

ISSN 2531-2189

Volumen 2, Número 7 — Julio — Septiembre - 2018

Revista de Ingeniería Mecánica

ECORFAN®

ECORFAN-Spain

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

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Revista de Ingeniería Mecánica Volumen 2, Número 7, de Julio a Septiembre - 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Morazarzal -Madrid. WEB:

www.ecorfan.org/spain, revista@ecorfan.org.
Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD, Co-Editor: MIRANDA-GARCÍA, Marta. PhD, ISSN: 2531-2189. Responsables de la última actualización de este número de la Unidadde Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 30 de Septiembre de 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 Centro Español de Ciencia y Tecnología.

Revista de Ingeniería Mecánica

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 Construcción de puentes, Desarrollo de la ingeniería ambiental, Gestión en construcción de viviendas, Infraestructura hidráulicas Mecánica de suelos, Ingeniería sanitaria, Infraestructura vial

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 Mecánica es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Spain, 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 Construcción de puentes, Desarrollo de la ingeniería ambiental, Gestión en construcción de viviendas, Infraestructura hidráulicas Mecánica de suelos, Ingeniería sanitaria, Infraestructura vial con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias 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 - ÁLVEREZ, 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 Mecánica emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadadas 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 Spain considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra

Declaración de Autoría

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

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

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

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

Detección de Plagio

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

Proceso de Arbitraje

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

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Construcción de puentes, Desarrollo de la ingeniería ambiental, Gestión en construcción de viviendas, Infraestructura hidráulicas, Mecánica de suelos, Ingeniería sanitaria, Infraestructura vial y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología

Presentación del Contenido

Como primer capítulo presentamos, *Sistema de refrigeración para unidad móvil de almacenamiento de tracto camión utilizando calor residual de los gases de combustión del motor*, por VALLE-HERNANDEZ, Julio, MORALES-ORTEGA, Edgar Enrique, NIETO-PEÑA, Alejandra y ROMAN-AGUILAR, Raúl, con adscripción en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo & Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo, como segundo capítulo presentamos, *Análisis del comportamiento de un eyector para aplicaciones de refrigeración utilizando CFD*, por ROMÁN-AGUILAR, Raúl, HERNÁNDEZ-GUTIERREZ, Jorge Isaac, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio y FARFAN-FLORES, Daniel, con adscripción en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y el Instituto de Energías Renovables, como tercer artículo presentamos, *Diseño virtual y paramétrico de leva y seguidor*, por JIMÉNEZ-RABIELA, Homero, VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Benjamín, GARCÍA-SEGURA, Pedro y BRAVO-ACOSTA, Adrian Gustavo, con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana, como cuarto artículo presentamos, *Análisis comparativo de un sistema de ventilación forzada utilizado en un invernadero tipo baticenital considerando su colocación, Inyector – Extractor*, por FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe, VACA-ROSAS, Jose Miguel, PAREDES-VAZQUEZ, Cesar Paul y RANGEL-SANCHEZ, Jorge, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas.

Contenido

Artículo	Página
Sistema de refrigeración para unidad móvil de almacenamiento de tracto camión utilizando calor residual de los gases de combustión del motor VALLE-HERNANDEZ, Julio, MORALES-ORTEGA, Edgar Enrique, NIETO-PEÑA, Alejandra y ROMAN-AGUILAR, Raúl <i>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo</i> <i>Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo</i>	1-7
Análisis del comportamiento de un eyector para aplicaciones de refrigeración utilizando CFD ROMÁN-AGUILAR, Raúl, HERNÁNDEZ-GUTIERREZ, Jorge Isaac, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio y FARFAN-FLORES, Daniel <i>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo</i> <i>Instituto de Energías Renovables</i>	8-12
Diseño virtual y paramétrico de leva y seguidor JIMÉNEZ-RABIELA, Homero, VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Benjamín, GARCÍA-SEGURA, Pedro y BRAVO-ACOSTA, Adrian Gustavo <i>Universidad Autónoma Metropolitana</i>	13-20
Análisis comparativo de un sistema de ventilación forzada utilizado en un invernadero tipo baticenital considerando su colocación, Inyector – Extractor FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe, VACA-ROSAS, Jose Miguel, PAREDES-VAZQUEZ, Cesar Paul y RANGEL-SANCHEZ, Jorge <i>Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas</i>	21-29

Sistema de refrigeración para unidad móvil de almacenamiento de tracto camión utilizando calor residual de los gases de combustión del motor

Refrigeration system for mobile truck storage unit using waste heat from engine combustion gases

VALLE-HERNANDEZ, Julio†*, MORALES-ORTEGA, Edgar Enrique, NIETO-PEÑA, Alejandra y ROMAN-AGUILAR, Raúl

*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Escuela Superior de Apan
Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo*

ID 1^{er} Autor: *Julio, Valle-Hernández* / ORC ID: 0000-0001-8957-0066, Researcher ID Thomson: O-7339-2018, CVU CONACYT ID: 210743

ID 1^{er} Coautor: *Edgar Enrique, Morales-Ortega* / ORC ID: 0000-0001-8317-3473, Researcher ID Thomson: O-7876-2018

ID 2^{do} Coautor: *Alejandra, Nieto-Peña* / ORC ID: 0000-0001-8683-0280, Researcher ID Thomson: O-7383-2018

ID 3^{er} Coautor: *Raúl, Roman-Aguilar*

Recibido 08 Julio, 2018; Aceptado 12 Septiembre, 2018

Resumen

El transporte de productos perecederos es parte fundamental de la cadena de suministro de alimentos. Entre los medios de transporte refrigerado se encuentra el tracto camión equipado con unidad de producción de frío, que utiliza un sistema de compresión de vapor para realizar este trabajo, con un elevado consumo de energía, que implica un alto costo económico y ambiental. Los sistemas de refrigeración por absorción son considerados como una alternativa ecológica para la refrigeración de productos perecederos y el acondicionamiento de edificaciones, al sustituir un componente de compresión mecánica por uno de compresión térmica. En este trabajo se presenta el diseño, modelado matemático y análisis energético de un sistema de refrigeración por absorción acoplado a una cámara refrigerada de tracto camión, para el transporte de carne de pollo, que utiliza como fuente de energía térmica el calor residual de los gases de combustión del motor. En los resultados se muestra la carga térmica asociada al proceso de refrigeración, así como los balances de energía de los sistemas integrados.

Refrigeración por Absorción, Calor residual, Análisis Energético

Abstract

The transport of perishable products is a fundamental part of the food supply chain. Among the variety of refrigerated transport means is the truck tract equipped with cold production unit that uses a steam compression system to perform this work, with a high energy consumption, which implies a high economic and environmental cost. Absorption refrigeration systems are currently considered as an ecological alternative for cooling products and building conditioning by replacing a mechanical compression component with one of thermal compression. This work presents the design, mathematical modeling and energy analysis of a refrigeration system by absorption, applied to the transport of chicken meat by a refrigerated tract truck that uses as a source of thermal energy the residual heat of engine combustion gases. The results show the thermal load associated with the cooling process, as well as the energy balances of the integrated systems.

Absorption Refrigeration, Waste Heat, Energy Analysis

Citación: VALLE-HERNANDEZ, Julio, MORALES-ORTEGA, Edgar Enrique, NIETO-PEÑA, Alejandra y ROMAN-AGUILAR, Raúl. Sistema de refrigeración para unidad móvil de almacenamiento de tracto camión utilizando calor residual de los gases de combustión del motor. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-7: 1-7.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: julio_valle@uaeh.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El transporte es un eslabón importante en la cadena de frío, al surgir la necesidad de transportar alimentos perecederos a mercados lejanos sin que se descompongan, pues de otra manera la venta de estos productos se restringiría al lugar donde se originaron (Medina Ramírez, 2009). Los sistemas de compresión de vapor son la tecnología más común de refrigeración para el traslado de alimentos perecederos dentro de cajas refrigeradas de tracto-camión, debido a su disponibilidad y manejo de temperaturas. Sin embargo, este tipo de sistemas requiere gran cantidad de energía para realizar el trabajo de compresión, implicando un alto costo económico y ambiental, siendo la quema de combustible fósil la fuente primaria de obtención de energía.

Dada la problemática anterior, el estudio y uso de nuevas tecnologías de generación de energía para sistemas de refrigeración, que permita el uso eficiente y/o renovable de energía, tiene un gran potencial a corto y mediano plazo. En el presente trabajo se propone aprovechar el calor residual proveniente de los gases de combustión del motor diésel de un tracto camión, que transporta alimentos perecederos refrigerados, como fuente de energía para el sistema de refrigeración, reduciendo el costo de combustible y la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera.

