

ISSN 2523-6873

Volumen 4, Número 14 – Abril – Junio – 2020

Revista de Ingeniería Innovativa

ECORFAN[®]

ECORFAN-Perú

Editor en Jefe

MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Ingeniería Innovativa, El Volumen 4, Número 14, de Junio de 2020, es una Revista trimestral editada por ECORFAN-República del Perú. AV. La Raza, No 1047 - Santa Ana, Cusco-Perú, CP: 11500 http://www.ecorfan.org/republicofperu/rj_ingenieria_innovativa.php, revista@ecorfan.org. Editor en Jefe: MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD. ISSN: 2523-6873. Responsable de la última actualización de este problema Unidad Informática ECORFAN. Imelda Escamilla Bouchán, PhD. Vladimir Luna Soto, PhD. Actualizado al 30 de Junio, 2020.

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 Innovativa

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas de diseño de sistemas de producción, gestión de calidad en los productos, investigación de operaciones, simulación informática, cadenas de suministros, certificación de calidad, hidrometeorología.

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 Innovativa es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de diseño de sistemas de producción, gestión de calidad en los productos, investigación de operaciones, simulación informática, cadenas de suministros, certificación de calidad, hidrometeorología con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® 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

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD
Institut National Polytechnique de Lorraine

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD
University of South Florida

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

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

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD
Syracuse University

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

Comité Arbitral

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GONZALEZ - MARRON, David. PhD
Instituto Tecnológico de Pachuca

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

ALONSO - CALPEÑO, Mariela J. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Atlixco

LUGO - DEL ANGEL, Fabiola Erika. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

LICEA - SANDOVAL, Guillermo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

FERREIRA - MEDINA, Heberto. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Innovativa 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 Perú 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 mandará 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 homólogo de CONACYT para los capítulos de América-Europa-Asia-África y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Diseño de sistemas de producción, gestión de calidad en los productos, investigación de operaciones, simulación informática, cadenas de suministros, certificación de calidad, hidrometeorología y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Raspberry Pi, conectividad y programación mediante puertos GPIO*, por CABALLERO-JULIÁN, Franco Gabriel, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, SILVA-CRUZ, Eric Mario y CABALLERO-CANTARELL, Diego Gabriel, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, como siguiente artículo presentamos, *Análisis de sistemas mecánicos utilizando sistemas CAE, para estudiantes de ingeniería mecatrónica*, por HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, PÉREZ-SERRANO, Froylán y MÉNDEZ-ZAPATA, Elías, con adscripción en la Universidad Politécnica de Tlaxcala, como siguiente artículo presentamos, *Variación de velocidad de un motor monofásico de inducción mediante el cambio de amplitud*, por CABRERA-ORNELAS, Javier, BRITO-MONROY, Jorge, MARTÍNEZ-MONTALVO, Anselmo y HERNÁNDEZ-NARVÁEZ, Ana Luisa, con adscripción en el Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec, como último artículo presentamos, *Aprovechamiento sustentable del recurso hídrico mediante un sistema de captación de agua de lluvia y red de suministro*, por CASTILLO-TÉLLEZ-Margarita, CASTILLO-TÉLLEZ-Beatriz, MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto y HERNÁNDEZ-CRUZ, Luz María, con adscripción en la Universidad Autónoma de Campeche y la Universidad de Guadalajara.

Contenido

Artículo	Página
Raspberry Pi, conectividad y programación mediante puertos GPIO CABALLERO-JULIÁN, Franco Gabriel, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, SILVA-CRUZ, Eric Mario y CABALLERO-CANTARELL, Diego Gabriel <i>Instituto Tecnológico de Oaxaca</i>	1-13
Análisis de sistemas mecánicos utilizando sistemas CAE, para estudiantes de ingeniería mecatrónica HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, PÉREZ-SERRANO, Froylán y MÉNDEZ-ZAPATA, Elías <i>Universidad Politécnica de Tlaxcala</i>	14-20
Variación de velocidad de un motor monofásico de inducción mediante el cambio de amplitud CABRERA-ORNELAS, Javier, BRITO-MONROY, Jorge, MARTÍNEZ-MONTALVO, Anselmo y HERNÁNDEZ-NARVÁEZ, Ana Luisa <i>Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec</i>	21-26
Aprovechamiento sustentable del recurso hídrico mediante un sistema de captación de agua de lluvia y red de suministro CASTILLO-TÉLLEZ-Margarita, CASTILLO-TÉLLEZ-Beatriz, MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto y HERNÁNDEZ-CRUZ, Luz María <i>Universidad Autónoma de Campeche</i> <i>Universidad de Guadalajara</i>	27-34

Raspberry Pi, conectividad y programación mediante puertos GPIO

Raspberry Pi, connectivity and programming through GPIO ports

CABALLERO-JULIÁN, Franco Gabriel †*, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, SILVA-CRUZ, Eric Mario y CABALLERO-CANTARELL, Diego Gabriel

Instituto Tecnológico de Oaxaca, México.

ID 1^{er} Autor: *Franco Gabriel, Caballero-Julián* / ORC ID:0000-0002-5924-7759, CVU CONACYT ID: 88993

ID 1^{er} Coautor: *Maricela, Morales-Hernández* / ORC ID: 0000-0002-3521-2041, CVU CONACYT ID: 731036

ID 2^{do} Coautor: *Eric Mario, Silva-Cruz* / ORC ID: 0000-0002-0496-9682, CVU CONACYT ID: 206891

ID 3^{er} Coautor: *Diego Gabriel, Caballero-Cantarell* / ORC ID: 0000-0001-5364-6321

DOI: 10.35429/JOIE.2020.14.4.1.13

Recibido Abril 10, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

Hoy en día, existe una cantidad innumerable de dispositivos electrónicos y sistemas informáticos que están orientados como plataformas para la gestión de la información a través de la red; manipulando datos y al mismo tiempo, realizando tareas mediante señales electrónicas de baja tensión. Pueden activar, desactivar o controlar un dispositivo o un sistema mediante sensores. En este contexto, la plataforma *Raspberry Pi* tiene una interfaz compuesta por un conjunto de pines (GPIO) a través del cual se puede acceder a las señales de voltaje, y puede interactuar con otros sistemas eléctricos y electrónicos para la adquisición de datos y control. Este artículo tiene como objetivo facilitar el acceso a la plataforma *Raspberry Pi* desde su instalación, configuración, hasta su programación de los puertos a través de ejemplos e instrucciones, considerando la plataforma como un sistema informático. El interés de los autores es proporcionar al lector las herramientas, para que la programación de aplicaciones específicas sea el nuevo desafío.

Raspberry, GPIO, WebIOPi

Citación: CABALLERO-JULIÁN, Franco Gabriel, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, SILVA-CRUZ, Eric Mario y CABALLERO-CANTARELL, Diego Gabriel. *Raspberry Pi, conectividad y programación mediante puertos GPIO*. Revista. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-14:1-13.

Abstract

Today, there is an innumerable amount of electronic devices and computer systems that are oriented as platforms for the management of information through the network; manipulating data and at the same time, performing tasks using low voltage electronic signals. They can activate, deactivate or control a device or a system using sensors. In this context, the *Raspberry Pi* platform has an interface composed of a set of pins (GPIO) through which voltage signals can be accessed, and can interact with other electrical and electronic systems for data acquisition and control. This article aims to facilitate access to the *Raspberry Pi* platform from its installation, configuration, to its programming of the ports through examples and instructions, considering the platform as a computer system. The interest of the authors is to provide the reader with the tools, so that the programming of specific applications is the new challenge.

Raspberry, GPIO, WebIOPi

* Correspondencia del Autor (franco.caballero@itoaxaca.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En sistemas electrónicos digitales con innumerables aplicaciones para la red, de control y automatización, de ahorro y aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica (Sesma Martínez, 2015), en tecnología bioelectrónica, en domótica e inmótica, entre otras; las soluciones son diversas. Así disponemos de una amplia gama de fabricantes de microcontroladores, muchos otros de microprocesadores, de *FPGAs*, de sistemas de desarrollo y aplicaciones (Asadi, Baguery & Imam, 2016), y cada uno con un extenso catálogo de productos con características específicas, dispositivos que permiten la interconectividad con el mundo real. En esos dispositivos se dispone de módulos de comunicación paralelo, serial, *USB*, *I2C*, *SPI*, *Ethernet*, *wifi*, *bluetooth*, incluso (Amaya, 2020) con soluciones tecnológicas *LP-WAN* como *Narrow Band Internet of Things (NB-IoT)*, *Sig Fox* y *Long Range (Lo-Ra)*.

En ese contexto existe un sistema de bajo costo para posicionarse en el mercado, la plataforma *Raspberry Pi* (ver figura 1), con el interés primario de hacer que las nuevas tecnologías y los sistemas digitales lleguen a todos los niveles en el ámbito educativo. La *Raspberry Pi Foundation* desarrolló la *Raspberry Pi* como una computadora de placa única u ordenador de placa simple (*SBC*) de bajo costo, basada en un microprocesador embebido. El diseño original es un entorno de desarrollo práctico, que permite un sinnúmero de posibilidades para aplicaciones novedosas.



Figura 1 La Tarjeta Raspberry Pi

Fuente: Descargada de:

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

La plataforma *Raspberry Pi* es una computadora que utiliza un sistema operativo basado en *Linux*, es una solución total equivalente a una computadora convencional con el popular sistema operativo *Windows*. *Raspberry Pi* dispone de sus propias herramientas de uso muy fácil e intuitivo, donde para cada aplicación deseada se instala el sistema operativo correspondiente y sus controladores necesarios. Así disponemos de aplicaciones (Suehle y Callaway, 2014) en servidores, multimedia, con vídeo *Full HD*, videojuegos, domótica e inmótica (Falcone et al., 2015) y monitoreo, telefonía, Internet de las Cosas, procesamiento de imágenes, se le puede instalar *Android*, etc. Y entre tantas virtudes, el área de oportunidad en el que se centra el interés de esta investigación, es el monitoreo de variables y control de dispositivos (Arostegui Gallardo et al., 2019) por medio de sus puertos de entrada/salida de propósito general (*GPIO*), ver figura 2.

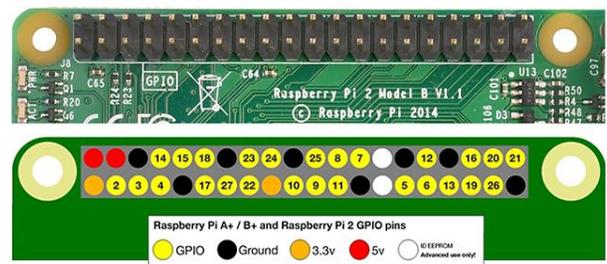


Figura 2 La GPIO de la Tarjeta Raspberry Pi

Fuente: <https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/238-control-de-gpio-con-python-en-raspberry-pi/que-es-gpio>

La arquitectura de *Raspberry Pi* (Ray, 2017), está centrada en un procesador multinúcleo *Broadcom (BCM 2835, BCM2836 y BCM 2837)*, memoria compartida entre la *CPU* y la unidad de procesamiento de gráficos (*GPU*), puertos *USB*, *HDMI*, *RJ45*, 40 pines *GPIO* multiplexados, *miniUSB*, y un conector para cámara, etc. El software *Raspbian* es su sistema operativo oficial, de código abierto y basado en *Linux*, aunque permite usar otros sistemas operativos, incluido *Fedora*, *ArchLinux Arm*, *Debian*, *Ubuntu* y una versión de *Windows 10*.

La fundación promueve principalmente el aprendizaje del Lenguaje de programación *Python*, aunque también están soportados otros lenguajes de programación como son: *Tiny BASIC*, *C*, *PERL* y *Ruby*.

La fundación da soporte para otras descargas de las distribuciones para arquitectura ARM, *Raspbian*, derivada de *Debian*; *RISC OS 5*; *Arch Linux ARM*, derivado de *Arch Linux* y *Pidora*, derivado de *Fedora*.

De la diversidad de modelos de *Raspberry Pi* existentes en el mercado, la *Raspberry Pi 3* modelo A+ data del año 2018, cuyo modelo A+ están limitado en sus prestaciones y con un menor costo. Cuenta con 512 MB de memoria RAM, compartidos con la GPU *VideoCore IV*, un solo puerto USB y sin puerto de conexión de red por cable RJ-45.

La *Raspberry Pi 3 B+* también data del año 2018 y entre sus mejoras cuenta con un nuevo procesador y mejor conectividad, opera a 1.4GHz y ahora incorpora doble banda a 2,4GHz y 5GHz, y su nuevo puerto *Ethernet* pasa a 300 *Mbits/s* en el nuevo modelo, también cuenta con *Bluetooth 4.2 (Low Energy)*.

La *Raspberry Pi 4* modelo B estuvo disponible desde junio del año 2019. Sus puertos *HDMI* de tamaño completo ahora son dos puertos micro *HDMI*. Tiene un procesador *Broadcom* nuevo hasta tres veces por encima que el anterior. Cuenta con la capacidad de manejar dos pantallas 4K a 60 Hz. Incluye por primera vez *USB 3.0*, y el puerto *Ethernet* ya no está limitado a 300 *Mbps*.

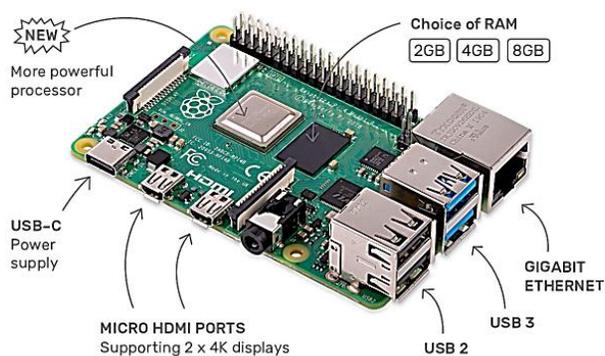


Figura 3 La Tarjeta Raspberry Pi 4 modelo B+

Fuente: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>

En la figura 4, se muestra la localización de los componentes de una placa de *Raspberry Pi* modelo B.



Figura 4 Localización de componentes

Fuente: <https://projects.raspberrypi.org/esES/projects/raspberry-pi-getting-started/2>

En relación con sistema operativo, *Raspbian* es una distribución del sistema operativo *GNU/Linux* basado en *Debian*, libre para la SBC *Raspberry Pi*, fue desarrollado por el equipo que creó *Raspberry Pi* (Grey, 2018). Desde 2015, la *Raspberry Pi Foundation* lo ha proporcionado de forma oficial como el sistema operativo primario para la familia de placas SBC de *Raspberry Pi*.

Hay varias versiones (Ray, 2017) de *Raspbian*, *Raspbian Wheezy* es una imagen basada en la versión *Debian 7.x*, *Raspbian Jessie* basada en la versión *Debian 8.x*, siendo la actual *Raspbian Buster* con la que se hicieron los ejemplos de este artículo.

En cuanto a los recursos para hacer programación, aunque cualquier lenguaje de programación para *Linux* está disponible para *Raspberry Pi*, se puede escribir código desde la línea de comandos (*Shell*), también en *C* y *C++*, *Java*, *Ruby*, *Visual Basic*, etc., son más populares los lenguajes interpretados directamente como *Python*, *Bash*, *Perl* y *Lua* (Ray, 2017); el sistema operativo *Raspbian Buster* tiene *Thonny Python IDE* como una herramienta de programación, y dada su versatilidad y preferencia en el gusto de los programadores, elegimos *Python* que es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código.

Es un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, dinámico y multiplataforma.

Administrado por la *Python Software Foundation* (Guzdial y Ericson,2013), posee una licencia de código abierto, denominada *Python Software Foundation License*, que es compatible con la Licencia pública general de *GNU* a partir de la versión 2.1.1. *Python* usa tipado dinámico y conteo de referencias para la administración de memoria.

Una característica importante de *Python* es la resolución dinámica de nombres; es decir, lo que enlaza un método y un nombre de variable durante la ejecución del programa (también llamado enlace dinámico de métodos).

