

ISSN 2523-6776

Volumen 3, Número 11 — Julio — Septiembre - 2019

Revista de Ingeniería Tecnológica



ECORFAN®

Editor en Jefe

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

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 de Ingeniería Tecnológica, Volumen 3, Número 11, de Julio a Septiembre 2019, es una revista editada trimestralmente por Ecorfan-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: www.ecorfan.org/taiwan, revista@ecorfan.org. Editor en Jefe: SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC. ISSN: 2523-6776. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática Ecorfan. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 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 de Ingeniería Tecnológica

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 innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas.

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 Seriada 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 de Ingeniería Tecnológica 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 innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas 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

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD
Universidad Central del Ecuador

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

NAZARIO - BAUTISTA, Elivar. PhD
Centro de Investigacion en óptica y nanofisica

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD
Institut National Polytechnique de Grenoble

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD
Academia de Ciencias de Polonia

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD
Center of Research in Mathematics

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciencis et Technologies de Lille

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD
Centro de Microelectrónica de Barcelona

Comité Arbitral

BARRON, Juan. PhD
Universidad Tecnológica de Jalisco

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

CRUZ - BARRAGÁN, Aidee. PhD
Universidad de la Sierra Sur

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Tecnológica 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 innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Desarrollo en Blender del gemelo digital de una estación electro-neumática para su aplicación en laboratorios virtuales*, por CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto, GÓMEZ-HERNÁNDEZ, Alejandro, ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith y GUALITO-OLVERA, Miguel Ángel, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Querétaro, como segundo artículo presentamos, *Simulación de la dinámica del motor de inducción trifásico en una tarjeta de desarrollo*, por TORRES-DEL CARMEN, Felipe de Jesús, CAPILLA-GONZÁLEZ, Gustavo, OCAMPO-FERNÁNDEZ, Víctor Manuel, MOTA-CRUZ, Juan Esteban y ALANÍS-CANTÚ, Reynaldo, con adscripción en la Universidad de Guanajuato, como tercer artículo presentamos, *Efecto del tiempo de electrodeposición de la fase sensibilizadora en DSSC empleando TiO_2 como semiconductor*, por BALTAZAR-VERA, Juan Carlos, CAUDILLO-CAUDILLO, Luisa Marcela, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Ma. Mercedes, ALVARADO-MONTALVO, Lucía Guadalupe, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Carolina de Jesús y MIRANDA-AVILÉS, Raul, con adscripción en la Universidad de Guanajuato, como último artículo presentamos, *Evolución del diseño de un sistema de recolección de basura utilizando manufactura aditiva en un robot limpiador de playa*, por AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, NISHIYAMA-GÓMEZ, Diana, SANTILLÁN-MARTÍNEZ, Alejandro y ROJO-VELAZQUEZ, Gustavo Emilio, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo.

Contenido

Artículo	Página
Desarrollo en Blender del gemelo digital de una estación electro-neumática para su aplicación en laboratorios virtuales CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto, GÓMEZ-HERNÁNDEZ, Alejandro, ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith y GUALITO-OLVERA, Miguel Ángel <i>Universidad Tecnológica de Querétaro</i>	1-7
Simulación de la dinámica del motor de inducción trifásico en una tarjeta de desarrollo TORRES-DEL CARMEN, Felipe de Jesús, CAPILLA-GONZÁLEZ, Gustavo, OCAMPO-FERNÁNDEZ, Víctor Manuel, MOTA-CRUZ, Juan Esteban y ALANÍS-CANTÚ, Reynaldo <i>Universidad de Guanajuato</i>	8-16
Efecto del tiempo de electrodepósito de la fase sensibilizadora en DSSC empleando TiO₂ como semiconductor BALTAZAR-VERA, Juan Carlos, CAUDILLO-CAUDILLO, Luisa Marcela, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Ma. Mercedes, ALVARADO-MONTALVO, Lucía Guadalupe, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Carolina de Jesús y MIRANDA-AVILÉS, Raul <i>Universidad de Guanajuato</i>	17-22
Evolución del diseño de un sistema de recolección de basura utilizando manufactura aditiva en un robot limpiador de playa AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, NISHIYAMA-GÓMEZ, Diana, SANTILLÁN-MARTÍNEZ, Alejandro y ROJO-VELAZQUEZ, Gustavo Emilio <i>Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo</i>	23-28

Desarrollo en Blender del gemelo digital de una estación electro-neumática para su aplicación en laboratorios virtuales**Development in Blender of the digital twin of an electro-pneumatic station for its application in virtual laboratories**

CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto^{†*}, GÓMEZ-HERNÁNDEZ, Alejandro, ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith y GUALITO-OLVERA, Miguel Ángel

Universidad Tecnológica de Querétaro

ID 1er Autor: *Luis Alberto, Carmona-Martínez* / ORC ID: 0000-0002-7925-1229, CVU CONACYT ID:486128

ID 1er Coautor: *Alejandro, Gómez-Hernández* / ORC ID: 0000-0003-2089-9829, CVU CONACYT ID: 486382

ID 2do Coautor: *Tania Judith, Ortíz-Ortíz* / ORC ID: 0000-0001-6712-9237, CVU CONACYT ID: 426398

ID 3er Coautor: *Miguel Ángel, Gualito-Olvera* / ORC ID: 0000-0001-5138-0961, CVU CONACYT ID: 864375

DOI: 10.35429/JTEN.2019.11.3.1.7

Recibido 03 de Julio, 2019; Aceptado 09 Septiembre, 2019

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo del gemelo digital de una estación electro-neumática compuesta con 3 pistones, para implementar esta estación en laboratorios virtuales. El objetivo de esta estación es contar con una alternativa económica para la realización de prácticas de automatización que cuente con la capacidad de conectarse a través de Ethernet con PLCs de la marca de Allen Bradley y con todos los PLCs que se comuniquen bajo el protocolo Modbus TCP. Para desarrollar el gemelo digital presentado en este artículo se tomó como referencia una estación física electro-neumática del laboratorio de Mecatrónica en la universidad tecnología de Querétaro, el desarrollo este gemelo digital se hizo a través del software gratuito Blender complementándolo con programación en Python para la comunicación Ethernet TCP con los distintos controladores lógicos programables. Posteriormente se realizó la validación de este proyecto mediante la conexión tanto del gemelo digital como de la estación física tomada como referencia, con un PLC ControlLogix. Este trabajo permitirá a futuro implementar en universidades, centros de capacitación e instituciones interesadas, laboratorios virtuales de bajo costo, con múltiples escenarios de prácticas, que den como resultado estudiantes mejor preparados en la programación de sistemas automatizados en la industria.

Gemelos digitales, Laboratorios virtuales, Blender

Abstract

This paper presents the development of the digital twin of an electro-pneumatic station composed with 3 pistons, to implement this station in virtual laboratories. The objective of this station is to have an economical alternative for the accomplishment of practices of automation that counts on the capacity to connect through Ethernet with PLCs of the mark of Allen Bradley and with all the PLCs that communicate under the protocol Modbus TCP. Later, in order to develop the digital twin presented in this paper, an electro-pneumatic physical station was taken from the Mechatronics laboratory at the Universidad Tecnológica de Queretaro, the development of this digital twin was done through the free software Blender, complementing it with programming in Python for the Ethernet TCP communication with the different programmable logic controllers. Finally, we carried out the validation of this project through the connection of both the digital twin and the physical station taken as a model, with a ControlLogix PLC. This work will allow the future to implement low-cost virtual laboratories in universities, training centers and interested institutions. The laboratories will have multiple practice scenarios that result in students better prepared in the programming of automated systems in the industry.

Digital twins, Virtual laboratories, Blender

Citación: CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto, GÓMEZ-HERNÁNDEZ, Alejandro, ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith y GUALITO-OLVERA, Miguel Ángel. Desarrollo en Blender del gemelo digital de una estación electro-neumática para su aplicación en laboratorios virtuales. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2019. 3-11: 1-7

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: alberto0488@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La competitividad altamente creciente en la industria de hoy exige productos con calidad y precios competitivos.

Para superar este desafío muchas industrias han integrado sistemas automatizados, reemplazando la toma de decisiones del ser humano, en un proceso mecanizado, por computadoras y dispositivos de automatización, dejando el control de las líneas de producción a una cantidad mínima de operadores.

La automatización hoy en día es la implementación de robots y sistemas computacionales que se apoyan de la inteligencia artificial y el big data para realizar las actividades rutinarias con una mejor calidad y a menor costo. Se considera que el mercado de la automatización llegue a 149 mil millones de dólares para el año 2022, significando un crecimiento promedio anual de un 6% (Market Research Future, 2018).

Otro factor muy importante a considerar es la transición a la cuarta revolución industrial o mejor conocida como industria 4.0, teniendo como objetivo la puesta en marcha de un gran número de fábricas inteligentes, este concepto implica la completa digitalización de las cadenas de valor, teniendo como resultado un alto grado de automatización y digitalización de las fábricas.

México ocupa un lugar privilegiado entre los países con más egresados de carreras orientadas a la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, conocidas como carreras STEM por sus siglas en inglés (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) señala a México con una de las mayores proporciones de estudiantes que ingresan a carreras STEM, con un 35%, ocupando el cuarto lugar en número de egresados de dichas carreras, quedando apenas por debajo de Alemania, Estonia y Finlandia. En contraste con el lugar ocupado en carreras STEM, en México la educación técnica solo representa el 4% de la educación total, mientras que en Alemania representa casi el 45% (Forbes México, 2018).

Para que México tenga profesionales que cumplan las competencias y requerimientos en automatización industrial es necesario un constante entrenamiento, el cual inicia desde las instituciones educativas en los laboratorios y continúa en los centros de entrenamiento personal para la automatización. Desafortunadamente, muchos de estos laboratorios cuentan con infraestructura limitada, especialmente en las universidades públicas.

Dentro de los temas más importantes para el entrenamiento en automatización en ambiente industrial resaltan los siguientes:

- Programación de PLCs
- Robótica
- Control de Movimiento
- Control Automático
- Protocolos de comunicación industrial

Tomando en cuenta los temas y la necesidad de calidad en el entrenamiento de automatización, el cuerpo académico de automatización y control, de la Universidad Tecnológica de Querétaro, propone una alternativa educativa de bajo costo, que permita a los estudiantes poder interactuar de manera virtual con escenarios industriales bajo el concepto de gemelo digital, ofreciendo los mismos retos en programación, robótica, protocolos de comunicación y control de movimiento.

Estos escenarios solo representarían la parte mecánica, de sensores y actuadores del proceso y para ellos deberán contar con un complemento físico, como lo puede ser un Controlador Lógico Programable, permitiendo al estudiante programar equipos industriales comerciales aplicados en escenarios virtuales. Debido al alto costo de los equipos comerciales aplicados en la industria, en este artículo también se implementa una opción física educativa de bajo costo para ser implementado como controlador lógico programable en estos escenarios. Para el desarrollo de este primer escenario virtual se realizó un estudio de varios artículos relacionados con laboratorios virtuales.

Uno de ellos se centra en el desarrollo de un laboratorio virtual creado con el software gratuito PhysX[®] (Ortega et. al., 2017), el cual consiste en un escenario simulado compuesto por sensores, pistones, motores y un robot delta.

Todo el sistema cuenta con comunicación con controladores lógicos programables a través del protocolo Modbus TCP.

Un segundo trabajo encontrado consiste en el desarrollo de un laboratorio virtual, que parte de una iniciativa del Sistema Tecnológico de Monterrey, con el objetivo de mejorar, apoyar y desarrollar una nueva infraestructura de laboratorios para el nuevo modelo educativo del siglo XXI. El proyecto fue implementado con el software comercial Labview a través de modelos 3D bajo el formato VRML (Virtual Reality Modeling Language) para ser ensamblados y convertido en un escenario para el laboratorio virtual, dicho laboratorio cuenta con comunicación PROFINET para controladores lógicos programables de la marca Siemens (Antonio et. al., 2011).

Un tercer trabajo encontrado consiste en la implementación de un laboratorio virtual para la enseñanza de controladores PDI (Márquez et. al., 2008), este laboratorio no cuenta con conexión a algún equipo industrial externo y su desarrollo fue principalmente con el software Matlab.

El valor agregado respecto a los trabajos encontrados consiste en la comunicación con controladores lógicos programables de la marca de Allen Bradley® y con equipos que se comuniquen con Modbus TCP.

La estructura del primer escenario para el laboratorio virtual se basa en un gemelo digital desarrollado con el software gratuito Blender® de una estación electro neumática del laboratorio de la Universidad Tecnológica de Querétaro (Figura 1). Este escenario cuenta con scripts en lenguaje Python, desarrollados en este trabajo, que le permiten comunicarse con Ethernet industrial. Este protocolo de comunicación se eligió debido al rápido crecimiento que tiene en el mercado. Con una tasa de crecimiento de un 20%, representando en el 2016 el 38% del mercado global (Hardware Meets Software, 2018). Es necesario mencionar que el Ethernet industrial es la aplicación del estándar Ethernet en un entorno industrial con diversos protocolos que proporcionan determinismo y control.



Figura 1 Estación electroneumática
 Fuente: *Elaboración Propia*

Dentro de la diversidad del protocolo del Ethernet industrial, se eligieron dos protocolos para este primer avance. El primero es el protocolo EtherNet/IP, el cual ocupa el primer lugar de los protocolos del Ethernet industrial en el mercado (Hardware Meets Software, 2018).

El protocolo EtherNet/IP también es conocido como “ControlNet sobre Ethernet” y consiste en la aplicación del protocolo CIP en la capa de transporte, sesión, presentación y aplicación del modelo de referencia OSI. Utilizando como capa física y capa de enlace de datos el estándar Ethernet y respectivamente IP, UDP/TCP; como la capa de red y de transporte.

El segundo es el protocolo de comunicación Modbus TCP, este protocolo ocupa el cuarto lugar de los protocolos del Ethernet industrial en el mercado, pero fue elegido debido a que distintas marcas de PLC lo manejan. Dándole así a este proyecto una gran diversidad de equipos con los cuales puede comunicarse, y permitiendo también en este artículo agregar como complemento de controlador lógico programable una Raspberry Pi 3 programada con el software industrial de bajo costo Codesys®

El artículo está estructurado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta la metodología utilizada para el proyecto. En la sección 3 se presenta la arquitectura del ambiente virtual y de los protocolos de comunicación.

En la sección 4 se muestra el impacto del laboratorio virtual dentro de las carreras en la universidad tecnológica de Querétaro. Finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones del trabajo.

Metodología

La metodología implementada para desarrollar el proyecto se muestra en la figura 2.