Metodología

Para determinar la factibilidad del diseño propuesto, éste se desarrollo en tres partes. La primera parte consiste en determinar las cargas térmicas asociadas al proceso de refrigeración, y con ellas determinar la cantidad de calor que debe remover el sistema de refrigeración.

Una vez determinada la cantidad de calor a extraer de la camara frigorífica, se desarrolla el sistema de refrigeración por absorción que alcance la capacidad máxima requerida.

En la tercera parte, se determina la energía térmica suministrada por los gases de combustión del motor y se compara con la requerida por el sistema de refrigeración por absorción.

Cargas térmicas y análisis energético de la camara frigorífica

Para determinar el calor que debe extraer el sistema de refrigeración se consideraron cargas térmicas del producto a refrigerar, así como los materiales de aislamiento para una caja refrigerada de tracto-camión.

Carga térmica generada por producto

Para calcular estas cargas térmicas se debe especificar el tipo de perecedero que se va a transportar. Para este trabajo se consideraron propiedades termodinámicas de carne de pollo, mostradas en la Tabla 1. La carga térmica por producto se calcula como:

$$Q_{sensible} = \frac{m}{t} * C_p * \Delta T \quad (1)$$

Dónde:

$Q_{sensible}$ = Calor extraído [kW]

m = Masa del producto [kg]

t = Tiempo de traslado [seg]

C_p = Calor específico arriba o debajo del punto de congelación [KJ/kg K]

ΔT = Diferencia de temperatura [K]

Propiedades termodinámicas de la carne de pollo	
Calor específico abajo del punto de congelación	1.77 kJ/kgK
Calor específico arriba del punto de congelación	3.320 kJ/kgK
Calor latente	246.556 kJ/kg
Contenido de agua	74%
Punto más alto de congelación	270K

Tabla 1 Propiedades termodinámicas de la carne de pollo
Fuente: Elaboración propia

Carga térmica generada por transmisión a través de paredes

Este concepto se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = A * U * \Delta T \quad (2)$$

Donde:

Q = Calor total de transmisión a través de las paredes [W]

A = Área de exposición [m²]

ΔT = Diferencial de temperatura entre la temperatura interior y exterior [K]

U = Coeficiente global de transferencia de calor [W/m²K], calculado como:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_n}{k_n} + \frac{1}{f_e}} \quad (3)$$

Donde:

f_i = Coeficiente de convección al interior [W/m²K]

f_e = Coeficiente de convección al exterior [W/m²K]

e = Espesor del aislante (76.2 mm)

k = Conductividad térmica del poliuretano, aislante (0.0245 W/m K)

Para el cálculo de carga térmica por transmisión de paredes se consideraron las condiciones ambientales de la ciudad de Durango, entidad principal productor de carne de pollo en México. Dichas condiciones ambientales se muestran en la tabla 2:

Mes	T. Media	T. Máx	T. Mím	V. Viento	Media
Enero	12.5 °C	25	-5 °C	9.3 km/h	
Febrero	13.7 °C	29	-1 °C	9.5 km/h	
Marzo	14.5 °C	27	1 °C	11.2 km/h	
Abril	20 °C	29	3 °C	14.7 km/h	
Mayo	22.6 °C	32	5 °C	14 km/h	
Junio	21.6 °C	33	10 °C	9.2 km/h	
Julio	20.8 °C	29	11 °C	8.1 km/h	
Agosto	22.2 °C	30	8 °C	9.5 km/h	
Septiembre	21.5 °C	31	7 °C	8.1 km/h	
Octubre	19.1 °C	29	3 °C	9.4 km/h	
Noviembre	18.1 °C	29	-2 °C	8.3 km/h	
Diciembre	14.1 °C	27	-6 °C	12.9 km/h	

Tabla 2 Condiciones ambientales de la ciudad de Durango
Fuente: *Meteored, 2018*

Cálculo de los Coeficientes convectivos

Para el cálculo de los coeficientes convectivo de remoción de calor, en este caso por el aire en contacto con la caja refrigerada de tracto camión, se tomaron en cuenta las propiedades termodinámicas del aire a presión constante y diferentes condiciones de temperatura que se muestran en la Tabla 3.

Propiedades del aire a 1 atm de presión				
Temperatura [°C]	Densidad [kg/m ³]	Viscosidad cinemática [m ² /s]	Conductividad térmica [W/m ² k]	# Prandtl
5	1.269	0.00001382	0.02401	0.735
10	1.246	0.00001426	0.02439	0.7336
15	1.225	0.0000147	0.02476	0.7323
20	1.204	0.00001516	0.02514	0.7309
25	1.184	0.00001562	0.02551	0.7296
30	1.164	0.00001608	0.02588	0.7282
35	1.145	0.00001655	0.02625	0.7268
40	1.127	0.00001702	0.02662	0.7255

Tabla 3 Propiedades del aire

Fuente: *Cengel & Cimbala, Mecánica de Fluidos Fundamentos y aplicaciones, 2006*

El cálculo de coeficiente convectivo se llevó a cabo mediante la metodología del coeficiente adimensional de transferencia de calor, partiendo del número de Nusselt que está relacionado mediante la siguiente expresión:

$$Nu = \frac{q_{conv}}{q_{cond}} = \frac{hL}{k} \quad (4)$$

Donde:

k = Conductividad térmica del fluido [W/mK]

L = longitud característica [m]

h = Convectividad térmica del fluido [W/m²K]

Osborn Reynolds estableció el número adimensional de Reynolds (Re) como el parámetro clave para determinar el régimen de flujo, el cual está dado por la siguiente formula:

$$Re = \frac{\text{Fuerza inercial}}{\text{Fuerza viscosa}} = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu} \quad (5)$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido [kg/m³]

V = Velocidad del fluido [m/s]

L = longitud característica [m]

μ = Viscosidad dinámica [kg/ms]

ν = Viscosidad cinemática [m²/s]

El número de Prandtl (Pr) es considerado como un número adimensional, que va en proporción al cociente entre la difusividad de momento, conocida como viscosidad y la difusividad térmica.

$$Pr = \frac{\text{Difusión viscosa}}{\text{Difusión térmica}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (6)$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática [m²/s]

α = Difusividad térmica [m²/s]

μ = Viscosidad dinámica [kg/ms]

C_p = Calor específico [J/kgK]

k = Conductividad térmica del fluido [W/mK]

Para el cálculo del número de Nusselt, relacionando el número de Reynolds y Prandtl sobre una placa plana horizontal en región turbulenta está dado por la siguiente formula:

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.37 Re_L^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

$$0.6 \leq Pr \leq 60 \quad 5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^7$$

Diseño del Sistema de Refrigeración por absorción

Descripción del proceso de refrigeración

Un sistema de refrigeración por absorción es similar a uno por compresión de vapor, en donde el refrigerante una vez que fue comprimido fluye por un condensador, una válvula de expansión y un evaporador, sólo que la etapa de compresión se realiza mediante un proceso térmico, en lugar de uno mecánico. Es decir el compresor es sustituido por un sistema integrado por un generador, una válvula de expansión, un absorbedor y una bomba de recirculación, como se muestra en la Figura 1.

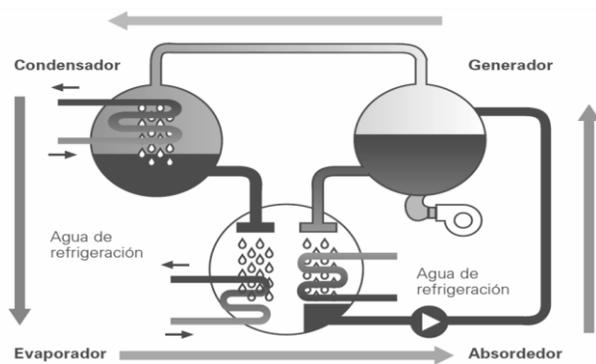


Figura 1 Etapa de Compresión de un sistema de refrigeración por absorción

Fuente: Dirección de Desarrollo Aplicaciones Distribución Gas Natural SDG, S. A., 1999

En el generador se produce un aumento de la temperatura de la solución refrigerante-absorbente (amoniaco- agua), debido al calor transferido desde una fuente de energía externa, produciendo la separación de estos por sus diferentes temperaturas de evaporación. Quedando en el generador una solución líquida pobre en refrigerante que fluye a través de una válvula de expansión hacia el absorbedor.

El refrigerante liberado (amoniaco), en estado gaseoso a alta presión pasa al condensador donde es condensado, y después a la válvula de expansión donde sufre una caída de presión así como una disminución de temperatura. El flujo de refrigerante a baja presión y temperatura ingresa a la zona a enfriar, donde se evapora al extraer la energía, produciendo el efecto frigorífico.

