estaciones de trabajo para lograr una celda de manufactura flexible que cuente con las características necesarias de tal manera que pueda ser considerada como tal. Los SMF se clasifican por el nivel de flexibilidad y el número de máquinas (Singh 2018). Si el sistema tiene una estación de trabajo se le denomina celda de una sola máquina (CSM).

Si contiene de dos a tres estaciones de trabajo tales como una máquina de control numérico, un robot y un sistema de almacenamiento, se le denomina celda de manufactura flexible (CMF) (Hernández 2012).

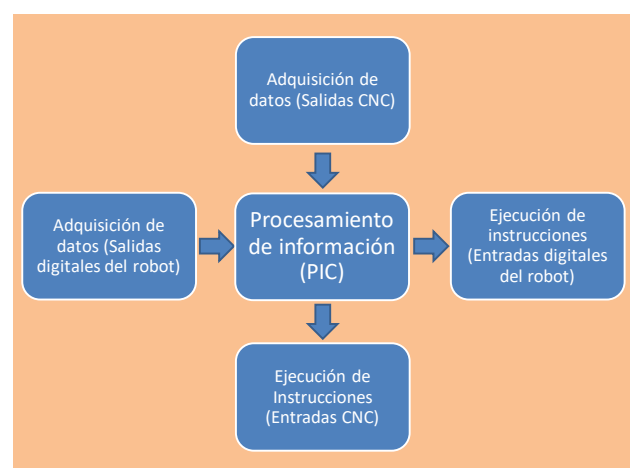
En este trabajo se presenta el desarrollo de una interfaz de comunicación para implementar una CMF como desarrollo de infraestructura para propósitos académicos y docencia dentro de la Universidad Tecnológica de Puebla. El sistema se implementó con el uso de un microcontrolador configurado como Controlador Lógico Programable (PLC).

La interfaz, tiene la capacidad de comunicar entre sí un robot FANUC M6iB y un centro de maquinado HAAS VF2, utilizando una comunicación de señales simples, con la ventaja inherente de ser un dispositivo mucho más barato de implementar que un PLC.

## Desarrollo Experimental

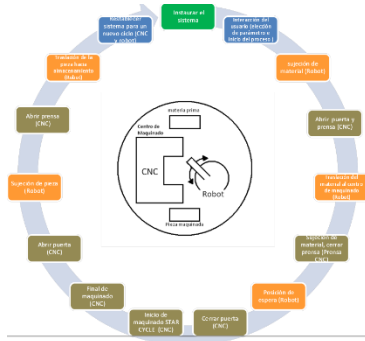
El diagrama a bloques del sistema a implementar se muestra en la Figura 1, para lograr una CMF integrando un robot y un centro de maquinado, para lo cual debemos tener en consideración los siguientes aspectos.

Se utilizó un microcontrolador (PIC16F877A Microchip) (Microchip 2006) por sus prestaciones para el desarrollo de la interfaz de comunicación. Además, se diseñaron circuitos aislantes para manejar niveles de voltaje industriales, con el propósito de que dicha interfaz funcione como un PLC.



**Figura 1** Diagrama a bloques del sistema implementado  
Fuente: Elaboración Propia





**Figura 2** Diagrama del ciclo de la celda de manufactura flexible  
 Fuente: *Elaboración Propia*

Para la implementación de la CMF, es necesario el uso de al menos dos estaciones de trabajo, las cuales consisten de un robot FANUC Mi6B (FANUC Robotics 2006), un centro de maquinado HAAS (Haas Automation Inc. 2016) y un sistema de manejo de materiales. La secuencia de funcionamiento para la CMF debe realizar una serie de etapas de acuerdo con el diagrama a bloques propuesto de la Figura 2. Se crea una comunicación bidireccional entre el robot y el centro de maquinado, a través de la interfaz. El dispositivo está conectado directamente a los módulos de entradas y salidas del robot. La interfaz envía señales a los módulos y el robot ejecute las tareas indicadas de acuerdo con el algoritmo del proceso de manufactura. Al mismo tiempo, la interfaz se comunica con el CNC a través de señales obtenidas desde el panel de control del mismo. Además, se colocaron sensores en las puertas del centro de maquinado para monitorear su estado y por ende poder manipular la apertura o cierre de las mismas. Se utilizó una prensa neumática para la sujeción del material dentro del centro de maquinado con la particularidad de que puede ser controlada manualmente o a través de la tarjeta de interfaz.