Planteamiento del problema

El problema al cual nos enfrentamos al utilizar *Raspberri Pi* hasta nuestros días, es la complejidad que representa iniciar con una nueva microcomputadora y un sistema basado en *Linux*, haciendo parecer que sólo los más atrevidos exploran los diversos recursos de *Raspberry Pi*, los que tienen acceso a cursos presenciales bien estructurados, y los que están dispuestos a aprender por su cuenta y a ensayar nuevos experimentos (Magpi,2019). *Raspberry Pi* es fácil, muy entretenido y sobre todo con un sinnúmero de oportunidades de desarrollo.

El interés se centra en que el lector arme y configure paso a paso una computadora *Raspberry Pi* y se concentre en el manejo de los puertos de propósito general (*GPIO*). Puertos con los que sea posible desarrollar aplicaciones en las que desde esa computadora *Raspberry Pi*, la misma plataforma o algún dispositivo inteligente; conectado en su red *LAN*, tenga acceso para prender, apagar, programar, leer o controlar otros actuadores y sistemas de comunicación (Magpi, s.f).

Propuesta de solución

Para desarrollar aplicaciones *GPIO* con la *Raspberry Pi*, se le presenta al lector un procedimiento en seis pasos que lo guían hasta probar varios ejercicios resueltos por medio de *leds* y *switches* que solo tienen que remplazarse por dispositivos específicos para crear aplicaciones de utilidad.

En el paso 1 se enlista el material necesario para dar comienzo a la instalación, en el paso 2 se describe la preparación de la memoria requerida para la plataforma, en el paso 3 se hacen las conexiones de hardware en donde encontramos una diversidad de elementos, en el paso 4 se describe la configuración inicial de una computadora *Raspberry Pi 3*, para continuar en el paso 5 se le guía en la configuración del *Software* y manipulación de archivos y carpetas, y en el paso 6 se le muestran los ejemplos de programación desde la consola, programación con *Arduino*, desde *Python* y en un ambiente *Web* por medio de *WebIOPi*.

Metodología

De acuerdo con la clasificación expuesta por Bernal (2010), el método apropiado para la realización de este trabajo es el método hipotético-deductivo porque partimos de aseveraciones en calidad de hipótesis que en el desarrollo se van comprobando.

En el presente trabajo se utiliza la metodología en “V” o diagrama en “V” como se le llama por distintos autores. En esta técnica, el ciclo de vida para el desarrollo de un sistema la progresión en el tiempo es iterativa y se presenta de izquierda a derecha, y que este ciclo es iterativo, se realiza tantas veces como sea necesario (debe ser el mínimo) hasta obtener un producto adecuado y acorde con los requisitos del usuario (Oshana y Kraeling, 2013).

Desarrollo

Material necesario

Lo que se requiere para incursionar en el mundo de *Raspberry Pi* y empezar a desarrollar aplicaciones con los puertos es lo siguiente:

- Una computadora *Raspberry Pi 2, 3* ó su versión más reciente.
- Una tarjeta *micro SD* mínimo de 8G clase 4, considerando de preferencia 16 o 32G de almacenamiento.
- *Mouse*.
- Teclado.

- Un monitor.
- Cable *hdmi* y un convertidor *hdmi-VGA* dependiendo el monitor.
- Una fuente de alimentación dedicada con salida micro USB de 5V a 1.5 Amp.
- Un cable de red RJ-45.
- *Internet* para actualizar el sistema operativo, descargar los controladores y recursos, un *protoboard*, resistencias y diodos *led*.

Preparación de la memoria

En su computadora de escritorio o en su *laptop* con acceso a *internet*, vamos al navegador y escribir la siguiente dirección de *Raspberry Pi*: <https://www.raspberrypi.org>, ir a la sección de descargas(*downloads*). Ahí podemos ver *NOOBS* y *Raspbian*, *Raspbian* es el Sistema Operativo oficial para todos los modelos de *Raspberry Pi*. Se puede utilizar *Raspbian Pi imager* para una forma fácil de instalar *Raspbian* y otro sistema operativo en su tarjeta *SD* listo para usarse en su *Raspberry Pi*, viene en formato *exe*.

Es muy sencillo utilizar *Raspbian*, por ser el más popular. La versión *LITE* solo contiene el Sistema Operativo (SO) para conectarse remotamente a la placa. La versión *desktop* nos da el acceso a periféricos, esto debido a que la otra versión solo tiene software recomendado. Aquí se recomienda descargar *Raspbian buster full with desktop and recommended software* en formato *zip* versión septiembre 2019 de 2530 MB.

Desempacar el archive *zip* para tener una nueva carpeta que ahora contiene el archivo imagen: *raspbian-buster-full.img.*, ese es el archivo que vamos a *flashear* en la *SD card*. También podemos considerar elegir *NOOBS*, la cual viene en archivos separados y el proceso a realizar es desempacar la carpeta y tal cual su contenido se copia en la *SD card*, así está lista para insertarse en su *Raspberry Pi* e iniciar el proceso de instalación en la plataforma para realizar el reconocimiento de periféricos y dispositivos conectados a la tarjeta *Raspberry Pi*.

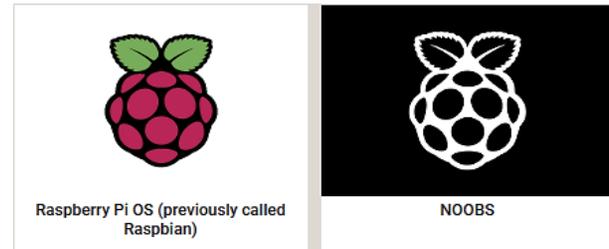


Figura 5 Raspbian y NOOBS, el sistema operativo
Fuente: <https://www.raspberrypi.org/downloads/>

Para formatear la *SD card* utilizamos la herramienta *SD Card formatter* y para cargar el SO vamos a utilizar *balena etcher* en su versión para *Windows*, este es un programa que nos permite *flashear* memorias.

Funciona en tres pasos:

- En seleccionar imagen, seleccionamos el archivo *raspbian-buster-full.img*
- Ahora permite hacer el segundo paso, deja seleccionar en donde se va a hacer la instalación, la opción *change* da la lista de dispositivos donde se puede instalar, seleccionamos la memoria *SD*.
- Seleccionar la opción *flash* para iniciar el proceso de carga de los archivos.

Otra opción es *Win32DiskImager*, como se muestra en la figura 6.



Figura 6 SD Formatter, Win32DiskImager y balenaEtcher, las herramientas
Fuente: Elaboración propia

Conexiones de hardware

Con su *micro SD* en la mano, insertarla en la ranura de la plataforma *Raspberry Pi*, y previamente se deber conectar el teclado, *mouse*, el monitor, el cable RJ-45 a la red de internet (si dispone de la *Raspberry Pi 3 Model B* ya tiene integrado el módulo *wifi*) y finalmente conectar la fuente de alimentación para inicializar la plataforma. Otro medio de conexión a una red local es mediante una computadora por medio de un puente con un cable *RJ-45* con una conexión *Ethernet*.

Al instante su computador *Raspberry Pi* va a iniciar, y podemos monitorear este proceso mediante dos leds de actividad, el rojo indica energizado y el verde parpadeando indica el arranque de la computadora. Una vez inicializada la carga de los controladores, la tarjeta tendrá acceso al video y se visualizará la carga de controladores.



Figura 7 Conectando los componentes asociados a la computadora Raspberry Pi
Fuente: Elaboración propia

Configuración inicial

Al inicio el sistema le da la bienvenida con un *Welcome to the Raspberry Pi Desktop* con la imagen de la frambuesa, y le indica que hay algunas cosas que configurar antes de poder utilizarla, ahí mismo le proporciona una dirección *ip* que toma de su red, por ejemplo *192.168.1.66*, y espera que le diga *Next*, enseguida elegir su país (*México*), lenguaje (*Mexican Spanish*), la zona horaria (*México City*) y se recomienda dejar desmarcados el lenguaje y el teclado *US*; damos *Next* y la computadora pide esperar para hacer esa configuración, enseguida pide proporcionar y confirmar un *password*, (podemos utilizar los valores por default), muestra las redes *wifi* que tiene a su alcance solicitando la clave de acceso a la Red Local.

Enseguida requiere actualizar el *software*, (este proceso se puede omitir, es mejor hacerlo de una vez); después de varios minutos, el sistema avisa que ha terminado y que para que las actualizaciones tengan efecto hay que restablecer en ese instante (*Restart*), lo cual es lo recomendable.

Al reiniciar la tarjeta y restablecer el sistema, se muestra la pantalla con todos los recursos de inicio que son: *Programación, Educación, Oficina, Internet, Sonido y Vídeo, Gráficos, Juegos, Accesorios, Help, Preferencias, Run* y *Shutdown*. También en la barra de tareas, en la parte superior izquierda podemos encontrar los íconos de *Internet*, carpetas y la consola (*Shell*).

El entorno de manejo de archivos es parecido al basado en Ventanas (*Windows*), con *click* en el ícono de *Internet* tenemos acceso a todos los recursos disponibles en la red, podemos crear carpetas y archivos, por medio del ratón podemos consultar o eliminar carpetas y por medio de la consola podemos ejecutar una serie de comandos, en donde la instrucción *sudo*, nos permite realizar operaciones como administrador.

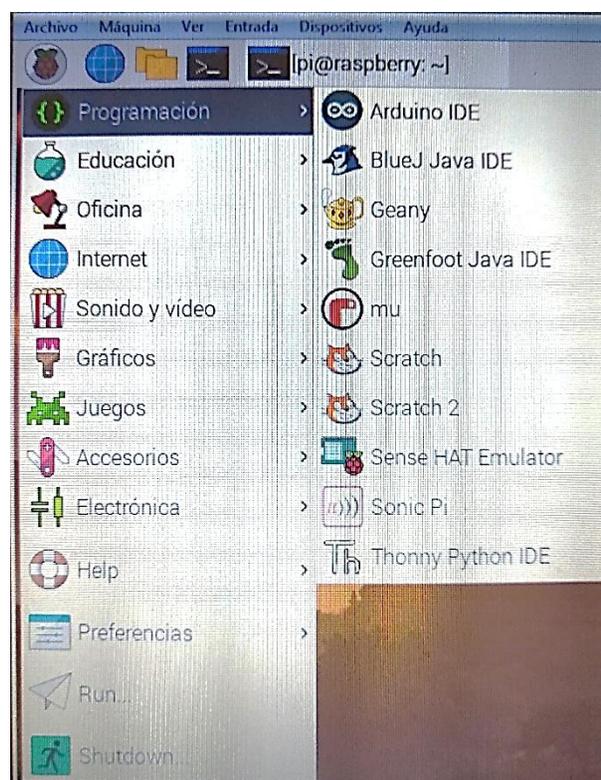


Figura 8 La computadora Raspberry Pi, al arranque
Fuente: Elaboración propia

Configuración del Software y manipulación de archivos y carpetas

Aunque ya en el paso anterior el sistema se actualizó, por medio de la consola podemos en cualquier momento actualizar y ejecutar instrucciones para manipular archivos y carpetas.

Para actualizar la fecha:

```
$sudo date 04291630
```

donde: 04 es el mes, 29 es el día, 16 es la hora y 30 son los minutos.

Para actualizar el sistema:

```
$sudo apt-get update && sudo apt-get upgrade
```

Un proceso de interés particular en esta investigación es el desarrollo de aplicaciones mediante la instalación de *Arduino*, para lo cual se realiza la instalación del *IDE* de *Arduino* en la *Raspberry Pi*, por medio del comando:

```
$sudo apt-get install arduino
```

Para mostrar el directorio:

```
$pwd
```

Para listar el contenido de una carpeta, escribir:

```
$ls
```

Para moverme a la carpeta raíz, escribir:

```
$ cd ..
```

Para crear una carpeta escribir:

```
$mkdir nombredecarpeta
```

Para crear un archivo escribir:

```
$touch nombreadarchivo
```

Para remover escribimos:

```
$rm nombreadarchivo
```

Para utilizar los comandos utilizados recientemente escribimos:

```
$history
```

Programación

Instrucciones desde la terminal

Desde la consola, es posible controlar las terminales por medio de instrucciones que declaran la *GPIO* de entrada o salida (Ray,2017); en el caso de salida el valor digital que asume es de 5V o 3.3V dependiendo la tecnología.

En las siguientes líneas se declara la *GPIO26* de uso, configurada como salida y se le envía un valor uno y después un cero lógico.

```
$ echo 26 > /sys/class/gpio/export
```

```
$ echo out > /sys/class/gpio/gpio26/direction
```

```
$echo 1 > /sys/class/gpio/gpio26/value
```

```
$echo 0 > /sys/class/gpio/gpio26/value
```

Programación en Python

En *Thonny Python IDE*, un recurso precargado en la *Raspberry Pi*, se escriben los programas de aplicación (Mocq, 2020). Aquí se exponen tres ejemplos probados con una entrada y cuatro salidas. Estos ejemplos son muy básicos (Programo Ergo Sum, 2020), a partir de aquí que el lector pueda utilizar los recursos más potentes de programación para hacer programas más complejos que se puedan utilizar en sistemas de aplicación. Se eligen pines de entrada o salida.

Entradas:

```
INP0: GPIO23, PIN12
```

Salidas:

```
D0:GPIO22, PIN 15
```

```
D1:GPIO27, PIN 13
```

```
D2:GPIO17, PIN 11
```

```
D3:GPIO4, PIN 7
```

El cable de tierra es por medio del PIN 6 de GND.

La entrada se implementa con un *dip-switch* para generar un 1 o un 0, este circuito se alimenta de los 5V de VCC de la *Raspberry Pi* a través de una resistencia de 15K; cuando el *switch* está en ON, la muestra que se deriva de la resistencia está a un potencial de referencia y manda un 0, cuando se abre el *switch* la resistencia queda deshabilitada reflejando un 1.

Las salidas se presentan como D0, D1, D2, y D3; se implementan por medio de leds con limitadores de corriente de 1K. El circuito puede verse en la figura 9.

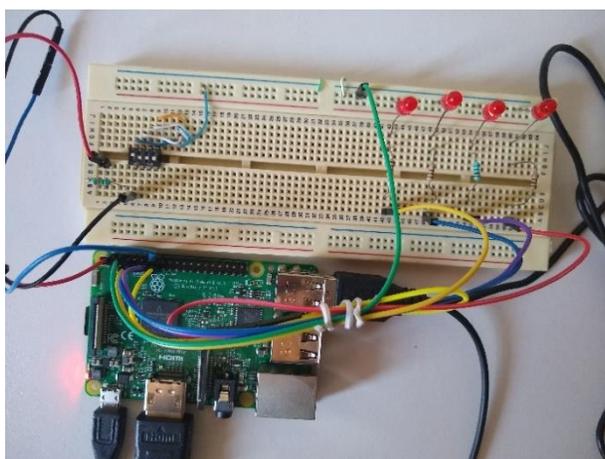


Figura 9 El circuito de prueba de los ejemplos
Fuente: *Elaboración propia.*

El ejemplo 1 es un ejercicio muy simple en el que se implementa una secuencia de prender y apagar un grupo de 4 leds por medio de la librería *gpiozero*.

El ejemplo 2 por medio de la estructura *while* implementa una secuencia de 5 repeticiones para prender y apagar un grupo de 4 leds por medio de la librería *GPIO*.

El ejemplo 3 utiliza las estructuras de control *if* y *while* para implementar una rutina de prender y apagar dos leds por medio de la librería *GPIO*. Sí *GPIO23* es 1 entonces la rutina aplica en D0, D1 y sí *GPIO23* es 0 la rutina aplica en D3, D4.