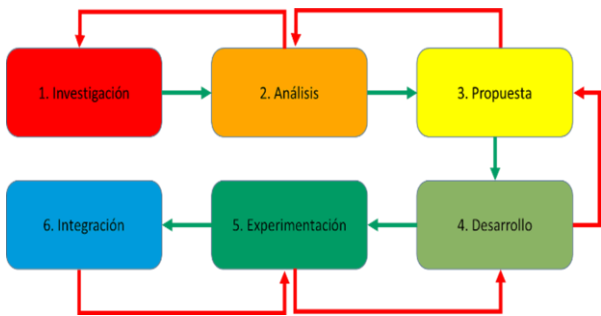


Figura 2 Diagrama de la metodología
Fuente: Elaboración Propia

1. Investigación del estado del arte respecto a los proyectos y aplicaciones similares.
2. Análisis de los softwares disponibles para el desarrollo de ambientes virtuales y los requerimientos técnicos para poder llevar a cabo el proyecto.
3. Propuesta del software a utilizar, escenario a diseñar y protocolos de comunicación.
4. Desarrollo del ambiente virtual y programación de los protocolos industriales dentro del mismo.
5. Integración e implementación del escenario virtual con un controlador lógico programable.

Arquitectura

A continuación se presenta el desarrollo de del trabajo realizado, primero se da a conocer el diseño y la arquitectura dentro de Blender y luego la arquitectura de comunicación de los protocolos industriales implementados en este trabajo.

Diseño y arquitectura en Blender

Blender es un programa que integra una serie de herramientas para la creación de contenido 3D destinado a realización de imágenes estáticas, videos de alta calidad y creación de contenido interactivo, Blender es un “software libre”, con el código fuente disponible bajo la licencia GNU GPL.

Para el desarrollo del ambiente virtual se realizó en SolidWorks un modelo en 3D de una de las estaciones electroneumáticas del laboratorio de la universidad tecnológica de Querétaro (Figura 3).

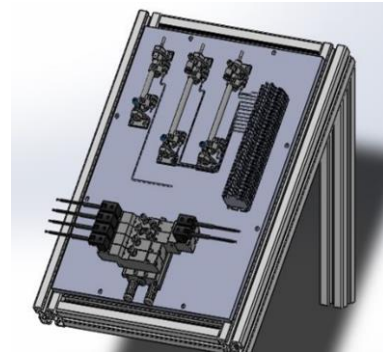


Figura 3 Estación electroneumática en SolidWorks
Fuente: Elaboración Propia

Los modelos en 3D son exportados en formato stl, lo que permite a Blender leer, abrir y visualizar el ensamble de la estación (Figura 4).

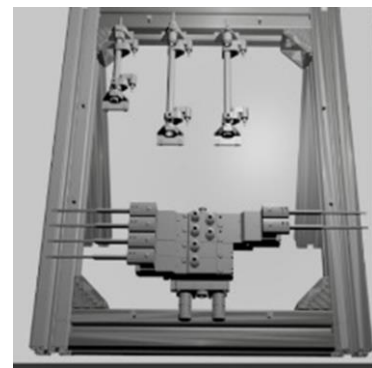


Figura 4 Estación electroneumática en Blender
Fuente: Elaboración Propia

Para el desarrollo del ambiente virtual se partió del siguiente diagrama (Figura 5).

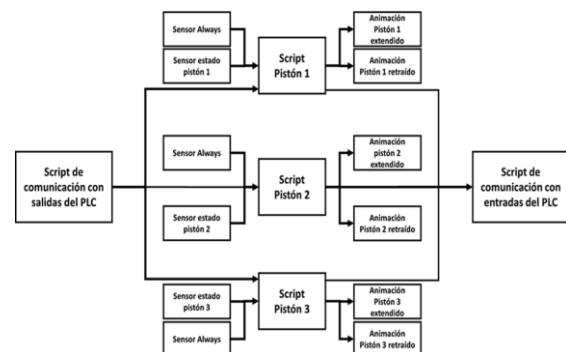


Figura 5 Diagrama de estados del escenario virtual
Fuente: Elaboración Propia

A cada modelo digital de los pistones se le asignó un script desarrollado en lenguaje Python, cada script tiene como entradas; un sensor en modo “Always” (el cual permite correr de manera continua el script), un sensor de estado para saber la posición del pistón, y una conexión de entrada con el script general de comunicación hacia las variables de salidas del PLC.

En las salidas el script controla 2 actuadores de animación que permiten extender y retraer el pistón, y una conexión de salida con el script general de comunicación hacia las variables de entrada del PLC. Esta estructura permite controlar de manera externa e independiente cada uno de los pistones.

Arquitectura de comunicación para equipos industriales

Esta primera estación cuenta con una versatilidad en cuestión de comunicación, debido a la implementación de los protocolos industriales Modbus TCP y EtherNet/IP para los PLCs de Allen Bradley. Esto permite al estudiante utilizar e interactuar con distintos equipos de control que se comuniquen mediante los protocolos asignados. A continuación se da una breve descripción de los protocolos utilizados.

Comunicación vía EtherNet/IP

El protocolo EtherNet/IP es un empaquetado de mensajes a través del protocolo TCP/IP, estos mensajes utilizan el protocolo CIP al igual que los protocolos industriales ControlNet y DeviceNet. EtherNet/IP define su encapsulamiento a través del modelo OSI como se muestra en la Figura 6 (Prado, 2005).

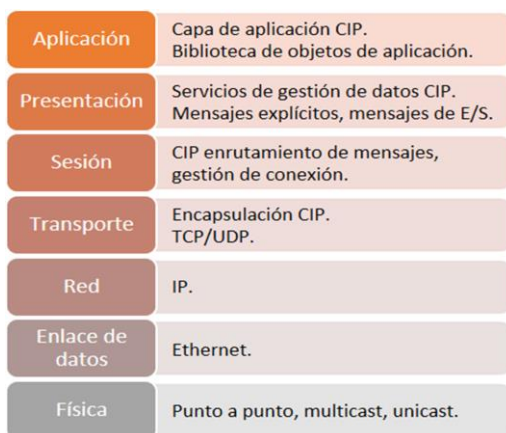


Figura 6 Modelo de red EtherNet/IP
Fuente: Elaboración Propia

La comunicación a través de CIP en EtherNet/IP utiliza dos métodos de comunicación (mensajes implícitos y mensajes explícitos), el método utilizado en este trabajo es el de mensajes explícitos, el cual se realiza a través de TCP/IP mediante el puerto 44818. Este método permite leer y escribir sobre una o varias variables en el PLC siguiendo la secuencia de comunicación mostrada en la figura 7.

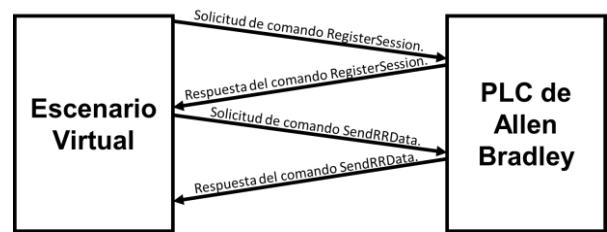


Figura 7 Diagrama de comunicación EtherNet/IP
Fuente: Elaboración Propia

Bajo esta comunicación el PLC actúa como servidor y el escenario virtual como cliente, transfiriendo los estados de los sensores y actuadores en dos variables en el PLC. Con esta comunicación, se puede realizar conexión a través de Ethernet con los siguientes PLCs.

- a) Micrologix
- b) CompactLogix
- c) ControlLogix
- d) SoftLogix

Las pruebas de funcionamiento se realizaron mediante la utilización de un PLC CompactLogix L32E; programado con el software RSLogix 5000 (Figura 8) para el protocolo de comunicación EtherNet/IP.

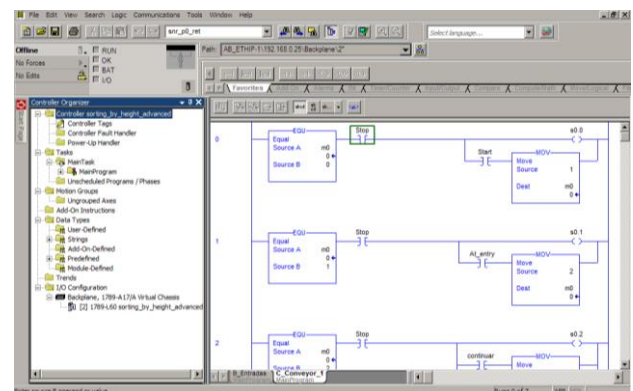


Figura 8 Programa PLC en RSLogix 5000
Fuente: Elaboración Propia

Modbus TCP

Modbus es un protocolo originalmente implementado para transferir datos a través de una capa serial, pero se ha expandido para su aplicación a través de TCP/IP utilizando la relación maestro-esclavo.

En esta comunicación el dispositivo maestro debe de iniciar una solicitud hacia un esclavo en específico y luego esperar una respuesta de ese esclavo, como se muestra en la figura 9.

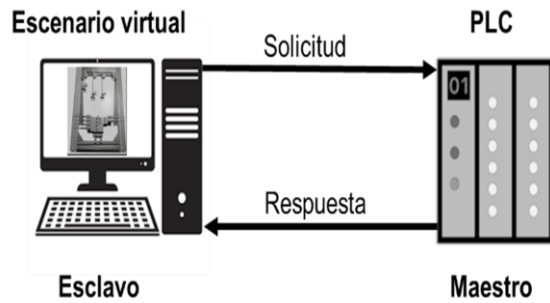


Figura 9 Diagrama de comunicación Modbus TCP
 Fuente: Elaboración Propia

Con el uso de la comunicación Modbus TCP este escenario virtual puede comunicarse con PLCs que empleen el mismo protocolo de comunicación, transfiriendo los estados de los sensores y actuadores a través del puerto TCP 502.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron mediante la utilización de una Raspberry Pi 3; programado con el software Codesys® (Figura 10) para el protocolo de comunicación Modbus TCP.

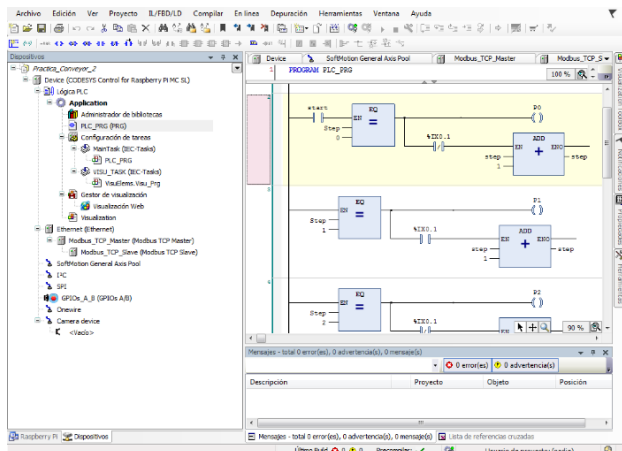


Figura 10 Programa Raspberry en Codesys
 Fuente: Elaboración Propia

Impacto del laboratorio virtual

El escenario desarrollado en este trabajo tiene un impacto directo en las siguientes carreras y materias dentro de la universidad tecnológica de Querétaro:

Carrera en Mecatrónica:

- Controladores lógicos programables.
- Microcontroladores.
- Fundamentos de instrumentación virtual.
- Integración de sistemas automáticos.

Carrera en tecnologías de la automatización.

- Instrumentación virtual.
- Sistemas de manufactura flexible.
- Control lógico avanzado

Conclusiones

Las conclusiones obtenidas de este proyecto son las siguientes:

- El desarrollo de este proyecto permite contar con una alternativa de bajo costo para la implementación de laboratorios virtuales en automatización, dentro de universidades y centros de capacitación.
- Este trabajo tiene contemplado implementar más escenarios para enriquecer el laboratorio virtual.
- Este trabajo es de gran impacto para las ingenierías; debido al crecimiento en automatización industrial, tanto en México como a nivel mundial.

Agradecimientos

Se agradece al cuerpo académico de automatización y control de la universidad tecnológica de Querétaro por el apoyo brindado para la aplicación de la metodología.

Referencias

Market Research Future. (2018). *Industrial Automation Market Research Report- Forecast 2022*. Obtenido de <https://www.marketresearchfuture.com/reports/industrial-automation-market-2212>

Forbes México. (2019). *Falta de automatización pone en riesgo la competitividad de México*. Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/falta-de-automatizacion-pone-en-riesgo-la-competitividad-de-mexico/>

Ortega-Moody, J., Sánchez-Alonso, R., Grise, W., García-Malacara, J., Vidana-Morales, R., Reyes-Morales, G. (2017). Laboratorio virtual de escenarios industriales para entrenamiento en las áreas de automatización y control. *Pistas Educativas*, 92(3), 285-287. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8051>

Lorandi, A., Hermida, G., Hernández, J. y Ladrón de Guevara, E. (2011). Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería. *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, vol. 4, 24-30.

Márquez, D. y Cárdenas, A., (2008). Implementación de un Laboratorio Virtual para la enseñanza de Controladores PID. *Revista Información Tecnológica*, vol. 19, 75-78.

Hardware Meets Software. (2018). HMS Release 2016 Industrial Market Share Report. *LC Automation*. Obtenido de https://www.lcautomation.com/Page/Latest_News/2016_Industrial_Network_Market_Share_Report.aspx

Prado Hernández, D. (2005). *Desarrollo de un servidor de comunicaciones para el monitoreo, supervisión y control de equipos industriales*. (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.

Simulación de la dinámica del motor de inducción trifásico en una tarjeta de desarrollo

Simulation of the three-phase induction motor dynamics in a development board

TORRES-DEL CARMEN, Felipe de Jesús^{†*}, CAPILLA-GONZÁLEZ, Gustavo, OCAMPO-FERNÁNDEZ, Víctor Manuel, MOTA-CRUZ, Juan Esteban y ALANÍS-CANTÚ, Reynaldo

Universidad de Guanajuato. División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca

ID 1^{er} Autor: *Felipe de Jesús, Torres-Del Carmen* / **ORC ID:** 0000-0001-5792-2098, **CVU CONACYT ID:** 170819

ID 1^{er} Coautor: *Gustavo, Capilla-González* / **CVU CONACYT ID:** 347519

ID 2^{do} Coautor: *Víctor Manuel, Ocampo-Fernández* / **ORC ID:** 0000-0003-1697-8065

ID 3^{er} Coautor: *Juan Esteban, Mota-Cruz* / **ORC ID:** 0000-0001-6099-9408

ID 4^{to} Coautor: *Reynaldo, Alanís-Cantú* / **ORC ID:** 0000-0001-5397-7016, **CVU CONACYT ID:** 52139

DOI: 10.35429/JTEN.2019.11.6.8.16

Recibido 03 de Agosto, 2019; Aceptado 10 Diciembre, 2019

Resumen

En este trabajo se desarrolló la simulación de la dinámica, altamente no lineal, de un motor de inducción trifásico, tanto en el modelo de coordenadas de fase $a - b - c$ como en el marco de referencia de dos fases fijo al estator $\alpha - \beta$, usando el software libre GNU-Octave sobre una tarjeta de desarrollo ó minicomputadora, Raspberry Pi. Los resultados de este enfoque han sido comparados con aquellos obtenidos al llevar a cabo las mismas simulaciones en el software comercial MatlabTM, ejecutado en una computadora personal de gran capacidad de hardware. El desempeño de la herramienta de simulación propuesta ha mostrado que es posible realizar simulaciones de dinámicas no lineales, por lo que el uso de éste enfoque puede ayudar a que exista un mayor acceso a las tecnologías de la información y comunicación para impulsar la enseñanza de la ingeniería en zonas marginales.