En el absorbedor el vapor refrigerante (amoniaco), proveniente de la etapa de refrigeración, es absorbido mediante un proceso exotérmico por la solución pobre en refrigerante, volviendo a formarse la solución refrigerante-absorbente que es bombeada al generador, completando el ciclo.

El trabajo consumido por el ciclo es únicamente el necesario para hacer funcionar la bomba, siendo menor que el trabajo requerido por el compresor en un sistema de refrigeración convencional.

Análisis termodinámico del sistema

En la Figura 2 se muestra el diagrama del sistema de refrigeración por absorción.

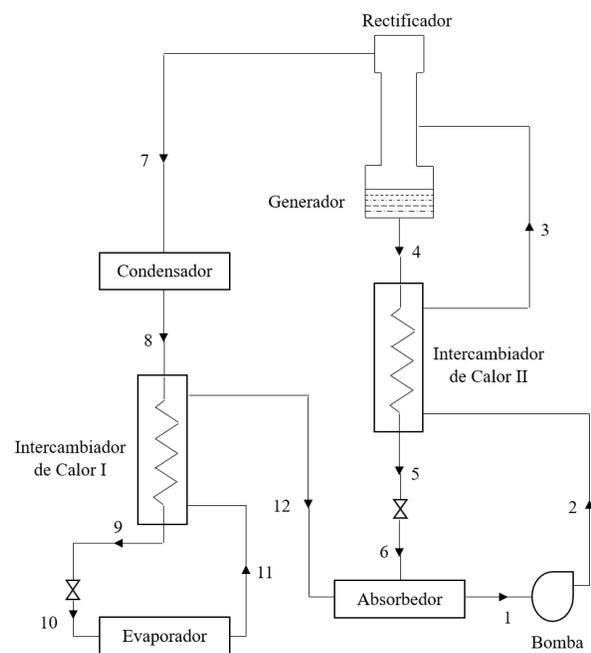


Figura 2 Diagrama esquemático del sistema de refrigeración por absorción

Fuente: Elaboración Propia

En base al diagrama de la figura 2, se realizaron los balances de masa y energía en cada uno de los componentes que conforman al sistema.

Intercambiador de calor I

$$m_8 h_8 + m_{11} h_{11} = m_9 h_9 + m_{12} h_{12} \quad (8)$$

$$m_9 h_9 = m_{10} h_{10} \quad (9)$$

$$m_{10} h_{10} + Q_E = m_{11} h_{11} \rightarrow m_{10} h_{10} = m_{11} h_{11} - Q_E \quad (10)$$

$$m_9 h_9 = m_{11} h_{11} - Q_E \quad (11)$$

$$\begin{aligned} m_8 h_8 + m_{11} h_{11} &= m_{11} h_{11} - Q_E + m_{12} h_{12} \rightarrow \\ m_8 h_8 + Q_E &= m_{12} h_{12} \end{aligned} \quad (12)$$

$$m_8 = m_{12} \quad (13)$$

$$m_8 = \frac{Q_E}{h_{12} - h_8} \quad (14)$$

Evaporador

$$m_{10} h_{10} + Q_E = m_{11} h_{11} \quad (15)$$

$$m_{10} = m_{11} \quad (16)$$

$$h_{11} = h_{10} + \frac{Q_E}{m_{11}} \quad (17)$$

Absorbedor

$$m_{12} X_{12} + m_6 X_6 = m_1 X_1 \quad (18)$$

$$m_{12} + m_6 = m_1 \quad (19)$$

$$\begin{aligned} m_{12} X_{12} + m_6 X_6 &= (m_{12} + m_6) X_1 \rightarrow \\ m_{12} X_{12} + m_6 X_6 &= m_{12} X_1 + m_6 X_1 \end{aligned} \quad (20)$$

$$m_{12} (X_{12} - X_1) = m_6 (X_1 - X_6) \quad (21)$$

$$m_6 = \frac{m_{12} (X_{12} - X_1)}{X_1 - X_6} \quad (22)$$

Intercambiador de calor II

$$m_4 h_4 + m_2 h_2 = m_5 h_5 + m_3 h_3 \quad (23)$$

$$m_4 = m_5 \quad (24)$$

$$m_2 = m_3 \quad (25)$$

$$m_5 (h_5 - h_4) = m_2 (h_2 - h_3) \quad (26)$$

$$h_5 = \frac{m_2 (h_2 - h_3)}{m_5} + h_4 \quad (27)$$

Condensador

$$m_7 = m_8 \quad (28)$$

$$X_7 = X_8 \quad (29)$$

$$Q_C = m_8 (h_8 - h_7) \quad (30)$$

Siendo m el flujo másico en [Kg/s], h la entalpía en [KJ/Kg], X la concentración de refrigerante y Q el flujo de calor en [KW].

Los subíndices numéricos indican el punto en el diagrama de la Figura 2 en que se está, y las letras C y E si se trata del condensador o el evaporador, respectivamente.

Recuperación del calor residual de los gases de combustión

La recuperación de calor residual que se pierde durante un proceso puede ser utilizado como fuente de energía térmica. Mientras mayor sea la temperatura de la fuente de calor residual, mayor será el potencial de aprovechamiento de dicho calor. Un ejemplo claro de la pérdida de calor en un proceso, es la que se da en la expulsión de los gases de combustión de un motor diésel debido a las altas temperaturas con las que se expulsan. Esta energía será aprovechada por el sistema de refrigeración por absorción. En la tabla 4 se muestra el balance térmico de motores de combustión interna para combustible Diésel reportada por Santiago Sanz en 2007:

Componente del balance térmico	Motor Diésel (%)
Calor equivalente al trabajo efectivo	30
Calor cedido al refrigerante	30
Calor en los gases de escape	30
Fricción y Radiación	10

Tabla 4 Balance térmico del motor diésel.

Fuente: Sanz, 2007

A partir de los datos proporcionados por la tabla 4, se observa que el 30 % del calor disponible por un motor diésel de combustión interna corresponde a los gases de escape. Este calor residual puede obtenerse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{gases} = 0.3 * CV * \dot{m} \quad (31)$$

Donde:

CV = Valor calorífico del combustible (42.8 MJ/kg)

\dot{m} = Flujo másico del combustible

Resultados

Coefficientes convectivos

El cálculo de coeficiente convectivo se realizó con respecto a diferentes velocidades a las cuales pueda moverse el tracto camión. En el grafico siguiente se muestran los resultados obtenidos de coeficiente convectivo a diferentes condiciones de velocidad.

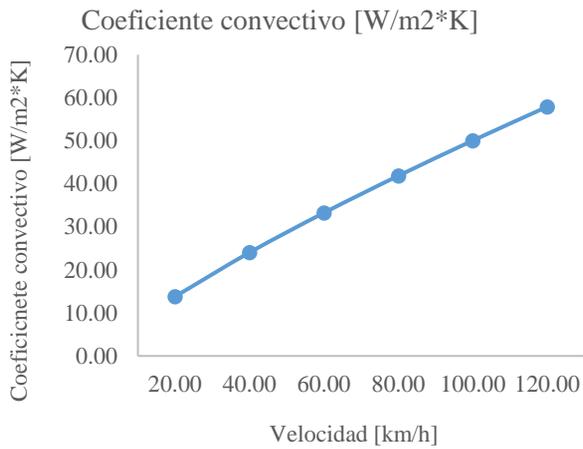


Gráfico 1 Coeficiente convectivo respecto a diferentes condiciones de velocidad

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 1 se observa que el coeficiente convectivo de transferencia de calor aumenta proporcionalmente con la velocidad a la que circule el tracto-camión. Para el análisis energético se consideró una velocidad media de 80 Km/h, con un respectivo $h_{conv} = 42 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Cargas térmicas

Los resultados de cargas térmicas para cada mes del año, obtenidas para diferentes condiciones ambientales en la ciudad de Durango, se muestran en el siguiente gráfico:

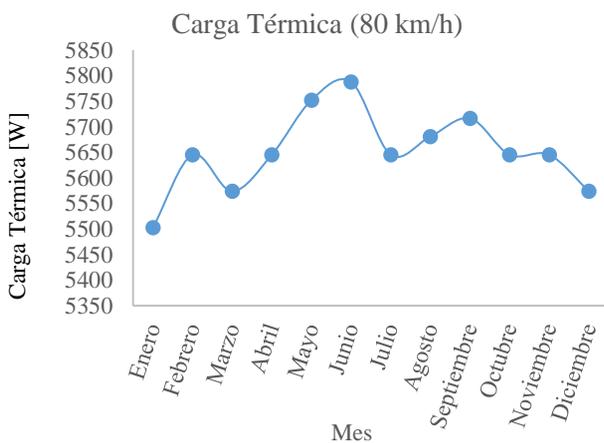


Gráfico 2 Cargas térmicas mensuales a condiciones de velocidad promedio de 80 km/h

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 2 se observa que la mayor carga térmica se tiene en el mes de junio, debido a las altas temperaturas de la región, la cual resultó de 5.8 KW. Hay que tomar en cuenta que este valor se obtuvo considerando que el camión refrigerado se mueve a una velocidad promedio de 80Km/h, y a condiciones de temperatura máxima.

