

ISSN 2523-6776

Volumen 2, Número 5 — Enero — Marzo - 2018

# Revista de Ingeniería Tecnológica

ECORFAN®

## **ECORFAN-Taiwán**

### **Editora en Jefe**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Redactor Principal**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

### **Asistente Editorial**

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Editor Ejecutivo**

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

### **Editores de Producción**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Administración Empresarial**

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

### **Control de Producción**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

**Revista de Ingeniería Tecnológica**, Volumen 2, Número 5, de Enero a Marzo 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: [www.ecorfan.org/taiwan](http://www.ecorfan.org/taiwan), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. ISSN: 2523-6776. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Marzo 2018.

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

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

# **Revista de Ingeniería Tecnológica**

## **Definición del Research Journal**

### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas.

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

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

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

Revista de Ingeniería Tecnológica es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de Electromagnetismo , fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias de Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD  
Oak Ridge National Laboratory

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

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD  
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD  
University of Bristol

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

TELOXA - REYES, Julio. PhD  
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

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

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

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

MEDELLIN - CASTILLO, Hugo Iván. PhD  
Heriot-Watt University

LAGUNA, Manuel. PhD  
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD  
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD  
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD  
University of Southampton

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

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Cataluña

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

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD  
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD  
University of Amsterdam

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

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

LÓPEZ - BONILLA, Oscar Roberto. PhD  
State University of New York at Stony Brook

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD  
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD  
University of Texas

PÉREZ - ROBLES, Juan Francisco. PhD  
Instituto Tecnológico de Saltillo

SALINAS - ÁVILES, Oscar Hilario. PhD  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados -IPN

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD  
Universidad de Guanajuato

MORILLÓN - GÁLVEZ, David. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

CASTILLO - TÉLLEZ, Margarita. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD  
Universidad de Guanajuato

ZAVALA - DE PAZ, Jonny Paul. PhD  
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

ARROYO - DÍAZ, Salvador Antonio. PhD  
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

ENRÍQUEZ - ZÁRATE, Josué. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

HERNÁNDEZ - NAVA, Pablo. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

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

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD  
Intitut National Polytechnique Toulouse

QUETZALLI - AGUILAR, Virgen. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

PORTILLO - VÉLEZ, Rogelio de Jesús. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ROMO - GONZALEZ, Ana Eugenia. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

VASQUEZ - SANTACRUZ, J.A. PhD  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

SÁNCHEZ - HERRERA, Mauricio Alonso. PhD  
Instituto Tecnológico de Tijuana

PALAFIX - MAESTRE, Luis Enrique. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

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

GONZALEZ - BERRELLEZA, Claudia Ibeth. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

REALYVÁSQUEZ - VARGAS, Arturo. PhD  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

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

MALDONADO - MACÍAS, Aidé Aracely. PhD  
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

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

CASTRO - RODRÍGUEZ, Juan Ramón. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

RAMIREZ - LEAL, Roberto. PhD  
Centro de Investigación en Materiales Avanzados

VALDEZ - ACOSTA, Fevrier Adolfo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

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

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

TABOADA - GONZÁLEZ, Paul Adolfo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD  
Universidad Autónoma de Querétaro

## **Comité Arbitral**

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

PEREZ - ORNELAS, Felicitas. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

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

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

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

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

RUELAS - SANTOYO, Edgar Augusto. PhD  
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas

HERNÁNDEZ - GÓMEZ, Víctor Hugo. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

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

LOAEZA - VALERIO, Roberto. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

ALVAREZ - SÁNCHEZ, Ervin Jesús. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada

SALAZAR - PERALTA, Araceli. PhD  
Universidad Autónoma del Estado de México

MORALES - CARBAJAL, Carlos. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

RAMÍREZ - COUTIÑO, Víctor Ángel. PhD  
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

BAUTISTA - VARGAS, María Esther. PhD  
Universidad Autónoma de Tamaulipas

GAXIOLA - PACHECO, Carelia Guadalupe. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California



GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD  
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD  
Universidad de Guadalajara

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

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD  
Centro de Tecnología Avanzada

HERRERA - ROMERO, José Vidal. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

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

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

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD  
Universidad Autónoma de Querétaro

PURATA - SIFUENTES, Omar Jair. PhD  
Centro Nacional de Metrología

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

TREJO - MACOTELA, Francisco Rafael. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD  
Universidad ETAC

DÍAZ - CASTELLANOS, Elizabeth Eugenia. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ORANTES - JIMÉNEZ, Sandra Dinorah. PhD  
Centro de Investigación en Computación

VERA - SERNA, Pedro. PhD  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

OLIVARES - CEJA, Jesús Manuel. PhD  
Centro de Investigación en Computación

GALAVIZ - RODRÍGUEZ, José Víctor. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD  
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

GUDIÑO - LAU, Jorge. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

MEJIAS - BRIZUELA, Nildia Yamileth. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

FERNÁNDEZ - GÓMEZ, Tomás. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

MENDOZA - DUARTE, Olivia. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

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

NAKASIMA - LÓPEZ, Mydory Oyuky. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

AYALA - FIGUEROA, Rafael. PhD  
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

HERNÁNDEZ - MORALES, Daniel Eduardo. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

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

ÁLVAREZ - GUZMÁN, Eduardo. PhD  
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

CASTILLO - BARRÓN, Allen Alexander. PhD  
Instituto Tecnológico de Morelia

CASTILLO - QUIÑONES, Javier Emmanuel. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

ROSALES - CISNEROS, Ricardo. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México

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

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD  
Instituto Politécnico Nacional

MÉRIDA - RUBIO, Jován Oseas. PhD  
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital

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

VILLATORO - Tello, Esaú. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

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

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

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

RODRIGUEZ - ELIAS, Oscar Mario. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

ORTEGA - CORRAL, César. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

GARCÍA - GORROSTIETA, Jesús Miguel. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

## **Cesión de Derechos**

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

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

## **Declaración de Autoría**

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

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

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

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

## **Detección de Plagio**

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

## **Proceso de Arbitraje**

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceania. 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 Electromagnetismo , fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

## **Presentación del Contenido**

En el primer artículo se presenta *Máquina de Inyección de Plástico 3R. INYECPET-3R* por GONZÁLEZ-RAMOS, Alma, ALVAREZ-CANO, Susano, VARGAS-GOMEZ, Armando y IBAÑEZ-BAUTISTA, Juan con adscripción Universidad Tecnológica Fidel Velázquez como siguiente artículo está *Diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor* por FERRER-ALMARAZ, Miguel, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel y LEDESMA-JAIME, Reynaldo con adscripción Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato como siguiente artículo está *Prototipo para análisis cinemático de configuración robótica angular* por RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUIZ, Ricardo y GARCÍA-RODRÍGUEZ, Juan Carlos con adscripción Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes como siguiente artículo está *Diseño y análisis estructural de componentes para una impresora en 3D* por LEDESMA-JAIME, Reynaldo, ORTIZ-ROA, Arturo, MALDONADO-ECHEGOYEN, Rodrigo, FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Máquina de Inyección de Plástico 3R. INYECPET-3R</b> GONZÁLEZ-RAMOS, Alma, ALVAREZ-CANO, Susano, VARGAS-GOMEZ, Armando y IBAÑEZ-BAUTISTA, Juan <i>Universidad Tecnológica Fidel Velázquez</i>	1-11
<b>Diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor</b> FERRER-ALMARAZ, Miguel, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel y LEDESMA-JAIME, Reynaldo <i>Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato</i>	12-16
<b>Prototipo para análisis cinemático de configuración robótica angular</b> RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUIZ, Ricardo y GARCÍA-RODRÍGUEZ, Juan Carlos <i>Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes</i>	17-26
<b>Diseño y análisis estructural de componentes para una impresora en 3D</b> LEDESMA-JAIME, Reynaldo, ORTIZ-ROA, Arturo, MALDONADO-ECHEGOYEN, Rodrigo, FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel	27-34

## Máquina de Inyección de Plástico 3R. INYECPET-3R

### 3R Plastic Injection Machine. INYECPET-3R

GONZÁLEZ-RAMOS, Alma†\*, ALVAREZ-CANO, Susano, VARGAS-GOMEZ, Armando y IBAÑEZ-BAUTISTA, Juan

*Universidad Tecnológica Fidel Velázquez. Av. Emiliano Zapata S/N, Nicolás Romero, Estado de México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Alma, González-Ramos / ORC ID: 0000-0001-5150-5058, Researcher ID Thomson: U-9209-2018, CVU CONACYT ID: 134621

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Susano, Alvarez-Cano / ORC ID: 0000-0003-2929-114X, Researcher ID Thomson: X-3175-2018, CVU CONACYT ID: 953364

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Armando, Vargas-Gomez / ORC ID: 0000-0002-7468-3161, Researcher ID Thomson: X-3275-2018, CVU CONACYT ID: 953381

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Juan, Ibañez-Bautista / ORC ID: 0000-0002-6706-8144, Researcher ID Thomson: U-8431-2018, CVU CONACYT ID: 950682

Recibido: 05 de Enero, 2018; Aceptado 07 de Marzo, 2018

#### Resumen

Debido a la gran necesidad del manejo de residuos de PET generados en las instalaciones del plantel CECYTEM Nicolás Romero II Estado de México, surge la iniciativa de manufacturar un prototipo de una máquina de inyección de plástico denominada INYECPET 3R, con menores dimensiones a la de una maquina industrial, siguiendo una metodología de ciclo de vida de un proyecto en sus 7 fases, para el reciclaje de PET que resuelva la acumulación de éste desecho así como su rehusó obteniendo producción de vasos desechables en el plantel de CECYTEM Nicolás Romero II. El proceso de manufactura de INYECPET-3R se divide en dos sistemas: A) Sistema Mecánico iniciando con el diseño y manufactura de la Estructura superior e inferior, Mecanismo de abertura y cierre de molde, el Molde el Mecanismo de Inyección y el Mecanismo neumático no existe manufactura como tal solamente es el ensamble de dichos componentes como, cilindro de doble efecto, unidad de mantenimiento, electroválvula. B) Sistema de Control, Control se conforma por una placa de Arduino que es una plataforma de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, Entradas dos push botón (botones pulsadores), limit switch y un termopar (sensor de temperatura) y Salidas elementos de potencia (TIP120), los cuales realizan la energización de relevadores que permiten el encendido y apagado de 3 resistencias, 1 electroválvula y 1 motor.

**Prototipo, Inyección de plástico, Sistema mecánico, Sistema de control**

#### Abstract

Due to the great need for the handling of PET waste generated in the facilities of CECYTEM Nicolás Romero II State of Mexico, the initiative to manufacture a prototype of a plastic injection machine called INYECPET 3R, with smaller dimensions than that of a industrial machine, following a methodology of life cycle of a project in its 7 phases, for the recycling of PET that solves the accumulation of this waste as well as its refusal obtaining production of disposable cups in the campus of CECYTEM Nicolás Romero II. The manufacturing process of INYECPET-3R is divided into two systems: A) Mechanical System starting with the design and manufacture of the upper and lower structure, Mechanism of opening and closing of mold, the Mold the Mechanism of Injection and the pneumatic Mechanism no There is manufacturing as such, it is only the assembly of said components such as, double effect cylinder, maintenance unit, solenoid valve. B) Control System, Control consists of an Arduino board that is a free hardware platform based on a board with a microcontroller and a development environment, two push button inputs (push buttons), limit switch and a thermocouple (sensor of temperature) and outputs of power elements (TIP120), which perform the energization of relays that allow the ignition and shutdown of 3 resistors, 1 solenoid valve and 1 motor.

**Prototype, Plastic injection, Mechanical system, Control system**

**Citación:** GONZÁLEZ-RAMOS, Alma, ALVAREZ-CANO, Susano, VARGAS-GOMEZ, Armando y IBAÑEZ-BAUTISTA, Juan. Máquina de Inyección de Plástico 3R. INYECPET-3R. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018 2-5: 1-11

\* Correspondencia del Autor (correo electronico: aldegor@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Al generar una conciencia ecológica con el reciclaje y aprovechamiento en la comunidad estudiantil se contribuirá al medio ambiente, al reducir el número de envases de PET que contaminan. Es importante que se contribuya de una manera creativa, innovadora y productiva al cuidado y mantenimiento del medio ambiente, por lo que se plantea manufacturar una máquina de inyección de plástico INYECPET-3R generando un compromiso ecológico permitiendo participar de manera responsable en la implementación de estrategias para la creación de un ambiente sano y equilibrado, mediante una cultura de la separación de residuos así como su aprovechamiento y esto redunde en el beneficio ambiental y visual del paisaje. El proceso de manufactura de INYECPET 3R se divide en dos sistemas: Sistema Mecánico y Sistema de Control.

En el sistema Mecánico. Se diseñaron y manufacturaron:

1. Estructura.
2. Mecanismo de abertura y cierre de molde.
3. Molde.
4. Mecanismo de Inyección.
5. Mecanismo neumático.

En el sistema de Control se diseñó, simuló, se construyó y se puso en marcha:

1. Componentes de Control (Microcontrolador).
2. Entradas
3. Salidas

La metodología a emplear para la manufactura de INYECPET 3R es la de ciclo de vida de un proyecto, siguiendo sus 7 fases: Especificación, Análisis, Diseño, Implementación, Pruebas, Instalación y Mantenimiento.

## Problemática

En la comunidad estudiantil se están generando 180 botellas de PET por día aproximadamente, generando así un total de 54000 botellas por ciclo escolar.

Por consiguiente es preciso implementar una estrategia que permita aprovechar la basura (PET) generada, además en el sistema educativo no es tan común que se cuente con máquinas de esta naturaleza por los altos costos, dimensiones y difícil transportación.

## Justificación

Abordando la problemática se manufacturo INYECPET 3R, con la intención de llevar acabo las 3R, reducir, reciclar y rehusar dentro del plantel y se seleccionó este método ya que las principales razones de por qué el moldeo por inyección de plástico es el método más económico, rápido, confiable y rentable para la producción de artículos.

- El moldeo de inyección de plástico puede producir una cantidad increíble de piezas por hora con un solo molde.
- La mayoría del proceso de moldeo por inyección es automatizado.
- Se requiere muy poco trabajo de acabado porque las piezas salen terminadas.
- Las máquinas y moldes se diseñan de acuerdo a las necesidades.
- Se puede cambiar el material y el color de cada pieza sin problema.
- La mayoría de los plásticos son reciclables.
- Reduce las emisiones de carbono y evita el vertido de residuos.

## Marco teórico

A continuación se describen brevemente los conceptos que apoyan el desarrollo de INYECPET 3R.

### Máquina de inyección de plástico

La primera máquina de inyección de plástico con husillo fue creada por James Watson Hendry en 1946, la cual permitía tener mayor control de la velocidad y calidad del producto terminado, además de mezclar materiales de color o reciclados con los materiales vírgenes.

Hendry perfeccionó su proceso de moldeo, que sigue siendo la base de los equipos en la actualidad, al integrar sistemas que permitieron producir piezas huecas y complejos, que ofrecían mayores posibilidades de diseño, reducción de tiempos, costo, peso y residuos.(González, 2017).