Ejemplo1.py

```
#####

from gpiozero import LED

from time import sleep

led0=LED(22)
```

```
led1=LED(27)
```

```
led2=LED(17)
```

```
led3=LED(4)
```

```
while True:
```

```
led0.on()
```

```
sleep(1)
```

```
led0.off()
```

```
sleep(1)
```

```
led1.on()
```

```
sleep(1)
```

```
led1.off()
```

```
sleep(1)
```

```
led2.on()
```

```
sleep(1)
```

```
led2.off()
```

```
sleep(1)
```

```
led3.on()
```

```
sleep(1)
```

```
led3.off()
```

```
sleep(1)
```

```
#####
```

Ejemplo2.py

```
#####
```

```
import RPi.GPIO as GPIO
```

```
import time
```

```
LEDPin0= 22
```

```
LEDPin1= 27
```

```
LEDPin2= 17
```

<i>LEDPin3= 4</i>	<i>GPIO.cleanup()</i>
<i>Inicio=0</i>	<i>#####</i>
<i>Fin=5</i>	Ejemplo3.py
<i>GPIO.setmode (GPIO.BCM)</i>	<i>#####</i>
<i>GPIO.setup(LEDPin0, GPIO.OUT)</i>	<i>import RPi.GPIO as GPIO</i>
<i>GPIO.setup(LEDPin1, GPIO.OUT)</i>	<i>import time</i>
<i>GPIO.setup(LEDPin2, GPIO.OUT)</i>	<i>LEDPin0= 22</i>
<i>GPIO.setup(LEDPin3, GPIO.OUT)</i>	<i>LEDPin1= 27</i>
<i>while (Inicio<= Fin):</i>	<i>LEDPin2= 17</i>
<i>GPIO.output(LEDPin0, GPIO.HIGH)</i>	<i>LEDPin3= 4</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>Inicio=0</i>
<i>GPIO.output(LEDPin0, GPIO.LOW)</i>	<i>Fin=5</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>GPIO.setmode (GPIO.BCM)</i>
<i>GPIO.output(LEDPin1,GPIO.HIGH)</i>	<i>GPIO.setup(LEDPin0, GPIO.OUT)</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>GPIO.setup(LEDPin1, GPIO.OUT)</i>
<i>GPIO.output(LEDPin1,GPIO.LOW)</i>	<i>GPIO.setup(LEDPin2, GPIO.OUT)</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>GPIO.setup(LEDPin3, GPIO.OUT)</i>
<i>GPIO.output(LEDPin2,GPIO.HIGH)</i>	<i>GPIO.setup(23,GPIO.IN)</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>while (Inicio<= Fin):</i>
<i>GPIO.output(LEDPin2,GPIO.LOW)</i>	<i>input_state=GPIO.input(23)</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>if input_state == True:</i>
<i>GPIO.output(LEDPin3,GPIO.HIGH)</i>	<i>GPIO.output(LEDPin0,GPIO.HIGH)</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>time.sleep(0.5)</i>
<i>GPIO.output(LEDPin3,GPIO.LOW)</i>	<i>GPIO.output(LEDPin0,GPIO.LOW)</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>time.sleep(0.5)</i>
<i>time.sleep(0.5)</i>	<i>GPIO.output(LEDPin1,GPIO.HIGH)</i>
<i>print("Numero de rutina:", Inicio)</i>	<i>time.sleep(0.5)</i>
<i>Inicio = Inicio + 1</i>	<i>GPIO.output(LEDPin1,GPIO.LOW)</i>

```

time.sleep(0.5)

print("Numero de rutina:", Inicio)

Inicio = Inicio + 1

else:

GPIO.output(LEDpin2,GPIO.HIGH)

time.sleep(0.5)

GPIO.output(LEDpin2,GPIO.LOW)

time.sleep(0.5)

GPIO.output(LEDpin3,GPIO.HIGH)

time.sleep(0.5)

GPIO.output(LEDpin3,GPIO.LOW)

time.sleep(0.5)

time.sleep(0.5)

print("Numero de rutina:", Inicio)

Inicio = Inicio + 1

GPIO.cleanup()

```

```
#####
```

Programación de Arduino

Arduino es muy versátil, y presenta una variedad de modelos, con distintos recursos, así ha ganado el interés de muchos desarrolladores en todo el mundo; también ha logrado que se posicione en el mercado por ser de bajo costo y muy fácil de usar (Rumberg, 2015). Entre muchas de sus posibilidades, una placa *Arduino* se le puede dejar en modo esclavo para transmitir o recibir señales de voltaje mediante comunicación serial y realizar interacción con entornos de programación como son: *Matlab*, *LabVIEW*, *Processing*, también mediante el puerto *USB Ethernet* de la computadora *Raspberry Pi*.

Instalación de *Arduino*

```
$sudo apt-get install arduino
```

La conectividad de *Arduino* con los puertos disponibles se puede visualizar mediante la siguiente instrucción.

```
$ls/ dev/ tty*
```

De este modo al conectar una tarjeta *Arduino UNO* en el puerto *USB* de la *Raspberry Pi*, es posible realizar la programación de cualquier programa al cargarlo y ejecutarlo en la tarjeta *Arduino*.

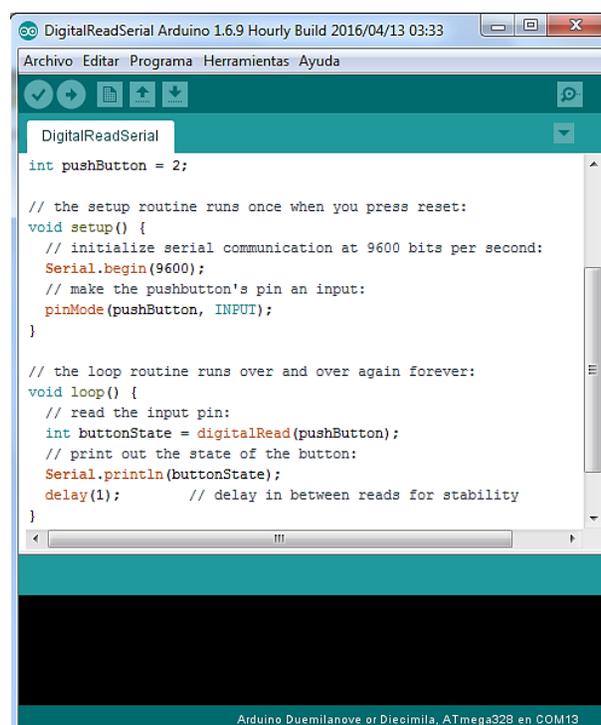


Figura 10 El entorno de desarrollo Arduino

Fuente: Elaboración propia

Por medio de una página Web

Entre los recursos desarrollados por terceros está *WebIOPi* que es de fácil instalación y muy intuitivo. De antemano, nuestra computadora *Raspberry Pi* ya tiene acceso a *Internet*, entonces abrir el navegador y en *The Raspberry Internet of Things Toolkit* (2020), vamos al apartado de descargas y hacer la descarga que por defecto se aloja en la carpeta *Downloads*. O desde la terminal de comandos hacemos también la descarga de la última versión de la aplicación.

```
$wget
```

```
http://webiopi.googlecode.com/files/WebIOPi-0.7.0.tar.gz
```

```
$tar xvzf WebIOPi-0.7.1.tar.gz
$cd WebIOPi-0.7.1
```

Descargamos el parche:

```
$wget
```

```
https://raw.githubusercontent.com/doublebind/raspi/master/webiopi-pi2bplus.patch
```

Y lo aplicamos

```
$patch -p1 -i webiopi-pi2bplus.parch
```

Instalamos

```
$sudo ./setup.sh
```

Configurar

```
$sudo webiopi -d -c/etc/webiopi/config
```

Y arrancar la aplicación:

```
$sudo /etc/init.d/webiopi start
```

Para detenerla

```
$sudo /etc/init.d/webiopi stop
```

Una vez inicializada la aplicación, ahora simplemente en el navegador de la *Raspberry pi*, escribimos la siguiente dirección: <http://raspberrypi:8000/> ó escribiendo en lugar de *raspberrypi* la dirección *ip* de su computadora que puede obtenerse por medio de la red usando *nmap*. De igual modo puede acceder a su página web desde cualquier otro dispositivo vinculado a su red local. El nombre de usuario por defecto es *webiopi* y el *password* es *raspberry*. En el ejercicio que aquí se presenta por medio de la red local desde un teléfono inteligente, o desde cualquier computadora en la misma red se puede prender el led amarillo de la figura 12, por medio de la *GPIO4*. La *GPIO* en color negro indica apagado, al darle *click* cambia a naranja y hace que se prenda el led. El mismo ejercicio se probó con el circuito de la figura 9 con los leds colocados en las *GPIO 22,27,17* y *4*. En la figura 11 se aprecia el menú de *WebIOPi* al cargar, y en la figura 12 se muestra la distribución de la *GPIO Header* para manipulación.

WebIOPi Main Menu

GPIO Header

Control and Debug the Raspberry Pi GPIO with a display which looks like the physical header.

GPIO List

Control and Debug the Raspberry Pi GPIO ordered in a single column.

Serial Monitor

Use the browser to play with Serial interfaces configured in WebIOPi.

Devices Monitor

Control and Debug devices and circuits wired to your Pi and configured in WebIOPi.

Figura 11 El menú principal de WebIOPi

Fuente: Elaboración propia

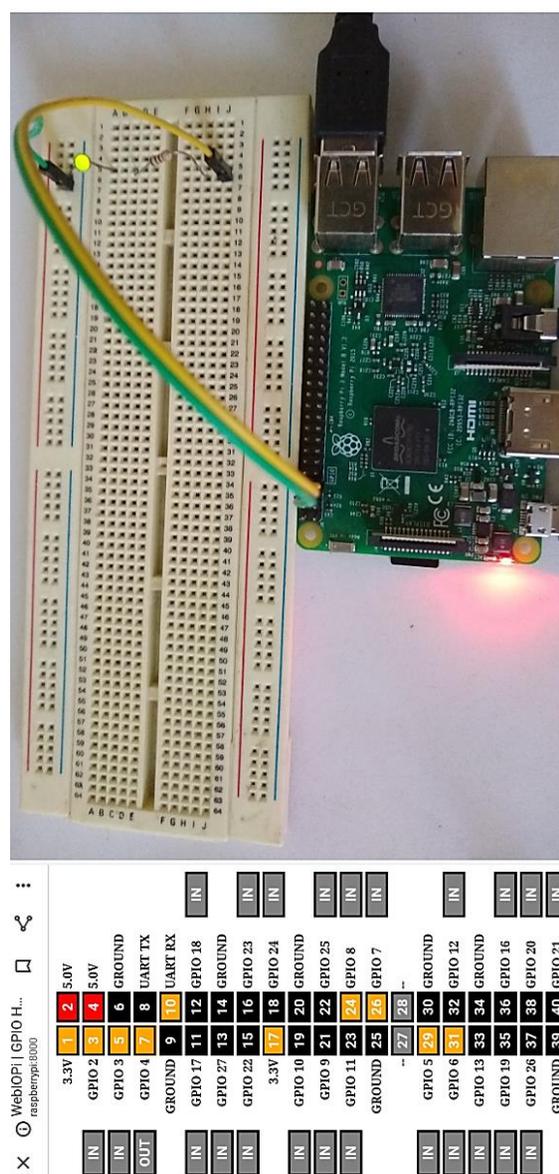


Figura 12 Activar o desactivar una carga en GPIO4 desde WebIOPi

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Finalmente, en la presente investigación sobre el proceso de interacción con los puertos *GPIO* de la plataforma *Raspberry Pi*, presentamos los elementos necesarios que pueden servir como una guía que nos lleva de la mano paso a paso en nuestro objetivo:

- Elegir los elementos necesarios para montar una computadora *Raspberry Pi*, *flashear* su micro SD con el sistema operativo *Raspbian*, configurarla de inicio, actualizarla y cargarle los programas de interés.
- Desde ahí, ya disponemos de una computadora muy completa con acceso a internet, con opciones de programación, con *office*, juegos y muchos otros recursos ya incluidos.
- De manera muy directa, se muestran cuatro formas de acceder al accionamiento de los *GPIO*, podemos elegir cualquiera y mediante lenguaje *Python* se puedan crear aplicaciones de interés, o también por medio de la plataforma *Arduino*, y así mismo esta opción que considera la obtención de información y con otra aplicación sea posible mostrarla en pantalla y darle el tratamiento adecuado, como un trabajo a futuro.
- Por medio de *WebIOPi*, disponemos de una herramienta *Web* muy práctica para el acceso de lectura o escritura de los puertos *GPIO*.
- Para construir interfaces que nos permitan crear soluciones reales de proyectos más complejos, incluso en el modo *headless* se puedan manipular vía remota usando *SSH* y *VNC Viewer*.

Agradecimiento

Este trabajo es posible gracias a las facilidades otorgadas por el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca que a través de distintos medios buscan mejorar el desempeño de sus profesores, también se agradece a PRODEP que por medio de sus convocatorias también encuentra la forma de financiar y otorgar estímulos a los docentes para mejorar su desempeño académico-científico.

Gracias a los profesores y estudiantes que involucrados en tareas de investigación permiten estos logros. Gracias a los colaboradores en este artículo.

Conclusiones

En este artículo muy concreto y simple tenemos una guía de instalación, configuración y programación de una computadora *Raspberry Pi*, mediante la cual los autores pretenden contribuir con su experiencia a los interesados en desarrollador y crear sistemas y aplicaciones mediante este sistema de cómputo.

Los ejemplos presentados tienen un grado de complejidad simple, lo cual deja oportunidad de explorar los innumerables recursos de los que dispone *Raspberry Pi*, para así realizar interfases de lectura y escritura de señales digitales y analógicas, todo depende del entusiasmo y magnitud del problema que se presente.

El reto para el futuro desarrollador consiste en encontrar el problema y proponer una solución con la computadora *Raspberry Pi* mediante el manejo de los puertos *GPIO*.

Referencias

Amaya, A. (2020). Desarrollo de un Sistema de Comunicación LP-WAN para transmitir señales de geolocalización de personas dentro de entornos naturales. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico de Oaxaca-CICESE.

Arostegui Gallardo, C.I., Mata Cruz. F.A.C., & Romero Rodríguez, R.O. (2019). Accesos controlados al cuarto de racks transaccionales financieros aplicando tecnología de corto alcance. Reporte Técnico. ESIME, IPN.

Asadi, A., Bagheri, S., Imam, A. (2016). A data acquisition system based on Raspberry Pi. Design, construction and evaluation. IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON).

Bernal, C., (2010). Metodología de la Investigación. Tercera edición. Pearson-Prentice Hall.

Falcone, F., Matías, I., Miltino, J., Gabilondo, A., (2015). Domótica e Inmótica. Instalaciones de telecomunicaciones para edificios. Alfaomega-marcombo.

Grey, G. (2018). RASPBERRY PI, Guía paso a paso para principiantes de Raspberry Pi. Gabriel Grey.

Guzdial, M., Ericson, B., (2013). Introducción a la computación y programación con Python. PEARSON.

Magpi (s.f). Beginner's book. The official Raspberry Pi magazine.

Magpi (2019). The 50 best tips. Issue 80. April 2019. The official Raspberry Pi magazine.

Mocq, F., (2020). Raspberry Pi 3 o Pi Zero. Explote todo el potencial de su nano-ordenador. <https://www.ediciones-eni.com/open/mediabook.aspx?idR=0d1aa94cd5698d4846e4519ae4030923>

Oshana, R. y Kraeling, M. (2013). Software Engineering for Embedded Systems: Methods, Practical Techniques, and Applications. USA: Elsevier, Inc.

Programo Ergo Sum(2020). Control de Raspberry pi con Python en Raspberry Pi. <https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/238-control-de-gpio-con-python-en-raspberry-pi/> que-es-gpioRay, R. (2017). Raspberry PI, Guía paso a paso para dominar Hardware y Software Raspberry PI 3. Ranny Ray.

Runberg, D.(2015). The Sparkfun guide to processing. No Starch Press, Inc.

Sesma Martínez, J. (2015). Monitorización y detección de fallos en una instalación solar fotovoltaica mediante sistema remoto. Trabajo fin de Máster. Escuela Politécnica Superior de Orihuela.

Suehle, R., Callaway, T. (2014). Raspberry Pi Hacks. Tips & Tools for Making Things with the Inexpensive Linux Computer. O'REILLY. USA.