Sistema de refrigeración

Para nuestro caso de estudio, se realizó el análisis a condiciones de operación máxima, por lo que se considera la carga térmica del mes de junio que presenta el valor más alto del año. Los valores obtenidos de entalpía (h), flujo másico (m), presión (P), temperatura (T), y concentración de refrigerante (X), requeridos para el balance energético del sistema de refrigeración por absorción se muestra en la tabla 5.

	h [KJ/Kg]	m [Kg/s]	P [KPa]	T [K]	X
1	-91.72	0.01761	3.55	306.1	0.4754
2	-90.42	0.01761	12.75	306.3	0.4754
3	157.6	0.01761	12.75	353.4	0.4754
4	346.8	0.01274	12.75	393.1	0.2747
5	3.9	0.01274	12.75	315.2	0.2747
6	3.9	0.01274	3.55	315.4	0.2747
7	1292	0.004871	12.75	306.1	1
8	156.4	0.004871	12.75	306.1	1
9	74.14	0.004871	12.75	289	1
10	74.14	0.004871	3.55	268.2	0.9999
11	1263	0.004871	3.55	268.1	1
12	1345	0.004871	3.55	302.2	1

Tabla 5 Estados termodinámicos del sistema de absorción

Fuente: Elaboración Propia

Utilizando las ecuaciones (8) a (30), con los datos obtenidos para las entalpías, flujos másicos y concentración de refrigerante en cada uno de los puntos de operación del sistema de refrigeración por absorción, se calcularon los diferentes flujos de calor y el trabajo de la bomba. Los resultados del balance energético se presentan en la tabla 6.

W_{bomba}	- 0.02295 kW
$Q_{generador}$	- 8.825 kW
$Q_{condensador}$	5.532 kW
$Q_{evaporador}$	-5.79 kW
$Q_{absorbador}$	8.2113 kW
$Q_{rectificador}$	0.8897 kW

Tabla 6 Resultados del balance energético del sistema de absorción

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 6, puede observarse que el calor extraído en el evaporador es igual a la carga térmica máxima que se requiere abatir en la cámara frigorífica. Lo que nos asegura que el sistema de refrigeración por absorción tiene la capacidad requerida. El calor requerido por el generador resultó de 8.8 KW, que debe ser suministrado por los gases de combustión del motor.

Recuperación del calor residual de gases de combustión

Para el análisis se consideró un tracto-camión de 30 toneladas, con un rendimiento de 2.8 Km/l, viajando a 80 Km/h. Como resultado de la ecuación (31), correspondiente a la recuperación del calor residual de los gases de combustión, se obtuvo un valor de 117 kW de energía disponible para el sistema de refrigeración por absorción. Considerando que no todo el calor se pueda aprovechar, por el diseño del recuperador, aun con un 10 % del calor aprovechable se satisface la energía térmica requerida por el generador del sistema de refrigeración por absorción.

Conclusiones

A partir de los resultados del balance de energía, se puede considerar que la cogeneración de energía mediante la recuperación de gases de combustión del motor de un tracto-camión es viable para cubrir en su totalidad el calor necesario para alimentar un sistema de refrigeración por absorción.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos fueron en base a las características del producto a refrigerar, en este caso la carne de pollo, y a las condiciones climatológicas de la región de estudio, la Ciudad de Durango. Manejando otro producto y/u otra región se tendrían que recalcular las cargas térmicas, no obstante, los resultados obtenidos nos permiten especular que el consumo de energía también podría satisfacerse.

Si bien los resultados de este proyecto son preliminares, pueden considerarse un precedente que permite considerar el aprovechamiento del calor residual de los gases de combustión de un tracto-camión. Lo anterior impactaría positivamente en la economía y cuidado del ambientalmente asociados a la cadena de suministro de productos refrigerados.

Referencias

- Bautista Kuri, A. (2018). Cálculo de transmisión de elementos constructivos y temperatura de sus superficies. Mundo HVAC&R.
- Cengel, Y. (2007). Transferencia de Calor y Masa. Un enfoque práctico. México: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). Termodinámica. México: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). Mecánica de Fluidos. Fundamentos y aplicaciones. México: Mc Graw Hill.
- Cortés Cortés, M., & Iglesias León, M. (2004). Generalidades sobre Metodología de la Investigación. México: Colección material didáctico.
- Dirección de Desarrollo Aplicaciones Distribución Gas Natural SDG, S. A. (1999). Manual de Producción de frío por absorción a gas natural.
- Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). Principios de Transferencia de Calor. México: CENGAGE Learning.
- Manteca Valdelande, V. (2003). El transporte terrestre de alimentos. Distribución y consumo.
- Medina Ramírez, S. (2009). Las cadenas de frío y el transporte refrigerado en México. Comercio exterior.
- Meteored. (2018). Meteored. Obtenido de Meteored: <https://www.meteored.mx/>
- Morales Peñaloza, A., & Pérez Lechuga, G. (2018). La criogenia y la refrigeración. MUNDO HVAC&R.
- Morales Pérez, C., & De la Torre Moreno, M. (2006). Características del transporte refrigerado en México.
- Sabino, C. (1992). El proceso de investigación. Caracas: Panapo.
- Sanz, S. (2007). Motores, Editex S.A.
- Torrella Alcaraz, E. (1996). La producción de frío. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Umaña Cerros, E. (s.f.). Conservación de alimentos por frío.
- Whitman, B., Johnson, B., Tomczyk, J., & Silberstein, E. (2010). Tecnología de refrigeración y aire acondicionado. México: Delmar Cengage Learning.

Análisis del comportamiento de un eyector para aplicaciones de refrigeración utilizando CFD

Analysis of an ejector for refrigeration applications using CFD

ROMÁN-AGUILAR, Raúl^{†*}, HERNÁNDEZ-GUTIERREZ, Jorge Isaac², VALLE-HERNÁNDEZ, Julio¹ y FARFAN-FLORES, Daniel¹

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Apan

²Instituto de Energías Renovables – UNAM

ID 1^{er} Autor: Raúl, Román-Aguilar / **ORC ID:** 0000-0003-0753-2352, **Researcher ID Thomson:** I-6746-2018, **CVU CONACYT ID:** 165332

ID 1^{er} Coautor: Jorge Isaac, Hernández-Gutiérrez

ID 2^{do} Coautor: Julio, Valle-Hernández / **ORC ID** - 0000-0001-8957-0066, **Researcher ID Thomson:** O-7339-2018, **CVU CONACYT ID:** 210743

ID 3^{er} Coautor: Daniel, Farfan-Flores

Recibido 25 Junio, 2018; Aceptado 25 Septiembre, 2018

Resumen

Uno de los equipos de mayor consumo energético en cualquier sector son los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, los cuales en su mayoría son sistemas de compresión de vapor, donde el compresor mecánico es la pieza clave de estudio, ya sea buscando un reemplazo a este elemento o adicionando piezas que contribuyan a una disminución en el consumo de energía. Una alternativa es el uso de eyectores, los cuales pueden sustituir el compresor si se adiciona además un generador de vapor y una bomba o pueden combinarse con los elementos del sistema de compresión de vapor para disminuir el consumo energético. Esto obliga a entender el comportamiento de estos dispositivos que permitan su adecuada implementación, motivo por el cual en este trabajo se presenta un análisis del comportamiento del eyector aplicando dinámica de fluidos computacionales CFD. El estudio se realiza sobre un modelo bidimensional y se simula con experimentales, siendo el fluido de trabajo refrigerante R134a y se emplea el software ANSYS FLUENT. Como resultado del análisis se obtiene los campos de presión y velocidad, ayudando a entender los fenómenos que ocurren al interior de un eyector para aplicaciones de refrigeración.