### Ciclo de Inyección

El ciclo de inyección es la secuencia de operaciones para la producción de una pieza y comprende las siguientes etapas:

1. Se cierra el molde vacío, mientras se tiene lista la cantidad de material fundido que se va inyectar dentro del barril de la máquina.
2. Se realiza la inyección al introducir el material mediante el tornillo, el cuál actúa como pistón, forzando el material a pasar a través de la boquilla hacia las cavidades del molde, con una determinada velocidad y presión de inyección.
3. Una vez terminada la inyección, se mantiene la presión sobre el material inyectado en el molde, antes que solidifique para contrarrestar la contracción de la pieza durante su enfriamiento; esto se conoce como aplicar la presión de sostenimiento o pos presión y normalmente se aplican valores menores a los de inyección.
4. Se inicia el giro del tornillo, al hacerlo toma gránulos sólidos de tolva (plastificando) con el calor generado por la fricción al girar el tornillo y por el suministrado por las bandas calefactores.
5. El material dentro del molde continúa enfriando y transfiriendo su calor hacia el molde e donde es disipado por el líquido de enfriamiento. Una vez que ha terminado el tiempo de enfriamiento, se abren las dos partes del molde y el mecanismo de expulsión extrae la pieza.
6. El molde cierra de nuevo y el ciclo se repite. (Benítez Rangel, 2011)

**Sistema Mecánico:** Son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía. Se caracterizan por presentar elementos o piezas sólidos, con el objeto de realizar movimientos por acción o efecto de una fuerza. (Ogata Katsuhiko, 2000)

**Estructura mecánica:** Se le llama a la distribución e interrelación de las diferentes piezas que componen un objeto o una idea. Se trata de un cuerpo u objeto que está construido de diferentes partes. Distribución y orden de las partes importantes de una edificación. Armadura que puede ser de acero u hormigón armado. (Meriam. J. L, 2004)

**Mecanismo de abertura y cierre de molde:** Su función principal es sujetar el molde de inyección, suministrar el movimiento y a fuerza necesaria para mantener cerradas y abiertas las dos mitades del molde. Sus principales partes son las columnas guías, platinas porta-moldes fijas y móviles y el mecanismo para apertura y cierre del molde. (Meriam. J. L, 2004)

**Placas de acero:** Es usada principalmente para aplicaciones superficiales en algunas estructuras, normalmente la placa se usa también para la fabricación de tubos. La placa viene en diferentes espesores, dimensiones y grados de acero, ideales para los diversos tipos de construcción que se tengan planeados. (González, 2017)

**Guías de acero:** Es un perfil metálico en forma de ángulos o de "L" invertida, cada vía cuenta generalmente con dos de estas, estas barras se encuentran separadas a una distancia determinada entre los bordes interiores de sus caras verticales, la cual se denomina "escantillón de barra guía". (González, 2017)

**Eslabones de acero:** Un eslabonamiento consiste en eslabones (o barras), generalmente considerados rígidos, conectados por juntas, como pasadores (o revolutas) o juntas prismáticas, para formar cadenas cinemáticas (o lazos) abiertas o cerradas. Los eslabonamientos forman mecanismos simples y pueden diseñarse para efectuar tareas complejas, como movimientos no lineales y transmisión de fuerza. (González, 2017)

**Molde:** Los moldes son construidos de aceros especiales de alta resistencia para que resistan altas presiones de cierre y de inyección para producción limitada. Los aspectos de construcción son similares a los moldes de compresión y de transferencia. (González, 2017)

**Mecanismo de Inyección:** El polímero es fundido con el calor generado por diversas bandas de resistencias que están colocadas alrededor de la tolva. El fluido es inyectado dentro del molde a través de la boquilla, ejerciendo la presión suficiente para que se llene y se solidifique dentro del molde. (Grover, 1997)

**Tolva:** Recipiente en forma de pirámide o cono invertido, con una abertura en su parte inferior, que sirve para hacer que su contenido pase poco a poco a otro lugar o recipiente de boca más estrecha. (Grover, 1997)

**Cañón:** El cañón se conforma de:

a) Husillo

Se trata de un enrollamiento helicoidal de acero cuyo diseño es muy importante para el posterior rendimiento y calidad de la máquina de inyección así como para la plastificación, homogeneización y transformación del polímero. (Grover, 1997)

b) Tornillo sin fin

Se utiliza para transmitir la potencia entre ejes que se cruzan, casi siempre perpendicularmente entre sí. (Grover, 1997)

c) Boquilla

Es la punta de la unidad de plastificación y provee una conexión a prueba de derrames del barril al molde de inyección con una pérdida mínima de presión. (Grover, 1997)

**Sistema de transmisión:** Es una forma de intercambiar energía mecánica distinta a las transmisiones neumáticas o hidráulicas, ya que para ejercer su función emplea el movimiento de cuerpos sólidos, como lo son los engranajes y las correas de transmisión. (Grover, 1997)

**Mecanismo neumático:** Son sistemas que utilizan el aire u otro gas como medio para la transmisión de señales y/o potencia. (Guillen, 1993)

**Cilindro de doble efecto:** Tienen dos entradas de aire, una en cada extremo. El émbolo se mueve hacia la derecha o izquierda dependiendo de por donde le entre el aire comprimido. El vástago puede empujar y también estirar. (Guillen, 1993)

**Unidad de mantenimiento:** La unidad de mantenimiento representa una combinación de los siguientes elementos:- Filtro de aire comprimido- Regulador de presión- Lubricador de aire comprimido. La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad, y la temperatura no deberá ser tampoco superior a 50 C (valores máximos para recipiente de plástico) (Guillen, 1993)

**Electroválvula:** Conocida como válvula solenoide de uso general es una válvula que abre o cierra el paso de un líquido en un circuito. La apertura y cierre de la válvula se efectúa a través de un campo magnético generado por una bobina en una base fija que atrae el émbolo. (Guillen, 1993)

**Sistema de control:** Es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados (consigna).

Control. (Morales M. Rubén, 2003)

**Microcontrolador:** Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. (Morales M. Rubén, 2003)

**Arduino:** Un ejemplo clásico de un microcontrolador, es el ATmega328P integrado en el modelo Arduino UNO. Sin embargo, el microcontrolador no es específicamente todo el conjunto que se encuentra en la placa azul cuando nos hablan de Arduino. (Morales M. Rubén, 2003)

**Entradas:** Formado por las variables que ponen en marcha o detienen el sistema. (Morales M. Rubén, 2003)

**Push botón:** Estos pequeños interruptores comúnmente llamados push-button son utilizados en la mayoría de proyectos de electrónica y robótica, son normalmente abiertos es decir que cuando se pulsa el botón una vez este cierra momentáneamente el circuito en el que se encuentre.

Son utilizados sobre todo en PCB pero también son compatibles con proyectos en protoboard, la corriente nominal que soportan es de 50 mA. (Morales M. Rubén, 2003)

**Limit Switch:** Son sensores de contacto que muestran una señal eléctrica, ante la presencia de un movimiento mecánico. Son utilizados ampliamente en ambientes industriales para censar la presencia de objetos en una posición específica. (Morales M. Rubén, 2003)

**Termopar:** Los termopares están disponibles en diferentes combinaciones de metales o calibraciones para adaptarse a diferentes aplicaciones. Los tres más comunes son las calibraciones tipo J, K y T, de los cuales el termopar tipo K es el más popular debido a su amplio rango de temperaturas y bajo costo. (Morales M. Rubén, 2003)

**Salida:** Mediante el que el sistema actúa y realiza la función que tenga que hacer. (Morales M. Rubén, 2003)

**TIP 120:** Es un transistor Darlington para montaje por orificio pasante en encapsulado TO-220. Este transistor se utiliza para amplificación y conmutación de baja velocidad. (Morales M. Rubén, 2003)

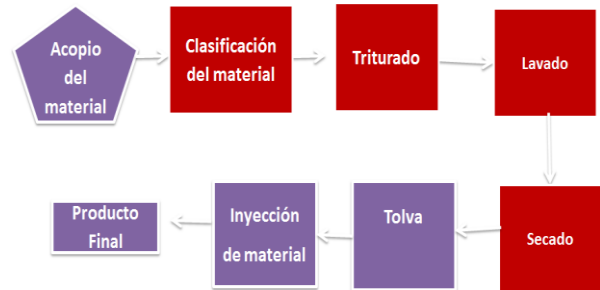
**Relevador:** Es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. (Morales M. Rubén, 2003)

**Resistencias calentadoras:** Convierten energía eléctrica en calor. Procedimiento descubierto por James Prescott Joule cuando en 1841 al hacer circular corriente eléctrica a través de un conductor se liberó calor por encontrar resistencia. (Morales M. Rubén, 2003)

**Motor:** Son artefactos cuyo propósito principal es brindar la energía suficiente a un conjunto de piezas para que estas tengan un funcionamiento adecuado y la máquina que componen pueda realizar sus actividades. (Morales M. Rubén, 2003)

**Descripción de proceso**

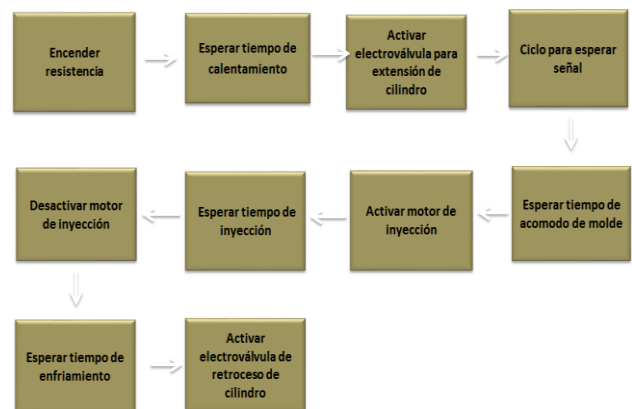
Con la intención de llevar acabo las 3R, reducir, reciclar y rehusar dentro del plantel se propuso el siguiente proceso para determinar el orden en el que se debe llevar, como muestra en la Figura 1 Descripción del proceso



**Figura 1 Descripción del proceso**

El prototipo está conformado por un molino el cual proporciona la materia prima que es el PET triturado, acción realizada con ayuda de un motor aunado a un sistema de cuchillas. El PET triturado es depositado en la tolva de la máquina de inyección la cual lo funde con ayuda de resistencias mecánicas, la masa fundida dentro del molde es la retenida para su solidificación, después de un tiempo el producto es expulsado obteniendo un vaso como producto final.

En la Figura 2 Diagrama a bloques de control se puede observar cómo funciona el sistema de control.



**Figura 2 Diagrama a bloques de control**

**Metodología**

Se eligió la metodología del ciclo de vida de un proyecto siguiendo sus 7 fases: Especificación, Análisis, Diseño, Implementación, Pruebas, Instalación y Mantenimiento para manufacturar a INYECPET 3R.

## Especificación y Análisis

El proceso de manufactura de INYECPET-3R se divide en los siguientes

- A. Sistema Mecánico
- B. Sistema de Control

### A. Sistema Mecánico

1. Estructura.
2. Mecanismo de abertura y cierre de molde.
3. Molde.
4. Mecanismo de Inyección.
5. Mecanismo neumático.

### B. Sistema Mecánico

#### 1. Estructura

La estructura está compuesta por dos partes, la estructura superior e inferior.

La estructura superior está formada por ángulo de 1X1X1/8" cuya función es soportar los mecanismos de abertura y cierre de molde, molde, mecanismo de inyección, mecanismo neumático.

La estructura inferior está formada por perfil estructurado cuadrado de aluminio de 60mm, una placa de aluminio de un espesor de 3/4", la función de dicha estructura es soportar la estructura superior y el sistema de control del INYECPET-3R.

Para la manufactura de las estructuras se utiliza una cortadora de metal así como arco y segueta, para el ensamble de la estructura superior es necesario utilizar soldadura de arco eléctrico, en la estructura inferior solamente con barrenos y tornillos.

#### 2. Mecanismo de abertura y cierre de molde

Dicho mecanismo de componen de las siguientes partes:

- a) Placas
- b) Barras guía
- c) Eslabones

- a) El mecanismo se compone de tres placas de acero dos de ellas de 3/4" de espesor y una de 5/8", estas placas se cortaron con ayuda de oxicorte, rectificando los cortes con ayuda de una maquina fresadora para evitar filos en las caras.
- b) Las barras guía su función es servir como guía para la placa de 5/8" que se deslizara hacia enfrente y hacia atrás la cual soportara a la parte "macho" del molde, las barras son de barra solida de cold rolled de un diámetro de 3/4", en los extremos de cada barra se encuentra incrustado un esparrago de 1/2" de diámetro, para que sirva como ajustador de acurdo a la abertura del molde.
- c) Los eslabones están manufacturados a partir de solera comercial de 1" X 5/16" X 110 mm, siendo necesarios 12 para efectuar la función de abertura y cierre del molde, cabe mencionar que para tener los eslabones terminados se incrusto bujes de bronce para evitar rozamiento entre eslabones y así "amarres" o "atascamiento" entre los mismos.

Para la manufactura general del mecanismo de abertura y cierre se utiliza cortadora de metal, taladro de banco, torno horizontal, fresadora vertical así como brocas, buriles y cortadoras verticales.

#### 3. Molde

El molde se manufactura en dos partes siendo la parte "hembra" y la parte "macho", el material utilizado es dura-aluminio especificación 6061 el cual se elabora en el torno horizontal con ayuda del chuck de cuatro mordazas.

#### 4. Mecanismo de Inyección

Este mecanismo está integrado por las siguientes partes:

- a) Tolva.
  - b) Cañón.
  - c) Boquilla.
  - d) Sistema de transmisión.
- a) La tolva esta manufacturada por lamina calibre 20 y soldada por arco eléctrico se debe realizar los cortes necesarios para que tenga la forma de cono esto se realiza con ayuda de una tijeras para lamina.

b) El cañón se compone de:

- Husillo
- Tornillo sin fin
- Boquilla

El husillo esta manufacturado a partir de una barra solida de col rold de 1  $\frac{3}{4}$ " de diámetro, utilizando el torno horizontal para la realización del barreno interior de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro donde entra el tornillo sin fin

La función del tornillo sin fin es el trasladar el PET ya fundido al interior, la manufactura de dicho tornillo es a partir de una barra de cold rold de un diámetro de  $\frac{7}{8}$ " realizada en un torno horizontal.

La boquilla se realiza en un torno horizontal con ayuda de una barra interior para realizar la salida del PET ya fundido.

El sistema de transmisión se conforma por dos poleas una de 2" y otra de 7" para realizar la disminución del número de RPM del motor y de la misma forma el PET sea trasladado a una velocidad optima al interior del molde.

## 5. Mecanismo Neumático

En esta parte del INYECPET-3R no existe manufactura como tal solamente es el ensamble de dichos componentes como, cilindro de doble efecto, unidad de mantenimiento, electroválvula.

### B. Sistema de Control

1. Control
2. Entradas
3. Salidas

1. Control

La parte de control se conforma por una placa de arduino que es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo diseñado para facilitar el uso de la electrónica en el proyecto.

La plataforma se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el popular lenguaje de programación de alto nivel.

Sin embargo es posible utilizar otro lenguaje de programación y aplicaciones populares en arduino.

Dicha placa consta de entradas y salidas, digitales y análogas las cuales son conectadas a los componentes que se desean controlar tales como las resistencias, la electroválvula y el motor.

### 2. Entradas

La parte de las entradas consiste en una placa fenolica en la cual se llevo a cabo la impresión del diseño de las pistas de cobre las cuales interconectan dos push botón (botones pulsadores), limit switch y un termopar (sensor de temperatura), estos se soldán a la placa y se conectan al microcontrolador para el envío de señales de control.

### 3. Salidas

Por otro parte, las señales antes mencionadas son procesadas por el microcontrolador produciendo señales de salida para activar los elementos de potencia (TIP120), los cuales realizan la energización de relevadores que permiten el encendido y apagado de 3 resistencias, 1 electroválvula y 1 motor.

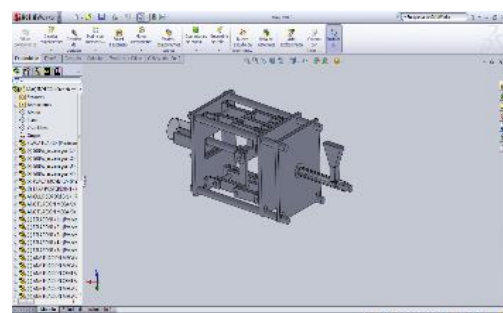
## Diseño e implementación

En estas fases se mostrara por medio de una galería fotográfica la implementación de los diseños elaborados en Solidworks.

### A) Sistema Mecánico

#### 1. Estructura

A continuación se muestra la implementación de la estructura superior e inferior. Ver Figura 4. Vista lateral estructura diseño Solid Works, Figura 5. Vista frontal estructura.



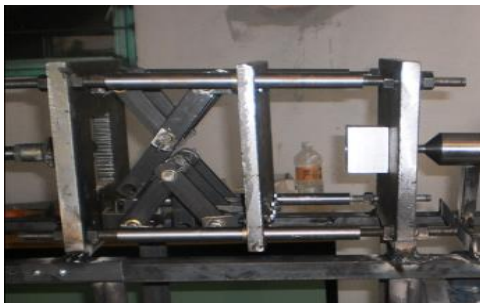
**Figura 4** Vista lateral estructura diseño Solid Works



**Figura 5** Vista fronta estructura

## 2. Mecanismo de apertura y cierre de molde

En la Figura 6. Vista frontal del mecanismo de apertura y cierre de molde y la Figura 7. Vista lateral del mecanismo de apertura y cierre de molde



**Figura 6** Vista frontal del mecanismo de apertura y cierre de molde



**Figura 7** Vista lateral del mecanismo de apertura y cierre de molde

## 3. Molde

En la primera foto, se puede observar Figura 8. Maquinado del molde y segunda foto Figura 9. Vista lateral del molde (vaso)



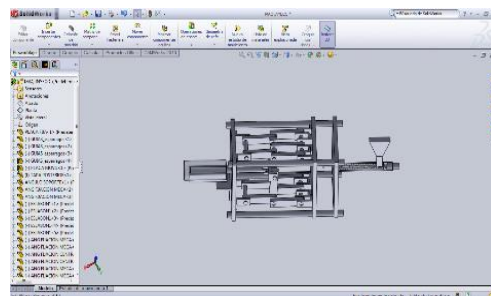
**Figura 8** Maquinado del molde y segunda



**Figura 9** Vista lateral del molde (vaso)

## 4. Mecanismo de Inyección

En las dos imágenes se muestra parte de la tolva diseño Solid Works Figura 10. Y el maquinado del inyector de plástico hacia el molde en la Figura 11



**Figura 10** Tolva diseño Solid Works



**Figura 11** Maquinado del inyector de plástico

## 5. Mecanismo neumático

Como se muestra se puede observar la conexión de la electroválvula Figura 12 y la unidad de mantenimiento Figura 13.