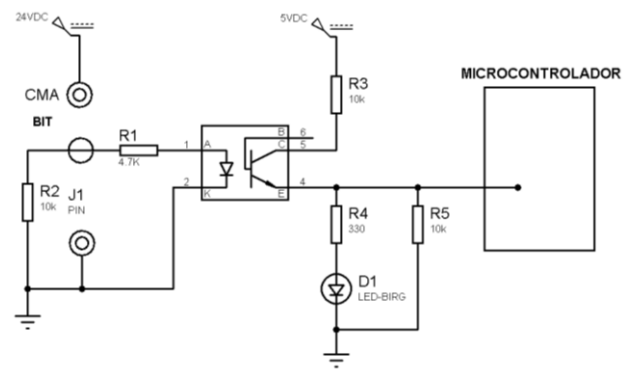
Para lograr lo anterior es necesario realizar un estudio del funcionamiento de los módulos de entrada/salida (E/S) del robot, así como también del centro de maquinado para establecer comunicación y control con el mismo.

**Adquisición y envío de señales de la tarjeta hacia el robot**

El desarrollo de la comunicación entre el robot y la interfaz se implementó utilizando los módulos de E/S del robot FANUC Mi6B, con su controlador R-Ji3B, que cuenta con 5 ranuras para base horizontales modelo ABU05A.

Las cuales están dedicadas para un tipo de salidas y entradas digitales determinadas para un propósito específico. En el caso particular de este proyecto se utilizó el módulo de entradas digitales AID32E1 y el módulo de salidas digitales AOD32D1 (GE FANUC Automation 2000).

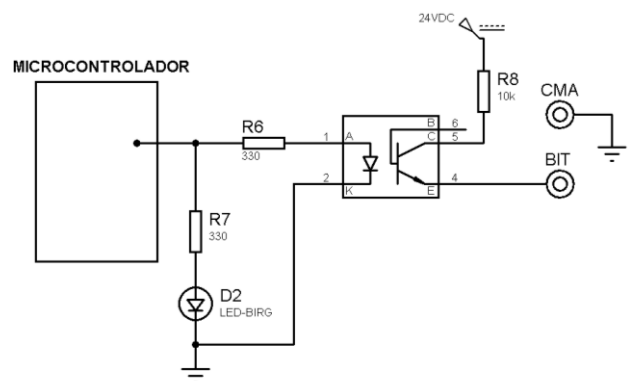
La propuesta del circuito implementado consistió en aislar la electrónica con los módulos de E/S del robot utilizando optoacopladores. Para comunicarse con el CNC se utilizaron relevadores para asegurar un total aislamiento con dicho dispositivo.



**Figura 3** Circuito de aislamiento para adquisición de datos  
 Fuente: *Elaboración Propia*

En la Figura 3 se muestra el diagrama del circuito diseñado para la recepción de datos. Como se puede observar es un circuito simple, con el cual se realiza la obtención de la señal proveniente del robot de 24 V y es convertida a 5 V a través de los optoacopladores.

En la Figura 4, se observa el circuito diseñado correspondiente al envío de datos. Dicho circuito genera las señales desde la interfaz convirtiendo en un nivel de voltaje de 5 V hacia el robot con un voltaje de 24 V.



**Figura 4** Circuito de aislamiento para envío de datos  
 Fuente: *Elaboración Propia*

Estas propuestas fueron implementadas y simuladas utilizando software de simulación de diseño asistido por computadora. Es importante señalar que el sistema debe ser inteligente, es decir, que se debe conocer el estado del sistema a través de sensores o de señales para saber si el sistema tiene algún problema de funcionamiento. En el caso del robot se toman como señales de monitoreo las señales provenientes del sensor, es decir, si el robot no responde cada vez que realice una tarea, el algoritmo del microcontrolador será capaz de detener el ciclo del proceso para realizar el proceso manual de revisión al sistema.