Eyector, Refrigeración, CFD

Abstract

One of the equipment with the highest energy consumption in any sector is the refrigeration and air conditioning systems, which are mostly steam compression systems, where the mechanical compressor is the key piece of study, either looking for a replacement to this element or adding pieces that contribute to decrease in energy consumption. An alternative is the use of ejectors, which can replace the compressor if a steam generator and a pump are also added or can be combined with the elements of the vapor compression system to reduce the energy consumption. which need to understand the behavior of these devices that allow their proper implementation, therefor in this paper an analysis of an ejector behavior is presented using CFD computational fluid dynamics. The study is carried out on a two-dimensional model and is simulated with experimental ones, the R134a refrigerant work fluid being used and the ANSYS FLUENT software is used. As a result, the pressure and velocity fields are obtained, helping to understand the phenomena that occur inside an ejector for refrigeration applications.

Ejector, Refrigeration, CFD

Citación: ROMÁN-AGUILAR, Raúl, HERNÁNDEZ-GUTIERREZ, Jorge Isaac, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio y FARFAN-FLORES, Daniel. Análisis del comportamiento de un eyector para aplicaciones de refrigeración utilizando CFD. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-7: 8-12.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: roman94340@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La refrigeración es el proceso que permite reducir la temperatura de un espacio mediante la extracción y transporte de calor de una zona de baja temperatura, a otra de alta temperatura, haciendo uso de sistemas y leyes termodinámicas. La refrigeración es una necesidad que interviene en múltiples actividades del ser humano, siendo las principales la conservación de diversos productos biológicos y el desarrollo de procesos industriales, no obstante, su mayor problema es el elevado consumo de energía por parte de los sistemas comúnmente utilizados que son los sistemas de compresión de vapor. Estos sistemas se componen de un compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador, principalmente, siendo el primer elemento el que mueve todo el sistema y que es motivo de estudio para su mejoramiento o reemplazo por otros componentes o sistemas como los denominados de eyecto-compresión.

En Europa, en 2012, se consumieron 546 millones de toneladas equivalentes de petróleo de energía final, en calefacción y refrigeración. Del total, el 45% de la energía se consumió en el sector residencial, el 18% en el sector terciario y el 37% en la industria (Álvarez Pelegry, 2017), lo que hace necesario una profunda investigación en este campo a fin de disminuir el elevado consumo energético de estos sistemas.

El sistema de eyecto-compresión se encuentra dentro del grupo de los llamados sistemas térmicos de refrigeración, los cuales utilizan una fuente de calor para elevar la presión y temperatura de un fluido, que en conjunto con una bomba mecánica generan el funcionamiento del sistema. Lo cual es atractivamente económico al utilizar calor de desecho de algún proceso industrial o energías alternativas como es la solar térmica, disminuyendo así el consumo de energía eléctrica.

En función de lo anteriormente descrito es que en este estudio se propone el análisis del comportamiento de un eyector para aplicaciones de refrigeración, mismo que permita entender los fenómenos que se desarrollan en el interior de estos elementos por parte de la dinámica de fluidos para generar diseños óptimos que cumplan con los requerimientos de esta aplicación.

Este estudio se desarrolla con el uso de Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD), resolviendo ecuaciones que se derivan de los principios de conservación de energía, masa y momento.

La simulación en CFD de eyectores ofrece la posibilidad de visualizar cual será el comportamiento y que fenómenos se desarrollarán dentro del eyector, al trabajar con datos experimentales se obtienen resultados apegados a procesos reales, según (Zhaoqiu Ding, 2016), para modelos en 2D y 3D comparados con resultados experimentales obtuvieron un error relativo medio aproximado del 6.26% y 4.38 respectivamente; lo que nos indica el grado de confiabilidad que la técnica CFD proporciona.

Metodología a desarrollar

Este trabajo se enfoca en particular a conocer el grado de arrastre que se puede generar a través del comportamiento de la presión y velocidad del fluido primario, ya que de ello depende el funcionamiento del eyector y además saber si el eyector cumple con un comportamiento adecuado, al compararlo con resultados de la literatura. Para lograr esto, se realizará la simulación del eyector en el software ANSYS FLUENT versión 17.2

Descripción del sistema

Un sistema de refrigeración por Eyecto-compresión, está formado por un generador, condensador, un evaporador, un eyector, una bomba y una válvula de expansión (Allhouse, Turmquis, & Bracciano, 2000) como se muestra en la Figura 1.

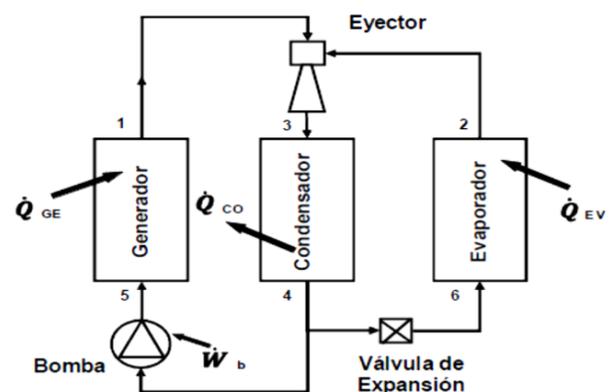


Figura 1 Sistema de refrigeración por eyecto-compresión
Fuente: Elaboración Propia

El eyector es el principal componente y es el que realiza la termo-compresión del fluido proveniente del evaporador, con la ayuda del fluido motor que proviene del generador. En la figura 2 se muestra la configuración de un eyector, siendo las tres partes principales una cámara de succión donde se aloja la boquilla principal, cámara de mezclado y difusor. Su principio de operación básicamente consta de hacer pasar un fluido m_1 a través de la boquilla principal a una alta velocidad y generando una baja presión a su salida, capaz de arrastrar el fluido m_2 , mezclándose y saliendo a una presión intermedia en el difusor; de acuerdo a la teoría de flujo compresible.

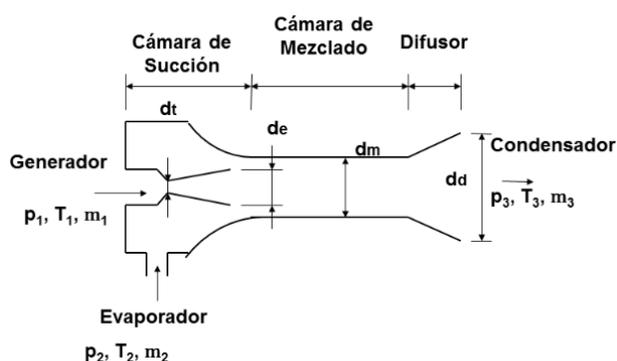


Figura 2 Partes de un eyector
Fuente: Elaboración Propia

La eficiencia energética del sistema de refrigeración por eyecto-compresión está dada por el coeficiente de operación del sistema, COPs, y se define como:

$$COPs = \frac{\dot{Q}_{EV}}{\dot{Q}_{GE} + \dot{W}_b} \quad (1)$$

Donde \dot{Q}_{EV} es el calor que ingresa al evaporador, \dot{Q}_{GE} El calor que ingresa al Generador y \dot{W}_b el trabajo de la bomba. En función de las entalpías, la ecuación queda expresada como

$$COPs = \frac{\dot{m}_2(h_2 - h_6)}{\dot{m}_1(h_1 - h_4)} \quad (2)$$

Donde m representa el flujo masico y h las entalpías. Observando que la eficiencia del sistema de refrigeración por eyecto-compresión está ligada directamente a la relación de flujos másicos que ingresa al eyector (Adriano Milazzo, 2014), definiéndose esta relación como la tasa de arrastre del eyector U .

$$COPs = U \frac{(h_2 - h_6)}{(h_1 - h_4)} \quad (3)$$

La figura 3 muestra la configuración del eyector real sobre el cual se obtuvieron resultados experimentales y en este trabajo se desarrolla el estudio de simulación.

En ella se muestra el ensamble de la tobera convergente divergente en el cuerpo del eyecto compresor, la cual se introduce de forma roscada hasta que topa con un asiento, de manera que la salida de la boquilla de la tobera primaria se encuentra después de la mitad del diámetro de la sección de entrada del flujo secundario.

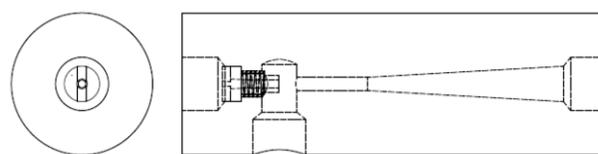


Figura 3 Eyector de trabajo para el presente análisis
Fuente: Elaboración Propia

Desarrollo

Dinámica de fluidos Computacionales.

El presente estudio emplea el software ANSYS FLUENT versión 17.2, el cual se basa en el uso del método de volúmenes finitos, donde se resuelve la forma integral las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía, y el dominio de estudio es subdividido en un número finito de volúmenes de control.

En el centro de cada uno de estos, existe un punto que se le conoce como nodo computacional y se calcula el valor de las variables.