Simulación por computadora, Software libre, Motor de inducción

Abstract

In this paper, the simulation of the highly non-linear dynamics of a Three-Phase Induction Motor in both: the $a - b - c$ phase coordinates and $\alpha - \beta$ stator fixed reference frame has been developed, by the use of the GNU-Octave free software on a development board or minicomputer, Raspberry Pi. The results of this approach have been compared with those attained by taking out the same simulations on the commercial software MatlabTM, which is executed on a personal computer with great hardware capacity. The performance of the proposed simulation tool has shown that it is possible to take out simulations of non-linear dynamics, owing to this fact, the use of this approach might achieve a major access to the information and communication technologies to encourage the engineering teaching in marginal zones.

Computer simulation, Free software, Induction motor

Citación: TORRES-DEL CARMEN, Felipe de Jesús, CAPILLA-GONZÁLEZ, Gustavo, OCAMPO-FERNÁNDEZ, Víctor Manuel, MOTA-CRUZ, Juan Esteban y ALANÍS-CANTÚ, Reynaldo. Simulación de la dinámica del motor de inducción trifásico en una tarjeta de desarrollo. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2019. 3-11: 8-16

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: fdj.torres@ugto.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la enseñanza de la ingeniería, particularmente tópicos como máquinas eléctricas, sistemas dinámicos, ingeniería de control, ecuaciones diferenciales, simulación por computadora, entre otros; comúnmente se utiliza software especializado para obtener una representación del comportamiento de la solución o sistema en función del tiempo. De esta manera, el tiempo de ejecución de operaciones matriciales, implementación de métodos numéricos, manejo de gran cantidad de datos y más; está ligado a la capacidad de hardware del equipo de cómputo.

El ideal de las Instituciones de Educación Superior es ofrecer los recursos necesarios y suficientes que permitan a los profesores implementar las estrategias de enseñanza que logren un aprendizaje significativo en los estudiantes. La realidad es contrastante, los presupuestos otorgados por el gobierno en turno, no son suficientes para instalar un laboratorio de cómputo, más aún, un laboratorio de simulación. Por lo anterior, surge la inquietud de evaluar soluciones alternas, como lo puede ser el uso de minicomputadoras.

La problemática se hace mayor cuando se utiliza software bajo licencia, la cual es costosa, tiene que renovarse y, además, es limitada tanto en número de equipos a instalar, como en capacidades de cálculo. Es decir, para un laboratorio de simulación como tal, se debe ejercer un gasto para la adquisición y mantenimiento del equipo de cómputo, así como el pago de la licencia del software.

Se han abordado dos frentes de la problemática existente: equipo de cómputo y uso de software. En referencia al equipo de cómputo, la alternativa que se propone es utilizar una minicomputadora, o bien, una tarjeta de desarrollo comercial como la Raspberry Pi, la cual tiene un costo 20 veces menor al costo de una computadora personal comúnmente usada para simulación. Respecto al software, en este trabajo se hace uso de GNU-Octave, el cual es un software libre.

El movimiento de software libre se ha gestado desde principios de los 70's, aunque fue hasta principios de los 80's cuando este movimiento inició a producir sus propios softwares, los cuales estaban bajo una licencia pública denominada GPL (General Public License, por sus siglas en inglés).

Viñas y Llinás (2003) expresa que ésta licencia protegía al software desarrollado a partir del movimiento de software libre, otorgándole las libertades de:

- Usar el software para cualquier propósito.
- Estudiar cómo funciona el software y adaptarlo a las necesidades propias.
- Distribuir libremente copias del software.
- Mejorar el software y hacer públicas las versiones mejoradas en beneficio de la comunidad.

Es importante resaltar que la literatura disponible para simulación de sistemas dinámicos se centra en el uso de software protegido bajo licencia, particularmente hacen uso de Matlab™. Así, por ejemplo, Houppis y Sheldon (2013) presentaron una guía de simulación de sistemas dinámicos lineales con Matlab™. Khatin y Elmenreich (2016) modelaron sistemas fotovoltaicos usando Matlab™. Blaabjerg y Ionel (2017) simularon sistemas de energías renovables a través de Matlab™. López (2014) trató acerca de aplicaciones de la ingeniería en sistemas de control con Matlab™. Particularmente, Beltrán, et al. (2019) simularon el control de un motor de inducción trifásico por medio de Matlab™, basándose en el modelo de tres fases.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue simular un sistema altamente no lineal como el motor de inducción trifásico, tanto en el modelo de coordenadas de fase $a - b - c$ como en el marco de referencia fijo al estator $\alpha - \beta$; a través de software libre soportado en una minicomputadora o tarjeta de desarrollo como Raspberry Pi, para mostrar evidencia del diseño de una herramienta de simulación de bajo costo que fomente la enseñanza de la ingeniería en zonas marginales. Más aún, este artículo podría servir de tutorial para simulación de sistemas dinámicos, solución de ecuaciones diferenciales e implementación del método numérico de integración de Euler.

El artículo se organizó de la siguiente manera: en la sección II se presenta la descripción del software GNU-Octave y de la Raspberry Pi. En la sección III se muestran los modelos dinámicos no lineales del motor de inducción trifásico: $a - b - c$ y $\alpha - \beta$.

En la sección IV, se describe la metodología de simulación. La sección V exhibe los resultados de las simulaciones realizadas en el software comúnmente usado, Matlab™ y GNU-Octave. Por último, en la sección VI se dan las conclusiones del documento.

Descripción de GNU-Octave y Raspberry Pi

GNU-Octave

GNU-Octave es un software libre redistribuible, lo cual permite ser modificado bajo los términos del GNU General Public License (GPL). Es un lenguaje de alto nivel para cálculo numérico. Permite la solución numérica de problemas lineales y no lineales. Provee extensas capacidades gráficas para visualización y manipulación de datos. Se usa a través de su línea de comandos interactivos o bien de códigos (Torres, 2019). El lenguaje Octave es bastante similar a Matlab™ de tal manera que la mayoría de los programas son portables. En la Figura 1 se observa la pantalla principal del software GNU-Octave.

Raspberry Pi

Raspberry Pi® (RPi) es una mini-computadora en placa, de tamaño de una tarjeta de crédito, desarrollada en Reino Unido por la fundación Raspberry Pi con la intención de estimular la enseñanza de las ciencias computacionales básicas en escuelas (Jain, Vaibhav y Goyal, 2014).

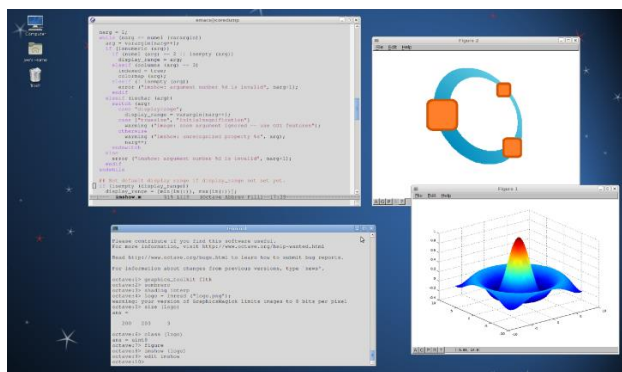


Figura 1 Pantalla principal del software libre GNU Octave
Fuente: <https://www.gnu.org/software/octave/>

Los lenguajes de programación principal son Debian y Python. Soporta sistemas operativos en base a Linux, comúnmente se instala el Raspbian, puede incluso instalarse Windows® 10.

El bajo costo y la configuración de hardware de la placa RPi han hecho que sea muy popular entre los programadores y realizadores (aficionados) de proyectos de automatización que requieren algún procesamiento computacional. Está integrada por un chip Broadcom BCM2835 con procesador ARM hasta 1.4 GHz de velocidad, GPU VideoCore IV y hasta 1 GB de memoria RAM. Se requiere de un medio de almacenamiento, tarjetas de memoria SD o microSD, así como de un cargador microUSB de al menos 2000mAh.

Contiene un puerto de salida de video HDMI y otro de tipo RCA, minijack de audio y un puerto USB 2.0 (modelos A y A+, B dispone de dos USB y B+ y Raspberry Pi 2 disponen de 4 USB) con el que se podrá conectar periféricos como teclado y ratón. Para conexión en red, la RPi contiene un puerto Ethernet o es posible utilizar un adaptador inalámbrico WiFi compatible. El esquema de una RPi es mostrado en la Figura 2.

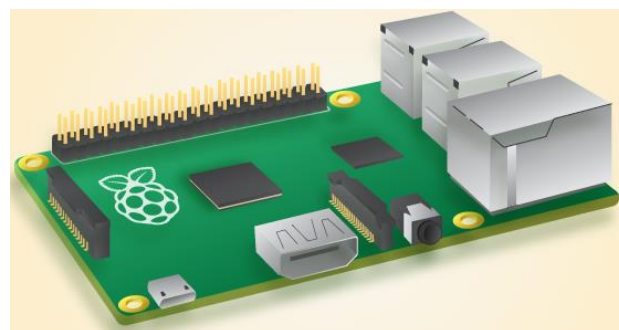


Figura 2 Esquema de la Raspberry Pi B+ Fuente: <https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2013/12/model-b-plus.png>

Modelo dinámico del motor de inducción trifásico

Los motores de inducción trifásicos (MI) con rotor tipo jaula de ardilla son simples en su construcción, requieren poco mantenimiento, son rentables y adecuados en términos de tamaño, peso, velocidad de rotación, eficiencia, control y fiabilidad (Karlis et al., 2006).

El MI está compuesto de un conjunto de barras conductoras localizadas en la periferia del rotor. Este devanado del rotor se encuentra cortocircuitado en sus extremos a través de anillos conductores, por lo cual el voltaje del rotor es cero, mientras el devanado del estator se conecta a una fuente balanceada de voltaje de tres fases.

Modelo trifásico a-b-c

De acuerdo a Krause, Wasynczuk y Pekarek (2012), el modelo trifásico del motor de inducción se divide en dos subsistemas: el eléctrico y el mecánico. El subsistema eléctrico se modela por medio de las ecuaciones diferenciales presentadas en forma matricial:

$$L \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_{as} \\ \dot{I}_{bs} \\ \dot{I}_{cs} \\ \dot{I}_{ar} \\ \dot{I}_{br} \\ \dot{I}_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_1 & \Delta_2 \\ \Delta_3 & \Delta_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \\ I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde L es la matriz de inductancias dada en la Ec. (3). I_{as}, I_{bs}, I_{cs} son las corrientes de los devanados de las fases del estator. I_{ar}, I_{br}, I_{cr} son las corrientes de los devanados de las fases del rotor. v_{as}, v_{bs}, v_{cs} son los voltajes de alimentación aplicados a los devanados del estator, los cuales están desfasados 120° eléctricos. $\Delta_i \in \mathbb{R}^{3 \times 3}, i = 1 \dots 4$, las cuales son:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{bmatrix} -R_s & 0 & 0 \\ 0 & -R_s & 0 \\ 0 & 0 & -R_s \end{bmatrix}, \\ \Delta_2 &= L_{sr} \omega_r \begin{bmatrix} s1 & s2 & s3 \\ s3 & s1 & s2 \\ s2 & s3 & s1 \end{bmatrix}, \\ \Delta_3 &= L_{sr} \omega_r \begin{bmatrix} s1 & s3 & s2 \\ s2 & s1 & s3 \\ s3 & s2 & s1 \end{bmatrix}, \\ \Delta_4 &= \begin{bmatrix} -R_r & 0 & 0 \\ 0 & -R_r & 0 \\ 0 & 0 & -R_r \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (2)$$

donde R_s y R_r son las resistencias de los devanados de estator y rotor, respectivamente. L_{sr} es la inductancia mutua estator-rotor, ω_r es la velocidad mecánica del rotor. $s1 = \text{sen}(\theta_r)$, $s2 = \text{sen}\left(\theta_r + \frac{2}{3}\pi\right)$, $s3 = \text{sen}\left(\theta_r - \frac{2}{3}\pi\right)$. θ_r es el desplazamiento angular del rotor.

Cada elemento de la matriz de inductancias $L \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ es definido como:

$$L_{11} = L_{22} = L_{33} = L_{ls} + L_m,$$

$$\begin{aligned} L_{14} = L_{25} = L_{36} = L_{41} = L_{52} = L_{63} \\ = L_m \cos(\theta_r), \\ L_{15} = L_{26} = L_{34} = L_{43} = L_{51} = L_{62} \\ = L_m \cos\left(\theta_r + \frac{2}{3}\pi\right), \\ L_{16} = L_{24} = L_{35} = L_{42} = L_{53} = L_{61} \\ = L_m \cos\left(\theta_r - \frac{2}{3}\pi\right), \end{aligned} \quad (1)$$

donde L_m es la inductancia mutua.

El modelado del subsistema mecánico se presenta en términos de la ecuación de balance de pares.

$$T_e = J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r + T_L, \quad (4)$$

donde T_e es el par electromagnético, J es la inercia del motor, B es el coeficiente de fricción viscosa y T_L es el par de carga. Así, las ecuaciones que modelan el comportamiento mecánico del motor son:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{1}{J}(T_e - B\omega_r - T_L), \\ \frac{d\theta_r}{dt} &= \omega_r. \end{aligned} \quad (2)$$

El par electromagnético permitió vincular los subsistemas eléctrico y mecánico. Este par está en función tanto del desplazamiento angular del rotor como de las corrientes del estator y rotor:

$$T_e = -n_p L_m \begin{bmatrix} s1 \\ s2 \\ s3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_{as} & I_{bs} & I_{cs} \\ I_{cs} & I_{as} & I_{bs} \\ I_{bs} & I_{cs} & I_{as} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

donde n_p es el número de pares de polos.