The Raspberry Internet of Things Toolkit (2020). The Raspberry Internet of Things Toolkit- Now in two flavors: Cayenne-the Spicy one, WebIOPi- the Original one. Recuperado de <http://webiopi.trouch.com/>.

Análisis de sistemas mecánicos utilizando sistemas CAE, para estudiantes de ingeniería mecatrónica

Analysis of mechanical systems using CAE systems, for students of mechatronic engineering

HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo†*, CANO-CORONA, Ariana, PÉREZ-SERRANO, Froylán y MÉNDEZ-ZAPATA, Elías

Universidad Politécnica de Tlaxcala, Programa Académico de Ingeniería Mecatrónica

ID 1^{er} Autor: *Rodrigo, Hernández-Zempoaltecatl* / ORC ID: 0000-0002-0677-474X

ID 1^{er} Coautor: *Ariana, Cano-Corona* / ORC ID: 0000-0003-3456-2303, CVU CONACYT ID: X_acano100364

ID 2^{do} Coautor: *Froylán, Pérez-Serrano* / ORC ID: 0000-0001-7795-7386, CVU CONACYT ID: 377744

ID 3^{er} Coautor: *Elías, Méndez-Zapata* / ORC ID: 0000-0001-5288-4432

DOI: 10.35429/JOIE.2020.14.4.14.20

Recibido Abril 20, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

Con este trabajo se muestra que los fundamentos, de sistemas de ingeniería asistida por computadora CAE pueden ser utilizados como herramienta efectiva para la optimización del análisis de sistemas mecánicos y/o procesos de manufactura en las asignaturas de ingeniería mecatrónica. La simulación de las condiciones de operación, así como el análisis las diferentes condiciones de trabajo como el análisis de esfuerzos, los análisis térmicos, la optimización de procesos y la optimización de producto, permite que la herramienta CAE se pueda utilizar en una gran variedad de procesos desde diseños previos hasta digitalizaciones de procesos de ingeniería inversa. Durante el desarrollo de competencias tecnológicas como ingenieros mecatrónicos, las herramientas CAE son fundamentales para que los estudiantes puedan simular procesos y condiciones de operación que integran máquinas o celdas de manufactura. Ante la gran variedad de herramientas, las técnicas CAE se pueden desarrollar por diferentes métodos, sin embargo en este caso se utilizará el análisis por elementos finitos (FEA), como técnica de resolución numérica que considera que cualquier componente puede ser particularizado, en un conjunto de pequeños elementos con geometría simple y comportamiento físico conocido, generalmente este método se aplica a diferentes campos de ingeniería.

Ingeniería, Mecánica, Software

Abstract

This work shows that the fundamentals of CAE computer-aided engineering systems can be used as an effective tool for optimizing the analysis of mechanical systems and / or manufacturing processes in mechatronic engineering subjects. The simulation of operating conditions, as well as the analysis of different working conditions such as stress analysis, thermal analysis, process optimization and product optimization, allows the CAE tool to be used in a wide variety of processes from previous designs to digitization of reverse engineering processes. During the development of technological skills as mechatronic engineers, CAE tools are essential for students to simulate processes and operating conditions that integrate manufacturing machines or cells. Given the wide variety of tools, CAE techniques can be developed by different methods, however in this case, finite element analysis (FEA) will be used, as a numerical resolution technique that considers that any component can be particularized, in a set of small elements with simple geometry and known physical behavior, this method is generally applied to different engineering fields.

Engineering, Mechanics, Software

Citación: HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, PÉREZ-SERRANO, Froylán y MÉNDEZ-ZAPATA, Elías. Análisis de sistemas mecánicos utilizando sistemas CAE, para estudiantes de ingeniería mecatrónica. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-14:14-20.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las herramientas de ingeniería asistida por computadora (CAE) consisten en el uso de software para simular los rendimientos de elementos que componen un sistema y su principal objetivo es mejorar el diseño de los productos, así como apoyar en la solución de problemas de ingeniería para diferentes sectores productivos. El uso de estas herramientas en la formación de ingenieros mecatrónicos permite que se pueda realizar simulación, validación y la optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación.

El uso de herramientas CAE (ver Tabla 1) fortalece el desarrollo de competencias profesionales de los futuros ingenieros mecatrónicos, a través del análisis de diseños previamente realizados con softwares CAD o digitalizaciones mediante procesos de ingeniería inversa. El fortalecimiento de competencias en los estudiantes que cursan la carrera de ingeniería mecatrónica se lleva a cabo con el uso de herramientas CAE, ya que se puede extraer información para optimizar el desarrollo y los costos de fabricación de diversos elementos, reduciendo las pruebas con prototipos para la obtención del producto final.

Software		Características
1	Abaqus Simulia	Programa CAE de cálculo por elementos finitos de propósito general.
2	Algor	Solución para aplicaciones de ingeniería orientada a análisis computacional multifísica.
3	Ansys	Programa CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, a través del malleo, ejecución y post proceso, ejecuta el análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos y diseño mecánico, resuelve problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas.
4	Autodesk Simulation	Programa que valida y optimiza sus diseños, simula el diseño a esfuerzos virtuales para predecir su comportamiento en el mundo real.
5	Caedium Symlab	Solución de análisis para resolver problemas de ingeniería a través de la optimización de modelos 3D.

6	Comsol Multiphysics	Software CAE para modelado, análisis y simulación de fenómenos físicos 3D en ingeniería.
7	Fe pipe	Software para análisis por el método de elementos finitos pero usado exclusivamente para tubería y recipientes a presión.
8	Femap	Programa de simulación y análisis FEA, con pre y post proceso para estimar el desempeño en el desarrollo y diseño de productos.
9	LS-Dyna	Programa que resuelve análisis dinámico CAE de modelos 3D por el método de elementos finitos, para problemas reales, modelos complejos no lineales y cuerpos rígidos.
10	MSC Software	Ofrece una solución completa para problemas de ingeniería usando simulación y análisis CAE.

Tabla 1 Características de los principales softwares para análisis y simulación en ingeniería

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se muestra un comparativo de las principales características de los softwares basados en herramientas CAE, sin embargo, la mayoría de ellos requieren de licencias a un costo elevado que las instituciones de educación superior no pueden solventar, de esta forma con el uso del software ANSYS se promueven metodologías de simulación que fomentan un aprendizaje significativo en los futuros profesionales.

Es importante destacar que el uso de este programa no solo se limita al cálculo de algoritmos, ya que también se obtienen resultados numéricos que permiten un análisis más integral para la toma de decisiones, en el área de Ingeniería Mecatrónica como en la simulación de flujo de fluidos, análisis de esfuerzos estructurales, transferencia de calor y determinación de secuencias mecánicas.

Con el apoyo de esta herramienta CAE en las asignaturas de ingeniería mecatrónica se pueden valorar entre otras cosas las características y propiedades de los materiales, la definición de material y optimización geométrica del modelo, así como la viabilidad y cantidad de los materiales, todo esto influirá en los costos finales de fabricación.

Con respecto al algoritmo de los sistemas CAE, este utiliza nodos individuales en el total de la red, y cada nodo puede interactuar con otro, jugando un papel importante en el método de elementos finitos ya que utiliza la geometría del modelo existente para construir una red nodal a lo largo de él, como se observa en la figura 1.

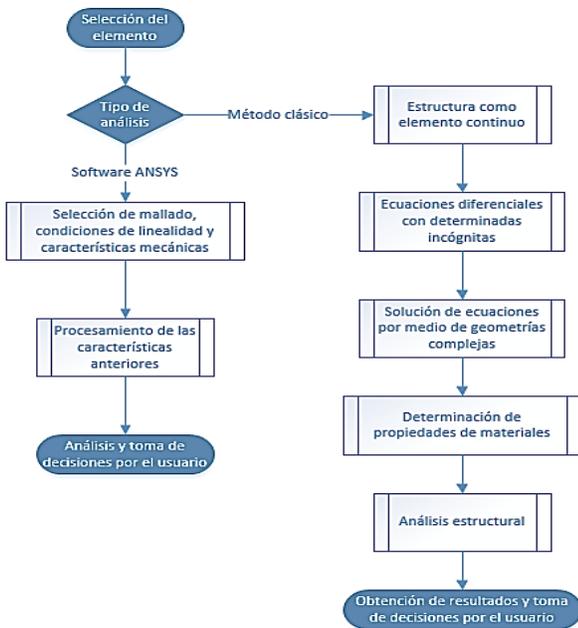


Figura 1 Metodología de análisis teórico y por software
Fuente: Cano, (2016)

Entonces, la determinación del desempeño de un elemento se basa en la introducción de parámetros que la pieza experimentará en el mundo real. Los parámetros más utilizados en ingeniería mecánica para simulaciones CAE son;

- Temperatura.
- Presión.
- Interacciones de los componentes.
- Fuerzas aplicadas.

La mayoría de los parámetros que se utilizan para la simulación están basados en el ambiente y en las interacciones que el modelo debería experimentar una vez que empieza a operar y generalmente son introducidos en el programa CAE como una condición para observar si la pieza examinada podría manejar, teóricamente, las limitaciones del diseño.

Los sistemas CAE como herramienta educativa en las instituciones de educación superior se proyectan para usarlas como referencia sobre el desarrollo de procesos reales que beneficien el sector empleador. Se debe considerar que el avance exponencial de la tecnología debe servir para mejorar los procesos industriales que actualmente exigen que las simulaciones, basadas en métodos numéricos solucionen problemas con alto grado de dificultad.

Aplicaciones de los sistemas CAE

Las principales áreas de desarrollo que pueden potencializar los estudiantes a través del uso de herramientas CAE son:

- Análisis de esfuerzos y dinámica de componentes y ensambles con el empleo de MEF.
- Análisis térmico y de fluidos gracias al uso de CFD.
- Sistema multicuerpo (MBD) y cinemática.
- Herramientas de análisis para simulación de procesos y para procesos de fabricación.
- Optimización del proceso de documentación.
- Optimización del desarrollo del producto.
- Verificación inteligente de las inconformidades.

En general, existen tres fases en cualquier tarea de ingeniería asistida por computadora:

- Pre-proceso, que consiste en definir el modelo, así como los factores ambientales que se le aplicarán al elemento.
- Análisis, que permite resolver el problema planteado.
- Post procesamiento de resultados, que consiste en la toma de decisiones a partir del análisis y los resultados obtenidos.

A continuación, mostramos algunos ejemplos de análisis utilizando como herramienta los sistemas CAE en las asignaturas de ingeniería mecatrónica, y como se ha mencionado anteriormente, estos análisis se pueden aplicar a un gran número de sistemas o elementos.

En el primero de ellos se muestra el análisis de la deformación total de una estructura elaborada de una viga I W356 x 171 utilizando el software Ansys.

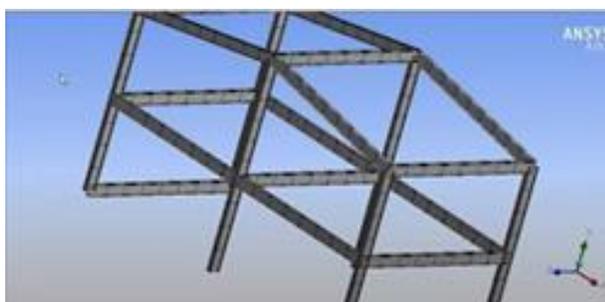


Figura 2 Estructura metálica

Fuente: Elaboración propia con software Ansys

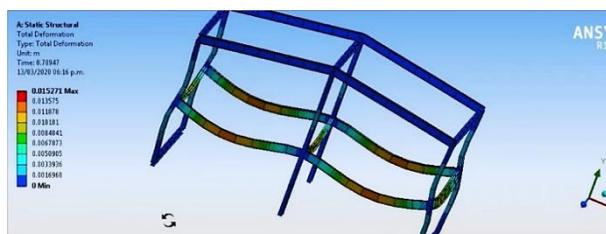


Figura 3 Análisis de la deformación total

Fuente: Análisis propio con Ansys

Como se puede observar en las figuras 2 y 3, el software permite tomar decisiones a partir de la simulación de esfuerzos sobre las estructuras, además de personalizar las condiciones sobre las cuales trabajarían, por lo tanto, se tiene una ventaja muy grande con los estudiantes al poder analizar múltiples escenarios y decidir las mejores opciones de trabajo de los sistemas.

Para el segundo ejemplo, utilizamos una tolva para la separación de polvos, donde se puede observar el flujo del aire que entra tangencialmente a la tolva y por gravedad cae el polvo.

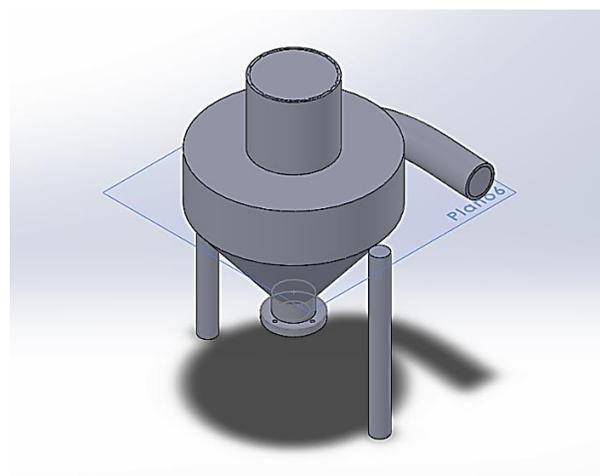


Figura 4 Tolva para separación de polvos

Fuente: Elaboración propia con Solid Works

Como se observa en la siguiente figura (5), con el uso del software y las herramientas implícitas en el mismo, se pueden simular las corrientes del aire y los efectos que estas provocarían bajo ciertas condiciones de trabajo.

Estos modelos generados en el software, permiten que los estudiantes simplifiquen costos de producción y detallar condiciones que se podrían presentar en casos reales, por lo tanto nos ayuda al desarrollo de capacidades de diseño, desarrollo y análisis de sistemas mecánicos.

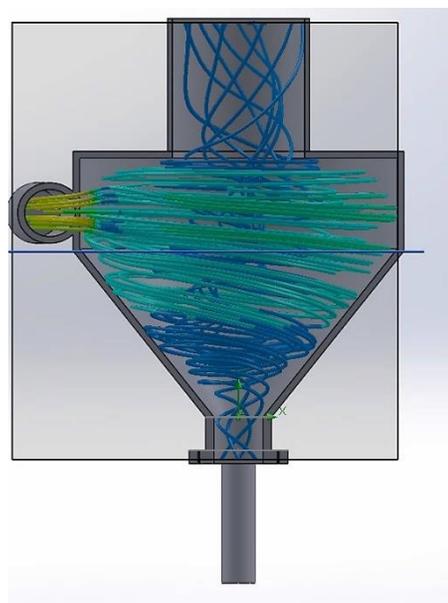


Figura 5 Vista frontal del comportamiento del flujo de aire

Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

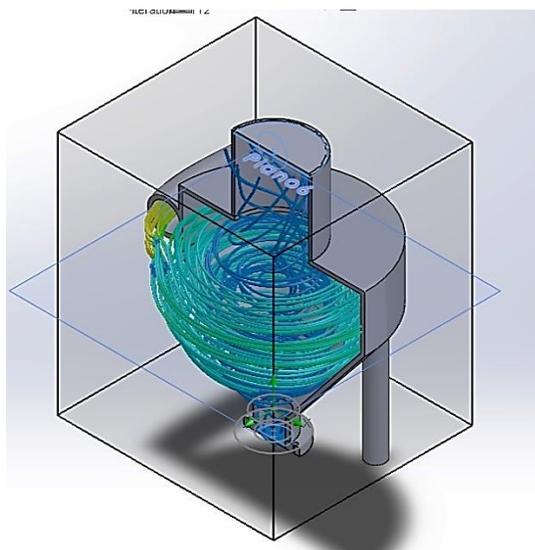


Figura 6 Vista isométrica del comportamiento del flujo de aire

Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

Desarrollo y aplicación de Sistemas CAE a un elemento mecánico

Esfuerzos Térmicos en una viga en voladizo

Para llevar a la aplicación el uso de la herramienta CAE se propone a estudiantes de 6to cuatrimestre de ingeniería mecatrónica que analicen los esfuerzos térmicos de una viga en voladizo, ya que los voladizos se encuentran frecuentemente en diversos tipos de construcciones, especialmente en puentes de voladizo y algunos balcones.