Las integrales superficiales se aproximan usando la discretización directa de las ecuaciones de conservación mencionadas. El resultado es una ecuación discretizada que relaciona los valores de las variables en un grupo de puntos nodales. La ecuación 4 muestra los parámetros de solución y consta de los términos transitorio, de Convección, de difusión y generación, respectivamente.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_v \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi V = \oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi * dA + \oint_v S_\phi dV \quad (4)$$

Flujo compresible

El comportamiento de fluidos que atraviesan toberas y difusores, está regido por la teoría de flujo compresible, siendo el eyector una combinación de estos, cuyas ecuaciones gobernantes son (White, 1991).

Ecuación de continuidad

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \operatorname{div} u = 0 \tag{5}$$

Ecuación de momento

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho g - \nabla p + \nabla \tau_{ij} = 0 \tag{6}$$

Ecuación de energía

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \operatorname{div}(k\nabla T) + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \tag{7}$$

Donde el tensor de esfuerzos es

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} I \operatorname{div} u \right) \tag{8}$$

El eyector fue simulado bajo condiciones simétricas, doble precisión, condiciones de estado estable y modelo k-epsilon, basado en densidad.

Resultados y análisis

La figura 4 muestra el comportamiento del número de mach, a lo largo de la geometría del eyector, donde de acuerdo a la escala numérica y de colores, el mayor número se tiene a la salida de la tobera primaria, en concordancia con la teoría de flujo compresible la cual menciona que el número de Mach es unitario en el punto donde el área del flujo es mínima y se le conoce como la garganta (Cengel & Boles, 2017).

Después de esta sección, la velocidad del fluido continúa incrementándose al igual que el área de flujo. Este aumento de velocidad después de atravesar la garganta se debe a un decremento acelerado de la densidad del fluido. Esto se utiliza para acelerar gases a velocidades supersónicas y es la parte que se aprovecha para la operación de los eyectores.

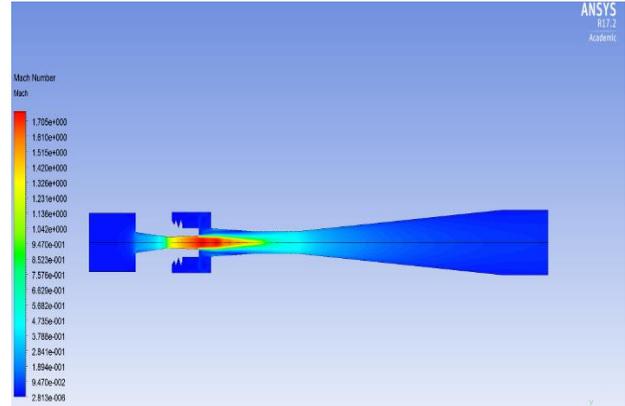
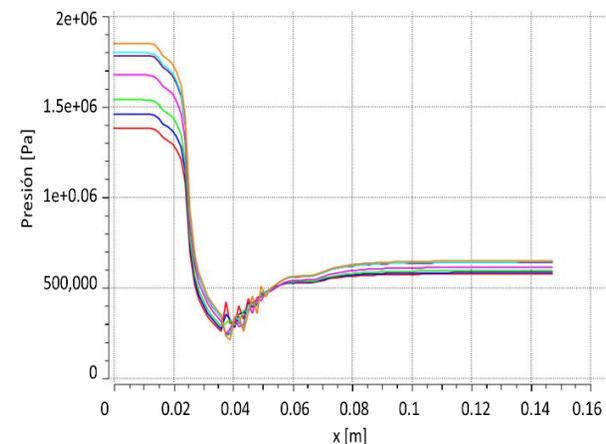


Figura 4 Comportamiento del número de mach a lo largo de la geometría del eyector
Fuente: Elaboración Propia

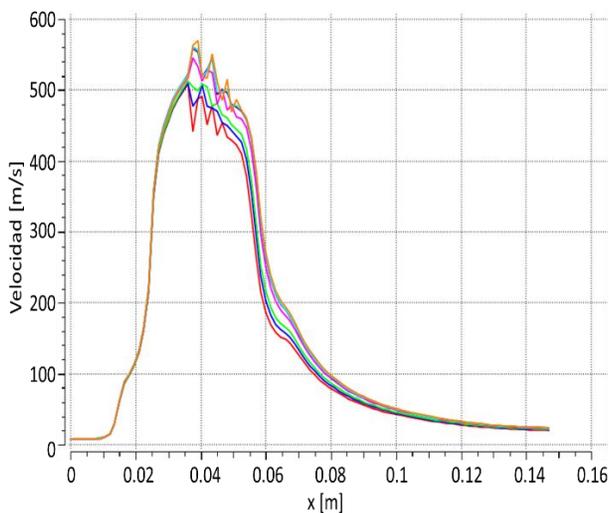
Las figuras 5 y 6 muestran los perfiles de presión y velocidad a lo largo del eje del eyector, respectivamente, mostrando 7 líneas de acuerdo a 7 puntos obtenidos de forma experimental (Roman, 2012).



Grafica 1 Perfil de presión a lo largo del eje del eyector
Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica 1 se aprecia las diferentes condiciones de entrada relativas a la presión, es decir, experimental mente se incrementando la temperatura del generador y velocidad de giro de la bomba para generar un punto experimental diferente. De acuerdo a la geometría del eyector, la sección recta es la sección de entrada, después inicia una caída de presión debido a una reducción de área, esta caída de presión continua más allá de la sección de área mínima llamada garganta, mencionada anteriormente, hasta un punto mínimo que es a la salida de la tobera convergente-divergente primaria, donde experimenta una inestabilidad, debido a la turbulencia generada al final de la expansión y se encamina hacia la entrada de la tobera convergente divergente secundaria, de tan manera que incrementa la presión hasta una zona de estabilidad para salir del eyector.

La grafica 2 muestra de igual forma los 7 puntos experimentales, pero en un perfil de velocidad, la cual esta a su vez ligada con el número de Mach, que al compararse con la figura 5, la zona de inestabilidad coincide con la salida de la tobera convergente divergente primaria. Donde de acuerdo a la figura 5 se está alcanzando un Mach de casi 1.8.



Grafica 2 Perfil de velocidad a lo largo del eje del eyector
Fuente: Elaboración Propia

Mismos comportamientos se han reportado por otros autores. (Michal, Jacek, Andrzej, Krzysztof, & Armin, 2017) y (Krzysztof, y otros, 2014).

Conclusiones

El trabajo presentado reproduce los comportamientos de la dinámica de fluidos por otros autores, lo que va de la mano con el trabajo experimental, es decir, los resultados experimentales se están reproduciendo, de manera que este trabajo se puede tomar de base para predecir el comportamiento bajo otras condiciones de operación, lo que facilitaría avanzar en generar un mapa de comportamiento para definir cuestiones de diseño de un eyector.

Las herramientas computacionales nos muestran que ocurre al interior del eyector, algo que no se aprecia de forma experimental, de forma que podemos entender de una mejor forma la operación del sistema y tomar acciones necesarias para el buen funcionamiento.

Los resultados obtenidos permiten avanzar en el entendimiento del comportamiento de eyectores y determinar su uso para aplicaciones de refrigeración, que en conjunto con los demás componentes del sistema determinar su campo de acción.

Agradecimientos

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciencias Básicas CB-2014-01, 0240382.

Referencias

Adriano Milazzo, A. R. (2014). Theoretical and experimental activity on Ejector Refrigeration. *Energy Procedia*, 45, 1245-1254.

Allhouse, Turmquis, & Bracciano. (2000). *Modern refrigeration and air conditioning*. Goodheart-Willcox Pub.

Álvarez Pelegry, E. L. (2017). Energías renovables en calefacción y refrigeración en los sectores residencial y terciario. *Documentos de Energía*. España: Cuadernos Orkestra.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2017). *Termodinámica* (Septima ed.). Mc.GrawHill.

Krzysztof, B., Michał, P., Armin, H., Zbigniew, B., Jacek, S., Andrzej, J. N., & Adam, F. (2014). A CFD-based investigation of the energy performance of two-phase R744 ejectors to recover the expansion work in refrigeration systems: An irreversibility analysis. *International Journal of refrigeration*, 328-337. doi:doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.12.002

Michal, P., Jacek, S., Andrzej, J. N., Krzysztof, B., & Armin, H. (2017). Shape optimisation of a two-phase ejector for CO2 refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, 210-221.

Roman, R. (2012). *Estudio teórico-experimental de un sistema de enfriamiento de eyecto-compresión*. Mexico: Tesis UNAM.