Para realizar la comunicación con el centro de maquinado se intervino el tablero de control del dispositivo, dado que solo cuenta con entradas y salidas de propósito general a través del protocolo de comunicaciones DeviceNet. Por lo anterior, se implementaron circuitos utilizando relevadores para lograr aislar completamente el tablero de control. En la Figura 5 se muestra la distribución de los sensores de apertura y cierre de la puerta, así como el circuito de acoplamiento conectado a la interfaz. Se colocaron sensores en las puertas del centro de maquinado para conocer su estado lógico, pues es necesario conocer el estado de estas según el algoritmo del ciclo de la celda de manufactura, manipularlas y de ser necesario detener el proceso.

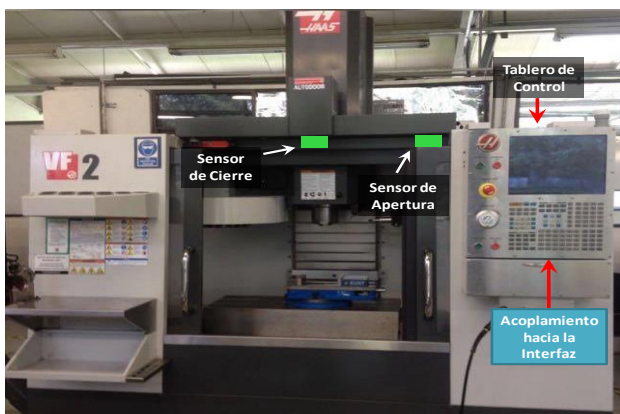


Figura 5 Distribución de sensores y acoplamiento en el CNC

El software para el desarrollo de la interfaz fue el compilador CCS (Trejo 2009), el cual contiene el algoritmo para la comunicación del ciclo de trabajo de la celda de manufactura e integrar el robot y el centro de maquinado, los cuales son la infraestructura disponible para la realización de dicho proyecto. El diagrama de flujo del firmware desarrollado se muestra en la Figura 6.

Resultados obtenidos

Una vez realizadas las simulaciones y pruebas correspondientes se procedió a desarrollar el circuito impreso de la tarjeta de interfaz. La tarjeta terminada se muestra en las Figura 7.

La tarjeta cuenta con diez entradas digitales de las cuales seis están dedicadas a las señales provenientes del robot, dos señales dedicadas a las puertas del CNC y dos para conocer el estatus de la prensa. Además, cuenta con diez señales de salida dentro de las cuales seis están dedicadas a enviar señales al robot, dos señales dedicadas al CNC (para abrir puertas e iniciar ciclo de maquinado) y dos para abrir y cerrar la prensa neumática.

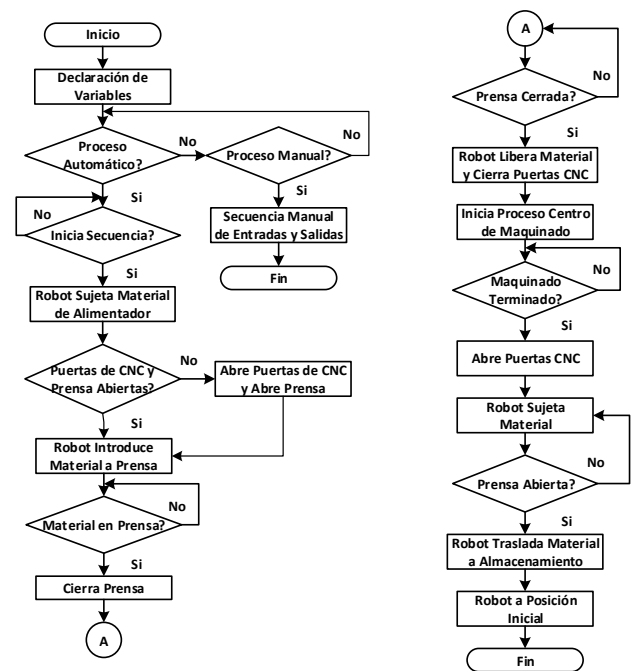


Figura 6 Diagrama de flujo del firmware para la interfaz implementada  
 Fuente: Elaboración Propia

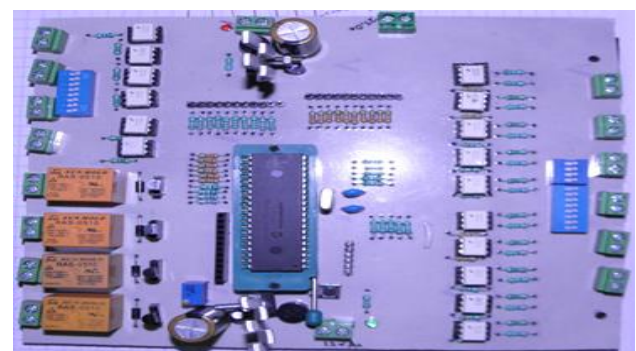


Figura 7 Tarjeta de la interfaz de comunicaciones

Se realizaron las pruebas correspondientes a la tarjeta ya terminada y se instaló dentro del gabinete del controlador del robot como se muestra en las Figura 8.