Modelo dos fases $\alpha - \beta$

Una manera de establecer el modelo dinámico de un MI, de una forma menos compleja, fue asumir que la máquina de inducción cuenta con dos devanados equivalentes a los tres devanados descritos en la sección anterior. Este método se basa en trabajar las ecuaciones de manera fasorial, es decir, los voltajes y corrientes del estator y rotor en el esquema trifásico son considerados como fasores desfasados $\frac{2}{3}\pi$ (Marino, Tomei y Verrelli, 2010). Así, se consiguió un esquema ortogonal, fijo al estator $\alpha - \beta$, el cual fue obtenido a partir de las ecuaciones trifásicas mediante la transformación:

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \\ x_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \sqrt{\frac{3}{2}} & -\sqrt{\frac{3}{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Después de aplicar las transformaciones, el modelo $\alpha - \beta$ fue dado por:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_r}{dt} &= \mu(\lambda_\alpha I_\beta - \lambda_\beta I_\alpha) - \frac{T_L}{J}, \\ \frac{d\lambda_\alpha}{dt} &= -\varphi \lambda_\alpha - n_p \omega_m \lambda_\beta + \varphi L_m I_\alpha, \\ \frac{d\lambda_\beta}{dt} &= -\varphi \lambda_\beta + n_p \omega_m \lambda_\alpha + \varphi L_m I_\beta, \\ \frac{dI_\alpha}{dt} &= -\gamma I_\alpha + \varphi \delta \lambda_\alpha + n_p \delta \omega_m \lambda_\beta + \frac{v_\alpha}{\sigma L_s}, \\ \frac{dI_\beta}{dt} &= -\gamma I_\beta + \varphi \delta \lambda_\beta - n_p \delta \omega_m \lambda_\alpha + \frac{v_\beta}{\sigma L_s}, \end{aligned} \quad (8)$$

donde $\varphi = \frac{R_r}{L_r}$, $\delta = \frac{L_m}{\sigma L_s L_r}$, $\mu = \frac{3}{2} n_p \frac{L_m}{J L_r}$, $\gamma = \frac{R_s L_r^2 + R_r L_m^2}{\sigma L_s L_r^2}$, $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$; I_α y I_β son las corrientes en los ejes α y β ; λ_α y λ_β son los enlaces de flujo en los ejes α y β . L_m , L_s y L_r inductancia mutua y auto-inductancia del estator y rotor, obtenidas de $L_{(m,s,r)} = \frac{X_{(m,s,r)}}{2\pi f}$, en la cual $X_{(m,s,r)}$ es la reactancia inductiva mutua, del estator o rotor, según corresponda; f es la frecuencia nominal en Hertz (Hz). v_α y v_β son los voltajes de alimentación que se obtienen a partir de los voltajes de fase (voltaje trifásico) multiplicada por la matriz de transformación de la Ec. (7).

Metodología de simulación

Se consideró el modelo dinámico del motor de inducción trifásico, tanto en el esquema trifásico como en el marco de referencia $\alpha - \beta$, como un sistema de lazo abierto, donde:

- El usuario puede introducir el voltaje de alimentación trifásico entre fases V_{ff} .
- Se solucionan las ecuaciones diferenciales del modelo \dot{x} , en cada caso.
- Se obtienen como salida los valores de las variables x que caracterizan el comportamiento dinámico del motor de inducción.
- Por último, se grafican éstos datos para mostrar el desempeño del motor de inducción.

De manera general, el esquema de simulación es visto en la Figura 3.

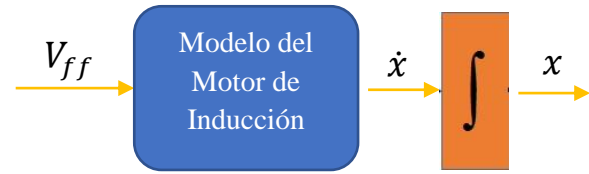


Figura 3 Esquema general de simulación

Fuente: Elaboración Propia

Método de integración de Euler

La solución de las ecuaciones diferenciales que modelan la dinámica del motor de inducción fue llevada a cabo mediante la implementación del método de integración de Euler. En Chapra, (2010) se da una explicación amplia de éste método, el cual es también llamado el método de punto-pendiente.

Sea una ecuación diferencial ordinaria de la forma:

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y), \quad (9)$$

donde y es la variable a derivar y t es el tiempo. La solución puede ser representada como:

$$y_{i+1} = y_i + \phi h, \quad (10)$$

donde ϕ es llamada la función incremento o la pendiente estimada para extrapolar de un valor anterior y_i a un nuevo valor y_{i+1} sobre una distancia h , la cual es conocida como el paso de integración.

En el método de Euler, $\phi = f(t_i, y_i)$ es la ecuación diferencial evaluada en t_i, y_i . Por lo que la solución de la ecuación diferencial es determinada por:

$$y_{i+1} = y_i + f(t_i, y_i)h. \quad (11)$$

Así, un nuevo valor de y es predicho usando la pendiente (igual a la primera derivada en el valor de t) para extrapolar linealmente sobre el paso de integración h . En la Figura 4 se muestra un esquema del método de integración de Euler.

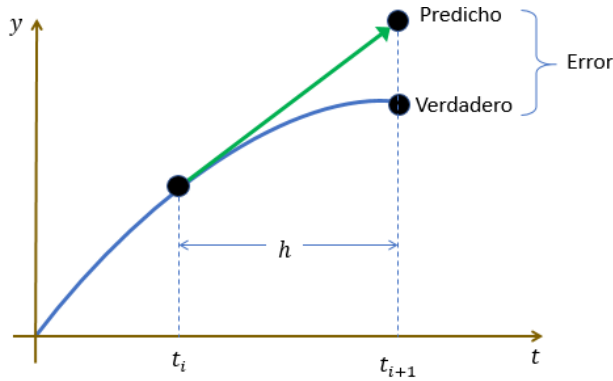


Figura 4 Método de Euler
Fuente: Elaboración Propia

Parámetros del MI

Los parámetros para el motor de inducción trifásico fueron tomados de Krause, Wasynczuk y Pekarek (2012). Los cuales son mostrados en la Tabla 1.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
V_{ff}	200 V	f	60 Hz
n_p	2	R_r	0.816 Ω
R_s	0.435 Ω	X_m	26.13 Ω
X_{fs}	0.754 Ω	X_{lr}	0.754 Ω
T_L	11.9 N.m	J	0.089 kg · m ²

Tabla 1 Parámetros del motor de inducción
Fuente: Elaboración Propia

Comparación de resultados entre Matlab™ y GNU-Octave

En las simulaciones realizadas tanto en Matlab™ como en GNU-Octave, se estableció un tiempo de simulación de 0.5 segundos con un paso de integración $h = 1e^{-4}$ para el método de integración de Euler.

Simulación en Matlab™

Matlab™, de acuerdo a la descripción general mostrada en su página oficial, es un software para el análisis iterativo y los procesos de diseño con un lenguaje de programación que expresa las matemáticas de matrices y arrays directamente. Es un software protegido por licencia, la cual tiene un costo de 860 dólares de manera anual, o bien 2,150 dólares de forma perpetua. Nuevas versiones son continuas, lo cual hace que aumente el interés por actualizarse entre los científicos, investigadores y educadores que lo utilizan.

Particularmente, se hizo uso de la versión R2018a, cuyos requisitos mínimos de sistema se muestran en la Tabla 2. El equipo de cómputo donde se ejecutó Matlab™ tiene un procesador Intel® Core™ i5-7200U CPU @ 2.50 GHz, 2701 MHz, 2 procesadores principales, 4 procesadores lógicos; RAM: 16.0 GB; 1 TB de HDD y sistema operativo Windows 10.

A continuación, primero se presentan los resultados de la simulación de la dinámica del Motor de Inducción bajo el modelo trifásico $a - b - c$. Así, en la Figura 5 se muestra la curva par-velocidad, Figura 6 detalla el comportamiento del par y de la velocidad con respecto al tiempo, en la Figura 7 se muestran las corrientes del estator y rotor. Posteriormente, los resultados de la simulación bajo el marco de referencia fijo al estator $\alpha - \beta$ son mostrados en la Figura 8, Figura 9 y Figura 10, las cuales describen las mismas variables de la simulación del modelo trifásico.

Sist. Operativo	Procesador	Espacio Disco	Memoria RAM
Windows 10	Mínimo Cualquier procesador	Mínimo 2 GB de espacio HDD	Mínimo 4 GB
Windows 8.1	Intel ó AMD x86-64	para MATLAB solamente, 4-6 GB para una instalación típica	
Windows 7 Service Pack 1	Recomendado Cualquier procesador	Recomendado Un disco de estado sólido SSD	Recomendado 8 GB
Windows Server 2016	Intel or AMD x86-64 con 4 núcleos y extension de conjunto de instrucciones AVX2	Una instalación completa de productos de MathWorks toma hasta 22 GB HDD	
Windows Server 2012 R2			

Tabla 2 Requisitos de sistema para Matlab™
Fuente: Elaboración Propia

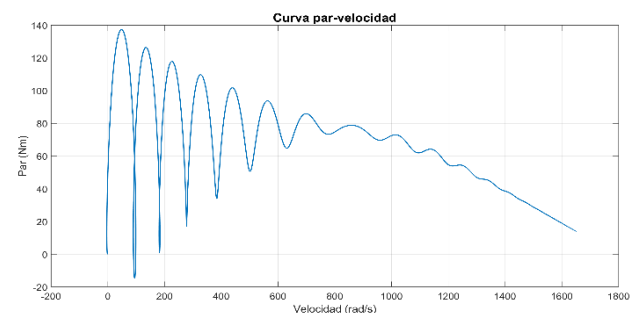


Figura 5 Simulación en Matlab™, par-velocidad, modelo trifásico $a - b - c$

Fuente: Elaboración Propia

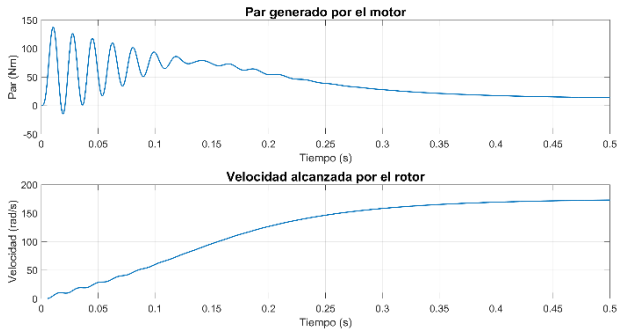


Figura 6 Simulación en Matlab™, par y velocidad vs tiempo, modelo $a - b - c$
Fuente: Elaboración Propia

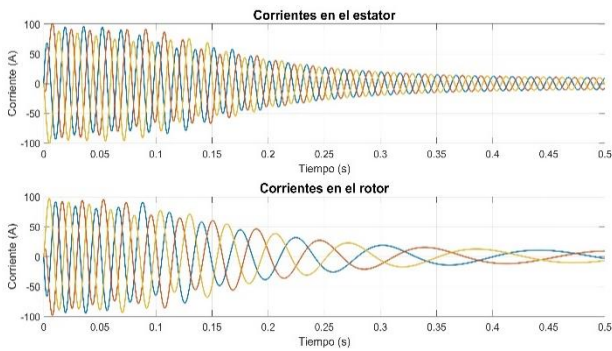


Figura 7 Simulación en Matlab™, corrientes, modelo trifásico $a - b - c$
Fuente: Elaboración Propia

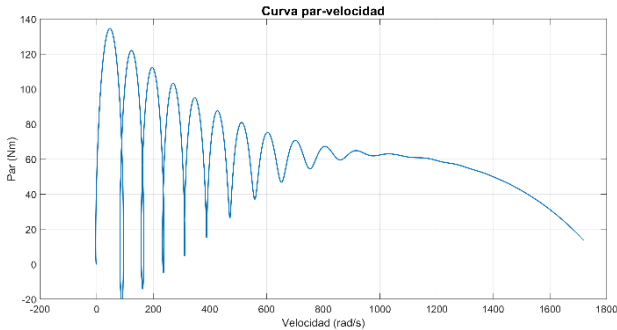


Figura 8 Simulación en Matlab™, par-velocidad, marco de referencia fijo al estator $\alpha - \beta$
Fuente: Elaboración Propia

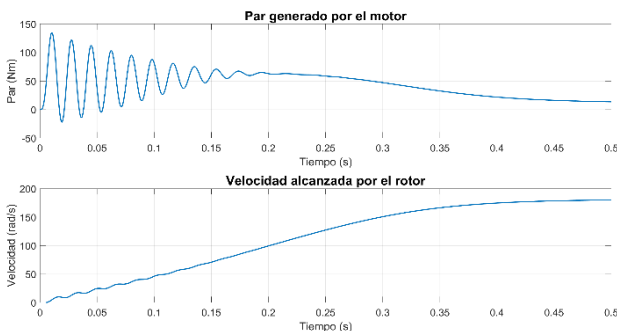


Figura 9 Simulación en Matlab™, par y velocidad respecto al tiempo, marco de referencia $\alpha - \beta$
Fuente: Elaboración Propia

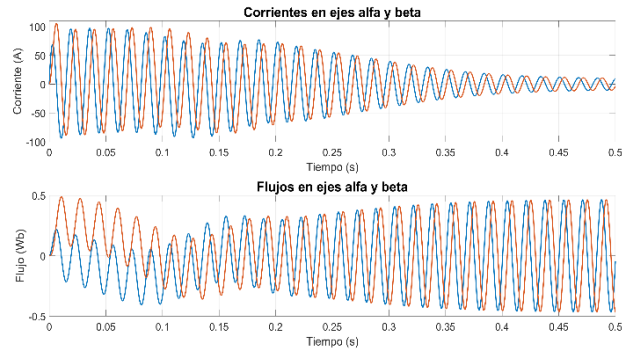


Figura 10 Simulación en Matlab™, corrientes y flujos respecto al tiempo, marco de referencia $\alpha - \beta$
Fuente: Elaboración Propia

Simulación en GNU-Octave

Como se describió en la sección II, los requerimientos de sistema para la ejecución de GNU-Octave son mínimos. La simulación fue llevada a cabo sobre una minicomputadora Raspberry Pi, también descrita en la sección II. Los resultados de la dinámica del motor de inducción bajo el modelo trifásico son presentados en la Figura 11, Figura 12 y Figura 13. Para el caso del marco de referencia fijo al estator, se muestran en la Figura 14, Figura 15 y Figura 16. En todas las simulaciones se incluyeron líneas para determinar el tiempo de ejecución de la simulación, los cuales son presentados en la Tabla 3.