El planteamiento del problema es el siguiente; una barra de acero ($E = 2.0E10$ Pa, $\nu = 0.3$, $\alpha = 1.2E-5$) con las dimensiones que se muestran se coloca entre dos paredes. Por un lado, la barra está rígidamente fijada a la pared y por el otro, hay un espacio de 2 mm entre la pared y la barra. ¿Cuál es el esfuerzo en la barra después de que aumenta la temperatura 100°C ?

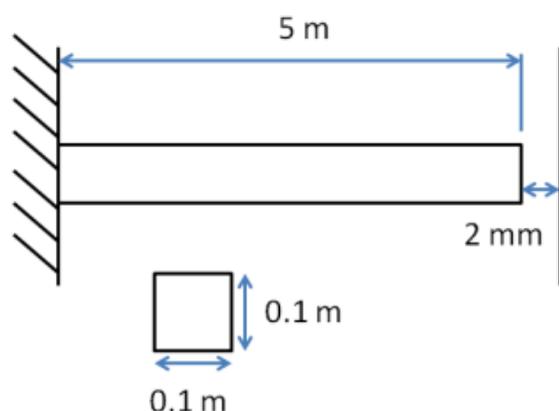


Figura 7 Descripción de la viga en voladizo

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los Esfuerzos Térmicos

Primero, se determina si la expansión de la barra es mayor que el espacio libre entre la barra y la pared $x = 0.002$ metros.

$$\delta_T = \alpha L \Delta T \quad (1)$$

Si $\delta_T > x$, entonces sabemos que habrá tensión en la barra. De lo contrario, el esfuerzo en la barra $\sigma_{xx} = 0$. Insertando los valores, encontramos:

$$\delta_T = (1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})(5\text{m})(100^\circ\text{C}) = .006\text{m} > .002 \quad (2)$$

Ahora que sabemos que la deformación debida al cambio de temperatura será mayor que el espacio entre la pared y la barra, sabemos que habrá una tensión en la barra.

Del problema podemos observar que, si la pared no estuviera allí, la barra se deformaría δ_T . Sin embargo, debido a que la pared está allí, la barra no deformará la δ_T completa. Podemos dividir aún más el problema en esta ecuación.

$$\delta_T = x + \delta_\sigma \quad (3)$$

Donde δ_T es la contribución de deformación del cambio de temperatura y δ_σ es la contribución de deformación de la fuerza impartida por la pared sobre la barra. Por lo tanto:

$$\alpha L \Delta T = x + \frac{PL}{EA} \quad (4)$$

Sustituyendo $\sigma_{xx} = \frac{P}{A}$, obtenemos una ecuación solucionable

$$\alpha L \Delta T = x + \frac{\sigma_{xx} L}{E} \quad (5)$$

Resolviendo para σ , encontramos que

$$\sigma_{xx} = \alpha E \Delta T - \frac{x E}{L} \quad (6)$$

Después de sustituir, encontramos

$$\sigma_{xx} = (1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})(2 \times 10^{11} \text{ Pa})(100^\circ\text{C}) - \frac{.002\text{m}(2 \times 10^{11} \text{ Pa})}{5\text{m}} \quad (7)$$

$$\sigma_{xx} = 160 \text{ MPa} \quad (8)$$

Resultados aplicando Ansys Workbench como herramienta de sistemas CAE

Una vez que realizamos los cálculos previos de forma tradicional, utilizaremos la simulación en ANSYS Workbench para mostrar la rapidez y ventajas de las herramientas CAE en la formación de los futuros ingenieros mecatrónicos.

La temperatura obtenida fue de 122 grados centígrados, que es lo que se esperaba con los cálculos tradicionales y lo podemos observar en la figura 8.

De esta manera, se comprueba que el uso del software como herramienta pedagógica, nos provee de elementos para el análisis de resistencia de piezas y estructuras que integran sistemas mecánicos más complejos.

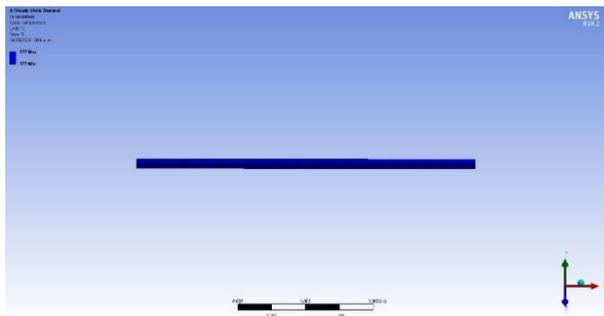


Figura 8 Temperatura obtenida de la viga
Fuente: Análisis propio con Ansys

El valor de temperatura obtenido y las cargas físicas a las que se somete a la viga, nos ayudan a obtener la deformación máxima que presenta la viga es .002 m (mostrada en la figura 9), lo cual también es coincidente con la condición de frontera.

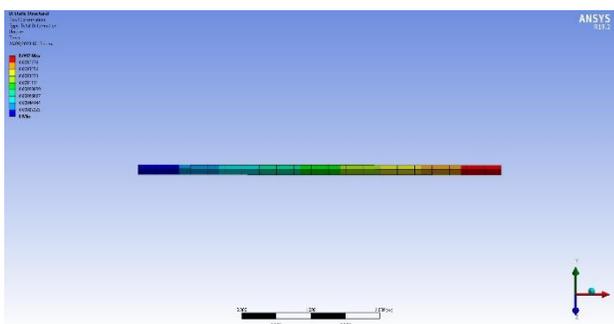


Figura 9 Deformación total de la viga
Fuente: Análisis propio con Ansys

Finalmente, en la figura 10, con el apoyo del software observamos que la respuesta del esfuerzo es constante en todo momento y por lo tanto los alumnos podrían predecir el rendimiento de esta estructura en servicio.

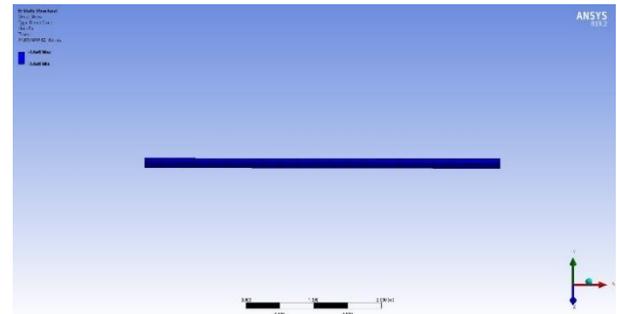


Figura 10 Resultado del esfuerzo Normal
Fuente: Análisis propio con Ansys

Para la validación y comparación de resultados, es importante verificar la simulación. Sin verificación, no se tendrían evidencias de que la simulación es confiable, por lo tanto, en la tabla 2 comparamos el resultado obtenido con la herramienta CAE y el esfuerzo obtenido con el análisis teórico que establece la mecánica de materiales.

	Análisis teórico	Simulación
Esfuerzo	-1.6E8 Pa	-1.6E8 Pa

Tabla 2 Resultados con análisis teórico y simulación con Ansys Workbench
Fuente: Elaboración propia

Observamos que el análisis sobre la intensidad de las fuerzas, muestra que el esfuerzo en la viga es coincidente de forma perfecta con la simulación realizada con el software, por lo tanto se tomaría la decisión de que no es necesario de refinar más la malla.

Agradecimientos

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

Conclusiones

Con este trabajo se observa y muestra que las tecnologías de los sistemas de ingeniería asistida por computadora CAE como herramienta educativa en los estudiantes de ingeniería mecatrónica presenta varias ventajas.

El uso de esta herramienta en diversos sistemas permite que de manera gráfica los alumnos tengan una referencia de las condiciones de operación y en su caso de falla de los elementos o sistemas para así poder optimizar los sistemas o procesos antes de fabricarlo.

Estas herramientas tecnológicas se encuentran ya en una fase de madurez en varias asignaturas de la carrera de ingeniería mecatrónica, ya que su utilidad es indiscutible y han abierto muchas posibilidades para el rediseño y fabricación que serían impensables sin estas herramientas.

La aplicación comercial de los diferentes softwares CAE, como Ansys ha sido de ayuda invaluable, porque permite a ingenieros y estudiantes la misma oportunidad de desarrollar proyectos de gran complejidad.

Por lo tanto, el uso de estas herramientas ha facilitado mucho la tarea de los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica para realizar análisis y diseño de sistemas mecánicos, complementando los procesos de enseñanza en las aulas, brindando herramientas más gráficas para la interpretación de resultados y por lo tanto panoramas más amplios del comportamiento de los prototipos.

Es importante destacar que este tipo de herramientas también facilita el proceso de simulación de los ensamblajes de los proyectos interdisciplinarios que se realizan por parte de los alumnos al término de cada cuatrimestre, promoviendo el logro de las competencias propuestas para cada ciclo de formación.

Finalmente consideramos que, de acuerdo con la demanda del sector laboral de la región, es recomendable que los alumnos dominen el uso de estas herramientas de diseño para solventar las necesidades profesionales de los diferentes sectores industriales.

Referencias

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

David W. Nicholson. Finite Element Analysis Thermomechanics of Solids. 2003 by CRC Press LLC

Gary B. Bertoline. Technical graphics communication. Fourth edition. Copyright © 2009 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Hamri, Okba & Léon, Jean-Claude & Giannini, Franca & Falcidieno, Bianca. (2010). Method, models and tools for CAD-CAE integration. *Recent Patents on Mechanical Engineering*. 3. 106-130.

Hernández Zempoaltecatl Rodrigo, Cano Corona Ariana, Mendez Zapata Elías y Pérez Serrano Froylan. Análisis bi-dimensional de una viga, por el método de aproximaciones planas, usando ANSYS. *Revista de Tecnología e Innovación*. 2017, México.

James D. Bethune. Engineering Design and Graphics with SolidWorks® 2019. Pearson Education.

Larry J. Segerlind. Applied Finite Element Analysis. Second Edition 1984 by Jhon Wiley & Sons, Inc.

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

Steven R. Schmid, Bernard J. Hamrock., Bo O. Jacobson. Fundamentals of Machine Elements. Third Edition.

Variación de velocidad de un motor monofásico de inducción mediante el cambio de amplitud

Speed variation of a single-phase induction motor through the change of amplitude

CABRERA-ORNELAS, Javier†*, BRITO-MONROY, Jorge, MARTÍNEZ-MONTALVO, Anselmo y HERNÁNDEZ-NARVÁEZ, Ana Luisa

Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec, México.

ID 1^{er} Autor: *Javier, Cabrera-Ornela* / **ORC ID:** 0000-0002-9398-1498, **CVU CONACY ID:** IT18B386

ID 1^{er} Coautor: *Jorge, Brito-Monroy* / **ORC ID:** 0000-0002-3273-4872

ID 2^{do} Coautor: *Anselmo, Martínez-Montalvo* / **ORC ID:** 0000-0003-3404-2463

ID 3^{er} Coautor: *Ana Luisa, Hernández-Narvárez* / **ORC ID:** 0000-0003-4500-7209, **CVU CONACY ID:** IT19A966

DOI: 10.35429/JOIE.2020.14.4.21.26

Recibido Abril 20, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

Un motor de inducción es un sistema que está constituido de una parte eléctrica y una mecánica para conformar un sistema electromecánico. En estudios y análisis convencionales de los motores de inducción se centran en los valores de placa proporcionados por el fabricante el cual ya mantiene las características funcionales del motor fijas, usualmente son diseñadas mediante softwares. Los cuales proporcionan una respuesta de salida a partir de una señal de entrada. En este trabajo se propone un modelo analítico para conocer la dinámica del motor de inducción y encontrar los parámetros óptimos de algunos de sus elementos mediante el método del lugar geométrico de las raíces; Ya que ante los diversos cambios de demanda en la fabricación de productos industriales, donde los procesos de manufactura están gobernados por motores y que la velocidad del rotor se mantiene constante en intervalos de tiempo definidos, se consume la misma energía en el transcurso del proceso, por consiguiente se propone variar la velocidad para acelerar un proceso en horas pico, bajando la velocidad en ciertos tiempos, propiciando un ahorro de energía y evitando sobrecalentamiento en el motor como a continuación se describe.

Motor, Inducción, Velocidad, Variación

Abstract

An induction motor is a system that is made up of an electrical part and a mechanical part to form an electromechanical system. Conventional studies and analyzes of induction motors focus on the plate values provided by the manufacturer which already maintains the fixed motor functional characteristics, usually designed by software. Which provide an output response from an input signal. In this work an analytical model is proposed to know the dynamics of the induction motor and find the optimal parameters of some of its elements by the method of the geometric place of the roots; Since given the various changes in demand in the manufacture of industrial products, where manufacturing processes are governed by engines and that the rotor speed is kept constant at defined time intervals, the same energy is consumed during the process, therefore it is proposed to vary the speed to accelerate a process during peak hours, lowering the speed at certain times, leading to energy savings and avoiding overheating in the motor as described below.

Motor, Induction, Speed, Variation

Citación: CABRERA-ORNELAS, Javier, BRITO-MONROY, Jorge, MARTÍNEZ-MONTALVO, Anselmo y HERNÁNDEZ-NARVÁEZ, Ana Luisa. Variación de velocidad de un motor monofásico de inducción mediante el cambio de amplitud. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-13:21-26.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Existen diferentes aplicaciones para el control de la velocidad de un motor de inducción, en la industria surgen diariamente los retos por gestionar y optimizar costos. En los tiempos llamados set off, y los horarios de menor demanda dentro de las empresas se deben generar las menores pérdidas en cuanto a costo. Este proyecto está planteado de manera práctica para conocer rápidamente la estabilidad del sistema y poder ubicar y seleccionar el nivel de voltaje que fácilmente podría cambiarse dentro de la dinámica original, también puede considerarse para la implementación de un controlador proporcional derivativo (PD) que permita cambiar automáticamente la velocidad del motor como el proceso lo requiera.

Las ventajas de emplear variadores estáticos están en el abaratamiento de costos de los componentes electrónicos de potencia. También se sabe que la forma de onda de la tensión aplicada al motor no es senoidal. Este trabajo aporta una buena base científica al estudio de los motores eléctricos. El inconveniente que se pueda suponer a esta distorsión de la forma de onda, y por tanto las pérdidas adicionales a las que da lugar, se compensan sobradamente con la simplicidad del procedimiento y, sobre todo, por lo eliminación del transitorio de arranque. Hay que tener en cuenta que para potencias pequeñas (de unos pocos kw), el coste del arrancador es varias veces superior al de propio motor.

Metodología

Para la implementación de un controlador dentro de la dinámica del comportamiento natural del sistema de estudio, considérese el modelo mostrado de la figura 1.

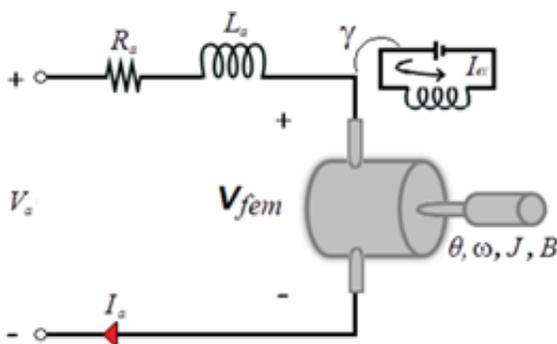


Figura 1 Diagrama esquemático de un motor de inducción
Fuente: (Dorf, 2008)

Las ecuaciones que describen el comportamiento dinámico del motor de inducción mostrado en la figura 1, [Roldán, 2014], [Wildi, 2007] son:

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + V_{fem} \tag{1}$$

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = T_r - B\omega(t) \tag{2}$$

Las ecuaciones (1) y (2) representan el comportamiento eléctrico y mecánico respectivamente del motor de inducción de la figura 1, donde cada uno de sus elementos se describe en la tabla 1.