Después de un conjunto de pruebas con el robot se aseguró el correcto funcionamiento de la tarjeta. Finalmente, se realizó la integración de la tarjeta con el robot y el CNC logrando implementar un proceso de manufactura flexible completo, donde los resultados fueron satisfactorios.



Figura 8 Tarjeta instalada dentro del gabinete del robot Fanuc

El maquinado realizado, para corroborar el correcto funcionamiento de la CMF consistió en un proceso simple de careo de una pieza de aluminio, tomando en cuenta que el proceso puede ser modificado de manera sencilla ya que la infraestructura es flexible para el cambio de proceso de manufactura. En la Figura 9 se muestra la integración de la CMF implementada.

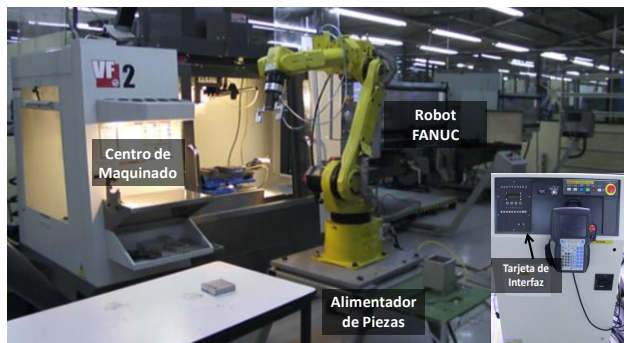


Figura Integración de la Celda de Manufactura Flexible  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestran las etapas del proceso de manufactura de la CMF implementada en el laboratorio de manufactura de la Universidad Tecnológica de Puebla de acuerdo con el algoritmo desarrollado en la Figura 6.

Al comenzar el proceso, la interfaz solicita el inicio del mismo y el robot se coloca en la posición inicial. Posteriormente, solicita si el proceso es automático o manual. Si el proceso es manual, se ejecuta la secuencia de prueba para verificar si el sistema funciona correctamente en cada una de ellas.

Si se selecciona el proceso automático, el algoritmo pregunta por el inicio del mismo. Enseguida, el robot toma el material del alimentador. Se verifica si las puertas del CNC y la prensa están abiertas, de lo contrario se ejecuta la apertura de las mismas. El robot coloca la pieza en la prensa y detecta si la pieza está sobre la prensa. Se ejecuta el cierre de prensa y se detecta si la acción es realizada. El robot libera la pieza y queda en espera mientras se realiza el proceso de maquinado. En la Figura 10 se muestra la secuencia de la primera parte del proceso de manufactura descrito.

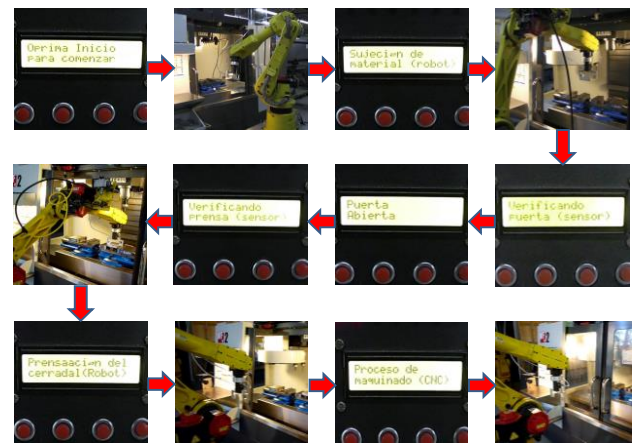


Figura 10 Diagrama de la primera parte de la secuencia del proceso de la CMF  
Fuente: Elaboración Propia

Una vez terminado el proceso de maquinado el CNC abre las puertas para que el robot realice la sujeción del material. Se realiza la apertura de la prensa y se verifica si la misma ha sido abierta. Finalmente, el robot traslada el material a su almacenamiento, libera el material y posteriormente el robot ejecuta la rutina para colocarse en su posición inicial para un nuevo proceso. En la Figura 11 se muestra el diagrama de la secuencia de la segunda parte del proceso de manufactura.