**Figura 12** Conexión de la electroválvula



Figura 13 Unidad de mantenimiento

B) Sistema de Control

En la siguiente Figura 14 se observa el proceso de automatización que se llevó a cabo en INYECPET 3R.

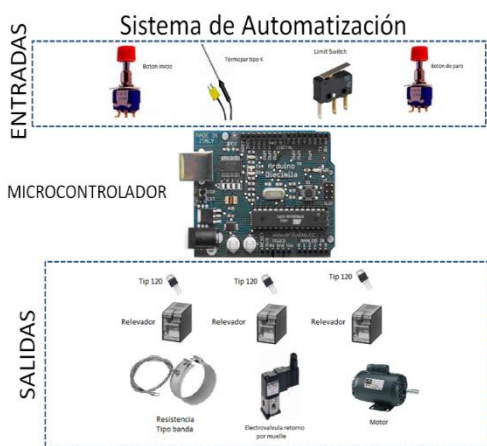


Figura 14 Proceso de automatización del sistema de control

1. Control

En la primera fotografía Figura 15 se observa las primeras pruebas de Arduino y los elementos de entrada y salida en un protoboard, en la otra Figura 16 se observan componentes de alimentación



Figura 15 Pruebas de Arduino y los elementos de entrada y salida en un protoboard

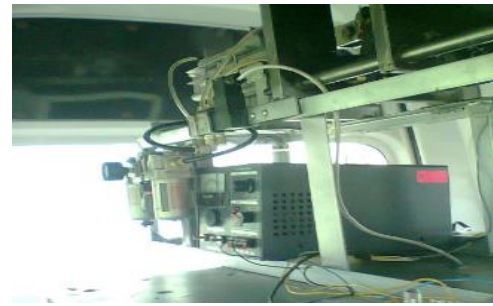


Figura 16 Componentes de alimentación

2. Entradas

Se puede observar el montaje de los elementos de entrada y el botón de paro de emergencia Figura 17.



Figura 17 Montaje de los elementos de entrada y el botón de paro de emergencia

3. Salidas

A continuación se observa el montaje Figura 18 de las resistencias cubiertas de un revestimiento aislante de fibra de vidrio

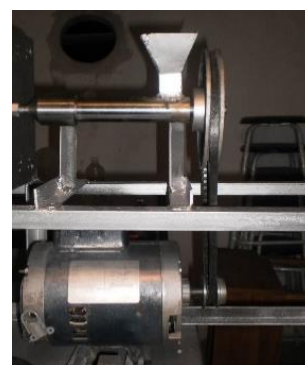


Figura 18 Motor movimiento de la polea

Pruebas, Instalación y Mantenimiento

Una vez que se unieron los sistemas mecánico y de control se obtuvo una primera muestra, observando algunas deficiencias desde la presentación y la obtención del producto final Figura 19



**Figura 19** Primera versión de INYECPET

La programación del microcontrolador se corrigió ya que se mostraron algunos errores en los parámetros de temperatura y sensor del termopar.

Al final se obtuvo una máquina con mejor presentación y un producto para la obtención del producto final mejorado. Figura 20.



**Figura 20** Prototipo final de INYECPET 3R

## Conclusiones

Se manufacturó un prototipo de una máquina de inyección de plástico denominada INYECPET 3R, con menores dimensiones a la de una máquina industrial, siguiendo una metodología de ciclo de vida de un proyecto en sus 7 fases, para el reciclaje de PET que resuelva la acumulación de éste desecho así como su rehusó obteniendo producción de vasos desechables en el plantel de CECYTEM Nicolás Romero II.

Para llevar a cabo su manufactura se realizó un estudio de viabilidad Financiera en la cual se obtuvo que una máquina de inyección de tipo industrial no existe con las características de INYECPET-3R, por lo que la hace una máquina única y con grandes oportunidades de desarrollo mercantil.

Los costos de máquinas se encuentran desde \$250 000.00. INYECPET-3R representa una opción viable financiera para su adquisición con un costo de \$69 000.00. Comercializando el vaso desechable el costo beneficio es bastante aceptable.

En cuanto a INYECPET 3R, para evitar lesiones a personas y prevenir daños al INYECPET-3R o a los productos conectados a él, durante el arranque y la validación de parámetros del INYECPET-3R, se debe comprobar el estado de las siguientes seguridades:

- Botón de Seguridad (paro total)
- Puerta de producto terminado.
- Guardas de seguridad tanto en el motor como en el mecanismo de apertura y cierre del molde.

Todos los moldes deben de tener un cierto programa de mantenimiento. El mantenimiento regular puede ayudar a un molde para funcionar con menos interrupciones, y ahorrará tiempo, dinero, y frustración en el funcionamiento largo. La cantidad y la frecuencia del mantenimiento son determinadas por varios factores:

El aluminio y las herramientas suaves sufrirán un desgaste en un periodo más corto que las herramientas hechas de acero convencional. Los materiales plásticos que tienen refuerzos son especialmente abrasivos tenderán a desgastar el acero del molde después de millones de ciclos.

## Referencias

Benítez Rangel J. P, Morales Hernández L. A, Trejo Hernández M. Aceptado Octubre 2011 Artículo Mejora de la etapa de llenado en moldes de inyección de plástico usando vibración.

González Santiago, 2017, La inyección de plástico: Una historia de éxito, Recuperado el 28 de Junio de 2017.

<https://www.privarsa.com.mx/la-inyeccion-plastico-una-historia-exito/>

Grover Mikell P. 1997, Fundamentos de manufactura moderna. Editorial. Prentice Hall. Recuperado el 15 de Febrero de 2017.



<https://books.google.com.mx/books?id=tcV0I37tUr0C&pg=PA333&dq=maquina+de+inyeccion+de+plastico&hl=es419&sa=X&ved=0ahUK EwjMwYPAgPnbAhVSnKwKHeMpDOkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=maquina%20de%20inyeccion%20de%20plastico&f=false>

Guillen Salvador Antonio. 1993. Introducción a la neumática. Editorial Marcombo. Recuperado el 13 de Abril de 2017 [https://books.google.com.mx/books?id=x\\_ANfBeC6z8C&printsec=frontcover&dq=neumatica&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwj7k42ZhfnbAhVG7qwKHQRZA6sQ6AEIKDAA#v=onepage&q=neumatica&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=x_ANfBeC6z8C&printsec=frontcover&dq=neumatica&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwj7k42ZhfnbAhVG7qwKHQRZA6sQ6AEIKDAA#v=onepage&q=neumatica&f=false)

Meriam J. L., 2004, Mecánica para ingenieros. Estática. 3° edición, Editorial Reverte. Recuperado el 16 de Abril de 2017. <https://books.google.com.mx/books?id=R5oHqHUueaMC&pg=PA84&dq=sistema+mecanico&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiKgsLg9PjbAhUSZawKHVugBC0Q6AEIKDAA#v=onepage&q=sistema%20mecanico&f=false>

Morales M. Rubén. Ramírez M Ricardo A. 2003 Sistemas de control moderno Volumen I: Sistema de tiempo continuo. Editorial Digital Tecnológico de Monterrey. Recuperado el 17 de Junio de 2017.

[https://books.google.com.mx/books?id=B1HrDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistema+de+control+automatizacion&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwi4zP\\_3hfnbAhVphq0KHUtEAFwQ6wEIKTAA#v=onepage&q=sistema%20de%20control%20automatizacion&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=B1HrDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistema+de+control+automatizacion&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwi4zP_3hfnbAhVphq0KHUtEAFwQ6wEIKTAA#v=onepage&q=sistema%20de%20control%20automatizacion&f=false)

Ogata Katsuhiko, 4°, 2000, Ingeniería de control moderna. Edición, Editorial Prentice Hall Recuperado el 24 de Febrero de 2017. [https://books.google.com.mx/books?id=QK148EPC\\_m0C&pg=PA488&dq=sistema+mecanico&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiKgsLg9PjbAhUSZawKHVugBC0Q6AEIVTAH#v=onepage&q=sistema%20mecanico&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=QK148EPC_m0C&pg=PA488&dq=sistema+mecanico&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiKgsLg9PjbAhUSZawKHVugBC0Q6AEIVTAH#v=onepage&q=sistema%20mecanico&f=false)

## Diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor

### Design of a vapor compression refrigeration system

FERRER-ALMARAZ, Miguel†\*, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel y LEDESMA-JAIME, Reynaldo

*Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle-Huanímaro km 1.2, Valle de Santiago, Gto.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Miguel, Ferrer-Almaraz* / ORC ID: 0000-0003-4913-4010, Researcher ID Thomson: S-6969-2018, CVU CONACYT ID: 342076

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Gabriela, Ramos-Lázaro* / ORC ID: 0000-0002-8827-3948, Researcher ID Thomson: S-7730-2018, CVU CONACYT ID: 439753

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Miguel, Guandulay-Alcazar* / ORC ID: 0000-0002-8831-9547, Researcher ID Thomson: S-6750-2018, CVU CONACYT ID: 443671

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Reynaldo, Ledesma-Jaime* / ORC ID: 0000-0001-9484-3305, Researcher ID Thomson: S-6786-2018, CVU CONACYT ID: 165239

Recibido: 05 de Enero, 2018; Aceptado 07 de Marzo, 2018

#### Resumen

El presente proyecto se diseña un sistema de refrigeración por compresión de vapor, considerando la utilización de un refrigerante R134a, mismo que es un hidrofluorocarburo (HFC), que sustituye al R12, usando comercialmente y ya de salida. Lo anterior por razones de impacto ambiental y ahorro energético. Se realiza el cálculo del sistema de refrigeración por compresión a vapor utilizando el software Engineering Equation Solver (EES), que usualmente se emplea para resolución de problemas de no linealidad, sin embargo también para el cálculo de sistemas de refrigeración. Además se considera la temperatura de entrada al evaporador de -15°C. Se encontró la dimensión de tubería de la succión y la descarga, con un valor de 12.29 mm y 30 mm, respectivamente. Además se presenta la metodología para realizar la captura en el software EES, así como la interpretación de los resultados obtenidos, de tal manera que se puede establecer el dimensionamiento de un sistema de refrigeración en forma sencilla, toda vez que se conozcan las condiciones de diseño y su parametrización.

#### Refrigerante, Software, Diseño, Parametrización

#### Abstract

The present project is designed a steam compression refrigeration system, considering the use of a refrigerant R134a, which is a hydrofluorocarbon (HFC), which replaces the R12, using commercially and already out. The above for reasons of environmental impact and energy saving. The calculation of the steam compression refrigeration system is performed using the Engineering Equation Solver (EES) software, which is usually used to solve non-linearity problems, but also for the calculation of cooling systems. In addition, the evaporator inlet temperature of -15 ° C is considered. The size of the suction and discharge piping was found, with a value of 12.29 mm and 30 mm, respectively. In addition, the methodology for capturing the EES software is presented, as well as the interpretation of the results obtained, in such a way that the sizing of a cooling system can be established in a simple manner, provided that the design conditions are known and its parameterization.

#### Refrigerant, Software, Design, Parameterization

**Citación:** FERRER-ALMARAZ, Miguel, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel y LEDESMA-JAIME, Reynaldo. Diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018 2-5: 12-16

\* Correspondencia del Autor (correo electronico: maferrer@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El uso comercial de sistemas de refrigeración eficientes que amorticen costos y disminuyan consumos de energía es deseable. En el presente estudio se desarrollará el diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor, así como el cálculo de la tubería. Se utilizará el refrigerante R134a, mismo que cuenta con características que lo hacen poco tóxico y eficiente. Para el cálculo del sistema de refrigeración se recurre al software Engineering Equation Solver (EES), el cual cuenta con una base de datos amplia de propiedades termodinámicas, sobre todo para refrigerantes, que en este caso serán de gran utilidad. La manera que se expondrá el trabajo siguiente será a través de un marco teórico sobre el funcionamiento general para un sistema de refrigeración. En la parte del desarrollo se establecerán las condiciones de diseño del sistema de refrigeración. También se revisará la metodología y los criterios para suministrar los parámetros en el software EES, a continuación se generarán los resultados del estudio así como su análisis.

## Marco teórico

La refrigeración consiste en llevar la temperatura baja (energía), hacia una región de mayor temperatura. Los refrigeradores comerciales usan en su mayoría un ciclo de compresión con vapor del refrigerante. En este ciclo, el refrigerante primero se evapora para luego comprimirse y por último condensarse. El refrigerante saldrá del evaporador como vapor saturado en forma ideal, sin embargo en la práctica esto no es posible, de tal manera que se hace un arreglo para que el vapor salga sobrecalentado, esto hace que todo el refrigerante se evapore, entrando al compresor de esta manera. Ver figura 1.

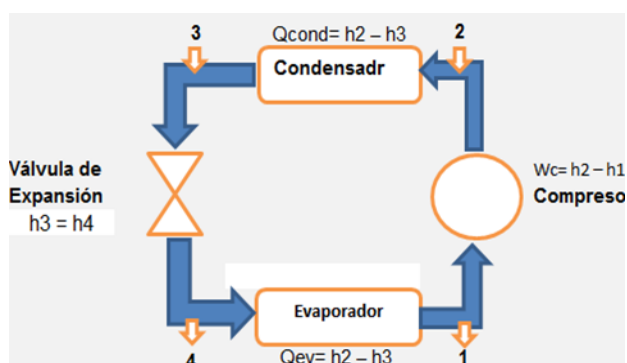


Figura 1 Ciclo de refrigeración

En la misma figura se puede observar que en este punto del evaporador se cumple la ecuación:

$$Q_{ev} = h_2 - h_3 \quad (1)$$

Significando que el calor del evaporador se calcula por la diferencia entre las entalpías del condensador.

Una vez en el compresor el fluido se comprime como un proceso isentrópico, es decir reversible y adiabático, esto en forma ideal. La temperatura aumenta en la compresión, de tal manera que la práctica se debe enfriar, mientras sea práctico y económico hacerlo. En este punto se puede ver de la figura 1:

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (2)$$

Estableciendo que el trabajo de entrada,  $W_c$  es igual a la diferencia de entalpías.

En seguida el refrigerante entra al condensador como vapor sobrecalentado y al perder calor sale como líquido saturado, el calor generado,  $Q_{cond}$ , será de acuerdo a la figura 1:

$$Q_{cond} = h_2 - h_3 \quad (3)$$

Como la diferencia de las entalpías. Por último el fluido pasa a la válvula de expansión, donde llega como líquido saturado. Al ser estrangulado y perder presión, también disminuye su temperatura. Aquí las entalpías se igualan, figura 1.

$$h_3 = h_4 \quad (4)$$

El desempeño de un refrigerador se mide por el coeficiente de desempeño (COP), también Coeficient of performance, esto se calcula de la manera siguiente:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_c - Q_e} \quad (5)$$

Donde:

$Q_e$ , es la Cantidad de calor suministrada en el evaporador.

$Q_c$ , es la Cantidad de calor suministrada en el compresor.

Para el cálculo de las tuberías, se requiere utilizar el número de Reynolds,  $R_e$ , este último tiene que ver con el flujo turbulento o laminar, ya que si este es menor que 2000 se considera laminar el flujo, para calcular el número de Reynolds se utiliza la ecuación:

$$R_e = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (6)$$

Aquí:

$V$  es la velocidad media del fluido, m/s

$D$  es el diámetro interior del tubo, m

$\rho$  es la densidad del fluido,  $\text{kg/m}^3$

$\mu$  es la viscosidad dinámica del fluido,  $\text{kg/m}^*\text{s}$

También la velocidad media del fluido se calcula por la ecuación:

$$V = \frac{4M}{\pi D^2 \rho} \quad (7)$$

Donde;

$M$  es el flujo másico del refrigerante,  $\text{kg/s}$

La caída de presión,  $\Delta p$ , en la tubería está calculada por la ecuación:

$$\Delta p = \rho g h_L \quad (8)$$

$h_L$  es la pérdida de energía debido a la fricción y se calcula con la ecuación de Darcy:

$$h_L = \frac{fLV^2}{2Dg} \quad (9)$$

En la ecuación 10, aparece el factor,  $f$ , es el factor de fricción, obteniéndose para flujo laminar por la ecuación:

$$f = \frac{64}{R_e} \quad (10)$$

La eficiencia del compresor se calcula como la eficiencia isentrópica,  $N_c$ . Definiéndose esta última como la razón del trabajo de entrada requerido ( $W_c$ ), para elevar la presión de un gas a un valor especificado de manera isentrópica y el trabajo de entrada real ( $W_a$ ), la ecuación será:

$$N_c = \frac{W_c}{W_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (11)$$

La entalpía  $h_1$  corresponden a la succión en el compresor,  $h_2$  es la entalpía en la descarga del compresor,  $h_{2s}$  es la entalpía isentrópica a la descarga, figura 2.