White, F. (1991). Viscous Fluid Flow. En F. White, *Viscous Fluid Flow*. McGraw Hill.

Zhaoqiu Ding, L. W. (2016). Numerical study and design of a two-stage ejector for subzero refrigeration. *Applied Thermal Engineering*, 108.

Diseño virtual y paramétrico de leva y seguidor

Virtual and parametric cam and follower design

JIMÉNEZ-RABIELA, Homero†*, VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Benjamín, GARCÍA-SEGURA, Pedro y BRAVO-ACOSTA, Adrian Gustavo

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Energía, San Pablo número 180 Colonia Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco C. P. 02200 Ciudad de México

ID 1^{er} Autor: *Homero, Jiménez-Rabiela* / ORC ID: Eflkjm13091998, Researcher ID Thomson: S-2299-2018, CVU CONACYT ID: 123386

ID 1^{er} Coautor: *Benjamín, Vázquez-González* / ORC ID: 0000-0002-9030-5662, Resercher ID Thomson: S-2417-2018

ID 2^{do} Coautor: *Pedro, García-Segura* / ORC ID: 0000-0003-4947-084X, Reearcher ID Thomson: S-2360-2018, CVU CONACYT ID: 371233

ID 3^{er} Coautor: *Adrian Gustavo, Bravo-Acosta* / ORC ID: 0000-0001-57975317, Reearcher ID Thomson: 2272-2018, CVU CONACYT ID: 334391

Recibido 20 Abril, 2018; Aceptado 30 Junio, 2018

Resumen

En este trabajo se muestran resultados de la aplicación de técnicas computacionales novedosas, al diseño tridimensional y paramétrico de un sistema de leva de placa y seguidor con rodillo, que permiten la simulación dinámica del sistema. Se obtienen los perfiles de leva con base en el diagrama de desplazamientos, la curva de trazo y la familia de circunferencias que representan al rodillo. Se diseña los eslabones y el mecanismo para las simulaciones y pruebas virtuales del prototipo. A partir del diagrama de desplazamiento obtenido, se calcularon las coordenadas de la curva de trazo. Se determinaron las ecuaciones de las circunferencias que representan al rodillo, en sus diferentes posiciones y secciones. Al resolverlas con su derivada, se determinaron las coordenadas de los perfiles interior y exterior de la leva. Con una hoja electrónica de cálculo, se controlaron los archivos gráficos de los eslabones y del mecanismo, asegurando el diseño amigable. Los resultados virtuales medidos coinciden razonablemente con los calculados. El procedimiento descrito puede aplicarse en ambientes industriales y académicos con alta exactitud. Al cambiar los datos de entrada, los archivos gráficos se actualizan haciendo posible el rediseño y optimización en un tiempo relativamente pequeño.

Diseño, Parametrización, Sistema

Abstract

In this paper we show the results of the application of new computational techniques, to the three-dimensional and parametric design of a plate cam system and follower with roller, that allows dynamic simulation of the system. The cam profiles are obtained based on the displacement diagram, the stroke curve and the family of circumferences that represent the roller. The links and the mechanism are designed for simulations and virtual tests of the prototype. From the displacement diagram obtained, the coordinates of the stroke curve were calculated. The equations of the circumferences that represent the roller were determined, in their different positions and sections. When solving them with their derivative, the coordinates of the inner and outer profiles of the cam were determined. With an electronic calculation sheet, the graphic files of the links and the mechanism were controlled, ensuring the friendly design. The virtual results measured coincide reasonably with those calculated ones. The described procedure can be applied in industrial and academic environments with high accuracy. By changing the input data, the graphic files are updated making possible the redesign and optimization in a relatively small time.

Design, Parameterization, System

Citación: JIMÉNEZ-RABIELA, Homero, VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Benjamín, GARCÍA-SEGURA, Pedro y BRAVO-ACOSTA, Adrian Gustavo. Diseño virtual y paramétrico de leva y seguidor. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-7: 13-20.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En el diseño de sistemas de leva y seguidor, cuando la primera tiene perfiles especiales, el proceso es complejo. Nosotros partimos de la hipótesis de que tal proceso puede simplificarse con el uso de técnicas computacionales. En el marco de referencia de la ingeniería mecánica; este trabajo es una contribución para resolver el problema, mostrando lo relativamente fácil y amigable que pueden ser los procesos de diseño en general, cuando se usa procedimientos como el mostrado en este artículo.

Cuando el sistema que deberá diseñarse puede ser virtual, tridimensional y paramétrico; del número infinito de soluciones, para un conjunto dado de datos, pueden simularse tantas como se desee. Con base en un análisis comparativo de las simulaciones, optimizar el sistema es rápido. La importancia de estas técnicas radica en la exactitud de las mismas y en la reducción de personal y recursos materiales necesarios para su implantación; adicionalmente es ratificada por las publicaciones sobre el tema por otros investigadores.

Gudiño-L, Jorge et al. (2016), afirman que los entornos virtuales con imágenes interactivas en tres dimensiones permiten analizar situaciones reales en un entorno no real. Esto los convierte en una excelente herramienta para el análisis previo a la construcción, de esta manera se pueden detectar errores en el diseño o realizar ajustes con lo que se ahorra una cantidad de dinero considerable.

Zhang G. et al. (2013), proponen un método para diseñar levas globoidales basado en el modelado paramétrico.

Aziz E. S. (2008), afirma que las tecnologías de la información juegan un papel importante en el desarrollo de ambientes de enseñanza aprendizaje, en su artículo presenta el diseño e implementación de métodos más activos y colaborativos.

Bi J. P. y Wang X. L. (2012), desarrollaron un sistema para diseño y simulación de levas, con base en los valores de entrada obtienen los de salida y grafican curvas de velocidades y aceleraciones, sus resultados muestran que el proceso puede facilitar las aplicaciones en el diseño de levas.

Liu Q. L. et al. (2012), utilizaron un método de simulación paramétrica para crear un perfil de leva conjugada en 3D; en su artículo describen los principios básicos para simular el movimiento de los mecanismos de levas usando Creo Parametric Software.

Liu Y. X. y Peng R. S., presentaron un método rápido y fácil para diseñar perfiles de levas con el Software Pro/E., probado con la simulación del movimiento.

Sanmiguel-Rojas, E. Hidalgo-Martínez, M. (2016), proponen un nuevo mecanismo de leva de anchura constante con un seguidor de doble rodillo de radio negativo; diseñan el perfil de la leva con un método de optimización basado en las curvas de Bézier.

Sun J., Tang Z. (2011), utilizaron la función gráfica de datos de Pro / E, para crear el diagrama de desplazamientos del seguidor y para controlar de manera paramétrica el perfil de la leva. Adicionalmente usaron tecnología de ensamble y simulación virtual.

Han L., He P. (2011), desarrollaron un sistema rápido de simulación del diseño y fabricación de levas.

Aan A., Heinloo M., Allas J. (2014), describieron un método para diseñar una leva radial en la hoja de cálculo Mathcad que incluye; el cálculo de desplazamientos del seguidor, valores de sus velocidades y aceleraciones, la optimización del contorno y la simulación del mecanismo.

Sandu G., Cofaru C., Jelenschi L. (2012), presentaron un método para diseñar el perfil de leva para tren oscilante de válvulas y seguidor con rodillo, utilizando Virtual Lab LMS y Autocad.

Acevedo P. C., Cardona F. S., Bris C. J. (2004) describen la utilización de las curvas de Bézier definidas por polinomios de Bernstein, para el diseño de la ley de desplazamientos.

Hasimoto B. R., Ashfaq A. K. (2006), presentaron un esquema de ocultamiento de error geométrico para datos de imagen / video basados en la Transformada de Coseno Discreta (TCD) basado en las curvas de Bézier (CB).

Cardona F. S., Zayas F. E., Jordi N. L. (2009), describen un procedimiento para definir la ley de desplazamiento y la continuidad global deseada. Muestran leyes de desplazamiento diseñadas con curvas de Bézier no paramétricas y los perfiles de levas de anchura constante que corresponden a dichas leyes.

Yañez V. R., et al. (2017), describen el proceso de diseño del sistema leva seguidor desmodrónico espacial centrado en i) el diseño de la ley de desplazamiento, ii) la obtención del perfil de la leva y iii) la comprobación del perfil de la leva.

Harold A. R. (2004), afirma que en una leva involuta el contacto siempre ocurre en el mismo punto sobre la cara plana del seguidor; si localizamos dicho punto sobre la línea de movimiento del seguidor, los momentos que tiende a flexionar al seguidor son mínimos.