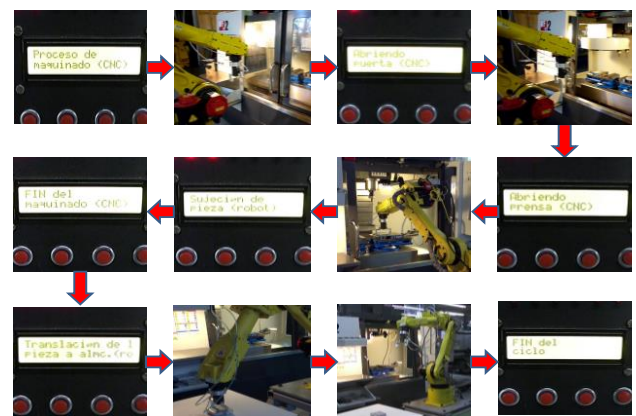


Figura 11 Diagrama de la segunda parte de la secuencia del proceso de la CMF  
Fuente: Elaboración Propia

Al realizar las pruebas correspondientes del proceso de manufactura, se ha podido comprobar el correcto funcionamiento en la implementación y el desarrollo de la CMF. La interfaz desarrollada funciona de manera satisfactoria. Además, la comunicación con las estaciones de trabajo funciona adecuadamente, por lo que se puede decir que el sistema desarrollado tiene un buen desempeño. Con el desarrollo de la CMF se ha podido mejorar la infraestructura con la que se cuenta en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Puebla, con la cual se podrá consolidar los conocimientos en temas relacionados con los SMF.

### Agradecimientos

Se agradece las facilidades prestadas para la integración de la celda a la Universidad Tecnológica de Puebla.

### Conclusiones

Se ha realizado el estudio del funcionamiento de los módulos de Entrada/Salida del robot FANUC M6iB, así como el desarrollo de circuitos de prueba para comprobar el correcto funcionamiento de estos.

Se han propuesto circuitos para el aislamiento de los módulos del robot y el centro de maquinado para alcanzar la integración de una CMF a través de la tarjeta de interfaz desarrollada.

Con el desarrollo de este proyecto se ha logrado desarrollar infraestructura para el fortalecimiento de conocimientos y experiencia, orientados a los sistemas mecatrónicos en el área de manufactura flexible y sus aplicaciones, tanto para el estudiante como para el profesorado.

### Trabajo Futuro

Como trabajo futuro se está trabajando en una nueva versión de la tarjeta de interfaz, así como en la actualización del firmware del microcontrolador para hacer más robusto el funcionamiento de la celda de manufactura flexible.

### Referencias

A. Singh, J. Singh, M. Ali, (2018). Some Control Strategies in a Flexible Manufacturing System-A Simulation Perspective. *International Journal of Applied Engineering Research*, 7, 5296-5303.

FANUC Robotics America, Inc. (2006). FANUC Robotics R-J3iB and R-J3iC Controller, M-6iB, M-6iB/6S, Mechanical Unit and Maintenance Manual 3900 W. Hamlin Road Rochester Hills, Michigan.

G. Hernández (2012). *Fundamentos de Control Inteligente de La Manufactura Flexible* (1ª ed.). España: Eae Editorial Academia Española.

García Trejo, E. (2009). *Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC* (2ª ed.). Ciudad de México, México: Alfaomega.

GE Fanuc Automation Europe (2000) I/O Unit - model a connection maintenance manual [Manual], Featherstone Road <http://ucc.colorado.edu/fanuc/61813e.pdf>

H. S. Kang, J. Y. Lee, S. S. Choi, H. Kim. J. H. Park, J. Y. Son, B. H. Kim, S. D. Noh, (2016). Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 111-128.

Haas Automation Inc. (2016 1 febrero). Mill Operator's Manual [Manual], <https://aemqas.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english---mill-operator%27s-manual---2016.pdf>.

M. Emin, A. Atmaca, (2014). Implementation of an Overall Design of a Flexible Manufacturing System. *Procedia Technology*, 19, 185-192.