	Matlab™	GNU-Octave
Modelo $a - b - c$	1.18 s	49.95 s
Marco $\alpha - \beta$	0.89 s	20.67 s

Tabla 3 Tiempo de ejecución de la simulación
Fuente: Elaboración Propia

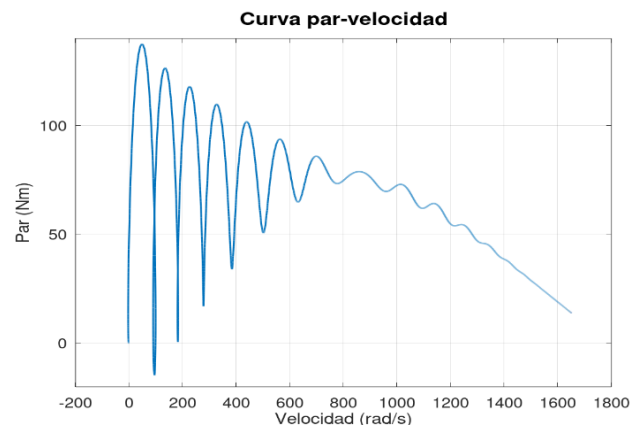


Figura 11 Simulación en GNU-Octave, par-velocidad, modelo trifásico $a - b - c$
Fuente: Elaboración Propia

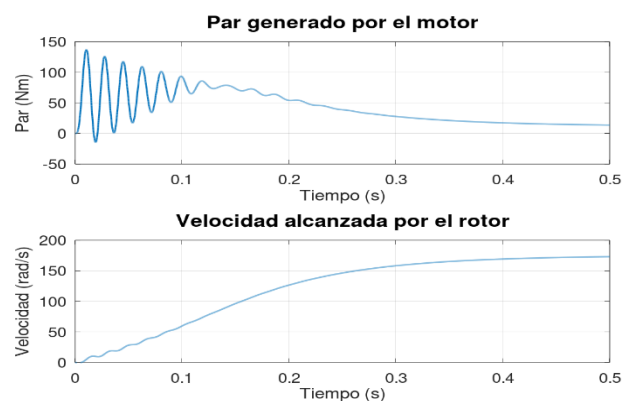


Figura 12 Simulación en GNU-Octave, par y velocidad vs tiempo, modelo trifásico $a - b - c$

Fuente: Elaboración Propia

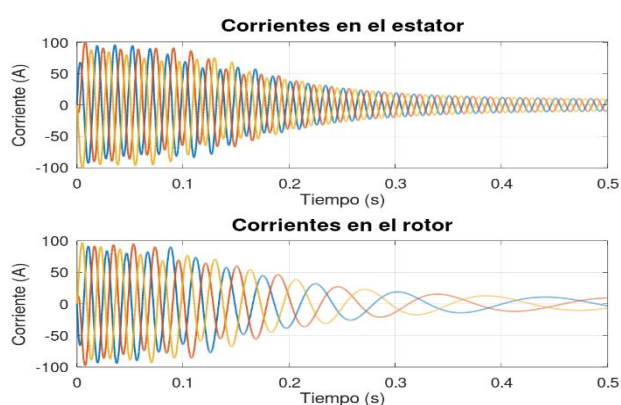


Figura 13 Simulación en GNU-Octave, corrientes vs tiempo, modelo trifásico $a - b - c$

Fuente: Elaboración Propia

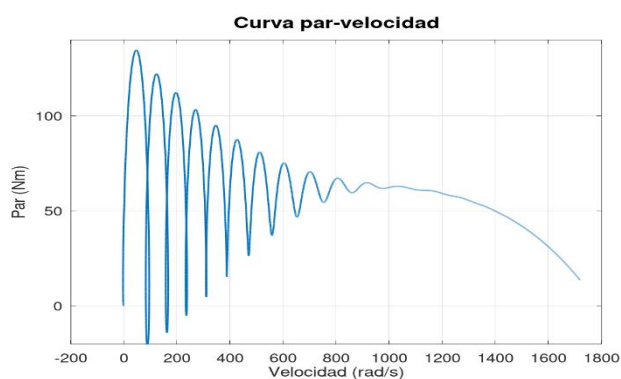


Figura 14 Simulación en GNU-Octave, par-velocidad, marco de referencia fijo al estator $\alpha - \beta$

Fuente: Elaboración Propia

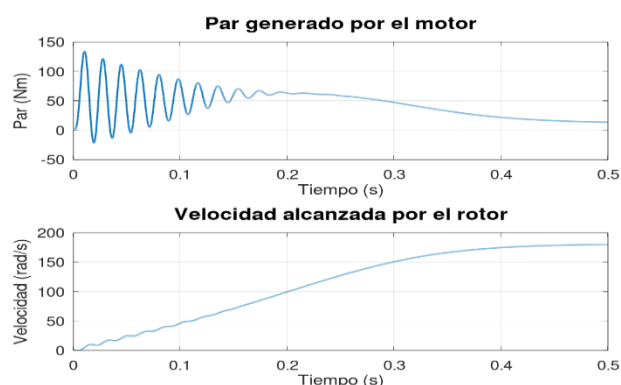


Figura 15 Simulación en GNU-Octave, par y velocidad respecto al tiempo, marco de referencia $\alpha - \beta$

Fuente: Elaboración Propia

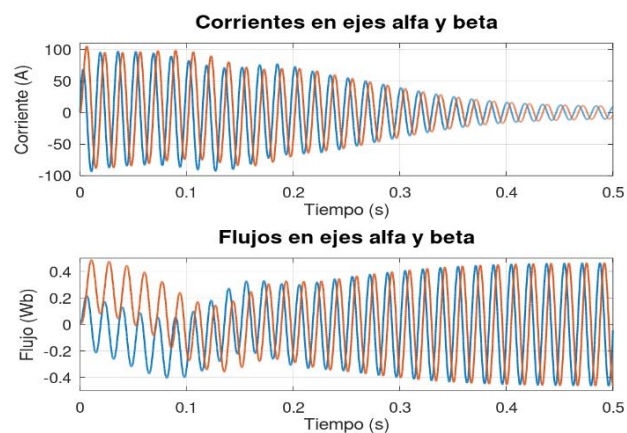


Figura 16 Simulación en GNU-Octave, corrientes y flujos respecto al tiempo, marco de referencia $\alpha - \beta$

Fuente: Elaboración Propia

Las soluciones de las ecuaciones diferenciales que modelan al motor de inducción, en cada caso, fueron guardadas en arreglos con 5001 datos, los cuales se utilizaron para comparar la simulación realizada en MatlabTM contra los resultados de la simulación en GNU-Octave, mediante la ecuación:

$$Comp = \sum(Var_{matlab} - Var_{Octave}) \quad (12)$$

Estas comparaciones son mostradas en la Tabla 4.

		Matlab TM - GNU-Octave
Modelo trifásico $a - b - c$	I_{as}	$-3.1908e^{-10}$
	I_{bs}	$1.4417e^{-9}$
	I_{cs}	$-1.1049e^{-9}$
	I_{ar}	$-1.5642e^{-9}$
	I_{br}	$3.9277e^{-10}$
	I_{cr}	$1.2121e^{-9}$
	ω_r	$8.9853e^{-10}$
Modelo fijo al estator $\alpha - \beta$	T_e	$4.9535e^{-10}$
	λ_α	$-4.2962e^{-13}$
	λ_β	$-4.3884e^{-13}$
	I_α	$-1.222e^{-10}$
	I_β	$1.4821e^{-10}$
	ω_r	$-1.1131e^{-10}$
	T_e	$1.0862e^{-10}$

Tabla 4 Comparación numérica de los datos de las simulaciones

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

Se logró la simulación de la dinámica altamente no lineal del motor de inducción trifásico, tanto en su modelo de coordenadas trifásicas $a - b - c$ como en el marco de referencia fijo al estator $\alpha - \beta$, en dos distintas plataformas de simulación:

Matlab™ instalado en una computadora personal de gran capacidad de hardware y a través de GNU-Octave ejecutado sobre una Raspberry Pi. Las gráficas obtenidas en las simulaciones son prácticamente iguales. Más aún, la comparación numérica entre los datos de las variables muestra que la diferencia es despreciable, por tanto, es posible utilizar una tarjeta de desarrollo comercial, como la Raspberry Pi, para simular sistemas dinámicos no lineales a bajo costo, debido también al uso de software libre que permite evitar el gasto de licencia.

El tiempo real que demora la simulación es relativo, el conjunto Matlab™—computadora personal tiene un mejor tiempo respecto al esquema propuesto GNU-Octave—Raspberry Pi, sin embargo, en la relación costo—beneficio el esquema de simulación propuesto permite reducir los costos y de esta manera se visualiza como una alternativa de laboratorio de simulación para zonas marginales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por el programa NPTC-PRODEP-2018.

Referencias

Beltrán, A., Morales, J. Y., Azcaray, H., Santiago, K., Calixto, M., y Sarmiento, E. (2019). Simulación y control de la velocidad y par electromagnético de un motor de inducción trifásico: Un enfoque a vehículos eléctricos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 16(3), pp. 308-320.

Blaabjerg, F., & Ionel, D. M. (2017). *Renewable Energy Devices and Systems with Simulations in MATLAB® and ANSYS®*. CRC Press.

Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2010). *Numerical methods for engineers*. Boston: McGraw-Hill Higher Education.

Houpis, C. H., & Sheldon, S. N. (2013). *Linear Control System Analysis and Design with MATLAB®*. CRC Press.

Jain, S., Vaibhav, A., & Goyal, L. (2014, February). *Raspberry Pi based interactive home automation system through E-mail*. In 2014 International Conference on Optimization, Reliability, and Information Technology (ICROIT), pp. 277-280. IEEE.

Karlis, A. D., Kiriakopoulos, K., Papadopoulos, D. P., y Bibeau, E. L. (2006). *Comparison of the Field Oriented and Direct Torque Control Methods for Induction Motors used in Electric Vehicles*. Laboratory of Electrical Machines, Department of Electrical and Computer Engineering, Democritus University of Thrace.

Khatib, T., & Elmenreich, W. (2016). *Modeling of Photovoltaic Systems Using MATLAB: Simplified Green Codes*. John Wiley & Sons.

Krause, P., Wasynczuk, O., y Pekarek, S. D. (2012). *Electromechanical motion devices*, vol. 90. John Wiley & Sons.

López, C. (2014). *MATLAB control systems engineering*. Apress.

Marino, R., Tomei, P., y Verrelli, C. M. (2010). *Induction motor control design*. Springer Science & Business Media.

Torres, F. J., Arredondo, S. M., Rueda, N. A. y Martínez, J. M. (2019). *Uso de Tarjeta de Desarrollo Raspberry Pi para Simulación de Sistemas Mecatrónicos No Lineales*. *Sinergia Mecatrónica*, pp. 328-340.

Viñas, R. B., & Llinàs, F. A. (2003). *Sistema operativo GNU/Linux básico*. UOC.

Efecto del tiempo de electrodepósito de la fase sensibilizadora en DSSC empleando TiO_2 como semiconductor

Effect of the electrodeposition time of the sensitizing phase in DSSC using TiO_2 as a semiconductor

BALTAZAR-VERA, Juan Carlos†*, CAUDILLO-CAUDILLO, Luisa Marcela, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Ma. Mercedes, ALVARADO-MONTALVO, Lucía Guadalupe, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Carolina de Jesús y MIRANDA-AVILÉS, Raul

Universidad de Guanajuato, Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, Ex Hacienda San Matías S/N, colonia San Javier Guanajuato, Gto. CP 36020.

ID 1^{er} Autor: Juan Carlos, Baltazar-Vera / ORC ID: 0000-0056-59510-8300

ID 1^{er} Coautor: Luisa Marcela, Caudillo-Caudillo

ID 2^{do} Coautor: Ma. Mercedes, Salazar-Hernández / ORC ID: 0000-0056-1828-64800

ID 3^{er} Coautor: Lucía Guadalupe, Alvarado-Montalvo / ORC ID: 0000-00428-6095-3200

ID 4^{to} Coautor: Carolina De Jesús, Rodríguez-Rodríguez / ORC ID: 0000-0056-9931-76100

ID 5^{to} Coautor: Raul, Miranda-Avilés / ORC ID: 0000-0014-0650-42700

DOI: 10.35429/JTEN.2019.11.3.17.22

Recibido 03 de Junio, 2019; Aceptado 30 Septiembre, 2019

Resumen

En este trabajo se desarrolló una celda solar sensibilizada con colorante (DSSC) empleando Dióxido de Titanio como óxido metálico semiconductor; el colorante empleado fue amaranth, este colorante puede ser empleado para tal fin debido a los grupos cromóforos presentes en la molécula y a los grupos de anclaje afines al TiO_2 . Las pruebas realizadas fue la medición de respuesta fotovoltaica (corriente y voltaje) en celdas donde se varió el tiempo de electrodepósito del colorante a un voltaje de 1 V; los resultados muestran que las eficiencias varían de acuerdo al tiempo registrándose valores de: 0.014% para un tiempo de 15 s, 0.009 % a los 25 s, 0.18% a los 35 s, 0.02 % a los 45s y 0.083% a los 55 s, lo anterior muestra que el mejor tiempo de electro-depósito es de 35 s ya que en dicho parámetro, el sistema mostro la mejor eficiencia y estabilidad energética.

Celda solar sensibilizada con colorante, Semiconductor, Eficiencia

Abstract

In this work, a solar cell sensitized with dye (DSSC) was developed using Titanium Dioxide as semiconductor metal oxide; the dye used was amaranth, this dye can be used for this purpose due to the chromophoric groups present in the molecule and the anchor groups related to TiO_2 . The tests carried out were the measurement of photovoltaic response (current and voltage) in cells where the electrodeposition time of the dye was varied at a voltage of 1 V; the results show that the efficiencies vary according to time, registering values of: 0.014% for a time of 15 s, 0.009% at 25 s, 0.18% at 35 s, 0.02% at 45 s and 0.083% at 55 s, the above shows that the best electrodeposit time is 35 s due to in this parameter, the system showed the best efficiency and energy stability.