Símbolo	Definición
$V_a(t)$	Tensión aplicada al motor
$I_a(t)$	Corriente del motor
$L_a(t)$	Inductancia total equivalente en serie
R_a	Resistencia total
$\omega(t)$	Velocidad angular del motor.
J	Momento de inercia.
B	Coficiente de rozamiento.
T_r	Par resistente.

Tabla 1 Variables del motor de inducción

El sistema de lazo cerrado con señal de entrada $V_a(s)$ y señal de salida $\omega(s)$ se ilustra en la figura 2.

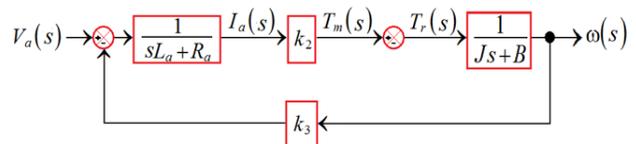


Figura 2 Diagrama de bloques de lazo cerrado del motor de inducción

Para lograr el equilibrio entre la cupla eléctrica-mecánica se considera que $T_r(s) = T_m(s)$ obteniéndose la función de transferencia:

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{k_2}{JL_a} \frac{1}{s^2 + \left(\frac{JR_a + BL_a}{JL_a}\right)s + \left(\frac{BR_a + k_2k_3}{JL_a}\right)} \tag{3}$$

Método del lugar geométrico de las raíces

La característica básica de la respuesta transitoria de un sistema de lazo cerrado se relaciona estrechamente con la localización de los polos, los polos son los elementos que permiten la solución de la función característica de la ecuación (3), entonces la estabilidad del sistema se define si la ubicación de las soluciones se grafica en el lado izquierdo del plano complejo [Dorf, 2005].

El método propuesto consiste en seleccionar adecuadamente los siguientes puntos:

- Modificar el parámetro de voltaje de entrada como una variable.
- Mantener el o los parámetros del comportamiento dinámico como constantes dentro de la función característica.
- Calcular y graficar la respuesta de salida en el tiempo de acuerdo con la variación de voltaje.
- Analizar y comparar la respuesta obtenida.

Resultados

En la tabla 2 se muestran las condiciones nominales del sistema de estudio.

Valores de placa	
$V_a = 120$ Volt	$B = 0.006$ N.m
$I_a = 2.5$ Amp	$K = 0.57$
$RPM = 1800$	$R_a = 5$ Ω
$T_r = 1.14$	$L_a = 0.043$ H
$HP = 1/4$	$J = 0.57$ Kg.m ²

Tabla 2 Condiciones nominales del sistema de estudio

De acuerdo al análisis de la ubicación de las raíces del sistema de la función característica de la ecuación (3) manteniendo como variable K en un intervalo, obtiene la ubicación de los polos ubicados como se muestra en la figura 3 y 4.

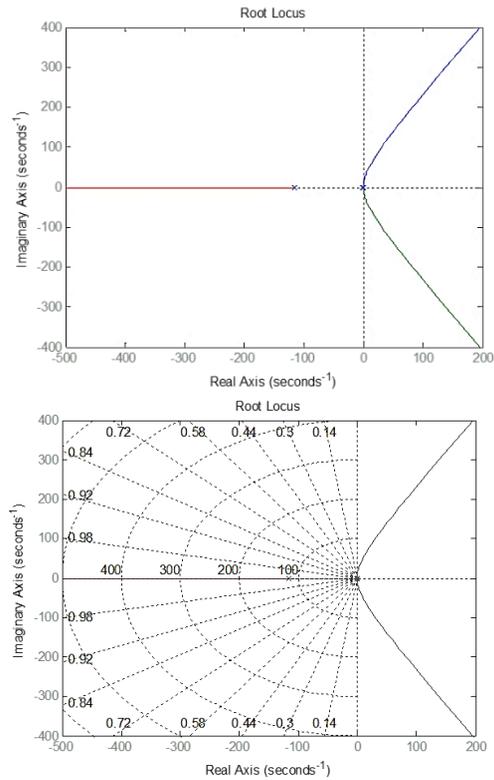


Figura 3 Tendencia de las raíces del sistema

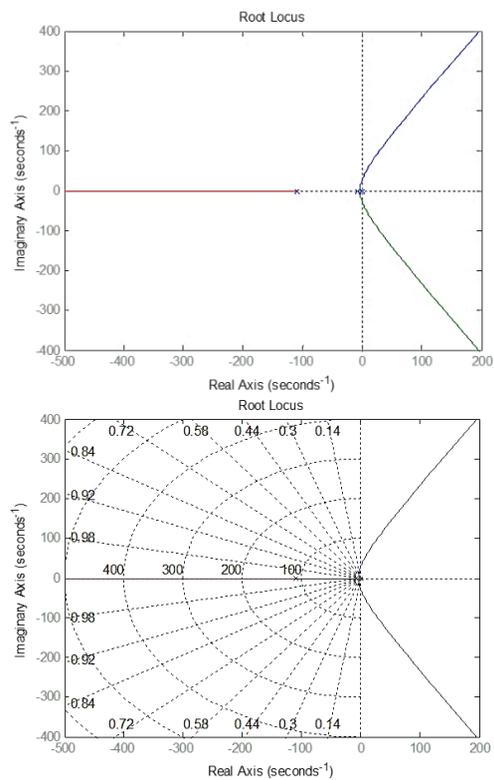


Figura 4 Identificación de valores óptimos de k

Obtención de respuesta de salida en el dominio del tiempo

Usando el intervalo identificado para $k \in [0.2040, 0.57]$ mediante el lugar geométrico de las raíces como se muestra en la figura 4 y mediante la elaboración de diversos programas en software de Matlab se procesó las señales de respuesta en el tiempo como se ilustra en la figura 5.

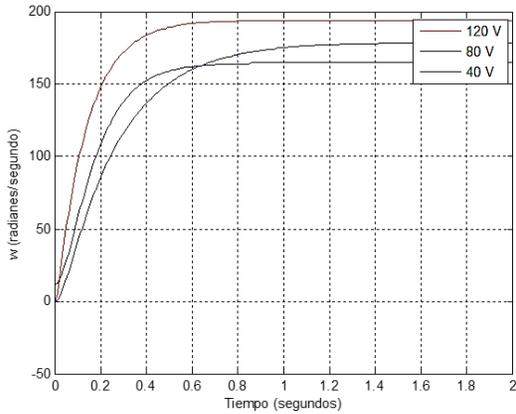


Figura 5 Respuesta en el tiempo de la ω en $k \in [0.2040, 0.57]$

Resultados de laboratorio

Para fines de este estudio se simula el motor de inducción de corriente alterna (c.a) a través de simulink para conocer el comportamiento del motor ante condiciones de operación de placa, la figura 6 muestra el sistema en simulink de la figura 1.

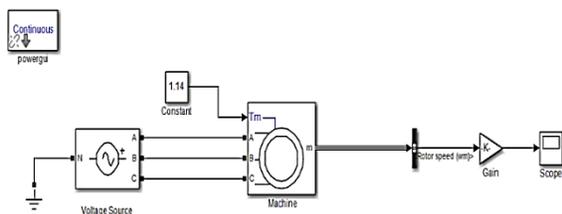


Figura 6 Diagrama del motor de inducción de ca en simulink de MATLAB

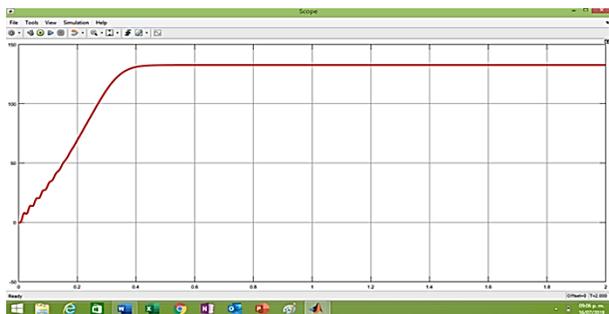


Figura 7 Velocidad del motor en condiciones nominales

Los Gráficos 1 y 2 muestran respectivamente el comportamiento grafico de la variación de voltaje/corriente y voltaje/rpm.

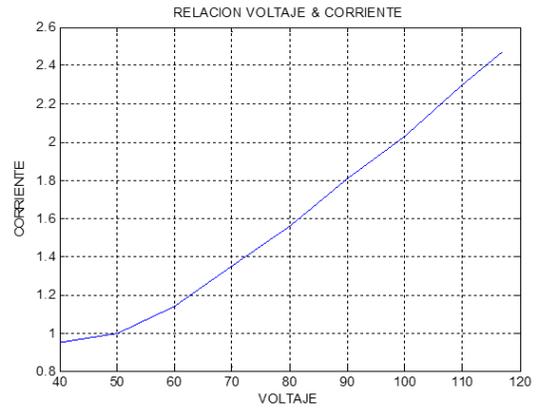


Gráfico 1 Relación voltaje/corriente

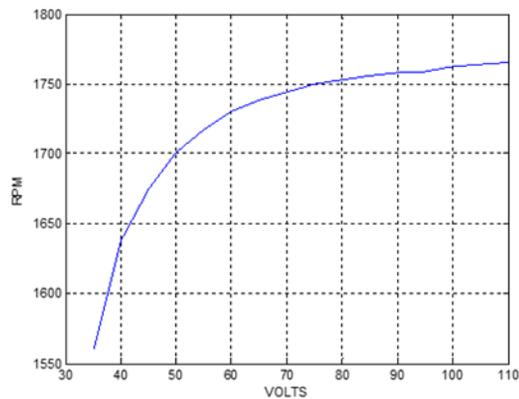
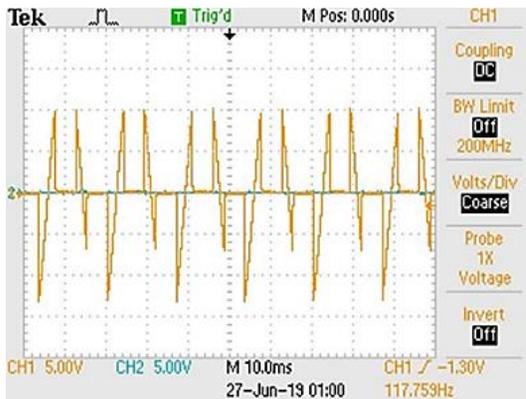
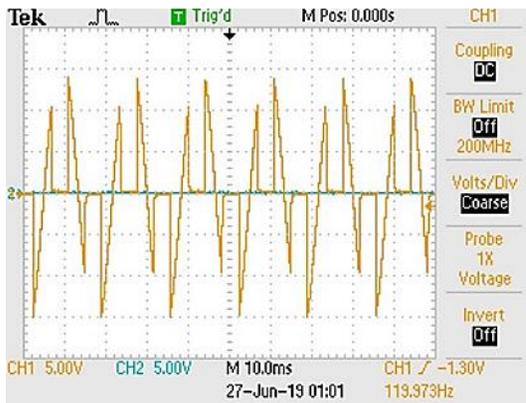


Gráfico 2 Relación voltaje/RPM

Las siguientes graficas corresponden a la variación del voltaje sobre la bobina del motor de inducción con una variación a intervalos de 5 volts en aumento las cuales fueron tomadas con osciloscopio digital en el laborator



Agradecimiento

El primer autor agradece al Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec por el apoyo institucional y por el uso de sus laboratorios para las pruebas necesarias para la realización de este trabajo de investigación.

Conclusiones

Existen diferentes aplicaciones para el control de la velocidad de un motor de inducción, en la industria surgen diariamente los retos por gestionar y optimizar costos. En los tiempos llamados set off, y los horarios de menor demanda dentro de las empresas se deben generar las menores pérdidas en cuanto a costo. Este proyecto está planteado de manera práctica para conocer rápidamente la estabilidad del sistema y poder ubicar y seleccionar el nivel de voltaje que fácilmente podría cambiarse dentro de la dinámica original, también puede considerarse para la implementación de un controlador proporcional derivativo (PD) que permita cambiar automáticamente la velocidad del motor como el proceso lo requiera. Las ventajas de emplear variadores estáticos están en el abaratamiento de costos de los componentes electrónicos de potencia. También se sabe que la forma de onda de la tensión aplicada al motor no es senoidal.

El inconveniente que se pueda suponer a esta distorsión de la forma de onda, y por tanto las pérdidas adicionales a las que da lugar, se compensan sobradamente con la simplicidad del procedimiento y, sobre todo, por lo eliminación del transitorio de arranque. Hay que tener en cuenta que para potencias pequeñas (de unos pocos kw), el coste del arrancador es varias veces superior al de propio motor.

Aportación

El trabajo desarrollado propone un método alternativo para el control de suministro de energía a un circuito eléctrico de corriente alterna, la idea principal es cortar la señal senoidal del ángulo de alimentación a intervalos regulados para reducir el abastecimiento a la carga eléctrica. Esta metodología es muy fácil de adaptar a un circuito eléctrico como es el motor o resistencias eléctricas, debido a que no necesita programación como son los variadores de frecuencia comerciales.

Recomendaciones

El controlador de tensión de alterna es adecuado para algunas aplicaciones de control de velocidad. Los ventiladores y las bombas son cargas adecuadas para este tipo de control de velocidad. La eficiencia energética de este tipo de control es mala, especialmente a bajas velocidades. El gran deslizamiento que se produce a bajas velocidades provoca grandes pérdidas en el rotor. Las aplicaciones típicas son aquellas en las que la carga es pequeña, como en los motores monofásicos con potencia igual a una fracción de caballo de vapor, o donde el periodo de operación a baja velocidad es corto.

Trabajos futuros

Se pretende escalar este trabajo a motores trifásicos, así como el diseño del circuito electrónico.

Referencias

Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, Sistemas de Control Moderno, 10 ed., Pearson Prentice All, S.A., Madrid, 2005.

Róldan Vilorio, Jose, Motores eléctricos, Accionamiento de máquinas, 30 tipos de motores, Paraninfa- 2005.

Theodore wild, Máquinas eléctricas y sistemas de potencia, 6 ed., Pearson Printice Hall, México- 2007.

Dorf Svoboda, Circuitos eléctricos, 6 ed., Alfaomega, México-2005

Javier Sanz Feito, Máquinas Eléctricas., Pearson Prentice All, S.A., Madri, 2002.

Pedro Ponce Cruz, Javier Samplé López, Máquinas Eléctricas y técnicas modernas de control., Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V., México, 2010.

Bhag S. Guru, Huseyin R. Hiziroglu, Máquinas Eléctricas y Transformadores. 3ra ed., Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V., México, 2006.

Irving L. Kosow, Control de Máquinas electricas, Prentice Hall , España 2006.

A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr, Stephen D. Umans, Máquinas Eléctricas., 6ta ed., McGraw-Hill México 2005.

Katsuhiko Ogata, Sistemas de Control en Tiempo Discreto., 2da ed., Prentice Hall, México

Locón Amézquita, R. H. (2020). Detección y corrección de armónicos en inversores de energía solar, implementando sistemas embebidos en tiempo real (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).

– González Callejas, C. (2020). Estudio de la eficacia de un tratamiento no invasivo con señales electromagnéticas por transmisión capacitiva y monopolar sobre las complicaciones postoperatorias precoces y la recuperación del estado nutricional en pacientes quirúrgicos.

– Delgado Moreno, E., Izoteco Ocampo, P. A., & Romero Silva, J. A. (2020). Medición y corrección electrónica del factor de potencia en un sistema eléctrico monofásico.

– Payé Colquehuanca, L. (2020). Compensación de potencia reactiva y análisis de armónicos en sistemas de distribución eléctrica UNA-Puno 2018-2019.

– Rivera Vento, J. L. V., & Romero Ruiz, W. D. (2020). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA PLANET MOTOR'S SAC.

Aprovechamiento sustentable del recurso hídrico mediante un sistema de captación de agua de lluvia y red de suministro

Sustainable use of water resources through a rainwater harvesting system and supply network

CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita†*, CASTILLO-TÉLLEZ, Beatriz**, MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto** y HERNÁNDEZ-CRUZ, Luz María´

Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería, Campus V, predio s/n por Av Humberto Lanz Cárdenas y Unidad Habitacional Ecológica ambiental, Col. Ex Hacienda Kalá, C.P. 24085, San Francisco de Campeche, Campeche, México.

Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. Km. 191, México 45D No. 23, 46200 Jal.²

ID 1^{er} Autor: Margarita, Castillo-Téllez / ORC ID: 0000-0001-9639-1736, Researcher ID Thomson: S-2283-2018, CVU CONACYT ID: 210428

ID 1^{er} Coautor: Beatriz, Castillo-Téllez / ORC ID: 0000-0003-3747-6320, Researcher ID Thomson: S-2264-2018, CVU CONACYT ID: 210564

ID 2^{do} Coautor: Gerardo Alberto, Mejía-Pérez / ORC ID: 0000-0003-1701-1171

ID 3^{er} Coautor: Luz María, Hernández-Cruz / ORC ID: 0000-0002-0469-5298, Researcher ID Thomson: H-3153-2018, CVU CONACYT ID: 662220

DOI: 10.35429/JOIE.2020.14.4.27.34

Recibido Abril 25, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

La necesidad energética actual permite que se apliquen nuevas tecnologías y métodos para satisfacer las necesidades de una población a fin de contaminar lo menos posible y hacer que los sistemas sean más eficientes. Este trabajo presenta el diseño e instalación de un sistema de recolección de agua de lluvia en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche y su utilización en un jardín conformado por un cuerpo de agua y riego de hortalizas, incluyendo la implementación de energías renovables, demostrando que las tecnologías sustentables aplicadas de una manera correcta pueden estar en armonía con el medio ambiente. El potencial hídrico de una caída libre es utilizable para la generación de energía eléctrica limpia mediante una microturbina hidráulica, capaz de alimentar una bomba sumergible que permite la recirculación de agua dentro del sistema. El proyecto se enfoca en la agricultura, acuicultura e hidráulica que enlaza la sustentabilidad que podría alcanzar con la aplicación de las tecnologías renovables.

Potencial hídrico, Captación de agua de lluvia, Energías renovables

Abstract

The current energy need allows new technologies and methods to be applied to meet the needs of a population to pollute as little as possible and make systems more efficient. This work presents the design and installation of a rainwater harvesting system in the Faculty of Engineering of the Autonomous University of Campeche and its use in a garden made up of a body of water and vegetable irrigation, including the implementation of renewable energy, demonstrating that sustainable technologies applied correctly can be in harmony with the environment. The water potential of a free fall is usable for the generation of clean electrical energy using a hydraulic micro-turbine, capable of supplying a submersible pump that allows the recirculation of water within the system. The project focuses on agriculture, aquaculture and hydraulics that link the sustainability that could be achieved thanks to the application of renewable technologies.

Water potencial, Rainwater harvesting, Renewable energies

Citación: CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita, CASTILLO-TÉLLEZ, Beatriz, MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto y HERNÁNDEZ-CRUZ, Luz María. Aprovechamiento sustentable del recurso hídrico mediante un sistema de captación de agua de lluvia y red de suministro. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-14:27-34.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: mcastill@uacam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El agua es un recurso vital para la reproducción vegetal y animal. Bajo la perspectiva del calentamiento global, el problema de la escasez de agua tiende a empeorar en aquellas regiones en las que ya se presenta déficit, ya sea por la tendencia de reducción de los niveles de precipitación o por el aumento de los niveles de evaporación y transpiración. De acuerdo con la SEMARNAT y la Comisión Nacional del Agua, en México llueve aproximadamente 711 mm de lluvia al año (1 mm de lluvia es igual a 1 l/m^2). Sin embargo, el agua pluvial cae de manera desigual a lo largo de todo el territorio del país y el 67 % de las lluvias se concentra entre los meses de junio y septiembre. En Campeche se tienen lluvias prominentes en tres meses en específico: julio, agosto y septiembre. Sin embargo, en los 9 meses restantes se tiene carencia de precipitaciones, la lluvia promedio acumulada mensual es de 5.9 mm que representa el 24.8 % de la lluvia promedio histórica del mes, la cual es de 23.9 mm (CONAGUA, 2018).

De los 6 700 millones de habitantes del planeta, el 21 % (1 400 millones) no tienen acceso al agua entubada. En el tercer mundo, 85 % de las enfermedades de la población se derivan de la mala calidad del agua que se consume, la cual provoca la pérdida de más de 5,000 vidas diariamente. Cada año se pierden 443 millones de días escolares por enfermedades relacionadas con el agua. Millones de mujeres dedican hasta cuatro horas diarias al acopio de agua (Anaya, 2011).

Existe una amplia gama de técnicas y tecnologías para mejorar la forma en la que se utiliza el agua, tanto la potable como las aguas grises y negras. Algunas sólo ayudan a ahorrar agua, como los difusores o inodoros de bajo consumo, otras tratan de hacer reutilizables las aguas de desecho o permiten captar agua de lluvia (Robles, Näslund-hadley, Ramos, & Paredes, 2015).

La captación y el aprovechamiento de la lluvia representan sólo una de las estrategias en el uso racional del agua. La mayoría de las técnicas de captación de lluvia tienen un origen empírico y han sido desarrolladas a lo largo del tiempo, a partir de las civilizaciones ancestrales de Meso y Sudamérica y de otras regiones del mundo.

En los últimos 30 años, se han perfeccionado muchas técnicas gracias al aporte de diferentes instituciones y países (En & Nivel, 2000). Hay una gran variedad de técnicas adaptadas a diferentes situaciones, mismas que cumplen diferentes finalidades (FAO, 2013).

Debido a que el incremento de la demanda de agua está creciendo de forma exponencial y la oferta en algunos lugares del mundo, incluso en nuestro país, no alcanza a ser suficiente para suplir necesidades básicas, resulta entonces una alternativa interesante el aprovechamiento de aguas lluvias, lo cual redundaría en menores costos operativos para las edificaciones y un aporte para la sociedad en términos ecológicos (López, Palacios, Anaya, Chávez, & Enrique, 2017).

En este trabajo se presenta el diseño, construcción e implementación de un sistema de captación de agua de lluvia, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, conectado al suministro de red hidráulica, el cual consta de diferentes componentes como son, filtración de agua de lluvia para eliminar impurezas, aprovechamiento del riego del jardín y hortalizas para fomentar la tecnología de secado solar dirigido a la agroindustria sustentable, generación de energía eléctrica limpia mediante una microturbina hidráulica y un sistema fotovoltaico, purificación de agua por medio de destiladores solares y mantenimiento de vida acuática mediante un estanque artificial.

Descripción general del sistema

El diseño del sistema para aprovechamiento del recurso hídrico y captación del mismo, busca aparte de la utilización del agua almacenada, aplicaciones para sistemas de riego, (las hortalizas se utilizan para estudios en el Laboratorio de Secado Solar de Alimentos ubicado en la Facultad de Ingeniería), generación de energía eléctrica, conservación de vida acuática y procesos de purificación de agua mediante energía solar; se buscó que tuviera un impacto visual atractivo para todo aquel que estudie, trabaje o visite la facultad de ingeniería. Este sistema está basado en el aprovechamiento del potencial energético del agua, en un espacio con una altura considerable, con la finalidad de mover un generador, evitando el uso de un sistema de bombeo de energía de la red.

Un parámetro importante es la purificación del agua recolectada, la tecnología de destilación solar permite purificarla, aunado a pruebas necesarias para corroborar la calidad de agua destilada obtenida para su posterior uso en limpieza de utensilios en laboratorios de la misma facultad. Los mantenimientos requeridos son mínimos por los tipos de materiales utilizados, mediante el seguimiento de una calendarización se realizan la limpieza de filtros, inspección de tuberías, etc. Al estar conectado el sistema de captación a la red de suministro de agua potable, se garantiza la obtención de agua todo el año.

Materiales y Métodos

- Selección de una turbina

La operación de arranque de los distintos tipos de uso en la actualidad difiere según la forma de energía usada para conducirlos. Los rangos de trabajo están delimitados por el caudal (Q) y la altura (H) que se utilizarán y que a su vez arrojará una potencia (P) obtenida en la turbina (Figura 1).

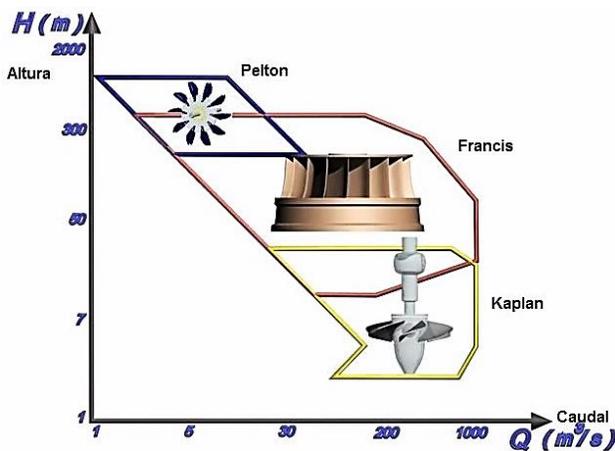


Figura 1 Selección de una turbina

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>

- Selección de una bomba

Para la selección del modelo adecuado de bomba se recurrió a las curvas características de la bomba, aportadas por el fabricante de esta. Se necesitan tres curvas diferentes: las de caudal y carga de la bomba, llamadas curvas QH; las de potencia del motor necesario (kW) y las de Carga Positiva Neta de Aspiración Requerida (NPSHr).

- Sistema de recolección de agua de lluvia

Para fines potables, únicamente la tubería de PVC es la adecuada, ya que sólo este tipo de tubería es fabricada con materiales vírgenes o no reciclados que pudieron haber obtenido contaminantes de usos previos.

Para evitar la transportación de hojas y basura desde una azotea, es importante tomar en cuenta la colocación de una rejilla en un marco metálico que cubra todo el canal que recolectará el agua pluvial. Las rejillas son importantes ya que reducen la frecuencia en el mantenimiento, eliminan materiales inflamables de la azotea y reducen ambientes aptos para la formación de mosquitos.

- Sistema de distribución de agua

Es el sistema que lleva el agua desde la zona de almacenaje hasta donde va a ser utilizada. El agua almacenada es distribuida por medio de sistemas de bombeo, debido a la presión requerida. Estas bombas tienen válvulas que regulan los niveles de agua requeridos. Para abastecer un sistema de riego es necesario colocar un filtro junto con la bomba utilizada para evitar que las tuberías para riego se tapen.

- Almacenamiento

El sobre-flujo del tanque debe desalojar el exceso de agua. La salida de este componente conviene que sea recibida por un área previamente preparada al exterior, o bien a un sistema de drenaje. La salida de agua del tanque lleva al sistema de distribución. El sistema de sobre-flujo tiene que ser colocado para aprovechar el máximo volumen de agua ("Guía De Diseño Para Captación Del Agua De Lluvia," 2004). En este caso se contempló un sello de aire de 14 pulgadas el cual es necesario entre la superficie del agua y la entrada de agua alternativa. Una válvula "check" fue colocada para evitar contaminación adicional desde el sistema alterno.

Parte del agua recolectada se utilizará para otras actividades por lo que, si se diera el caso de requerir de cierta presión para llegar a su destino, se contempló usar una bomba sumergible que permitiera un flujo continuo, también ubicar el tanque de almacenamiento a una altura específica y, por consiguiente, también se tuvo que diseñar las tuberías para alcanzar la generación adecuada de la turbina hidráulica para la alimentación de dicha bomba sumergible.

Para la captación del agua de lluvia en un sistema combinado como es el caso, se requiere realizar una “T” en el tubo posterior al tanque de almacenamiento superior. Dicha tubería tendrá una válvula check (no retorno), para que en el momento de que llueva y se inunde el nivel de la azotea ingrese agua al sistema. Para la época de lluvia se mantiene cerrada la válvula que suministra agua de la red al sistema. Los filtros de agua de lluvia están ubicados de tal manera que faciliten su mantenimiento.

El agua recolectada viaja por un sistema de tuberías hasta el suelo. Con la energía potencial moverá los álabes de una microturbina hidráulica que generará la suficiente energía para alimentar una bomba y el excedente en iluminación artificial, esto con el fin de obtener el atractivo visual que se busca. A la salida de la turbina la tubería PVC transportará el agua hacia el estanque teniendo una salida adicional, la cual está destinada a riego de plantas que podrían representar un potencial en la agricultura.

Materiales y herramientas

- Dos tanques de almacenamiento de 1100 l.
- 1 bombas sumergibles solares.
- Tubería PVC de 1”, 2” y 4”.
- Codos 90°.
- Resistol para PVC hidráulico.
- Cemento.
- Block.
- Turbina hidráulica Pelton.
- Conductores eléctricos.
- Cinta aislante.
- Destilador solar.
- Pala.
- Pico.
- Pinzas eléctricas.
- Desarmadores.
- Segueta.
- Martillo.
- Cuchara de albañil.

Resultados y discusión

Dimensionamiento integral del sistema

El dimensionamiento del proyecto dependió del espacio que se tiene disponible para ubicar el sistema de suministro y captación donde se almacena el agua, esto limita la capacidad tanto del sistema de destilación que se buscó implementar, como del área del estanque y jardín que se busca alimentar con el agua captada. Los parámetros de diseño son:

a) Diseño de turbina

$$Q = \frac{p}{\rho g h m} = \frac{1 \text{ kW}}{(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(12 \text{ m})(0.95)} = 0.0089 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 8.94 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

b) Velocidad del cause

$$C1 = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} 2gH \rightarrow C1 = kc \sqrt{2gH}$$

Se considera $kc = 0.97$

$$C1 = 0.97 \sqrt{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (12 \text{ m})} = 14.88 \text{ m/s}$$

c) Cálculo de tubería a presión:

$$d = 0.3 \sqrt[5]{\frac{Q^2 L}{h}} = 0.3 \left[\frac{\left(0.0089 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2 (2 \text{ m})}{12} \right]^{\frac{1}{5}}$$

$$= 0.032 \text{ m}$$

$$= 31.71 \text{ mm (Espesor pared)}$$

$h =$ Altura del salto (y)

$L =$ Longitud de la tubería a presión

(x)

- Diámetro Interior = 101.0 mm
- Diámetro Exterior = 107.1 mm
- Diámetro Nominal = 4”

Determinación de rugosidad:

Rugosidad absoluta: $k = 0.003 \text{ mm}^2$

$$\text{Relación} = \frac{k}{\text{diámetro int. de la tubería}} = \frac{0.003 \text{ mm}^2}{101.0 \text{ mm}} = 0.000030 \text{ mm}$$

d) Cálculo de velocidad en la tubería:

$$v = \frac{4Q}{\pi(\text{diámetro int.})^2} = \frac{4(0.0089 \frac{m^3}{s})}{\pi(0.101 m)^2} = 1.11 m/s$$

Cálculo de Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\text{Velocidad agua en la tubería} \times d.\text{int.}}{\text{Viscosidad cinemática del agua } 20^\circ C} = \frac{(1.11 \frac{m}{s})(0.101 m)}{1.004 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 1.12 \times 10^5$$

Rugosidad F: se calcula en base en el diagrama de Moody (Figura 2).