M. P. Groover, (2001). *Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing* (4ta ed.). New York, USA: Pearson.

Microchip. (2006, 1 enero). PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet [Datasheet]. Recuperado 10 octubre, 2017, de <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

T. Siwamogsatham, C. Saygin (2007). Auction-based distributed scheduling and control scheme for flexible manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 42, 547-572.

V. Guerrero, L. Martínez, R. Yuste (2009). *Comunicaciones Industriales* (1a ed.). Ciudad de México, México: Alfaomega-Marcombo.

# Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

---

## [Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

*Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)*

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1<sup>er</sup> Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2<sup>do</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2<sup>do</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

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

---

### Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)**

### Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)**

---

**Citación:** Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista del Diseño Innovativo. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

---

---

\* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## 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

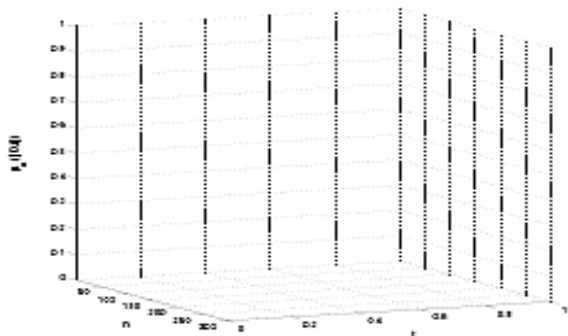
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

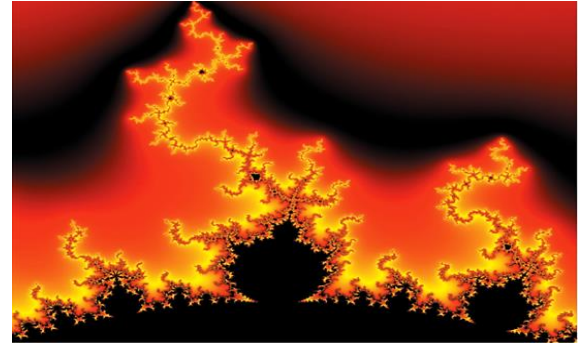
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

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



**Gráfico 1** Título y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



**Figura 1** Título y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


**Tabla 1** Título y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

## 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

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista del Diseño Innovativo. Año (Times New Roman No.8)

## Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

---

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.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

### 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

### Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

## **Reserva a la Política Editorial**

Revista del Diseño Innovativo se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

## **Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales**

### **Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución**

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista del Diseño Innovativo emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.



## Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista del Diseño Innovativo, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

### Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **Servicios Editoriales**

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

#### **Política Editorial y Administración**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**ECORFAN®**

**Editor en Jefe**

CAMPOS - QUIROGA, Peter. PhD

**Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

**Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

**Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

**Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

**Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

**Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

**Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

**Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN® Taiwan), [sponsorships@ecorfan.org](mailto:sponsorships@ecorfan.org)

**Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. [financingprograms@ecorfan.org](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

**Oficinas de Gestión**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

# Revista del Diseño Innovativo

“Reconocimiento y segmentación de la mano con una cámara infrarroja”

**LÓPEZ-DÍAZ, Roberto Enrique, NIETO-YÁÑEZ, Alma Delia, HERNÁNDEZ-BÁEZ, Irma Yazmín y VELASCO-CASTILLO, Miguel Ángel**

*Universidad Politécnica del Estado de Morelos*

“Control Robusto Adaptable para Sistema no inercial: Acrobot sobre un carro”

**TREJO-SOSA, Laura Elena & ALAZKI, Hussain**

*Universidad Autónoma del Carmen*

“Estudio teórico-experimental de la transferencia de calor en el tubo receptor de un colector solar de canal parabólico”

**VALENCIA-VEGA, Gustavo A., MONTIEL-GONZÁLEZ, Moisés, ROMERO-DOMÍNGUEZ, Rosenberg J. y ALVARADO-JUÁREZ, Roberto**

*Universidad Autónoma del Estado de Morelos*

*Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz*

“Diseño e implementación de una Interfaz de Control para la Integración de una Celda de Manufactura Flexible”

**ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, MUÑOZ-MATA, José Lorenzo, RANGEL-ROMERO, Carlos y OCOTITLA-MUÑOZ, Alma Delia**

*Universidad Tecnológica de Puebla*



2 5 2 3 | 6 8 3 0

ISSN 2523-6830



[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)