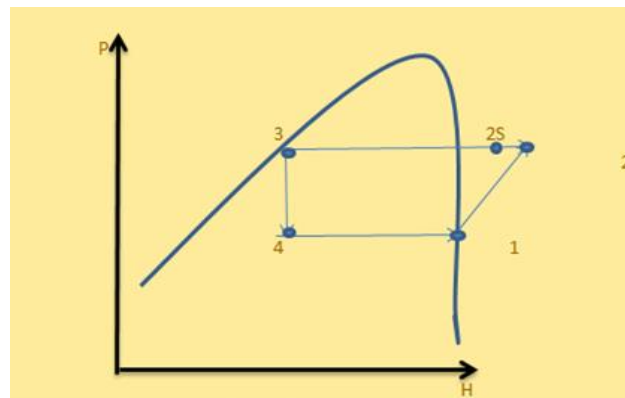


Figura 2 Diagrama de entalpías de un sistema de refrigeración

### Desarrollo

Las condiciones de diseño del sistema de refrigeración son:

- 1) Temperatura del evaporador,  $-15^\circ\text{C}$ .
- 2) Refrigerante, R134a, para uso comercial en instalaciones nuevas, clasificado entre los refrigerantes de seguridad por tener baja toxicidad, estabilidad térmica y química, no explosivo, no daña la capa de ozono. Sustituye al R12
- 3) Entrada en el compresor de vapor saturado, calidad del vapor con  $X=1$ .
- 4) Temperatura en el condensador  $20^\circ\text{C}$ .
- 5) Velocidad media en la succión,  $11.5 \text{ m/s}$
- 6) Velocidad media en la descarga,  $20 \text{ m/s}$
- 7) Tubería de cobre comercial

A continuación se alimenta al software EES con los datos anteriores, comenzando con los datos del evaporador, refrigerante, calidad del vapor en la entrada del compresor, propiedades en el estado 1: presión, entalpía, entropía. También balance de energía en el compresor, balance de energía en el condensador, balance de energía en el evaporador, propiedades en los estados 2, 3 y 4.

La forma de alimentación de los datos sería de la siguiente manera:

- $h_3=h_4$
- $P_1=P_4$
- $T_4=\text{temperature}(\text{R134a}, h=h_4, P=P_4)$
- $s_1=\text{Entropy}(\text{R134a}, T=T_1, x=1)$

- {s1=0.9414}
- P=pressure(R134a,T=T1,x=1)

3. Todo lo anterior se observa en la figura

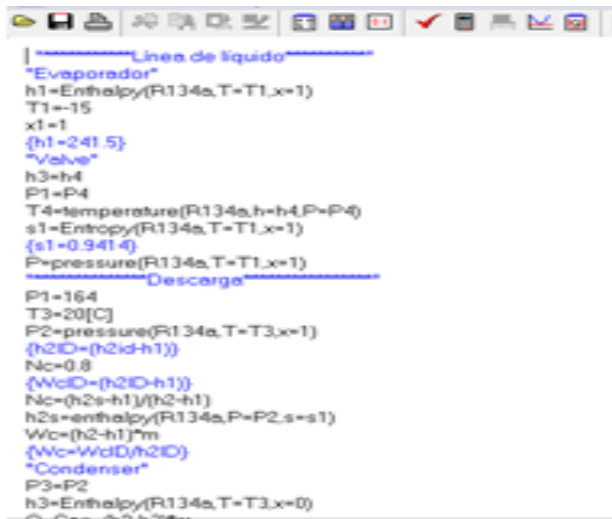


Figura 3 Alimentación de datos al software EES para un sistema de refrigeración

**Metodología a desarrollar**

- a) Establecer las condiciones de diseño
- b) Alimentar al software EES con los valores de entrada: Presión, entalpía, entropía
- c) Análisis de los datos en el software EES
- d) Conclusiones

**Resultados**

Al realizar la corrida del programa EES se obtuvieron los resultado siguientes, figura 4.

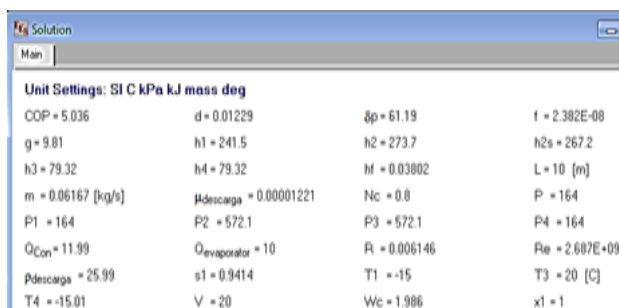


Figura 4 Corrida de resultados del software EES

Donde se encuentran entalpías, entropías, eficiencia del compresor así como un diámetro para la succión de 12.29 mm (0.5 in).

A continuación se alimenta el software para encontrar el diámetro de descarga, resultando, figura 5.

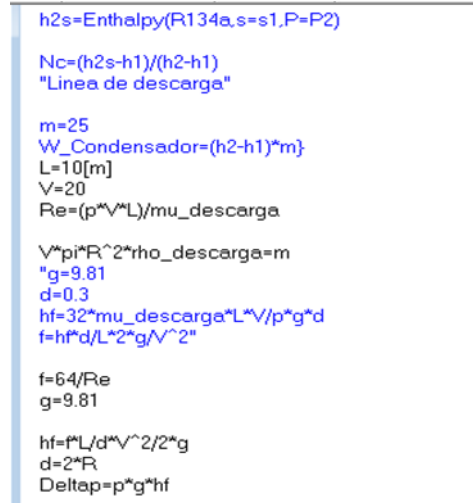


Figura 5 Corrida de resultados del software EES para el cálculo del diámetro de descarga de la tubería.

El diámetro de descarga obtenido es 30 mm (1¼ in)

Respecto a los resultados de la succión se observan en la figura 6,

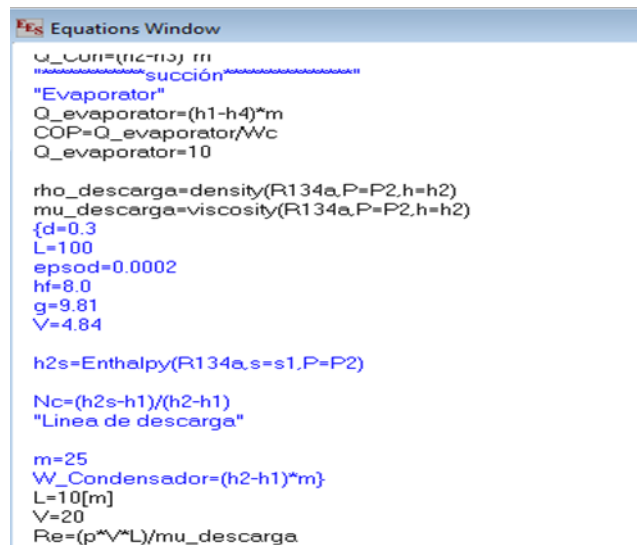


Figura 6 Cálculos en la succión del sistema de refrigeración

**Agradecimiento**

Se agradece a la Universidad de Guanajuato, División de ingenierías, DICIS, por las facilidades otorgadas para el uso del software EES.

**Conclusiones**

El coeficiente de rendimiento, COP, resultando poco arriba del valor de 5, es decir por cada unidad eléctrica consumida se retiran 5 unidades térmicas, este valor es debido al calor absorbido por el evaporador de 10 kJ/kg, figura 6.

De este último punto pasa a comprimirse el fluido a una presión de 572.1 kPa, aumentando la temperatura a 20°C, inicialmente estaba en -15°C, condensándose el fluido y pasando a la válvula de expansión, reiniciando el ciclo nuevamente. De tal manera que queda establecido el diseño y dimensionamiento del sistema de refrigeración por compresión a vapor utilizando la parametrización de las condiciones de diseño y por supuesto el software EES, mismas que pueden ser una herramienta didáctica en el estudio de la refrigeración.

### Referencias

Castro Gutierrez, J., & Hernández Zapata, S. (2010). La refrigeración en la enseñanza de la física. *Latin-American Journal of Physics Education*, 1870-9095.

Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Chichester: John Wiley & Son, Inc.

Salazar-Pereyra, M., Lugo-Leyte, R., & Méndez-Levielle, F. (2010). Análisis de ciclos de refrigeración con una, dos y tres etapas de compresión utilizando HF-R134a y una etapa de CO<sub>2</sub>. *SOMIM*, 169.

Wang, K., Eisele, M., Hwang, Y., & Radermacher, R. (2010). Review of secondary loop refrigerations systems. *International Journals of Refrigeration*, 212-234.

Wark, K., & Richards, D. (2002). *Thermodynamic*. New York: McGraw-Hill.

## Prototipo para análisis cinemático de configuración robótica angular

### Prototype for angular robotic kinematic analysis

RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo†\*, LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUIZ, Ricardo y GARCÍA-RODRÍGUEZ, Juan Carlos

*Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes. Av. Universidad #1001, Estación Rincón, 20400, Rincón de Romos, Ags.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Martín Eduardo, Rodríguez-Franco* / ORC ID: 0000-0002-6804-4777, Researcher ID Thomson: T-1539-2018, CVU CONACYT ID: 660892

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Yadira Fabiola, López-Álvarez* / ORC ID: 0000-0002-9041-1908, Researcher ID Thomson: T-1555-2018, CVU CONACYT ID: 375952

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Ricardo Jara-Ruiz* / ORC ID: 0000-0001-7725-4138, Researcher ID Thomson: T-1532-2018, CVU CONACYT ID: 630276

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Juan Carlos, García-Rodríguez* / ORC ID: 0000-0002-3602-7809, Researcher ID Thomson: J-8291-2017, CVU CONACYT ID: 677265

Recibido: 15 de Enero, 2018; Aceptado 11 de Marzo, 2018

#### Resumen

La integración de prototipos de prueba promueve la incursión del alumno de ingeniería en los conocimientos de su especialidad, no únicamente de forma teórica o parcialmente práctica, en caso de poseer alguna limitación para el acceso al equipamiento real, necesario para el desarrollo de las competencias profesionales propias. El presente estudio expone una alternativa para el análisis introductorio de la robótica a través de la implementación de un prototipo de configuración robótica angular, constituida por dispositivos de fácil manejo y bajo costo. Este trabajo explica el panorama previo y los objetivos planteados. Se detalla la solución matemática para la constitución del prototipo físico, la programación del controlador y su comunicación con una interfaz gráfica por computadora. Los resultados corroboran la funcionalidad del sistema integrado y su operatividad desde la computadora para lograr los comportamientos deseados. Las conclusiones exhiben la fiabilidad del prototipo al ser empleado como material de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, para lo cual ha sido desarrollado.

**Prototipo de prueba, Configuración robótica angular, Problema cinemático, Programación de controlador, Interfaz gráfica por computadora**

#### Abstract

The integration of test prototypes promotes the incursion of the engineering student in the knowledge of their specialty, not only in a theoretical or partially practical way, in case of having any limitation for access to real equipment, necessary for the development of professional skills own. The present study exposes an alternative for the introductory analysis of robotics through the implementation of a prototype of angular robotic configuration, constituted by easy-to-use and low-cost devices. This work explains the background and the objectives established. The mathematical solution for the constitution of the physical prototype, the programming of the controller and its communication with a graphical interface by computer are detailed. The results corroborate the functionality of the integrated system and its operation from the computer to achieve the desired behaviours. The conclusions show the reliability of the prototype to be used as support material in the teaching-learning process, for which it has been developed.

**Test prototype, Angular robotic configuration, Kinematic problem, Controller programming, Computer graphic interface**

**Citación:** RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUIZ, Ricardo y GARCÍA-RODRÍGUEZ, Juan Carlos. Prototipo para análisis cinemático de configuración robótica angular. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018 2-5: 17-26

\* Correspondencia del Autor (correo electronico: martin.rodriguez@utna.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Un robot es definido como un manipulador reprogramable y multifuncional cuya función principal es el movimiento de objetos a partir de la descripción de trayectorias variadas (Barrientos, 2007). Es así que dentro de los múltiples sistemas de manufactura en que puede ser integrado, el robot realiza esencialmente tareas de recuperación y posicionamiento (*pick and place*) de piezas o materiales (Huang, 2015); siendo requerida la utilización de pinzas robóticas o *gripper* para efectuar la mayor parte de las operaciones de agarre con alta precisión (Birglen, 2018), como parte de las exigencias actuales de la industria.

Al ser definido como una cadena cinemática abierta, el robot consta de un conjunto de eslabones unidos mediante articulaciones de rotación o traslación (Mann, 2017). Por lo que, con la finalidad de ejecutar una operación dada, se vuelve necesaria la consideración de una posición específica del extremo final del mismo en referencia a su base, dando paso a la solución de los problemas cinemáticos: directo e inverso (Abele, 2007); cuyo apoyo en la teoría del control ha permitido alta precisión en la respuesta de éstos sistemas (Zhang, 2017). Además de comprender, a partir del análisis matemático, las implicaciones del fenómeno del movimiento transmitido a cada uno de los elementos que le constituyen (Dumas, 2011).

## Problemática y justificación

Las Universidades Tecnológicas poseen por prioridad brindar a sus estudiantes una educación basada en 70% de aplicación práctica mientras el 30% restante corresponde a la formalidad teórica, para programas educativos de Técnico Superior Universitario (CGUTyP, 2010). Por lo cual se vuelve exigible contar con las instalaciones adecuadas en que el alumno pueda llevar a cabo el ejercicio para desarrollar competencias específicas, según sea el programa de estudios cursado (INIFED, 2015).

Para programas de ingeniería, tal necesidad no se limita solo a contar con infraestructura, sino también con equipamiento que acerquen al alumno con el entorno laboral en que se desenvolverá concluida su formación (CGUTyP, 2002).

La mayor parte de los cuales implican una alta erogación económica. Por lo que considerando la situación geográfica y económica un gran número de Universidades Tecnológicas en el país, es preciso resaltar la ajustada posibilidad que algunos planteles poseen para acceder a condiciones de equipamiento óptimas que permitan el aseguramiento de las competencias de corte tecnológico a desarrollar (Flores, 2009).

Un caso particular de la situación planteada se presenta en el programa educativo de TSU en Mecatrónica área Sistemas de Manufactura Flexible, en que para la impartición de la asignatura de Robótica, es requerido como equipamiento mínimo un robot industrial, del cual puede no disponerse. Es por esto, que la integración de sistemas de prueba desarrollados a partir de materiales de fácil adquisición y bajo costo, pueden significar la oportunidad de que el alumno vea aplicados los conocimientos valorados de forma teórica en asignaturas vitales para su área de especialidad.

Además de que, al ser estos implementos constituidos desde cero, podrían permitir la comprensión por parte del alumno de las etapas que le conforman, su sinergia y operación final. Por lo que el presente estudio se centra en la integración de un sistema robótico para la realización de pruebas de manipulación, así como para el análisis y la aplicación de la teoría de la robótica, en la comprensión de los tópicos específicos de solución de los problemas cinemáticos directo e inverso, a partir de una configuración robótica angular.

## Objetivos

Integrar un sistema electrónico en comunicación con una interfaz gráfica por computadora para el control de posición del extremo final de un robot angular a partir de la solución de los problemas cinemático directo e inverso.

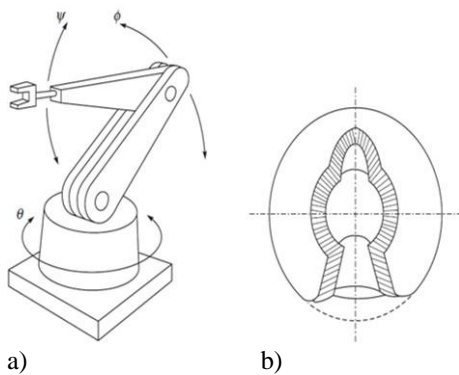
- a) Desarrollar la solución de los problemas cinemáticos directo e inverso de una configuración robótica angular.
- b) Programar el algoritmo en Arduino para el control de movimiento simultáneo de los actuadores del robot.