Solar cell sensitized with dye, Semiconductor, Efficiency

Citación: BALTAZAR-VERA, Juan Carlos, CAUDILLO-CAUDILLO, Luisa Marcela, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Ma. Mercedes, ALVARADO-MONTALVO, Lucía Guadalupe, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Carolina de Jesús y MIRANDA-AVILÉS, Raul. Efecto del tiempo de electrodepósito de la fase sensibilizadora en DSSC empleando TiO_2 como semiconductor. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2019. 3-11: 17-22

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: jc.baltazarvera@ugto.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El desarrollo de energías alternas es de vital importancia para el desarrollo sustentable de la humanidad, es por lo anterior que la energía fotovoltaica representa una alternativa importante en la contribución de este objetivo; de acuerdo a esto las celdas solares de silicio son las que predominan en dicho campo son las celdas de silicio con alrededor del 80% del total de celdas [1,2]. En la actualidad las celdas de silicio se encuentran en una eficiencia del 28 %.

Es por lo anteriormente escrito que la evolución de la tecnología fotovoltaica se ha desarrollado de manera importante, un ejemplo de esto son las celdas basadas en multifunciones de compuestos III-V, las cuales han logrado alcanzar eficiencias superiores al 30% [3]; las celdas construidas en base a cobre, indio y selenio (CIS o CIGS cuando es añadido galio) y sus aleaciones, entre otras han alcanzado eficiencias superiores al 18.8% [4], de igual forma las celdas basadas en la unión CdTe/CdS han alcanzado eficiencias superiores a un 16% [5,6].

Las celdas sensibilizadas con colorantes (DSSC) presentan las características de que pueden ser construidas fácilmente y con bajos costos; dichas celdas se encuentran constituidas por dos electrodos (cátodo y fotoánodo) en la cual un compuesto cromóforo funciona como antena fotoreceptora. El cátodo es un elemento translucido con propiedades conductoras de energía eléctrica, mientras que el fotoánodo se compone de una fase semiconductor por lo general a base de nanocristales de dióxido de titanio sobre el cual se deposita el compuesto fotorreceptor; el circuito se cierra al emplear un electrolito de unión líquida el cual contiene un par redox que por lo general es I^-/I^{-3} [7].

Metodología

Elaboración del Fotoelectrodo

Para la elaboración de este elemento se emplearon vidrios conductores del tipo óxido de estaño dopado con flúor (FTO, por sus siglas en inglés), con dimensiones de 2.5cm x 2.5cm de área conductora, sobre el sustrato se deposita una capa semiconductor a partir de una solución de TiO_2 - HCl 10%, el depósito se llevó a cabo por la técnica de electroforesis [8], empleando 3V y 20 s de tiempo de depósito.

Posteriormente se le proporciona al material un tratamiento térmico por 450°C por una hora con la finalidad de generar un anclaje estable entre la fase semiconductor y el FTO. Para el confinamiento de la fase sensibilizadora en el semiconductor se empleó una masa de 4.5 gr de colorante Amaranth en 60 ml de acetonitrilo, dicho colorante fue depositado en la fase semiconductor por medio de electroforesis usando como contra electrodo acero inoxidable y separado del fotoelectrodo por una distancia de 10cm, se empleó un voltaje de 1 V y se varió el tiempo del proceso electroforético en 15s, 25s, 35s, 45s y 55s. Posteriormente se lleva el fotoelectrodo a un tratamiento térmico de 160°C durante 1hr [9,10].

Elaboración del Electrolito

Para la solución electrolítica que contiene el par redox se empleó una mezcla de I/LiI con relación 1:20 en 15ml de carbonato de propileno, dicha solución se debe mantener en un ambiente fresco y seco.

Elaboración del Contraelectrodo

Para la elaboración del contraelectrodo se preparó una solución 10mM de ácido hexacloroplatinico en 2 propanol, dicha solución fue esparcida mediante pipeta sobre la cara conductora de un FTO de dimensiones 2.5cm x 2.5cm, posteriormente se le aplica un tratamiento térmico de 450°C durante una hora, lo anterior con la finalidad de asegurar el anclaje entre el platino y la fase conductora del FTO [11].

Ensamblado de la DSSC y prueba de respuesta energética

Para la construcción de la DSSC y desarrollo de la prueba de funcionamiento y respuesta energética se siguió la siguiente metodología:

1. Se confecciona un segmento de material translucido (hoja de transparencia) de aproximadamente 0.7 mm de espesor acorde al tamaño de la celda y enseguida se le hizo un orificio circular de 5 mm de diámetro.
2. Posteriormente se conectó la celda Grätzel al lado negativo del circuito anteriormente mencionado.

3. En seguida se colocó el acetato en la celda (el cual funcionará como separación entre electrodos con un área definida de contacto), ambos previamente limpiados con alcohol etílico para eliminar impurezas.
4. A continuación, se le agregaron unas gotas del electrolito en la sección de contacto electrolítico, ya que ahí es donde se va a llevar a cabo la interacción de electrones.
5. Posteriormente se colocó el contra electrodo a base de platino, el cual está conectado a la parte positiva del circuito; y así finalmente se cierra el circuito.
6. Se enciende la lámpara, la cual va a proporcionar la luz incidente a la celda en un ángulo de 90° y a una distancia aproximada de 15 cm (Ver figura 1).
7. Por último, para obtener los valores de voltaje y amperaje, los cuales son necesarios para la curva de descarga, se construye un circuito de resistencia variable con un rango de 0K a 50K acoplado a un medidor de Voltaje y un medidor de amperaje.



Figura 1 Ensamble y prueba energética de la DSSC

Resultados

Respuesta energética

En la figura 2 se muestra los resultados de respuesta energética de la DSSC empleando un tiempo de 15 s de proceso electroforético para el confinamiento de la antena fotorreceptora, en dicha figura se puede observar que en términos de la densidad de corriente (j en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$) la celda opera en un rango de 0 a 9.55×10^{-7} siendo este último valor la densidad de corriente a corto circuito.

En términos del fotopotencial (E en mV) la celda opera en el rango de 0 a 21 siendo este último el potencial correspondiente a circuito abierto; realizando una inspección de la gráfica representada en la figura dos se puede observar que existe una relación con homogeneidad aceptable entre los parámetros involucrados lo cual es indicativo de estabilidad en el proceso fotoenergético de la celda.

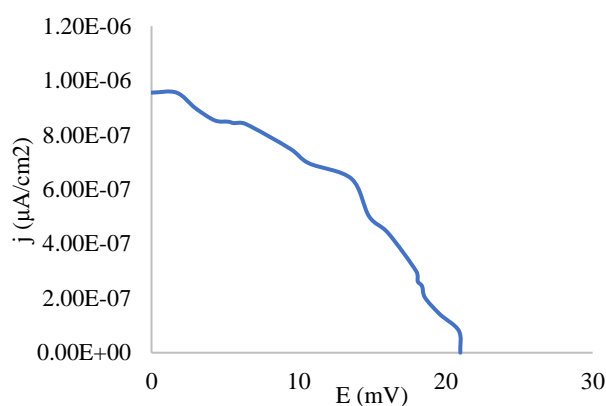


Figura 2 Respuesta energética (E vs j) para DSSC con un tiempo de 15 s de proceso electroforético para confinamiento del sensibilizador

En la figura 3 se observa los resultados de respuesta energética de la DSSC empleando un tiempo de 25 s de proceso electroforético para el depósito del sensibilizador en la fase semiconductor; en esta figura se puede dilucidar que, en términos de la densidad de corriente, la celda opera en un rango de 0 a 1.87×10^{-7} correspondiendo este último valor a la densidad de corriente a corto circuito.

En función del fotopotencial, la celda opera en el rango de 0 a 20 siendo este último el potencial correspondiente a circuito abierto; realizando una inspección de la gráfica representada en la figura 3 se puede inferir que la homogeneidad entre los parámetros involucrados es menor con respecto al caso anterior, mostrando una tendencia decreciente marcada entre los mismo, lo cual indica que puede existir menor estabilidad del proceso fotoenergético que en el caso anterior.

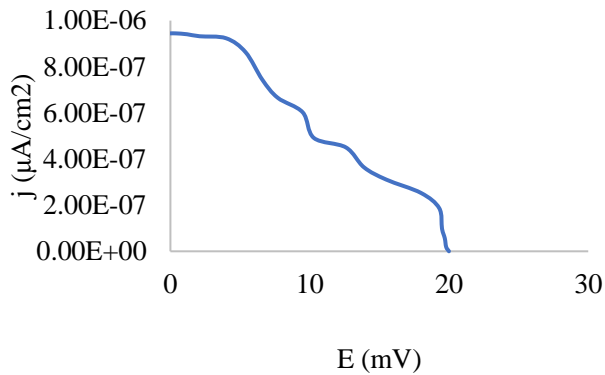


Figura 3 Respuesta energética (E vs j) para DSSC con un tiempo de 25 s de proceso electroforético para confinamiento del sensibilizador

En la figura 4 se muestran los resultados de respuesta energética de la DSSC empleando un tiempo de 35 s de proceso electroforético para el depósito del colorante en la fase semiconductor; en esta figura se puede observar que, en términos de la densidad de corriente, la celda opera en un rango de 0 a 6.0×10^{-6} correspondiendo este último valor a la densidad de corriente a corto circuito. En función del fotopotencial, la celda opera en el rango de 0 a 48 siendo este último el potencial correspondiente a circuito abierto; llevando a cabo una inspección de la gráfica representada en la figura 4 se puede dilucidar que existe una homogeneidad aceptable entre los parámetros involucrados lo cual al igual que en el caso de la celda correspondiente a 15 s, la estabilidad del proceso fotoenergético es posiblemente aceptable.

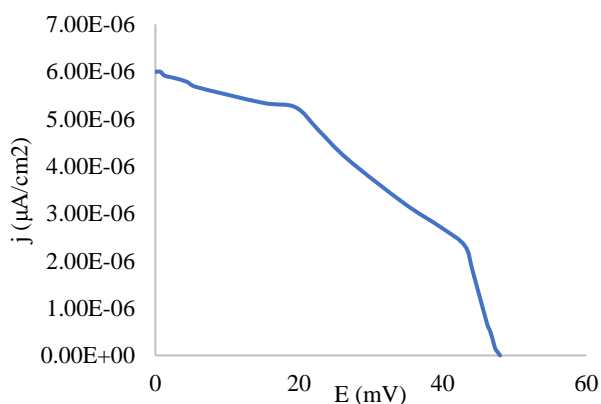


Figura 4 Respuesta energética (E vs j) para DSSC con un tiempo de 35 s de proceso electroforético para confinamiento del sensibilizador

En la figura 5 se representan los resultados de respuesta energética de la DSSC empleando un tiempo de 45 s de proceso electroforético para el depósito de la antena fotoreceptora en la fase semiconductor.

En esta figura se muestra que, en términos de la densidad de corriente, la celda opera en un rango de 0 a 4.4×10^{-7} correspondiendo este último valor a la densidad de corriente a corto circuito. En función del fotopotencial, la celda opera en el rango de 0 a 44.4 siendo este último el potencial correspondiente a circuito abierto; realizando cabo una inspección de la gráfica representada en la figura 5 se puede observar que existe una homogeneidad aceptable entre los parámetros involucrados lo cual al igual que en los casos de las celda correspondiente a 15 s y 35 s, la estabilidad del proceso fotoenergético es posiblemente aceptable; en dicha figura se puede observar que existe un sostenimiento de los parámetros energéticos durante el proceso de prueba lo cual puede indicar un buen índice de regeneración del sensibilizador, lo cual es un aspecto importante en la estabilidad de la celda.

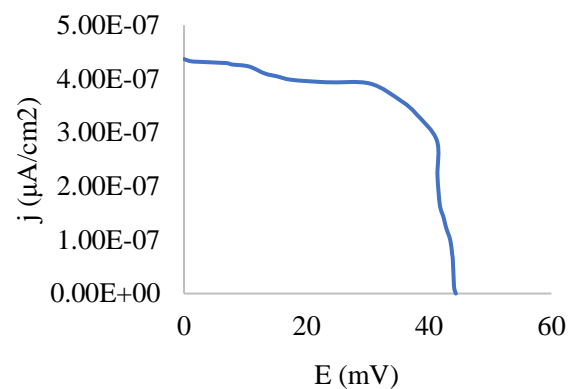


Figura 5 Respuesta energética (E vs j) para DSSC con un tiempo de 45 s de proceso electroforético para confinamiento del sensibilizador

En la figura 6 se muestran los resultados de respuesta energética de la DSSC empleando un tiempo de 55 s de proceso electroforético para el depósito de la antena fotoreceptora en la fase semiconductor; en esta figura se muestra que, en términos de la densidad de corriente, la celda opera en un rango de 0 a 1.93×10^{-5} correspondiendo este último valor a la densidad de corriente a corto circuito.

En función del fotopotencial, la celda opera en el rango de 0 a 40 siendo este último el potencial correspondiente a circuito abierto; realizando cabo una inspección de la gráfica representada en la figura 6 se puede observar que la celda presenta un decaimiento energético pronunciado lo cual es indicativo de la inestabilidad del proceso de generación de fotocorriente.

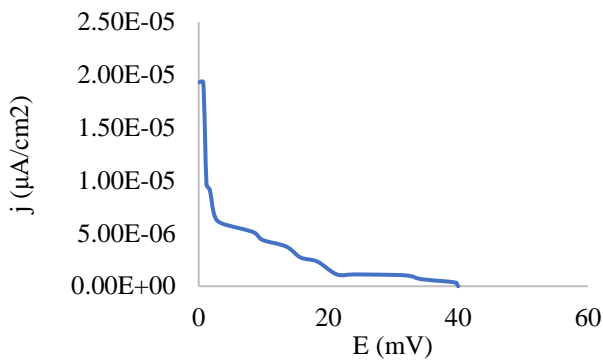


Figura 6 Respuesta energética (E vs j) para DSSC con un tiempo de 55 s de proceso electroforético para confinamiento del sensibilizador

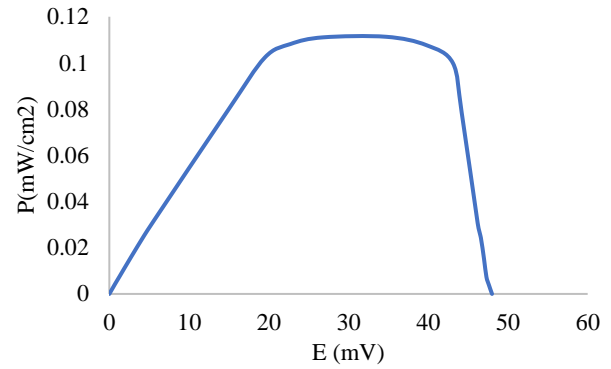


Figura 7 Respuesta energética (E vs P) para DSSC con un tiempo de 35 s de proceso electroforético para confinamiento del sensibilizador

Eficiencia energética

En la tabla 1 se muestran los datos de eficiencia energética a diferentes tiempos de proceso electroforético para el confinamiento del colorante, los datos de esta tabla muestran que los valores de eficiencia energética obtenidos son: 0.014% para un tiempo de 15 s, 0.009 % a los 25 s, 0.18% a los 35 s, 0.02 % a los 45s y 0.083% a los 55 s.