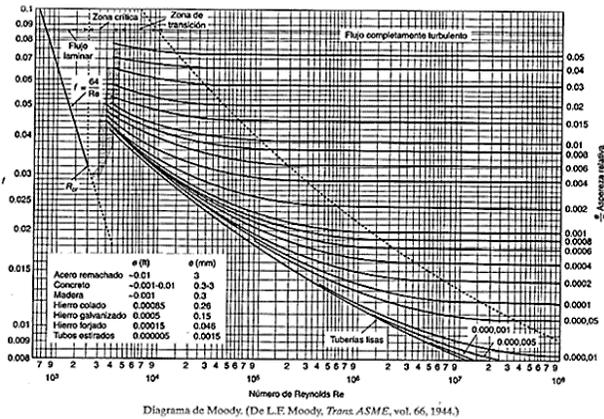


Figura 2 Diagrama de Moody
Fuente: *Mecánica de fluidos. H. Shames Irving, 3ª Edición, McGraw-Hill. 1995*

$$\frac{k}{d.\text{interior}} = 0.00003 m Re = 1.12 \times 10^5$$

$$f = 0.029$$

e) Cálculo de pérdida de carga hidráulica debido a fricción

Con base a la ecuación de Darcy Weisbach, la cual relaciona la pérdida de carga principal debido a la fricción del fluido a lo largo de una longitud determinada de tubería con la velocidad promedio (Shames, 316AD):

$$hf = f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g} = 0.029 \times \frac{2 m}{0.101 m} \times \frac{(1.11 m/s)^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = 0.036 m$$

En la tubería de PVC se pierde 0.036 m de carga hidráulica.

$$hN = h - hf = 12 - 0.036 = 11.964 m$$

f) Diseño de turbina

Potencia generada por turbina:

$$P = pghNQn$$

n= eficiencia

hN= Carga hidráulica neta

p= densidad

$$P = (100 \frac{kg}{m^3})(9.81 \frac{m}{s^2})(11.964 m)(0.0089 \frac{m^3}{s})(0.95) = 992.33 w \approx 1 kW$$

Diámetro del chorro de la salida de la tobera:

$$d_o = \frac{\sqrt{4Q}}{\pi kc \sqrt{2ghN}}$$

Kc= coeficiente de velocidad de tobera o chorro, entre 0.97 y 0.98, en este caso se consideró 0.97:

$$d_o = \frac{\sqrt{4(0.0089 \frac{m^3}{s})}}{\pi(0.97)\sqrt{2(9.81)(11.964 m)}} = \frac{\sqrt{0.0356}}{46.68} = 0.0276 m$$

$$d = 0.0276 m = 2.76 cm = 3 cm$$

Velocidad de salida:

$$V = \frac{4Q}{\pi d_o^2} = \frac{4(0.0089 \frac{m^3}{s})}{\pi(0.0276 m)^2} = 14.87 m/s$$

g) Determinación de Dimensiones de álabes de la cuchara:

Diámetro del rodete:

$$D = \frac{ku \sqrt{2ghn}}{\pi n}$$

ku= Coeficiente de velocidad tangencial, varía entre 0.44 y 0.48, consideramos 0.46.

Número de revoluciones específico:

$$n = \frac{60f}{z}$$

f= Frecuencia en Hz consideramos 1350 rpm

$$D = \frac{0.46\sqrt{2(9.81 m/s^2)(11.964)}}{\pi(1350 rpm)} \times 60 = 99.70 mm$$

Número de álabes de la turbina:

Diferencia entre el radio del rodete y diámetro máximo, cresta de la cuchara.

$Da = \text{Diámetro máx. cresta de la cuchara}$

$$Da = D + 2do$$

$$Da = 99.70\text{mm} + 2(27.6\text{mm}) = 154.9\text{mm}$$

$$\lambda = \frac{Da - D}{2}$$

$$\lambda = \frac{154.9\text{mm} - 99.70\text{mm}}{2} = 27.6\text{ mm}$$

Relación entre diámetros:

$$\frac{\lambda}{do} = \frac{27.6\text{ mm}}{27.6\text{ mm}} = 1$$

Ángulo comprendido entre el centro del rodete y el punto máximo de la salida del chorro:

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{1 + \delta}{1 + 2k\delta} \right)$$

$\delta = \text{Relación entre el diámetro del chorro y el diámetro del rodete}$

$$\delta = \frac{do}{D} = \frac{27.6\text{ mm}}{99.70\text{ mm}} = 0.276$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{1 + 0.276}{1 + (2 \times 1 \times 0.276)} \right) = 0.822$$

$$= 34.69$$

Ángulo entre la arista de la cuchara y el punto máximo de la salida del chorro.

$$\psi = 2 \frac{ku}{kc} \sqrt{(1 + 2k\delta)^2 - (1 + \delta)^2}$$

$$\psi = 2 \left(\frac{0.46}{0.97} \right) \sqrt{(1 + 2(1 \times 0.276))^2 - (1 + 0.276)^2} = 0.837$$

Valor paso máximo

Ángulo existente entre cucharas:

$$\theta = 2\varphi - \psi = 2(0.822) - (0.837) = 0.807$$

$$\theta = 0.807 \left(\frac{180}{\pi} \right) = 46.23^\circ$$

Número de cucharas:

$$z = \frac{2\pi}{\theta} = \frac{2\pi}{0.807} = 8 \text{ Paletas}$$

Resumen de los cálculos realizados:

- Caudal de bajada: 8.94 l/s.
- Diámetro nominal de tubería antes de turbina: 4".
- Velocidad de flujo en tubería: 1.11 m/s
- Potencia de turbina: 1kW.
- Diámetro nominal de chorro a la salida de turbina 1 ½".
- Velocidad a la salida de la turbina 14.87 m/s.
- Consideraciones principales:
Temperatura ambiente del agua 20 °C y densidad de 1000 kg/m³.

Bomba:

Dentro del tanque subterráneo en el nivel 2 se localiza una bomba sumergible que elevará el agua hasta el tanque 1, cuyas especificaciones son:

- ½ hp de potencia.
- Tubería de 1"

Diseño del sistema

El estanque se localiza en el nivel más bajo del terreno. Mantiene dimensiones de 2x3 m y una profundidad de 40 cm, se considera un volumen de 1800 l. El agua pasa a través de una cascada artificial que permitirá un filtrado de partículas sólidas y un mejor diseño, además se colocó vegetación a un costado del estanque por lo que también se aprovechará el agua para riego.

El exceso se recirculará nuevamente al tinaco colocado en el techo del edificio a 12 m sobre el suelo. Se colocó una malla antes de que el agua ingrese al tinaco la cual detendrá las partículas o peces (figura 3 y 4).



Figura 3 Modelado del sistema en la sección de la arquitectura del estanque con el programa Sketchup
Fuente: Diseño de autor

El primer sistema de filtración se encuentra antes de bajar el agua por la tubería, para no dañar los álabes de la microturbina. Se aprovecha la energía potencial del agua.

El sistema tiene suministro de agua por medio de la red disponible y mediante la captación de agua de lluvia que entrará por la válvula check cuando el nivel de la azotea tienda a subir (figura 5). En la figura 6 se muestra la representación de la turbina. Se disecciona la tubería dirigiéndose hacia un destilador solar.

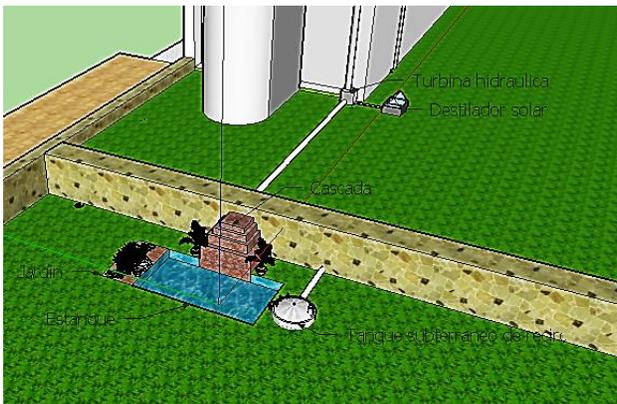


Figura 4 Vista lateral del estanque. Nivel 1 (sobre el suelo) y Nivel 2 (localización del sistema)
Fuente: Diseño de autor

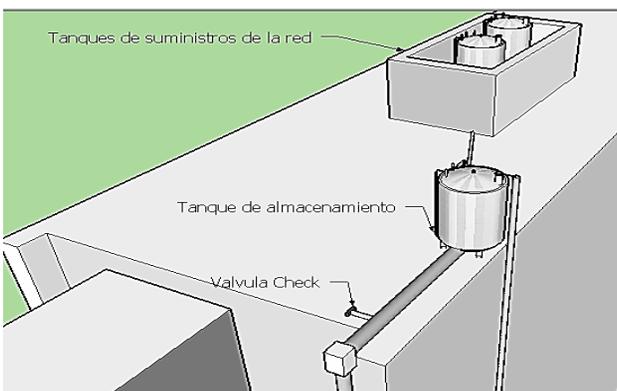


Figura 5 Vista superior del tanque sobre el edificio B
Fuente: Diseño de autor

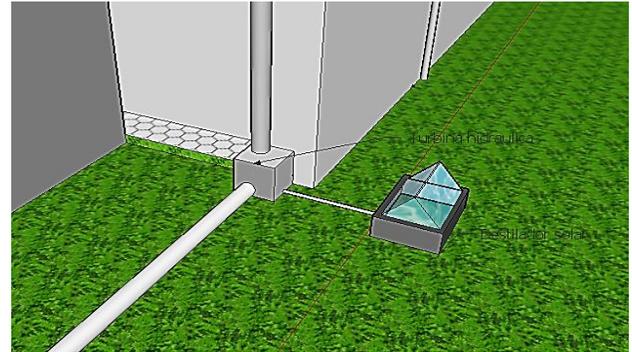


Figura 6 Ubicación de la turbina en el nivel 1 y disección de la tubería hacia un destilador solar
Fuente: Diseño de autor

En la figura 7 se muestra el plano arquitectónico principal del sistema de captación de agua de lluvia diseñado con el programa Autocad.

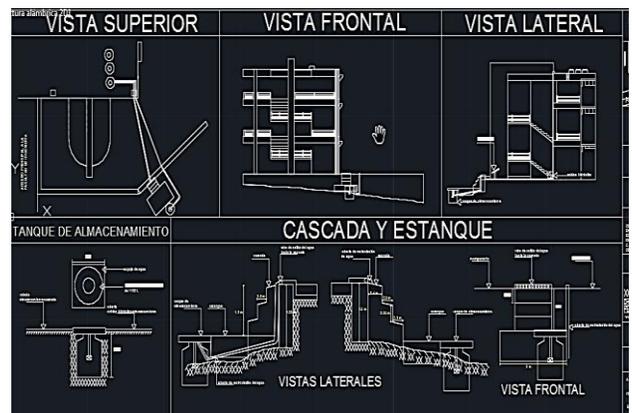


Figura 7 Vistas del edificio B y colocación del sistema de almacenamiento
Fuente: Diseño de autor

Para el área de alimentación de los destiladores solares, se consideró una tubería de 1/2" ya que se requiere un caudal muy pequeño para realizar la destilación. La válvula check introduce agua al sistema cuando llueve. Al subir el nivel en la azotea permite acceso del agua y no se requiere tomar agua de la red (los tinacos). Se contempla una válvula para cerrar el paso del agua entre los tinacos de suministro y el tinaco del sistema. En la figura 8 se presenta el sistema de captación de agua durante diferentes etapas de construcción.



Figura 8 Construcción e implementación del sistema de captación de agua en sus diferentes etapas.

Fuente: Fotos de autor

Agradecimientos

A todos los alumnos de Ingeniería en Energía que participaron en la construcción del sistema de captación de agua de lluvia. Especialmente a Edwin Álvarez Caamal, Ricardo Isasi Ábrego y Jonathan Castillo Estrella, quienes lideraron la participación de alumnos.

Conclusiones

De manera general el proyecto representa una aplicación de la energía potencial que puede ser aprovechada desde una altura determinada, así como los diferentes usos que se puede dar al recurso hídrico obtenido de la captación de agua de lluvia. Este sistema funciona de forma óptima y constituye una herramienta importante como complemento a los diferentes programas de estudio de la carrera de Ingeniería en Energía, permitiendo a los alumnos estudiar cada uno de sus componentes en condiciones reales de operación.

El agua, como recurso estratégico, depende del manejo sostenible de los ecosistemas y por esta razón debe ser una prioridad nacional y mundial, en la actualidad es de gran importancia promover estrategias que apoyen a que la población adquiera el hábito del aprovechamiento del recurso hídrico mediante los diferentes métodos de captación de agua de lluvia, los cuales son sencillos, de nulo mantenimiento y por lo tanto de fácil adopción.

Referencias

Anaya, M. (2011). Captación del agua de lluvia. Solución caída del cielo, 132.

CONAGUA. (2018). Estadísticas del agua en México 2018 (p. 368).

En, C., & Nivel, C. D. E. (2000). Agricultura de humedad residual a través de surcos y camellones en curvas de nivel, Brasil, 187–194.

FAO. (2013). *Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia*. Santiago de Chile. <https://doi.org/10.1111/jce.13019>

Guía De Diseño Para Captación Del Agua De Lluvia. (2004).

López, N. A., Palacios, O. L., Anaya, M., Chávez, J., & Enrique, J. (2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico * Rainwater harvesting systems design: an alternative for water supply Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1433–1439.

Robles, M., Näslund-hadley, E., Ramos, M. C., & Paredes, J. R. (2015). Manejo Sostenible del Agua.

Shames, I. H. (316AD). *Mecánica de fluidos*.

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 – Techonology an 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 Innovativa. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

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

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

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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

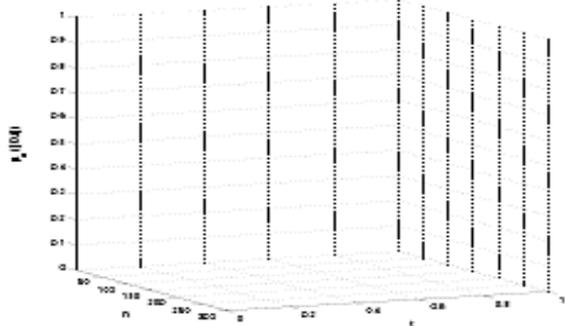


Gráfico 1 Título y Fuente (*en cursiva*)

Conclusiones

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

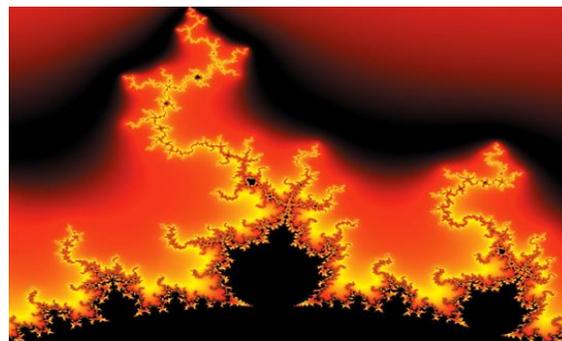


Figura 1 Título y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Título y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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

Referencias

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

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

Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

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

Reserva a la Política Editorial

Revista de Ingeniería Innovativa 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 Innovativa 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 Perú 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-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Ingeniería Innovativa, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

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

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

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

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

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

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

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

Responsabilidades del Consejo Editorial

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

Responsabilidades del Comité Arbitral

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

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

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

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

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

Responsabilidades de los Autores

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

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

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

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

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

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

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

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú. 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

MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN® Republic of Peru), 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

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

Revista de Ingeniería Innovativa

“Raspberry Pi, conectividad y programación mediante puertos GPIO”

CABALLERO-JULIÁN, Franco Gabriel, MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, SILVA-CRUZ, Eric Mario y CABALLERO-CANTARELL, Diego Gabriel

Instituto Tecnológico de Oaxaca

“Análisis de sistemas mecánicos utilizando sistemas CAE, para estudiantes de ingeniería mecatrónica”

HERNÁNDEZ-ZEMPOALTECATL, Rodrigo, CANO-CORONA, Ariana, PÉREZ-SERRANO, Froylán y MÉNDEZ-ZAPATA, Elías

Universidad Politécnica de Tlaxcala

“Variación de velocidad de un motor monofásico de inducción mediante el cambio de amplitud”

CABRERA-ORNELAS, Javier, BRITO-MONROY, Jorge, MARTÍNEZ-MONTALVO, Anselmo y HERNÁNDEZ-NARVÁEZ, Ana Luisa

Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec

“Aprovechamiento sustentable del recurso hídrico mediante un sistema de captación de agua de lluvia y red de suministro”

CASTILLO-TÉLLEZ-Margarita, CASTILLO-TÉLLEZ-Beatriz, MEJÍA-PÉREZ, Gerardo Alberto y HERNÁNDEZ-CRUZ, Luz María

Universidad Autónoma de Campeche

Universidad de Guadalajara