- c) Integrar la interfaz gráfica en LabVIEW para la manipulación del robot a partir de la solución de los problemas cinemáticos.
- d) Establecer comunicación entre la interfaz gráfica y el controlador del robot.

### Prototipo de configuración robótica angular

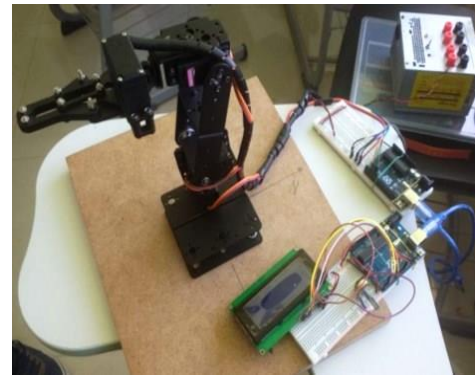
Un robot angular o antropomórfico es el tipo de configuración serial de mayor utilidad en la industria, debido a la posibilidad de adquirir prácticamente cualquier posición dentro de un espacio de trabajo que forma una esfera (Saha, 2010), según se aprecia en la figura 1. Tal implemento consta de tres eslabones unidos por medio de articulaciones de tipo rotacional, formando una cadena mecánica abierta, cuyo extremo inicial está unido a una base, mientras en el extremo o efector final es dispuesta algún tipo de herramienta o *gripper* (Craig, 2006).



**Figura 1** a) Configuración robótica angular y b) espacio de trabajo

Fuente: (Saha, 2010).

La base brinda estabilidad al robot para el posicionamiento de sus articulaciones, y por ende, de su extremo final, en cualquier punto que le permita su propia estructura (Markus, 2016). Por su parte, la herramienta acoplada al efector final permite el desempeño de la tarea específica a cubrir, existiendo un sinnúmero de posibilidades de aplicación (Björnsson, 2018). Por lo que, para llevar a cabo el presente estudio se empleó un prototipo físico que consta de un brazo robótico angular mismo que dispone de tres grados de libertad y de un *gripper*, según se muestra en la figura 2; tal robot fue adquirido del medio comercial y posee características aceptables de estabilidad, diseño y presentación.



**Figura 2** Prototipo físico empleado en el desarrollo de pruebas

Fuente: *Elaboración Propia*, 2018

Puesto que se trata de un modelo para la comprobación física de tópicos teóricos de robótica, los actuadores utilizados para suministrar el movimiento a cada articulación del robot fueron servomotores. Este tipo de motor no requiere la implementación de un control robusto para llevar a cabo su función, sino que a partir del suministro del voltaje necesario, una señal de tierra y otra de control a frecuencia fija, cuyo ancho de pulso pueda variar, es posible la ubicación del eje del mismo en una posición específica (Maloney, 2006), permaneciendo en este punto mientras tal señal mantenga las condiciones dadas.

La base y eslabones del robot están elaborados a partir de acero, realizando la unión entre estos y los servomotores, por medio de tornillería. Las especificaciones dimensionales de los eslabones se exponen en la tabla 1, donde el espesor de la base es contemplado dentro de la longitud del primer eslabón, por lo que el sistema de referencia del robot fue asignado sobre la base de madera en que el mismo descansa. Y con la finalidad de ocultar en lo mayor posible cualquier cableado y conexión eléctrica, se sugirió el uso de espiral plástico para la sujeción y agrupamiento de conectores.

Eslabón	Longitud
$l_1$	9 cm
$l_2$	10.7 cm
$l_3$	15.5 cm

**Tabla 1** Especificaciones dimensionales de los eslabones del robot

Fuente: *Elaboración Propia*, 2018

**Solución a los problemas cinemáticos**

La cinemática se ocupa del estudio del movimiento con respecto a un sistema de referencia, sin tomar en cuenta las causas que le originan, a través de su descripción analítica como una función del tiempo (Barrientos, 2007). Es así que, para que el robot pueda adquirir alguna posición determinada por el usuario, habrá de gestionarse la potencia necesaria para que los actuadores empleados realicen un movimiento específico (Dixon, 2004); existiendo dos métodos en los cuales es preciso efectuar la distribución de movimiento a partir de considerar al robot como una estructura mecánica integrada por eslabones y articulaciones, siendo estas últimas el medio para el suministro de movimiento al sistema.

Se incluye el término “problema” para englobar la necesidad de un análisis matemático que permita la deducción de ecuaciones algebraicas que, para la solución cinemática directa, establezcan las coordenadas de posición del efector final a partir de un movimiento específico de cada actuador (Abele, 2007). Mientras que para la solución cinemática inversa, determinen el movimiento que deba poseer cada actuador derivado de una posición cartesiana específica propuesta para el efector final (Young, 2016). Cabe mencionar que las ecuaciones deducidas habrán de variar de acuerdo a la configuración robótica que se trate, por lo que un cambio en su morfología implicará el establecimiento de un modelo cinemático distinto al inicial.

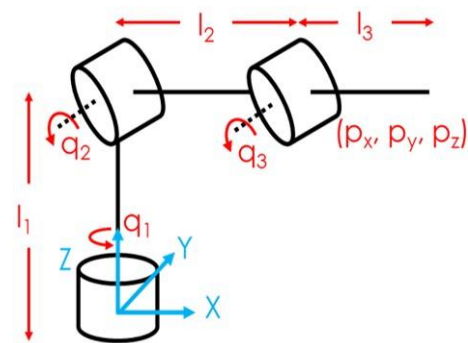
Con la finalidad de dar solución al problema cinemático directo, Jacques Denavit y Richard Hartenberg propusieron el desarrollo de un método sistemático que permite representar la posición y la orientación de cada elemento de un robot con respecto a un sistema de referencia, colocado en la base de éste (Craig, 2006). Describiendo de tal manera, la relación existente entre dos elementos sucesivos, a través de matrices, para establecer un sistema de coordenadas asociado a cada eslabón que forma al robot, lo que lleva a determinar las ecuaciones cinemáticas de la cadena completa. Es a través de la elección adecuada de los sistemas de coordenadas por eslabón, que es posible abordar uno a partir del otro mediante cuatro transformaciones básicas (Saha, 2010):

1. Rotación alrededor del eje Z, un ángulo  $\theta$ .
2. Translación a lo largo del eje Z, una distancia d.
3. Translación a lo largo del eje X, una distancia a.
4. Rotación alrededor del eje X, un ángulo  $\alpha$ .

Realizando las transformaciones y el producto de éstas en el orden dado, es posible determinar la matriz de transformación homogénea (1) que lleve del sistema anterior al sistema actual en el robot analizado.

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Una representación clara para la deducción de los parámetros propuestos por Denavit-Hartenberg (D-H) correspondientes a la configuración robótica angular, se visualiza en la figura 3. Asimismo, los parámetros respectivos se presentan la tabla 2.



**Figura 3** Representación del robot angular para deducción de parámetros D-H

Fuente: Elaboración Propia, 2018

Sistema	$\theta$	d	a	$\alpha$
${}^0A_1$	$q_1$	$l_1$	0	$90^\circ$
${}^1A_2$	$q_2$	0	$l_2$	0
${}^2A_3$	$q_3$	0	$l_3$	0
${}^3A_4$	$90^\circ$	0	0	$90^\circ$

**Tabla 2** Parámetros D-H del robot angular

Fuente: Elaboración Propia, 2018

Una vez obtenidos los parámetros D-H, es posible el cálculo de las relaciones entre los eslabones consecutivos del robot, ya que vienen dadas por las matrices que se establecen a partir de (1).

La relación existente entre el conjunto de eslabones que conforman a la configuración robótica en estudio se determina por la matriz  $T$  (2), resultado del producto de consecutivo de las matrices mencionadas.

$$T = \begin{bmatrix} Cq_1 S(q_2 + q_3) & Sq_1 & Cq_1 C(q_2 + q_3) & Cq_1 [l_2 Cq_2 + l_3 C(q_2 + q_3)] \\ Sq_1 S(q_2 + q_3) & Cq_1 & Sq_1 C(q_2 + q_3) & Sq_1 [l_2 Cq_2 + l_3 C(q_2 + q_3)] \\ C(q_2 + q_3) & 0 & S(q_2 + q_3) & l_1 + l_2 Sq_2 + l_3 S(q_2 + q_3) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Obtenida la matriz  $T$ , esta expresará la orientación y posición del extremo final del robot en función de sus coordenadas articulares. Por tanto, las coordenadas del extremo final quedan en función de (3), (4) y (5), respectivamente.

$$p_x = Cq_1 [l_2 Cq_2 + l_3 C(q_2 + q_3)] \quad (3)$$

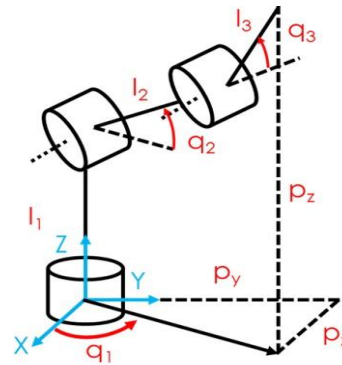
$$p_y = Sq_1 [l_2 Cq_2 + l_3 C(q_2 + q_3)] \quad (4)$$

$$p_z = l_1 + l_2 Sq_2 + l_3 S(q_2 + q_3) \quad (5)$$

Para el caso del problema cinemático inverso, el proceso que habrá de comprenderse para la obtención de ecuaciones respectivas, se encuentra en gran medida determinado por la configuración del robot analizado (Barrientos, 2007). Desarrollándose algunas metodologías que brindan la posibilidad de ser programadas en alguna aplicación o entorno computacional.

Tal es el caso del método geométrico, el cual permite calcular los valores de las variables articulares que realizan el posicionamiento del robot sin preocuparse por la orientación de su extremo final. Lo anterior, a través de uso de relaciones trigonométricas de los elementos que integran a la configuración analizada cuya base es la solución de triángulos que relacionan sus eslabones y articulaciones (Saha, 2010). Siendo un método práctico para robots con pocos grados de libertad.

Así, a partir de la identificación de los parámetros geométricos de la configuración a analizar y el efecto del movimiento en las articulaciones que les integran, se formulan las relaciones geométricas entre éstos y la coordenada que es preciso, llegue a alcanzar el extremo final del robot (Craig, 2006). Tales relaciones se muestran en la figura 4.



**Figura 4** Representación de variables articulares y coordenadas del extremo final del robot

Fuente: Elaboración Propia, 2018

A partir de la coordenada en la que se requiere posicionar el extremo del robot ( $p_x, p_y, p_z$ ) respecto al sistema de referencia asignado en la base del robot, y considerando que la estructura es planar, es que queda definido el ángulo adquirido por la variable articular  $q_1$  con (6).

$$q_1 = \tan^{-1} \left( \frac{p_y}{p_x} \right) \quad (6)$$

Empleando el teorema del coseno únicamente sobre los eslabones 2 y 3 del robot es posible obtener el valor de la tercera variable articular  $q_3$  a través de (7).

$$q_3 = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{1 - \cos^2 q_3}}{\cos q_3} \right) \quad (7)$$

Donde:

$$\cos q_3 = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \quad (8)$$

Finalmente, considerando una configuración de codo abajo, (7) permite la determinación del valor de la segunda variable articular  $q_2$ , misma que es definida por (9).

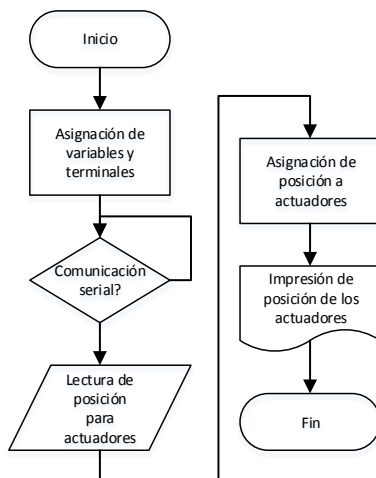
$$q_2 = \tan^{-1} \left( \frac{p_z}{\sqrt{p_x^2 + p_y^2}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{l_3 \sin q_3}{l_2 + l_3 \cos q_3} \right) \quad (9)$$

### Programación del controlador

Los valores de movimiento a destinarse a cada uno de los motores utilizados, habrán de convertirse en las señales eléctricas correspondientes a partir del uso de una tarjeta electrónica (Markus, 2016), que tomé los valores matemáticos determinados por la solución de los problemas cinemáticos directo e inverso.

El algoritmo para el control de movimiento fue realizado a partir del entorno de programación Arduino, mismo que brinda sencillez para la edición de código al poseer como base la programación C, sin embargo, adicionando a su funcionalidad la posibilidad de orientar el mismo a hardware, es decir, para la manipulación del estado de terminales de entrada y salida físicas de la tarjeta electrónica utilizada, en este caso, un Arduino UNO R3 que además de tener en disposición una buena cantidad de terminales de entrada y salida tanto digital como analógica, distribuidas en tres puertos del microcontrolador ATmega358, se encuentra disponible en el mercado a precios muy accesibles.

El algoritmo desarrollado para el control de movimiento en cada servomotor a partir de la previa solución de los problemas cinemáticos directo e inverso y la emisión de los valores correspondientes, se muestra en el diagrama de la figura 5.



**Figura 5** Diagrama de flujo del algoritmo para el movimiento de los actuadores

Fuente: *Elaboración Propia, 2018*

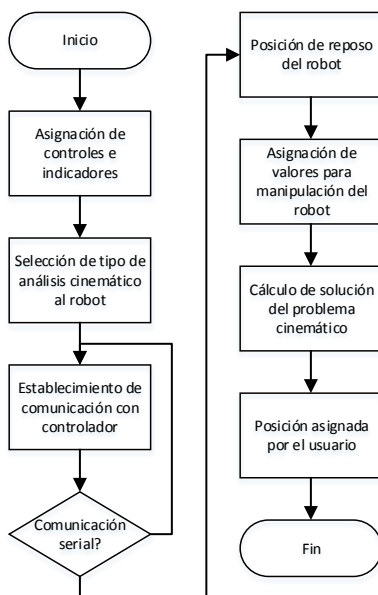
El algoritmo de programación parte de la designación de las variables a emplear y las terminales de salida para la conexión de los servomotores a la tarjeta. Posterior a lo cual, la misma buscará establecer comunicación con la interfaz gráfica por computadora a partir de protocolo serial RS232 vía USB (*Universal Serial Bus*). Por lo que de existir comunicación entre la interfaz gráfica y la tarjeta electrónica, esta última comenzará con la lectura de los valores de movimiento específico para cada servomotor considerando un rango de acción de entre 0 y 180°.

Después de realizar el registro y almacenamiento de los valores de interés, habrá de realizarse el envío de los valores específicos a las terminales de salida correspondientes, las cuales deberán ser del tipo PWM (*Pulse With Modulation*) para que se posibilite la generación de señales variables en ancho de pulso proporcional al voltaje que requiriera ser enviado a los servomotores para activar su movimiento y comportamiento estacionario, una vez que adquiera la posición indicada por la interfaz. Será necesaria la retroalimentación en todo momento de los valores de posición adquiridos por cada servomotor, esto con la finalidad de visualizar la evolución en el comportamiento de cada uno desde un punto de inicio (Dixon, 2004), que puede ser una posición de reposo del robot, o bien se trate de alguna previamente asignada por el usuario.

Es a través de la comunicación entre la tarjeta Arduino empleada y la computadora que contenga la interfaz gráfica de usuario, que será posible la manipulación de los actuadores del robot mediante la designación directa de un movimiento específico por servomotor o a partir de la designación de una coordenada dentro de un espacio cartesiano a ser alcanzada por medio del efector final del robot. Además del monitoreo de la evolución en cada uno de éstos.

### Desarrollo de la interfaz gráfica

Una interfaz gráfica asociada a un sistema físico con funciones de supervisión de control y adquisición de datos, deberá permitir no únicamente la visualización de la evolución en el comportamiento del mismo con el tiempo, sino a través de empleo de las herramientas de comunicación adecuadas, el control del mismo (Rodríguez, 2007). Tal es el caso del modelo de pruebas propuesto, en el cual con la finalidad de aplicar de manera interactiva los principios teóricos deducidos con anterioridad, se integra un entorno cuya características de sencillez y accesibilidad permitan al usuario la modificación de las consignas dadas al sistema, además de su monitoreo (Gasparic, 2017).