Tiempo de proceso electroforético para el confinamiento del sensibilizador (s)	% eficiencia
15	0.14
25	0.009
35	0.18
45	0.02
55	0.083

Tabla 1 Eficiencia energética correspondientes a diversos tiempos de proceso electroforético para confinamiento del sensibilizador

Análisis de potencia energética de celda

En la figura 7 se muestra el diagrama potencia voltaje (P-E) de la celda fotovoltaica que presentó una mayor eficiencia y estabilidad, la cual fue la de 35 s de proceso electroforético; En dicha figura se puede observar que la potencia máxima registrada es alrededor de 0.11 mW/cm². Así mismo en la gráfica se observa una estabilidad de los valores de potencia en un rango de voltaje de 19.5 a 43.1 mV, lo cual es indicativo de estabilidad energética de la celda.

En la figura 8 se muestra el diagrama potencia densidad de corriente (P-j) de la celda fotovoltaica que presentó una mayor eficiencia y estabilidad, la cual fue la de 35 s de proceso electroforético; En dicha figura se puede observar que al igual que en el caso anterior un rango de estabilidad de potencia se presenta a valores de densidad de corriente entre 2.7x10⁻⁶ y 4.4x10⁻⁶, lo cual es indicativo de estabilidad energética de la celda.

Conclusiones

En este trabajo se muestran los resultados de respuesta energética de una celda solar sensibilizada con colorante variando el tiempo del proceso electroforético propio del confinamiento de la antena fotoreceptora en la fase semiconductor. En el estudio se puede observar que la celda que presento la eficiencia energética más elevada fue la celda con un tiempo de proceso de 35s, así mismo las DSSCs que presentaron características de una posible estabilidad energética fueron las correspondientes a 15s, 25s, 35s y 45s por lo cual se puede inferir que los mejores resultados se obtienen a los 35s de proceso electroforético de depósito del colorante, lo anterior es alentador ya que se puede proseguir con las siguientes etapas de caracterización fisicoquímicas y energéticas del sistema con el objetivo de poder dilucidar los mecanismos de transferencia de energía de la celda y así poder proponer alternativas para el incremento de la eficiencia energética de la misma.

Agradecimientos

Los autores de este proyecto agradecen al proyecto UGTO-PTC-633 de PRODEP por el apoyo para la realización del mismo.

Referencias

- [1] M.A. Green, K. Emery, D.L. King, S. Igariand S. Warta Solar Cell Efficiency Tables (Version 19), Prog. Photovolt.Res. Appl., 10 55-62 (2002).
- [2] Jianhua Zhao, Recent Advances of High-Efficiency Single Crystalline Silicon Solar Cells in Processing Technologies and Substrate Materials, Solar Energy Materials& Solar Cells 82 53–64 (2004).
- [3] Masafumi Yamaguchi III–V Compound Multi-Junction Solar Cells: Present and Future, Solar Energy Materials & Solar Cells, 75 261–269 (2003).
- [4] M.A. Green,J. Zhao, A. Wang, S.R. Wenham, Progress and Outlook for High-Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells, Solar Energy Materials & Solar Cells 65 9-16 (2001).
- [5] X. Wu, J.C. Keane,R.G. Dhere, C. DeHart, D.S. Albin, A. Duda, T.A. Gessert, S. Asher, D.H. Levi, and P.Sheldon, 16.5%-Efficient CdS/CdTe Polycrystalline Thin-Film Solar Cel, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, Germany, 22-26October 2001.
- [6] J. Pantoja Enríquez, X.Mathew, G.P. Hernández, U. Pal, C. Magan, D.R. Acosta, R. Guardian, J.A. Toledo, G.Contreras Puente, J.A. Chávez Carvayar CdTe/CdS, Solar Cellson Flexible MolybdenumSubstrates, Solar EnergyMaterials& Solar Cells**82** 307–314 (2004).
- [7] A. Hagfeldt y M. Grätzel, *Chem. Rev.* **95** (1995) 49.
- [8] A. Fujishima, T.N. Rao y D.A. Tryk, J. Photochem. Photobiol.C: Photochem. Rev. 1 (2000) 1.
- [9] A. Wahl y J. Augustynski, J. Phys. Chem. B 102 (1998) 7820.
- [10] J.-H. Yum, S.-S.Kim, D.-Y. Kim y Y.-E. Sung, J. Photochem.Photobiol. A: Chem. 173 (2005) 1.
- [11] D.N. Furllong, D.E. Yates y T.W. Healy, en ‘Electrodes of Conductive Metallic Y. Xu y M.A.A. Schoonen, *Am. Mineral.* 85 (2000) 543.

Evolución del diseño de un sistema de recolección de basura utilizando manufactura aditiva en un robot limpiador de playa

Evolution of the design of a garbage collection system using additive manufacturing in a beach cleaner robot

AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, NISHIYAMA-GÓMEZ, Diana, SANTILLÁN-MARTÍNEZ, Alejandro y ROJO-VELAZQUEZ, Gustavo Emilio

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo / Tecnológico Nacional de México

ID 1^{er} Autor: *Aguilera-Hernández, Martha Isabel* / **ORC ID:** 0000-0001-8127-190X, **Researcher ID Thomson:** S-4724-2018, **CVU CONACYT ID:** 19115

ID 1^{er} Coautor: *Nishiyama-Gómez, Diana* / **ORC ID:** 0000-0002-4951-6783

ID 2^{do} Coautor: *Santillán-Martínez, Alejandro* / **ORC ID:** 000-0002-6527-7436

ID 3^{er} Coautor: *Rojo-Velazquez, Gustavo Emilio* / **ORC ID:** 0000-0002-7792-1436, **Researcher ID Thomson:** S-4724-2018, **CVU CONACYT ID:** 26367

DOI: 10.35429/JTEN.2019.11.3.23.28

Recibido 03 de Junio, 2019; Aceptado 30 Septiembre, 2019

Resumen

Los Robots limpiadores de playa han sido propuestos como una opción en la disminución de la contaminación de las playas en México, mediante la recolección de basura. Para recolectar residuos el robot debe contar con un mecanismo que pueda tomar los residuos y depositarlos en un contenedor donde pueden permanecer sin generar contaminación. En nuestro instituto se han implementado diversos mecanismos que permiten recolectar residuos y este artículo muestra la descripción de algunos de ellos mostrando la aplicación de la manufactura aditiva en el diseño de los mismos. El objetivo es mostrar el diseño, la implementación y la aplicación de cada sistema de recolección diseñado, mostrando la mejora aplicando manufactura aditiva. La contribución básica de este trabajo es la de mostrar diferentes opciones de diseño y los parámetros a considerar en el diseño de cada uno de ellos.

Robot limpiador de playa, Sistema de recolección de residuos, Manufactura aditiva

Abstract

Beach cleaning robots have been proposed as an option in reducing the pollution of beaches in Mexico, through garbage collection. To collect waste the robot must have a mechanism that can take the waste and deposit it in a container where they can remain without generating pollution. In our institute various mechanisms have been implemented that allow waste to be collected and this article shows the description of some of them showing the application of additive manufacturing in their design. The objective is to show the design, implementation and application of each collection system designed, showing the improvement by applying additive manufacturing. The basic contribution of this work is to show different design options and the parameters to consider in the design of each of them.

Beach Cleaner Robot, Garbage collection system, Additive manufacturing

Citación: AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, NISHIYAMA-GÓMEZ, Diana, SANTILLÁN-MARTÍNEZ, Alejandro y ROJO-VELAZQUEZ, Gustavo Emilio. Evolución del diseño de un sistema de recolección de basura utilizando manufactura aditiva en un robot limpiador de playa. *Revista de Ingeniería Tecnológica*. 2019. 3-11: 23-28

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: maguilera@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente la contaminación del medio ambiente es un factor sumamente importante en el tema del calentamiento global y la acumulación de basura es ejemplo de ello. Por lo que aportar un pequeño grano de arena para solucionar parte de este problema es una actividad primordial en estos tiempos. Esta situación nos ha llevado a implementar un robot que pueda recolectar basura y con ello promover la limpieza de ríos y playas en nuestra sociedad. Una de las categorías en el Torneo Mexicano de Robótica es la de “Robot de Playa” y está enfocada al problema de la acumulación de basura, especialmente en la playa. La representación de desechos con latas de refresco y en un ambiente en el cual se encuentran obstáculos como lo son las sillas de playa y las personas.

Nuestro instituto ha estado participando en los últimos años en esta categoría y los prototipos han evolucionado en la forma de recolección de la basura. En este artículo se presenta la aplicación de la manufactura aditiva en el diseño de los elementos del prototipo. Este proyecto busca ser una ayuda autónoma e incansable para la limpieza de las playas mexicanas. De esta forma, se busca que cada vez más personas se involucren en el área tecnológica en pro del medio ambiente. En nuestra institución, representa una base educativa para la realización de otros proyectos enfocados al desarrollo sustentable.

Desarrollo

Los prototipos de robots limpiadores de playa desarrollados en 2013-2015 (figura 1 -4) poseen un diseño mecánico con algunos problemas de fricción. Estos problemas repercuten en la práctica, ya que no permite una recolección de basura confiable. Los mayores inconvenientes, su peso y la fricción, que provocan fatiga y demandan mayor esfuerzo en los movimientos y consumo de energía. “Por esta razón es necesario el diseño de un mecanismo compacto y adaptable al sistema de recolección. Las etapas están divididas en:

- Diseño del mecanismo, que consiste en la detección de áreas de oportunidad en el diseño de robot anterior y el plan de desarrollo para realizar las mejoras.

- La implementación de la mejora en desarrollo abarca la manufactura y ensamble del sistema; mientras que la adaptación al resto del robot es el punto final en el que se hace la interfaz entre el sistema de recolección y el control de todo el robot móvil.

La idea básica de una pala y un recogedor han sido desarrollados desde el primer prototipo de robot recolector. En la figura 1, se muestra al robot GREP desarrollado en el 2013, el cual tenía la capacidad de recolectar latas, pero en pruebas de repetibilidad mostraba problemas de energía ya que la batería se descargaba después de 5 minutos de trabajo continuo.

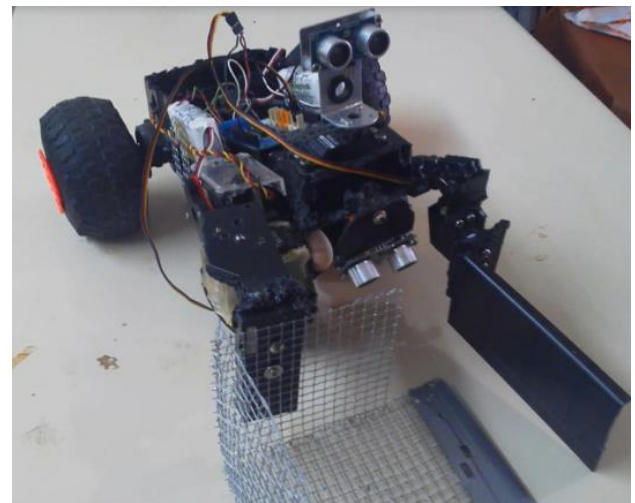


Figura 1 GREP Robot de Playa 2013

Se optó por un cambio en el diseño con la finalidad de hacerlo más ligero. La figura 2, muestra el diseño en el cual se reemplazaron algunas piezas de metal por plástico con la finalidad de crear un prototipo más ligero e ir adaptando un área de depósito de la basura. Las figuras 2y 3, muestran ya prototipos ya completos con sistema de recolección, sensores y área de depósito de basura.

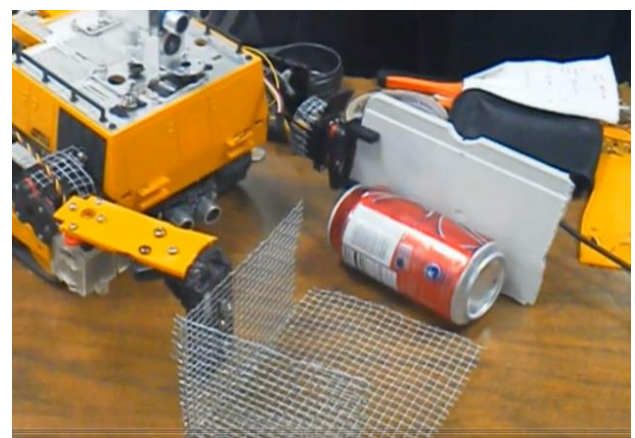


Figura 2 JOE Robot de Playa 2013

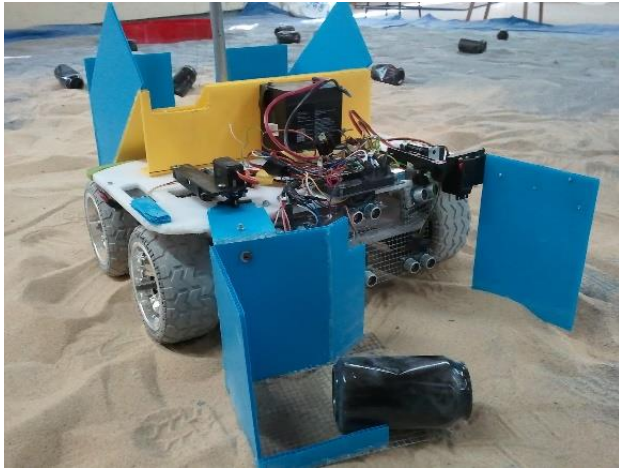


Figura 3 BUMBLEBEE Robot de Playa 2014

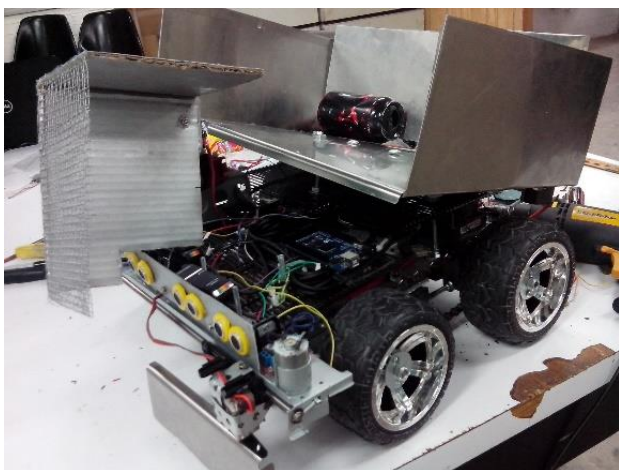


Figura 4 BUMBLEBEE2 Robot de Playa 2015

La tabla 1, muestra la detección de las áreas de oportunidad en base al estudio realizado de los prototipos diseñados con anterioridad.