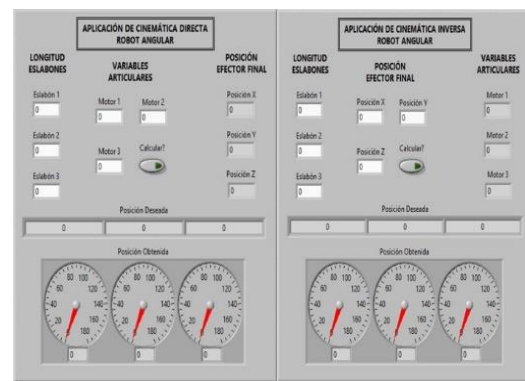
**Figura 6** Diagrama de flujo del algoritmo de la funcionalidad de la interfaz gráfica

Fuente: *Elaboración Propia, 2018*

Fue a través de empleo del sistema de desarrollo LabVIEW que fue posible la integración de una interfaz gráfica que incluyera las funciones propuestas. Esta es constituida por las dos ventanas expuestas en las figuras 7a y 7b, a partir de las cuales se posibilita al usuario para la manipulación del robot, pudiendo efectuar el movimiento directo de los actuadores o la asignación de una coordenada específica a ser adquirida por parte del efector final.

En la figura 7a, justo en su orientación izquierda, se visualizan tres controles para el ingreso de las dimensiones de los eslabones del robot, por parte del usuario. Asimismo, en la porción central se cuenta con otros tres controles que permiten la asignación del valor respectivo a cada actuador empleado.

Una vez presionado el botón: calcular, también dispuesto al centro de la ventana, serán emitidas las coordenadas correspondientes a los valores de las variables articulares previamente ingresados, separando cada componente a partir del eje específico, así como enviados los datos necesarios para la modificación de la posición en cada actuador, según sea propuesto.



a)

b)

**Figura 7** Panel frontal de la interfaz gráfica desarrollada para la solución de los problemas cinemáticos a) directo y b) inverso y la comunicación de datos

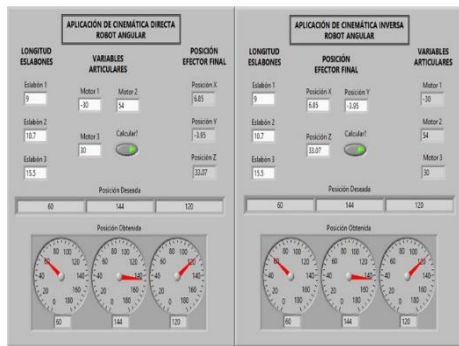
Fuente: *Elaboración Propia, 2018*

Para la representación de la cinemática inversa, de la figura 7b, puede verse el cambio en el ingreso de las coordenadas en las cuales se desea sea localizado el extremo final del robot. Por lo que los valores emitidos corresponden a las variables articulares necesarias para dar alcance a la posición propuesta por el usuario. En ambas ventanas, es de mencionarse el uso de un arreglo de indicadores que permite validar los datos numéricos que han sido enviados a la tarjeta electrónica para su respectiva interpretación y manipulación de cada actuador.

## Resultados

La realización de las pruebas constató la efectividad de los algoritmos desarrollados tanto para la solución de los problemas cinemáticos directo e inverso, así como para la programación del controlador empleando, y en última instancia, de la interfaz gráfica integrada para el monitoreo y control del sistema físico.

El uso de la fórmulas deducidas a partir de la aplicación de las metodologías para la solución de los problemas cinemáticos directo e inverso permitió una respuesta favorable, dada la propuesta de valores específicos para el posicionamiento a adquirir por los actuadores empleados, emitiendo los resultados correspondientes para cada componente de la coordenada deducida, en la cual se posicionó el extremo final del robot, dentro de la interfaz gráfica desarrollada como puede verse en las figuras 8a y 8b.

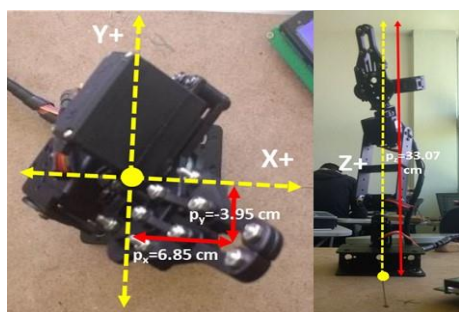


a) b)

**Figura 8** Resultados emitidos por la interfaz gráfica desarrollada para la solución de los problemas cinemáticos a) directo y b) inverso, dados valores de prueba

Fuente: *Elaboración Propia, 2018*

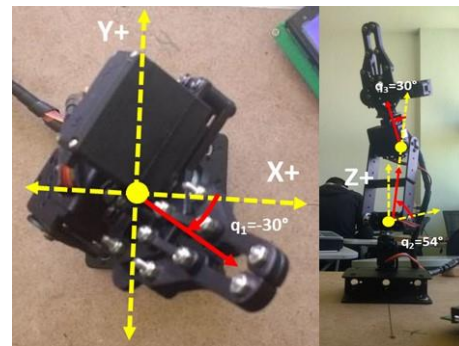
Por lo que la combinación de los resultados calculados a partir de la solución del problema cinemático directo, su procesamiento y adaptación, posibilitó contar con un dato adecuado y por tanto, la transferencia del mismo hacia el controlador de robot utilizado, es decir, la tarjeta electrónica Arduino UNO. Esta realizó la gestión de las señales eléctricas pertinentes a cada actuador según fuera la posición en específico a adquirir, con lo que para el punto determinado con los valores articulares propuestos en la figura 8a, se determinó el movimiento del robot según se aprecia en la figura 9.



**Figura 9** Componentes de posición en el extremo final del robot mediante la solución del problema cinemático directo

Fuente: *Elaboración Propia, 2018*

Fue así, que al emplear tales resultados de la solución del problema cinemático directa, es decir, las coordenadas de la posición alcanzada por el efector final del robot, como parámetros para la solución del problema cinemático inverso, fueron obtenidos los valores correspondientes a las variables articulares del robot que habían sido inicialmente ingresados para la solución del problema cinemático anterior, como se constata en la figura 8b exponiéndose el movimiento solicitado en los actuadores según la figura 10.



**Figura 10** Valores de las variables articulares del robot mediante la solución del problema cinemático inverso

Fuente: *Elaboración Propia, 2018*

Las tablas 3 y 4 exponen los resultados alcanzados a partir de la aplicación de la interfaz gráfica en la solución de los problemas cinemáticos, bajo la propuesta de seis conjuntos de valores para las variables articulares en cinemática directa, así como de seis coordenadas para el extremo final del robot mediante cinemática inversa, cuyos parámetros fueron los resultados dados por la primera.

No.	q1	q2	q3	px	py	pz
1	32	67	85	-8.06	-5.04	26.13
2	-30	54	30	6.85	-3.95	33.07
3	-12	-35	89	17.48	-3.72	15.40
4	-65	-10	-54	7.32	-15.71	-6.79
5	89	-5	-17	0.44	25.03	2.26
6	7	13	-34	24.71	3.03	5.85

**Tabla 3** Resultados de la solución del problema cinemático directo

Fuente: *Elaboración Propia, 2018*

No.	px	py	pz	q1	q2	q3
1	-8.06	-5.04	26.13	32	6	85
2	6.85	-3.95	33.07	-30	54	30
3	17.48	-3.72	15.40	-12	-35	89
4	7.32	-15.71	-6.79	-65	-75	54
5	0.44	25.03	2.26	89	-25	17
6	24.71	3.03	5.85	7	-27	34

**Tabla 4** Resultados de la solución del problema cinemático inverso

Fuente: *Elaboración Propia, 2018.*

Nótese que el reporte de los parámetros propuestos en las variables articulares engloba únicamente valores enteros positivos y negativos, esto es debido a que el servomotor opera estrictamente con valores enteros. Respecto a la posibilidad de ingresar, tanto valores positivos y negativos sin distinción, se realizó la adecuación para que de los 180° de movilidad que posee un servomotor ordinario, la mitad de tal rango de acción mantuviera la polaridad negativa, mientras la mitad restante trabajara con la polaridad positiva.

De esta manera se asegura el análisis del efecto dado una vez que son ingresados valores negativos, brindando además la posibilidad de trabajar en las dos orientaciones de cada eje del espacio coordinado. También puede observarse una discrepancia entre los datos calculados, la cual es ocasionada porque la solución del problema cinemático inverso realiza una distinción cuando la configuración robótica adopta una orientación de codo abajo o codo arriba, esta última fue empleada; pudiendo existir más de una combinación de valores articulares que permitan llevar al efector a una posición o coordenada específica.

Sin embargo, respecto a la libertad de orientación que podrá adquirir cada eje se sugiere verificar que los valores ingresados específicamente en el eje Z no sean o generen valores negativos, según el problema cinemático resuelto, pues aunque la solución matemática existe, de forma física se estará propiciando una coalición entre el robot y la base sobre la cual se encuentra soportado, al sobresalir las dimensiones de esta última de las correspondientes a la base.

## Conclusiones

El equipamiento industrial de las instituciones de educación superior, para el cumplimiento de los objetivos de las asignaturas impartidas dentro de los programas de estudios de corte ingenieril, si bien, resulta necesario para el desarrollo de las competencias necesarias en el alumno, no implica ser una razón definitiva para que los conocimientos amparados sean abordados meramente en forma teórica o parcialmente aplicados. Opciones como la planteada por este estudio brindan la posibilidad de llevar este tipo de conocimiento a la aplicación real, ya sea con disposición de tal equipamiento o como apoyo para el entendimiento de su función de manera previa a su operación.

La fundamentación de un prototipo desarrollado en los principios científicos que le rigen, provee el éxito en los resultados alcanzados, como en esta ocasión; donde el empleo de métodos sistemáticos del estudio de la robótica permitieron la deducción de los modelos matemáticos a partir de los cuales es posible realizar el posicionamiento de un robot en una localización específica dentro del espacio cartesiano.

Es así, que la solución de los problemas cinemáticos directo e inverso previamente analizados, implicaron el conocimiento de áreas de las ciencias básicas, como matemáticas y física, para hacer posible la determinación de comportamientos certeros que pudieron ser llevados a la realidad.

La combinación de los conocimientos de las ciencias básicas con áreas de la tecnología permitieron a su vez, no sólo el análisis formal de una estructura robótica, sino la construcción de un prototipo de pruebas físicas cuya manipulación fue posible a través de un controlador electrónico simple y económico, en comunicación real con una interfaz gráfica desarrollada en una aplicación por computadora, realizando la conjunción de áreas tan variadas como mecánica, electrónica, control y computación, base de la mecatrónica, disciplina a la que originalmente fue destinado el prototipo; sin embargo, está probado que su alcance puede ser mayor.

Por lo que resta resaltar que aun pese a disponer de dispositivos de fácil manejo fue posible la integración de una tarea compleja, por el grado de complementación y la gran cantidad de áreas de conocimiento incluidas, lo que puede significar el principio para la iniciación del alumno en el saber de los sistemas de manufactura flexible, aplicación común de los sistemas robóticos; siendo posible la escalabilidad del presente estudio.

## Agradecimiento

A los alumnos del Programa Educativo de TSU en Mecatrónica área Sistemas de Manufactura Flexible de la Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes (UTNA), generación 2016-2018, por ser el soporte para la aplicación de la metodología expuesta durante la impartición de clase; por aceptar el reto, compartir sus experiencias, inquietudes y puntos de mejora al respecto. Este aporte es para ustedes

## Referencias

Abele, E. (2007). *Modeling and identification of an industrial robot for machining applications*. CIRP Annals, 387-390.

Barrientos, A. (2007). *Fundamentos de robótica*. Madrid: McGraw-Hill.

- Birglen, L. (2018). *A statistical review of industrial robotic grippers*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 88-97.
- Björnsson, A. (2018). *Automated material handling in composite manufacturing using pick-and-place systems - a review*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 222-239.
- CGUTyP, C. G. (2002). *Políticas para la operación, desarrollo y consolidación del Subsistema de Universidades Tecnológicas*. Ciudad de México: CGUTyP-SEP-SES.
- CGUTyP, C. G. (2010). *Lineamientos de operación de los programas educativos por competencias profesionales*. Ciudad de México: CGUTyP-SEP-SES.
- Craig, J. (2006). *Robótica*. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Dixon, W. (2004). *Global robust output feedback tracking control of robot*. Robotica, 351-357.
- Dumas, C. (2011). *Joint stiffness identification of industrial serial robots*. Robotica, 649-659.
- Flores, P. (2009). *Trayectoria del modelo de Universidades Tecnológicas*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gasparic, M. (2017). *A graphical user interface for presenting integrated development environment command recommendations: desing, evaluation, and implementation*. Information and Software Technology, 236-255.
- Huang, Y. (2015). *Robust multi-robot coordination in pick-and-place tasks based on part-dispatching rules*. Robotics and Autonomous Systems, 70-83.
- INIFED, I. N. (2015). *Guía de operación del programa de construcción, equipamiento, mantenimiento y rehabilitación de infraestructura física de educación superior*. Ciudad de México: INIFED-SEP.
- Maloney, T. (2006). *Electrónica industrial moderna*. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Mann, M. (2017). *Minimally actuated serial robot*. Robotica, 408-426.
- Markus, E. (2016). *Coordination control of robot manipulators using flat outputs*. Robotics and Autonomous Systems, 169-176.
- Rodríguez, A. (2007). *Sistemas SCADA*. Ciudad de México: Alfaomega.
- Saha, K. S. (2010). *Introducción a la robótica*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Young, C.-P. (2016). *The spherical motion based on the inverse kinematics for a delta robot*. 2nd International Conference on Control, Automation and Robotics, 29-33.
- Zhang, D. (2017). *A review on model reference adaptative control of robotic manipulators*. Annual Reviews in Control, 188-198.



## Diseño y análisis estructural de componentes para una impresora en 3D

### Design and structural analysis of components for a 3D printer

LESDESMA-JAIME, Reynaldo†\*, ORTIZ-ROA, Arturo, MALDONADO-ECHEGOYEN, Rodrigo, FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Reynaldo, Ledesma-Jaime* / ORC ID: 0000-0001-9484-3305, Researcher ID Thomson: S-6786-2018, CVU CONACYT ID: 165239

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Arturo, Ortiz-Roa* / ORC ID: 0000-0003-0543-7810, Researcher ID Thomson: S-7642-2018, CVU CONACYT ID: 947387

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Rodrigo, Maldonado-Echegoyen* / ORC ID: 0000-0002-4827-4639, Researcher ID Thomson: S-8511-2018, CVU CONACYT ID: 334798

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Miguel Ángel, Ferrer-Almaraz* / ORC ID: 0000-0003-4913-4010, Researcher ID Thomson: S-6969-2018, CVU CONACYT ID: 342076

Recibido: 12 de Enero, 2018; Aceptado 28 de Febrero, 2018

#### Resumen

El proceso de impresión en 3 dimensiones (3D) consiste en producir formas simples o complejas de componentes mecánicos a partir de la deposición de material fundido sobre una superficie para que se replique la forma de un modelo sólido virtual en un modelo solidificado. Generalmente las piezas a imprimir se generan sobre una superficie caliente y/o en una cámara sellada a temperatura controlada. Como parte de una investigación sobre una impresora en 3D para elaboración de piezas de precisión, se reportan en este artículo algunos resultados obtenidos en lo que se refiere al diseño de algunos componentes, como parte de un proyecto de diseño en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, con el propósito de generar y transferir tecnología a microempresas locales que se dedican a trabajos de diseño y que requieren de equipo especializado para producir formas complejas en 3 dimensiones. En el presente trabajo se reportan algunos resultados sobre el análisis modal que se realizó al chasis de la impresora, también se incluyen análisis estático estructurales al soporte central del sistema de extrusión y al soporte principal de las piezas impresas, con el objetivo de determinar el tipo y combinación eficiente de componentes para dar soporte a las demás partes; deformaciones, resistencia límite y factor de seguridad fueron cuantificados para evaluar la integridad de dichos componentes durante el funcionamiento.

#### Impresión, 3D, Diseño, Análisis, Componentes

#### Abstract

The process of printing in 3 dimensions (3D) consists of producing simple or complex forms of mechanical components from the deposition of molten material on a surface so that the shape of a virtual solid model is replicated in a solidified model. Generally, the pieces to be printed are generated on a hot surface and / or in a sealed chamber at a controlled temperature. As part of a research on a 3D printer for the production of precision parts, some results obtained in terms of the design of some components are reported in this article, as part of a design project at the Technological University of the Southwest of Guanajuato, with the purpose of generating and transferring technology to local microenterprises that are engaged in design work and that require specialized equipment to produce complex shapes in 3 dimensions. In the present work some results are reported on the modal analysis that was made to the printer's chassis, structural static analysis is also included to the central support of the extrusion system and to the main support of the printed pieces, in order to determine the type and efficient combination of components to support the other parts; deformations, limit resistance and safety factor were quantified to evaluate the integrity of said components during operation.

#### Printing, 3D, Design, Analysis, Components

**Citación:** LESDESMA-JAIME, Reynaldo, ORTIZ-ROA, Arturo, MALDONADO-ECHEGOYEN, Rodrigo, FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel. Diseño y análisis estructural de componentes para una impresora en 3D. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018 2-5: 27-34

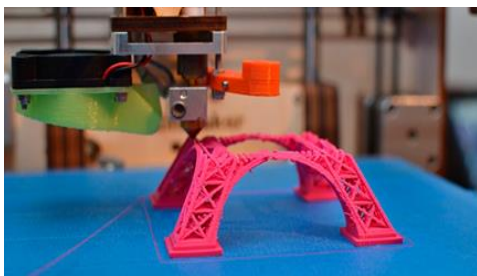
\* Correspondencia del Autor (correo electronico: rledesma@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En la actualidad la automatización es una de las maneras de agilizar y controlar los procesos de fabricación, aunado a una demanda creciente de trabajos más precisos y con menor tiempo conducen a establecer mecanismos automatizados que realicen trabajos repetitivos con control en la repetición de componentes.

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material (layers), para la creación o manufactura de componentes mecánicos de cierta utilidad (Figura 1).



**Figura 1** Proceso de impresión en 3D

Las impresoras 3D son relativamente rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos, así como de los materiales que se pueden trabajar. Actualmente se ha conseguido imprimir en una amplia gama de materiales, quedando fuera algunos de los más importantes en la ingeniería. Con estos dispositivos se ofrece la capacidad para imprimir partes y ensamblajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, y con un simple proceso de ensamble. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto. Impresión 3D, Wikipedia.

Tratándose de objetos impresos en tres dimensiones, tradicionalmente se utiliza una impresora que tiene como propósito incorporar material y fundirlo al instante para depositarlo en una superficie con capacidad limitada en el espacio tridimensional. Actualmente se puede imprimir en plástico, polvo de metal, chocolate, concreto, entre otros.

Auxiliándose de un dispositivo de fundición, el material base se transforma hasta un estado plástico y se deposita en una base, donde vuelve a solidificar para recuperar sus propiedades mecánicas.

Si el propósito en una empresa dedicada a la fabricación de objetos tridimensionales es conseguir alta productividad y buena precisión, se puede hacer uso de una gama muy basta de equipos de manufactura por diferentes principios: arranque de viruta, fundición, control numérico, etc., en los que se pueden trabajar piezas con buena precisión y resistencia. Sin embargo, con la impresión en tres dimensiones se pueden conseguir piezas funcionales a un costo moderado y sobre todo con muy poco tiempo de manufactura, lo que lo hace una muy buena alternativa para el prototipado rápido de sistemas mecánicos.

## Justificación

Dentro de los procesos de manufactura con los que cuenta la UTSOE los cuales son: Maquinado, Soldadura, Pailería, etc., se resalta la necesidad del proceso de fabricación de partes y prototipos en 3D, para geometrías más complejas que solo podrían ser posibles con múltiples operaciones con la ayuda de sistemas convencionales de manufactura tales como el torneado y fresado.

En cuanto a desarrollo tecnológico en este tema actualmente se aprecian dos variantes; el desarrollo de equipos de impresión industrial o de línea con marcas muy reconocidas y en diferentes capacidades, y el desarrollo de equipos caseros o desarrollados con cierta improvisación.

Los equipos industriales o de línea son muy costosos aunque brindan cierta confiabilidad y diferentes capacidades de trabajo, mientras que como una alternativa a la problemática de costos, se pueden conseguir algunas recomendaciones en sitios de internet para la fabricación de prototipos de impresoras en 3D caseros o hechos en casa, para los que resulta complicado implementar procesos de automatización y que para producir piezas complejas requieren de un gran número de ajustes de parte del operador, aunado a la restricción que presentan en cuanto a su capacidad que generalmente es reducida.

Por otro lado, la ubicación estratégica de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato conlleva una alta responsabilidad de satisfacer las necesidades del sector productivo de la región, mediante el desarrollo de tecnología, con la cual se enfrentan las demandas que la sociedad necesita. La mayoría de las investigaciones en esta área están basadas en equipos industriales, generalmente con pos procesadores de CNC o sistemas de posicionamiento y extrusores muy eficientes, por lo que se aprecia la oportunidad de desarrollar equipos de baja gama en cuanto a complejidad y de gran capacidad en cuanto a dimensiones, que permitan fabricar componentes con buena precisión y a bajo costo.

### Problema

En esta propuesta se contempla el diseño y fabricación de un prototipo de una impresora en 3D para su uso en el taller de las carreras de Mecánica e ingeniería en metalmecánica, sin escatimar en lo referente a repetitividad de procesos y precisión. De manera adicional se requiere que se puedan manipular los parámetros de trabajo, de tal manera que se pueden conseguir formas de alta complejidad.

Para tal efecto, se plantean como requisitos iniciales, tomados de la experiencia de personas que se dedican a este tipo de actividades, los siguientes: que sea operado por CNC, que utilice tres ejes de trabajo motorizados, y con dimensiones de bancada de 0.6 m por 0.6 m, y con una altura de 0.5 m.

### Objetivos

#### Objetivo General

Diseño, Fabricación y Puesta en marcha de una impresora en 3D con el propósito de fabricar componentes con buena precisión, repetitividad y de bajo costo.

#### Objetivos específicos

- Desarrollo de tecnología en el diseño, fabricación y puesta en marcha de impresoras.
- Transferencia de tecnología en el desarrollo de equipos de impresión.
- Generar mano de obra calificada en desarrollo de la tecnología.

### Marco Teórico

Actualmente un gran número de investigaciones reportadas sobre este tema, abordan situaciones concretas de este tipo de dispositivos, y la mayor parte de estas se centran en el diseño y fabricación, siempre para casos y/o necesidades muy concretos.

En un estudio realizado por Torres (2011), se reportaron los resultados de una investigación sobre una impresora en 3D, poniendo especial atención en el diseño de componentes, se explica paso a paso el proceso de diseño y construcción de la impresora 3D en los cuales se tienen en cuenta las variables y procesos necesarios para la óptima respuesta de la maquina en lo concerniente al acabado superficial de la pieza, tiempo de impresión, paradas de emergencia, entre otras.

Así mismo, Ramírez (2010), reporta resultados sobre el diseño, fabricación y caracterización de una impresora de bajo costo. En cambio, Kasparova (2013), documenta hallazgos sobre aplicaciones del uso de una impresora para impresión de prótesis dentales, si bien no trata sobre el diseño de componentes, si reporta resultados sobre la aplicación de estos dispositivos para fabricar prótesis con altos estándares de precisión.

Misma tendencia que reporta Domínguez (2013) en su análisis sobre la aplicación de impresoras para la fabricación de maquetas en el área de la arquitectura, donde no es significativa la precisión para el funcionamiento de las partes construidas, pero si lo es para cuestiones estéticas.

También se han reportado resultados sobresalientes en otros estudios referentes al diseño y análisis de impresoras en 3D, tal es el caso de Acuña (2014) que informa sobre detalles muy específicos sobre el diseño, construcción y prueba de una impresora con resultados sobresalientes. También incluye datos sobre el diseño de componentes, así como del análisis estructural por medio del método de elemento finito de un soporte para el extrusor.

Otras investigaciones, Balderrama (2014), reportan resultados tendientes a mejorar la calidad de los modelos impresos con el manejo de técnicas adicionales al proceso de impresión.

En la gran mayoría de estudios se observa el gran interés que existe por el diseño de dispositivos de impresión en 3D tendientes a ser más eficientes, mismo objetivo que se pretende conseguir con este proyecto, bajo un enfoque distinto.

### Metodología de Investigación

Para alcanzar los objetivos de la presente investigación se planteó una metodología sistemática y ordenada, la cual se describe a continuación.

### Tipo de Investigación

En este documento se reportan algunos resultados sobre el proyecto en base a una investigación del tipo *aplicada*, centrándose en la selección de componentes mecánicos y el análisis de estructural del puente de impresión y de la base portadora de piezas, con el propósito de obtener sus dimensiones finales. También se realizó el análisis modal del chasis de la impresora para conocer el comportamiento dinámico. Misma que fue soportada por una fuerte investigación *documental* respecto de los sistemas similares que ya existen en el mercado para este mismo fin.

También se puede afirmar, que de acuerdo a su naturaleza es una investigación en la que se pretende conseguir un resultado tendiente a diseñar una *solución* concreta para satisfacer una necesidad local surgida dentro de una actividad económica de bienes y servicios.

### Métodos Teóricos

El MEF ha adquirido una gran importancia en el diseño y análisis de elementos y/o sistemas mecánicos sometidos a cargas, en el campo de la ingeniería, de la física, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales. Esta situación permite ahora realizar prototipos virtuales, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que trae consigo un bajo costo tanto económico como en tiempo de desarrollo.

La técnica tradicionalmente utilizada por Solidworks® para el análisis por medio del MEF es de acuerdo a lo siguiente: pre-procesamiento, análisis, post-procesamiento y análisis de resultados.

En el pre-procesamiento se elabora el modelo de la estructura de la impresora y/o de sus sistemas, se le asignan materiales, se pasa al ambiente de análisis, se asignan cargas, condiciones de frontera y malla. Una vez hecho esto, se procede a ejecutar el análisis, no sin antes parametrizar las condiciones en base a las cuales el software lo va ejecutar, tipo de solver, tipo de elementos, entre otros. Posteriormente en el post-procesamiento, Solidworks® devuelve imágenes de la estructura en forma de mapas de colores, mostrando también la escala de valores de resultados, para esfuerzos de Von Mises, desplazamientos, deformaciones unitarias (strains) y factor de seguridad.

Por último, en la fase de análisis de resultados corresponde al encargado del proyecto analizar los resultados obtenidos y determinar si son satisfactorios de acuerdo a las condiciones de operación, de los materiales y de los requerimientos de los equipos durante el funcionamiento, y el cual requiere de la experiencia, habilidad y tiempo del especialista.

Por su parte, el análisis modal consiste en la determinación de las características dinámicas inherentes de un sistema en forma de frecuencias naturales, factores de amortiguamiento y las formas de modos, y se formula un modelo matemático para este comportamiento dinámico. El modelo matemático es referido al modelo modal del sistema y de la información de las características que nosotros sabemos esto es la información modal.

### Metodología de Desarrollo

En la propuesta inicial para el diseño y fabricación de una impresora en 3D se planteó el concepto como el mostrado en la figura 2.



**Figura 2** Diseño y fabricación de una impresora en 3D

De este sistema, se analizaron principalmente 3 sistemas: El puente de impresión, la base de la cama caliente y el chasis. Esto debido a que son los considerados como críticos en cuanto a resistencia durante la operación.

**Resultados**

Enseguida se describen los procedimientos de análisis por sistema, haciendo énfasis en las condiciones de operación y los resultados obtenidos.

**Análisis estático puente de impresión**

Para propósitos de análisis se utilizó el modelo mostrado en la Figura 3, el cual está formado por dos barras lisas que funcionan como guías del sistema extrusor, dos soportes laterales extremos para guiar el puente en el eje vertical, y por último, el puente del sistema extrusor. Las barras lisas se propusieron de acero aleado 52100, y para los demás componentes se usará placa de aluminio 1060. En el modelo también se aprecian dos motores a pasos y el sistema de extrusión, los cuales fueron excluidos para el análisis y en su lugar se contemplaron cargas estáticas, Figura 4.

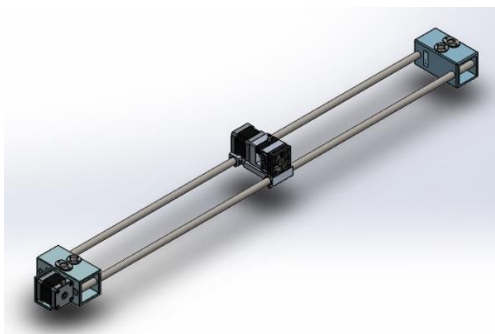


Figura 3 Modelo del puente de impresión

También en la figura 4, se indican los apoyos por los extremos, los cuales físicamente corresponden a dos barras roscadas que elevarán en puente en el eje vertical.

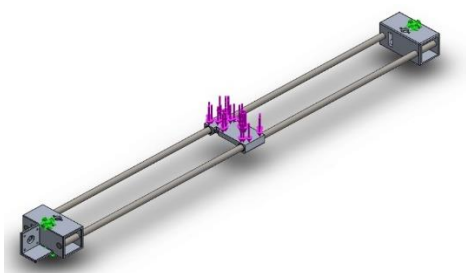


Figura 4 Esquema de cargas y apoyos

Una vez realizado el análisis por medio del Método de Elemento Finito, se obtuvieron los resultados mostrados enseguida. Para los esfuerzos de acuerdo a la Teoría de Von Mises en la figura 5, deformaciones totales en la Figura 6 y por último en la figura 7 se indica una distribución del factor de seguridad en todo el sistema y un acercamiento en la zona donde se ubica el factor de seguridad mínimo, Figura 7.

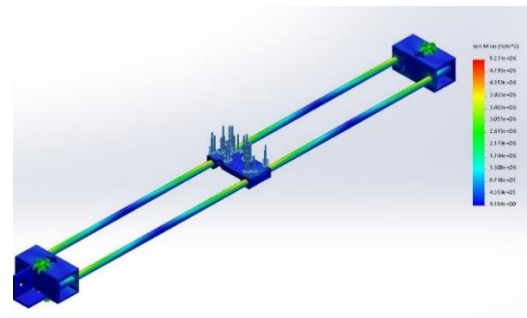


Figura 5 Distribución de esfuerzos de Von Mises

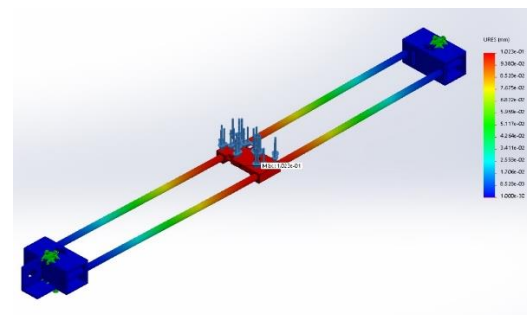


Figura 6 Deformaciones totales

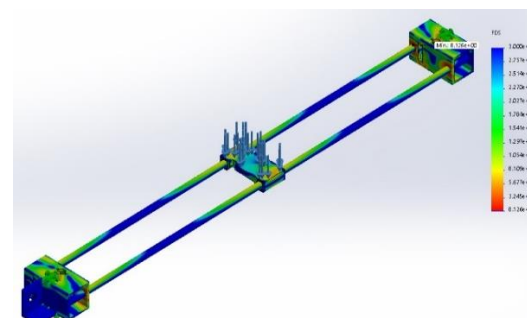


Figura 7 Factor de seguridad

Como se puede apreciar en las figuras, se tiene un factor de seguridad muy alto para este tipo de componentes, de 8.1, mismos que podrían trabajar de forma segura con factores de 1.5 a 2.0. Para este caso, se conservarán de esta manera tratando de conservar la proporcionalidad entre componentes y principalmente para mantener una buena precisión de impresión, debido a que las deformaciones mayores se encuentran en el límite máximo de 0.1 mm. Figura 8.

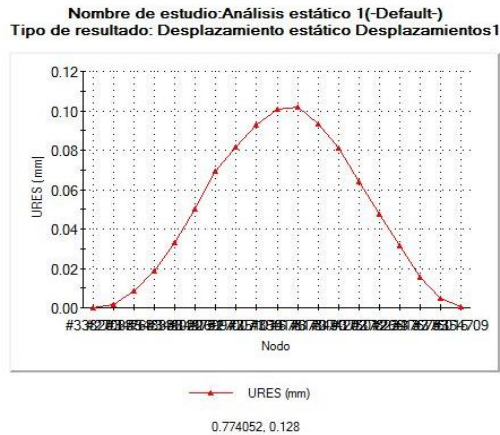


Figura 8 Deformaciones a lo largo de los ejes del puente

Se observa también que la zona de factor de seguridad mínimo se encuentra muy próxima a los apoyos en los extremos, lo que nos hace determinar que todos los componentes involucrados transfieren cargas de manera satisfactoria. Figura 9.

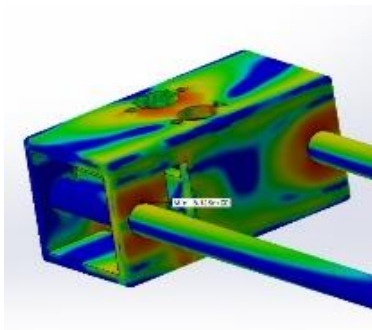


Figura 9 Zona de mínimo factor de seguridad

**Análisis estático base cama de impresión**

El modelo de la base móvil que servirá de soporte de la cama caliente y soportará el modelo impreso se muestra en la figura 10. Uno de los requisitos del diseño base fue el cubrir un área significativa de 60 cm por 60 cm de lado, para entrar en el rango de impresoras de gran formato. Debido a esto se requiere que para modelos de este tamaño no se presenten deformaciones por arriba de la precisión de 0.6 mm fijada como meta.