Oportunidad de Mejora	Plan de Mejora
Peso de pala recolectora, que repercute en el consumo de energía.	Uso de Impresión 3d para evadir el uso de partes metálicas y tuercas para la unión de diferentes materiales.
Falta de precisión en movimiento de la segunda pala.	Uso de un tercer servomotor para asegurarse de que la lata entra en la pala recolectora.
Juego o movimiento involuntario en la pala recolectora	Aplicación de una guía de movimiento para la pala recolectora. Diseñar la guía basada en manufactura aditiva.

Tabla 1 Oportunidades y plan de mejora

Se diseñó un sistema mecánico que permite el desplazamiento axial y radial de las palas recolectoras, utilizando el software SolidWorks (Dassault Systèmes SOLIDWORKS Corp. Waltham, Massachusetts, USA).

Dichas adaptaciones mecánicas se manufacturaron por medio de la metodología FDP (por sus siglas en inglés Fused Deposition Modeling) utilizando PLA (del inglés Polylactic acid), el cual es un polímero de propósitos generales, comúnmente utilizado en prototipos y modelos a escala. Se aplicó la manufactura aditiva en lugar de la manufactura tradicional (es decir la manufactura sustractiva donde se partía de un bloque de materia prima para ir desbastando y poco a poco crear la pieza, o del proceso de fundición o inyección, donde se inserta material a un molde para que tome una forma específica). Con la manufactura aditiva la producción es completamente diferente, ya que creación de la pieza se realiza capa por capa. Es decir, la altura de la pieza es dividida en gran cantidad de secciones, donde se crea una capa y se adhiere a la anterior y así sucesivamente hasta crear toda la altura de la pieza.

Los dispositivos diseñados son:

- **Guía de movimiento para la pala recolectora.** Función: Evitar movimientos no controlados de la pala, así como reducir el esfuerzo del servomotor elevador al soportar el peso de la pala y lata recolectada.(Figura 5)
- **Pala recolectora.** Función: Servir de base para la pala, estructura a la cual se fijan unas placas de acrílico y rejilla para completar la pala recolectora. (Figura 6)
- **Brazo recolector.** Función: Es la unión entre el servomotor elevador y el servomotor de la pala recolectora. (Figura 7)
- **Pala secundaria.** Función: Su función es colaborar con la primera pala, de forma que “barre” las latas hacia el interior de la pala recolectora. (Figura 8)

En la figura 9, se muestran las partes diseñadas implementadas en el prototipo.

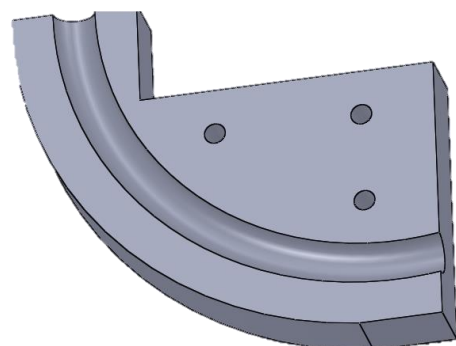


Figura 5 Guía de movimiento para pala recolectora

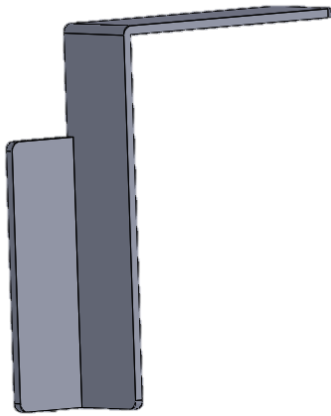
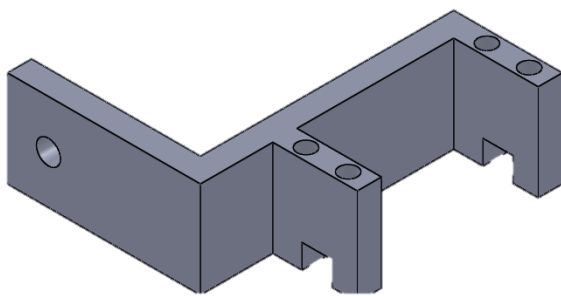
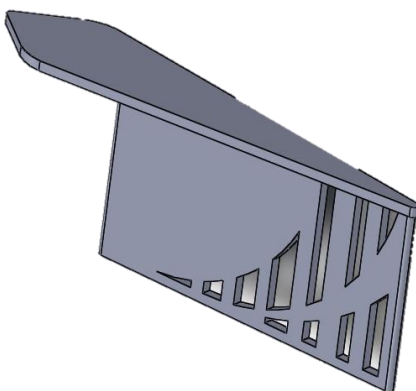
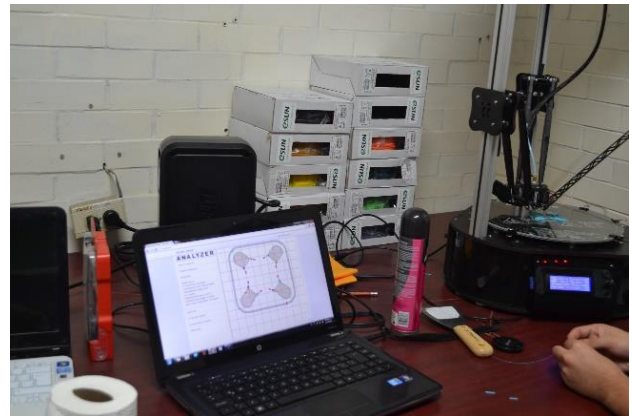

Figura 6 Pala recolectora

Figura 7 Brazo recolector

Figura 8 Brazo secundario

Figura 9 Sistema de recolección de latas WIGO Robot de playa 2015

Para el cumplimiento de los planes de mejora, se utilizó la impresión 3D para evadir el uso de partes metálicas y tuercas para la unión de diferentes materiales.


Figura 10 Impresión 3D de diseños para sistema recolector

Los acoples y nuevos modelos para el sistema de recolección fueron diseñados por medio de herramientas de diseño digital y fabricados mediante técnicas de manufactura aditiva o impresión 3D en una Rostock Max Delta v2.0 utilizando como materia prima PLA (Ácido Poliláctico). La funcionalidad de la pala principal consiste en dos servomotores principales, uno dedicado a elevar la pala de forma que las latas contenidas ingresen al recipiente ubicado a “espaldas” del robot donde son contenidas para posteriormente depositarlas en una ubicación establecida, dado el gran esfuerzo que requiere esta tarea, se utiliza un servomotor Multiplex Jumbo Digi (torque de 14,69 km/cm a 4.8 V y 18.36 kg/cm a 6.0 V). El segundo servomotor Estándar Hitec HS – 311 (3.0 Kg/cm a 4.8 V hasta 3.7 kg/cm a 6.0 V) tiene la funcionalidad de realizar un movimiento radial al tener la pala en el suelo, el realizar esta trayectoria tiene el propósito de abarcar el mayor espacio posible y recolectar las latas que se encuentren en su área de alcance.


Figura 11 Movimiento elevador en sistema de recolección

Durante el recorrido mencionado del segundo servomotor, se tenían muchos problemas, ya que por la carga de la pala y las continuas pruebas de funcionalidad, las baterías se gastaban muy rápidamente. Lo que provocaba la pobre alimentación a los dispositivos y desencadenaba movimientos incompletos. Para mejorar esta área, se implementó una guía para el movimiento radial de la pala. Esto evita el choque de la pala con el suelo, el desgaste prematuro de la batería y los continuos atascos de la pala con otros componentes, ya que su espacio no estaba bien delimitado.



Figura 12 Implementación de carril guía para pala recolectora

Una vez realizados los sub ensambles concernientes a las palas del sistema recolector, solo restaba adaptarlas al resto del robot móvil, cuidando no obstruir los sensores y la distancia de las palas con respecto al suelo.

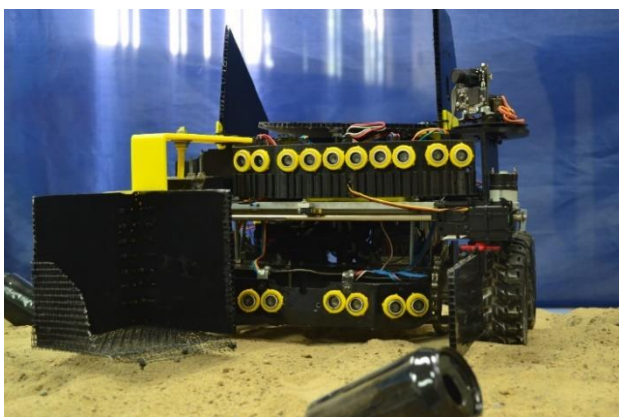


Figura 13 Sistema recolector adaptado al resto del robot móvil

La programación de movimiento para las palas se realizó en lenguaje C++. Con este lenguaje se puede trazar fácilmente los datos de los sensores es lo que ubica el uso de Arduino en el primer puesto para la recopilación de datos, análisis y respuesta en este proyecto.

Resultados

Se logró diseñar e implementar un sistema recogedor de latas que eliminaba los defectos de la versión anterior del robot. Con respecto al diseño anterior se logró reducir el consumo de energía, dado que en la realización de pruebas se observó que el tiempo que tardó en consumir la pila de 18v, 2.6Ah pasó de una hora y 3 minutos. a 2 horas y 15 minutos. Lo que equivale al 150% aprovechamiento de consumo de energía. La utilización de manufactura aditiva ayuda en las decisiones para modificar los diseños y permite el ahorro de material.

Conclusiones

En este trabajos se aplicó la manufactura aditiva para la implementación de una modificación a un robot de playa con la finalidad de reducir el consumo de energía y corregir errores de diseño. Se prevé que se realicen modificaciones para implementar un separador de basura orgánica e inorgánica. Esto implicaría aplicar un proceso de identificación del desecho por medio de una cámara digital, implementando algoritmos de visión artificial.

Referencias

3D Factory Mx. (24 de Julio de 2014). Recuperado el 23 de Marzo de 2015, de Que tanto sabes de impresion 3D: <http://3dfactorymexico.com/que-tanto-sabes-de-impresion-3d/>

Algarín Pinto Juan Antonio, Aguilera Hernández Martha Isabel, Medina Romero Daniel, Ortiz Salazar Manuel, Ortiz Simón José Luis, Rojo Velázquez Gustavo, Olivares Caballero Daniel, A. (2018). Diseño de estructura móvil enfocada a un robot de rescate. *Revista del Centro de Graduados e Investigación*, (33), 32-40.

FEMEX ROBOTICA. (15 de Noviembre del 2014). *Limpiadores de Playa*. México. Femex Recuperado de http://www.femexrobotica.org/tmr2014/pdf/Limpiadores_Playa_2014.pdf

Velenturf, A.. (2017). Resource Recovery from Waste: Restoring the Balance between Resource Scarcity and Waste Overload. *sustainability*, (9), 1-17.

Zahera Manuel, Z. (2012). La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y desarrollo de productos. *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Valencia, 11-13 de julio de 2012*, (1), 2088-2098.

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^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} 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^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

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

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

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} 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 de Ingeniería Tecnológica. 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]

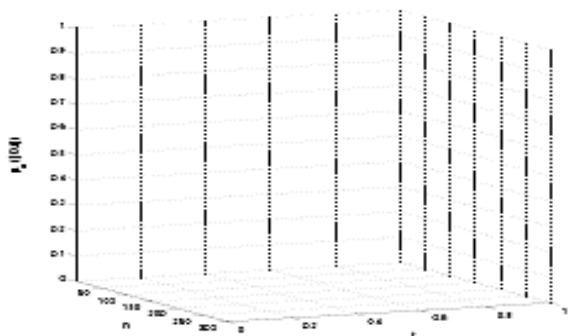


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

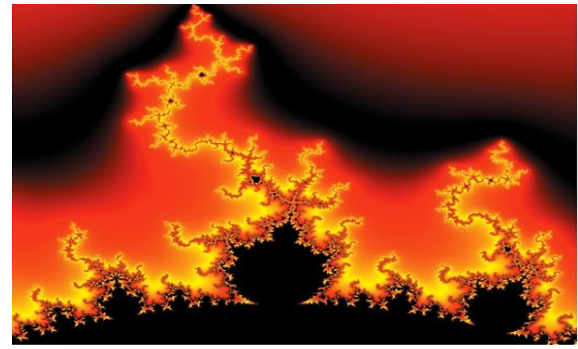


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

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

Conclusiones

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

Referencias

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

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

Referencias

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 de Ingeniería Tecnológica 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 de Ingeniería Tecnológica 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 de Ingeniería Tecnológica, 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 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 www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

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

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

Oficinas de Gestión

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

Revista de Ingeniería Tecnológica

“Desarrollo en Blender del gemelo digital de una estación electro-neumática para su aplicación en laboratorios virtuales”

CARMONA-MARTÍNEZ, Luis Alberto, GÓMEZ-HERNÁNDEZ, Alejandro, ORTÍZ-ORTÍZ, Tania Judith y GUALITO-OLVERA, Miguel Ángel

Universidad Tecnológica de Querétaro

“Simulación de la dinámica del motor de inducción trifásico en una tarjeta de desarrollo”

TORRES-DEL CARMEN, Felipe de Jesús, CAPILLA-GONZÁLEZ, Gustavo, OCAMPO-FERNÁNDEZ, Víctor Manuel, MOTA-CRUZ, Juan Esteban y ALANÍS-CANTÚ, Reynaldo

Universidad de Guanajuato

“Efecto del tiempo de electrodeposición de la fase sensibilizadora en DSSC empleando TiO_2 como semiconductor”

BALTAZAR-VERA, Juan Carlos, CAUDILLO-CAUDILLO, Luisa Marcela, SALAZAR-HERNÁNDEZ, Ma. Mercedes, ALVARADO-MONTALVO, Lucía Guadalupe, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Carolina de Jesús y MIRANDA-AVILÉS, Raul

Universidad de Guanajuato

“Evolución del diseño de un sistema de recolección de basura utilizando manufactura aditiva en un robot limpiador de playa”

AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, NISHIYAMA-GÓMEZ, Diana, SANTILLÁN-MARTÍNEZ, Alejandro y ROJO-VELAZQUEZ, Gustavo Emilio

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