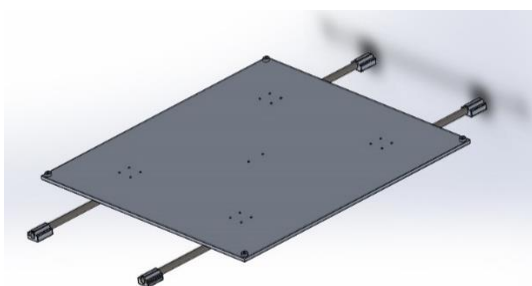


Figura 10 Modelo de la base de la cama caliente

Para el análisis estructural de este conjunto se consideró un peso de la pieza de 2 kg, y la plataforma se considera de placa de aluminio 1060 de 6 mm de espesor. La cama caliente se suspenderá sobre cuatro puntos sobre los vértices de la plataforma base.

Enseguida, en la figura 11 se incluye la distribución de los esfuerzos de Von Mises, los cuales se encuentran muy por debajo del límite elástico de los materiales.

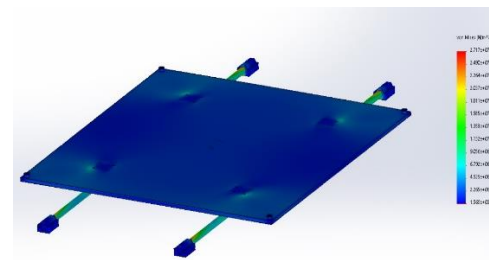


Figura 11 Esfuerzos de Von Mises

Uno de los datos más importantes es el correspondiente a las deformaciones presentes en la base, debido a que esta afectará en gran medida la precisión que se tenga en el proceso de impresión, así en la parte media con la carga estimada se tienen deformaciones máximas de 0.577 mm, lo que representa la precisión en el punto central de impresión. Ver Figura 12.

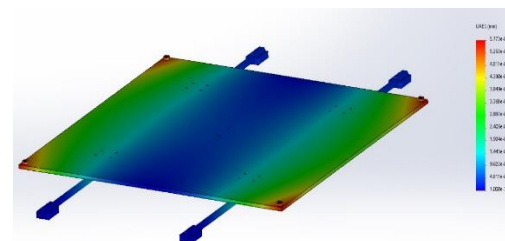


Figura 12 Distribución de deformaciones totales

La distribución de las deformaciones a lo largo de los ejes se muestra en la Figura 13.

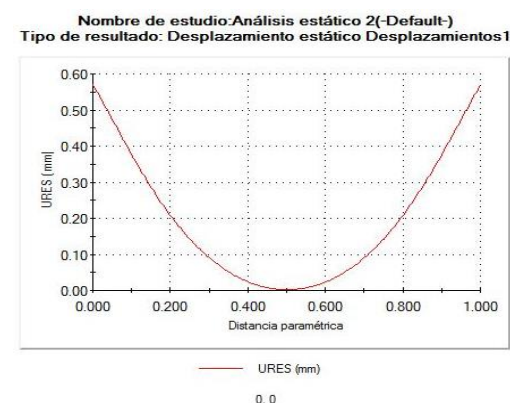


Figura 13 Distribución de deformaciones sobre el eje de desplazamiento

Así mismo, el factor de seguridad se encuentra en un mínimo de 1.2, lo que representa una buena capacidad de carga de esta base, aun teniendo posibilidades de mejora. Ver Figura 14.

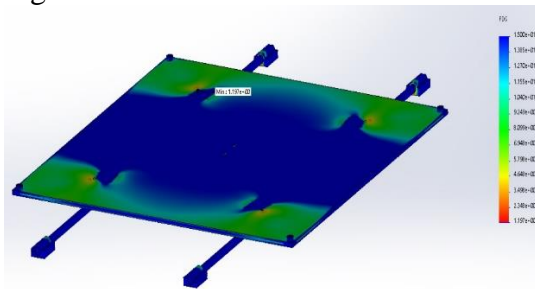


Figura 14 Factor de seguridad

**Análisis modal del chasis**

Durante el funcionamiento de la impresora se presentan movimientos lineales en tres ejes, y con la combinación de los cuales se sigue la trayectoria que marca el procesador para conformar las capas sucesivas y formar el modelo en 3D, la estructura estará sometida a fuerzas ocasionadas por la gravedad, y por la interacción entre componentes (partes y motores). De acuerdo con sus condiciones de operación se ve afectado por excitaciones con una frecuencia característica, las que al coincidir con una frecuencia natural del modelo ocasionaran el fenómeno de resonancia.

En Solidworks se utilizó la siguiente configuración para el análisis: 9 modos, de 0 a 100 Hz como rango de frecuencia, la estructura solo se consideró con apoyos y sin cargas de operación, y todos los contactos del tipo “rígido” para simular uniones atornilladas.

Las frecuencias naturales y algunos de los modos propios son mostrados en la Tabla 1 y en las Figuras 15 a 19. En estas imágenes también se muestran los valores de los desplazamientos totales de acuerdo a los modos correspondientes, que si bien están exagerados, muestran el comportamiento de la estructura.

No	Frecuencia, Hz	Periodo, s
1	16.425	0.060884
2	18.284	0.054692
3	36.119	0.027686
4	42.246	0.023671
5	45.411	0.022021
6	57.463	0.017403
7	67.892	0.014729
8	87.728	0.011399
9	94.76	0.010553

Tabla 1 Valores de frecuencias naturales del chasis

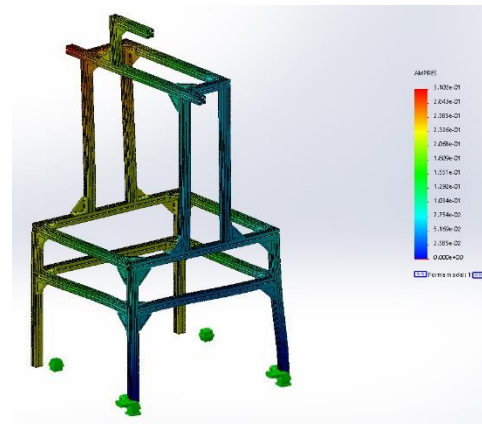


Figura 15 Modo 1. Flexión lateral trasera

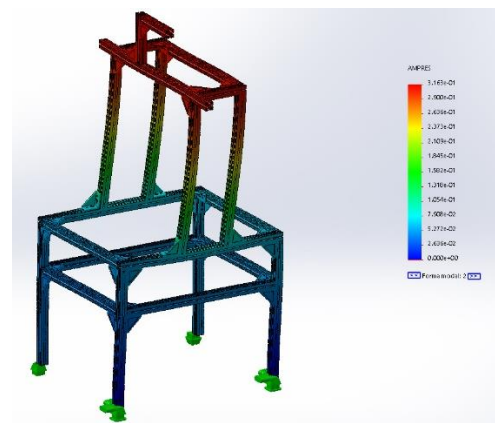


Figura 16 Modo 2. Flexión lateral superior

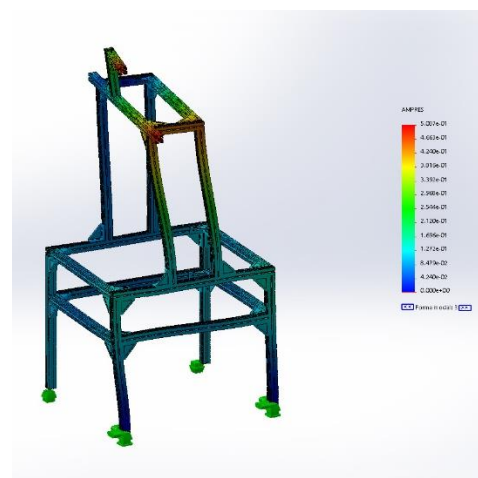


Figura 17 Modo 3. Flexión lateral frontal

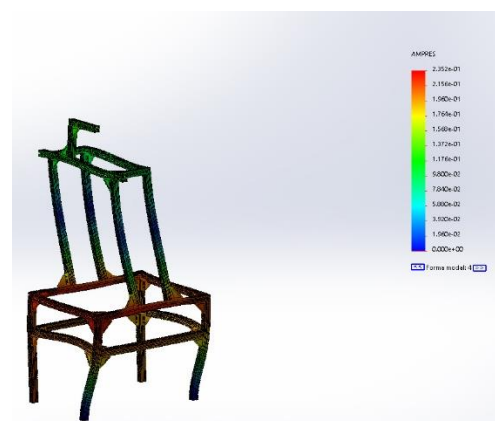
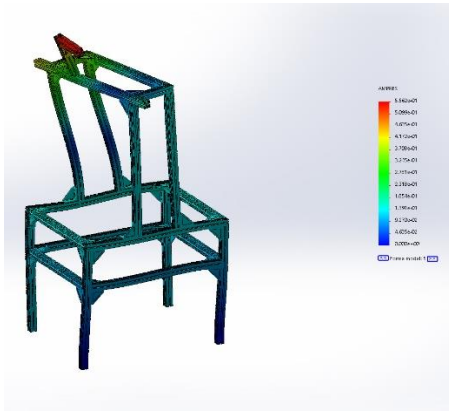


Figura 18 Modo 4. Flexión longitudinal media



**Figura 19** Modo 5. Flexión lateral extremo superior

En cuanto al análisis modal se cuantificaron las frecuencias naturales de la estructura, mismas que resultaron en valores altos, por encima de frecuencias ocasionadas por los accionamientos motorizados.

Para validar los datos obtenidos en esta prueba se deja como recomendación para trabajos futuros y una vez que se construya el prototipo, la realización de una prueba experimental de medición de frecuencias naturales en base a excitaciones comunes, lo que permitirá también descartar daños en las uniones de los componentes por los efectos del fenómeno de resonancia. En general se puede mencionar que el prototipo virtual obtenido tiene buen comportamiento bajo condiciones críticas de operación

## Conclusiones

En este trabajo se presentaron resultados preliminares sobre el diseño de componentes y sistemas de una impresora en 3D, haciendo énfasis en los análisis estructurales de dos de sus sistemas críticos durante la operación, así como del análisis modal del chasis.

Finalmente, de acuerdo a lo reportado en este artículo y a los resultados satisfactorios obtenidos de los análisis y de la ingeniería de detalle, que se desarrollaron haciendo uso de software especializado para el diseño mecánico, se considera que una impresora construida bajo estas especificaciones puede ser eficiente y segura para su operación en cuanto a resistencia e integridad estructural se refiere.

Si bien es cierto, algunos sistemas resultaron con factores de seguridad relativamente altos, y se tenía la posibilidad de reducir materiales, esto no se hizo para conservar la proporcionalidad física dimensional entre componentes.

Para trabajos futuros y que antecedan a la manufactura de los componentes del torno, resta por diseñar el sistema de control e interface CNC para el accionamiento de los motores a pasos en los tres ejes de desplazamiento, el motor para el extrusor y de los periféricos tales como la cama caliente y sistemas de seguridad en los recorridos.

## Referencias

Impresión 3D. En Wikipedia. Recuperado el 6 de agosto de 2018 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n\\_3D](https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D).

Torres Edgar A., León Jersson X., Torres Edwin. (2011). Diseño y construcción de una impresora 3d aplicando la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida. 3er Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica – UNAB.

Ramírez, Aaron Eduardo. 2010. Design, fabrication, and characterization of a low-cost flexural bearing based 3D printing tool head. Massachusetts Institute of Technology.

Kasparova Magdalena, Grafova Lucie, Dvorak Petr, Dostalova Tatjana, Prochazka Ales, Eliasova Hana, Prusa Josef and Kakawand Soroush. (2013). Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. BioMedical Engineering OnLine. 12:49.

Domínguez, I.A.; Romero, L.; Espinosa, M.M.; Domínguez, M. 2013. Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción. Revista de la Construcción, vol. 12, núm. 2, noviembre, 2013, pp. 39-53. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Acuña Fausto, Rivas David, Chancusi Susana, Navarrete Paúl. 2014. Diseño y Construcción de una Impresora 3D Autoreplicable Controlada Inalámbicamente para el Prototipado de Piezas Plásticas, mediante Software Libre.

Balderrama Omar, Matel S. Adriana, Cortes S. David. Torcuato B. Ernesto. 2014. Mejora de la superficie en objetos 3D impresos por inyección de aglutinante. Congreso Internacional de Investigación Academia Journals 2014. Volumen 6, No. 1, Juárez, Chihuahua, México.

LESDESMÁ-JAIME, Reynaldo, ORTIZ-ROA, Arturo, MALDONADO-ECHIGOYEN, Rodrigo, FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel. Diseño y análisis estructural de componentes para una impresora en 3D. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018



# Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

---

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

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

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

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

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

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

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

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

---

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

Objetivos  
Metodología  
Contribución

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

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

Objetivos  
Metodología  
Contribución

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

---

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

---

---

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del Artículo

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

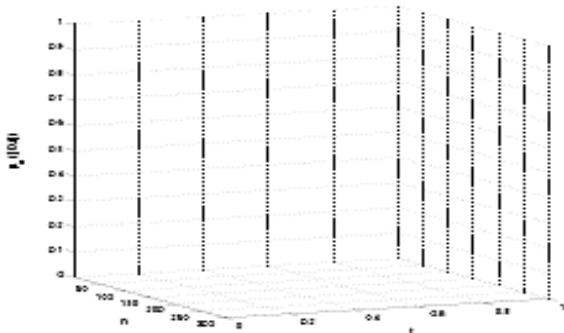
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

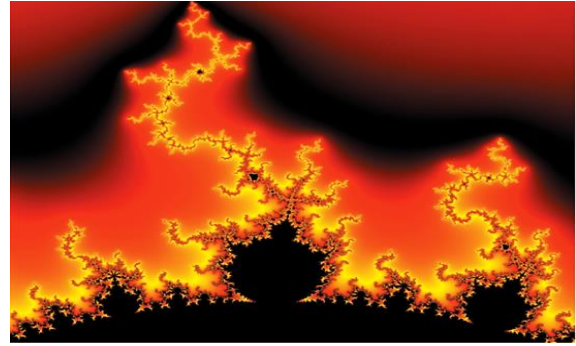
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

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



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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

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

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

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

## Metodología a desarrollar

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

## Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

## Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

## Agradecimiento

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

## Conclusiones

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

## Referencias

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

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

## Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

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

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

## **Reserva a la Política Editorial**

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

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

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

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

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

Título del Artículo:

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

## Copyright y Acceso

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

Título del Artículo:

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

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

### Responsabilidades del Editor

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

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

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

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

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

### Responsabilidades del Consejo Editorial

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

### Responsabilidades del Comité Arbitral

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

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

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

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

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

### **Responsabilidades de los Autores**

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

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

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

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

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

### **Servicios de Información**

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

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

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

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **Servicios Editoriales**

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

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

244 - 2 Itzopan Calle. La Florida, Ecatepec Municipio México Estado, 55120 Código postal, MX. Tel: +52 1 55 2024 3918, +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 4640 1298; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

## **ECORFAN®**

### **Editora en Jefe**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Redactor Principal**

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

### **Asistente Editorial**

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Editor Ejecutivo**

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

### **Editores de Producción**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Administración Empresarial**

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

### **Control de Producción**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Editores Asociados**

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

### **Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan ),sponsorships@ecorfan.org

### **Licencias del Sitio**

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

**Oficinas de Gestión**

244 - 2 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre – Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenida, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

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

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Camerún.

Avenida Suroeste, San Sebastian - León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 - Republique Démocratique du Congo.

Avenida San Quentin, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 kilómetros, carretera estadounidense, casa Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Capitán, CP-2060. Luque City- Paraguay.

Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán.



# Revista de Ingeniería Tecnológica

“Máquina de Inyección de Plástico 3R. INYECPET-3R”

**GONZÁLEZ-RAMOS, Alma, ALVAREZ-CANO, Susano, VARGAS-GOMEZ, Armando y IBAÑEZ-BAUTISTA, Juan**

*Universidad Tecnológica Fidel Velázquez*

“Diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor”

**FERRER-ALMARAZ, Miguel, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel y LEDESMA-JAIME, Reynaldo**

*Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato*

“Prototipo para análisis cinemático de configuración robótica angular”

**RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUIZ, Ricardo y GARCÍA-RODRÍGUEZ, Juan Carlos**

*Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes*

“Diseño y análisis estructural de componentes para una impresora en 3D”

**LEDESMA-JAIME, Reynaldo, ORTIZ-ROA, Arturo, MALDONADO-ECHEGOYEN, Rodrigo, FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel**