Las secciones 2 – 8 del artículo se utilizan para el desarrollo del trabajo. En la 2 se define la metodología y los parámetros a utilizar. En la 3 describimos el proceso de obtención del diagrama de desplazamientos. La curva de trazo es obtenida en la 4. La ecuación de la familia de circunferencias se obtiene en la 5. En la 6 se obtienen las coordenadas de los puntos que definen los perfiles de la leva y se grafican éstos. La 7 se utiliza para mostrar el proceso paramétrico para la obtención de los eslabones. En la 8 se muestra el ensamble y una secuencia de su simulación.

Metodología

Sistema de unidades: longitudes en pulgadas, tiempo en segundos, ángulos en radianes. Como ejemplo se consideró; una leva de placa en rotación a velocidad angular constante (ω) y un seguidor, descentrado, con rodillo que debe acelerar hasta una velocidad uniforme (v), mantener esta velocidad a lo largo de L_2 pulgadas de ascenso, desacelerar hasta la parte superior de su ascenso, retornar y quedar en reposo ($L_5 = 0$) durante T_5 segundos; el ascenso deberá ser de L_4 pulgadas. Para evitar cambios bruscos en los diagramas de velocidades y aceleraciones, se utilizó los movimientos siguientes: cicloidal de ascenso inicial, uniforme, armónico simple de ascenso final, armónico modificado de retorno completo y detención respectivamente, para las secciones de la 1 a la 5.

Considerando lo aseverado por Harold A. R., se decidió que la excentricidad fuese igual al radio de la circunferencia primaria (R_p) de la leva. El radio del rodillo (R_r) se seleccionó lo suficientemente pequeño, respecto de R_p , para evitar problemas geométricos al contactar el rodillo con la leva cuando ésta tiene, en su perfil, una parte cóncava; con posibilidad de que contenga un radio local reducido.

Se calculó β_2 y β_5 con relaciones funcionales del dominio público. Igualando velocidades y aceleración por la izquierda y por la derecha; velocidades en las fronteras entre las secciones 1-2 y 2-3, aceleración entre las secciones 3-4; se calculó β_3 , β_4 , β_1 , L_1 y L_3 .

Se construyó el diagrama de desplazamientos y se determinaron las coordenadas de la curva de trazo, así como las ecuaciones de las familias de circunferencias representando al rodillo en sus diferentes posiciones y secciones considerando la inversión del mecanismo. Con las ecuaciones de las familias y sus derivadas, se determinaron las coordenadas de los perfiles, tangentes a las circunferencias, interior y exterior de la leva. Se parametrizó la geometría de los eslabones, generando cada uno de éstos, los cuales fueron ensamblados y se simuló su comportamiento.

Se comparó los desplazamientos calculados con los medidos usando la simulación. Con diferentes datos de entrada, se diseñaron las levas y bases correspondientes; con la geometría y dimensiones del rodillo y del seguidor constantes

Diagrama de desplazamientos

Se utilizó subdivisión recursiva para discretizar, en cada sección, el ángulo β correspondiente. En particular; el incremento normal ($\Delta\theta_n$) del ángulo de giro local de la leva (θ_L) fue tal que:

$$0 \leq \theta_L \leq \beta_i, i = 1, 2, 3, 4, 5; \Delta\theta_n = 0.01\beta_i \quad (1)$$

El incremento mínimo ($\Delta\theta_m$) correspondiente:

$$0 \leq \theta_L \leq 0.01\beta_i, \Delta\theta_m = 0.0001\beta_i \quad (2)$$

Se aplico para el primero y para el último de los incrementos normales en cada sección.

Cada β_i se discretizó con 98 $\Delta\theta_n$ y 200 $\Delta\theta_m$.

Para cada sección, discretizada, se calculó el desplazamiento local con:

$$s_{L1} = L_1 \left[\frac{\theta_L}{\beta_1} - \frac{1}{\pi} \text{sen} \left(\frac{\pi\theta_L}{\beta_1} \right) \right] \quad (3)$$

$$s_{L2} = \frac{v}{\omega} \theta_L \quad (4)$$

$$s_{L3} = L_3 \text{sen} \left(\frac{\pi\theta_L}{2\beta_3} \right) \quad (5)$$

$$s_{L4} = \frac{L_4}{2} \left\{ \left[1 + C \left(\frac{\pi\theta_L}{\beta_4} \right) \right] - \frac{1}{4} \left[1 - C \left(\frac{2\pi\theta_L}{\beta_4} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

Donde $C \equiv \cos$.

Se consolidaron las cinco secciones obteniendo el ángulo de giro global de la leva (θ) variando entre 0 y 2π . Para la sección i , $\theta = \theta_L - \beta_i + \sum \beta_i$. Para cada θ , se calculó el desplazamiento global (s). Para la sección 1 $s = s_{L1}$, para la sección 2 $s = L_1 + s_{L2}$, para la sección 3 $s = L_1 + L_2 + s_{L3}$, para la sección 4 $s = s_{L4}$.

Se graficó s en función de θ para obtener el diagrama de desplazamientos, ver Figura 1.

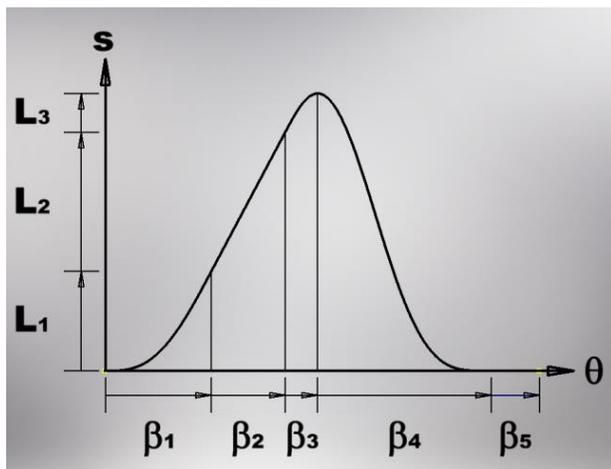


Figura 1 Diagrama de desplazamientos
Fuente: Elaboración Propia

Curva de trazo

En la Figura 2, el vector de posición de A con respecto de O (marco de referencia inercial) tiene una magnitud igual a R_p , el vector de posición de C con respecto de A (marco de referencia no inercial) tiene una magnitud igual a s , el vector de posición del punto de trazo (C) con respecto de O para un valor particular de θ es representado por el vector R .

Por inversión del mecanismo; las coordenadas de la curva de trazo, coincidiendo con el centro del rodillo (h, k), con respecto a O en función de θ son:

$$h = R_p \cos\theta + (s) \cos(1.5\pi + \theta) \quad (7)$$

$$k = R_p \text{sen}\theta + (s) \text{sen}(1.5\pi + \theta) \quad (8)$$

Con las ecuaciones (7) y (8), evaluadas para 298 (98 + 200) valores de θ en cada sección, se graficó la curva de trazo; ver Figura 2.

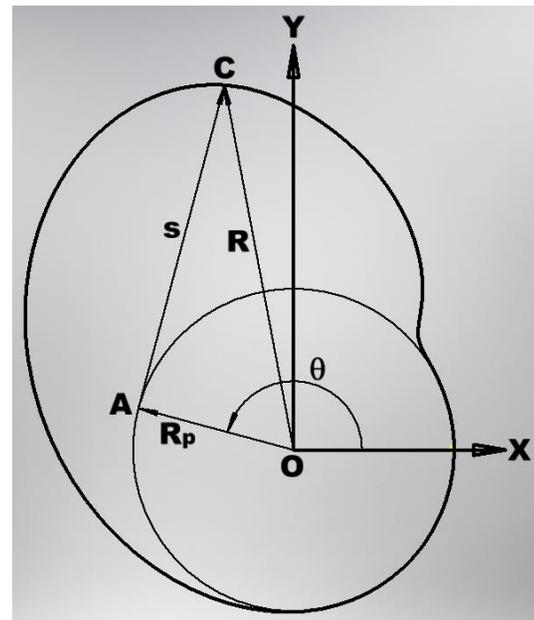


Figura 2 Curva de trazo
Fuente: Elaboración Propia

Familia de circunferencias

La ecuación de la familia de circunferencias que representan al rodillo, en sus diferentes posiciones, es:

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = (R_r)^2 \quad (9)$$

Parte de la familia de circunferencias se muestran en la Figura 3, los perfiles interior y exterior de la leva deben ser tangentes a todos los miembros de la familia.

Para lograr tal tangencia, es necesario resolver simultáneamente la ecuación (9) y su derivada como se indica en la sección siguiente; obteniendo así una solución teóricamente exacta, cuya inexactitud dependerá solo de la discretización. Usar un offset para generar los perfiles interior y exterior de la leva, produciría una solución con mucha menor exactitud.

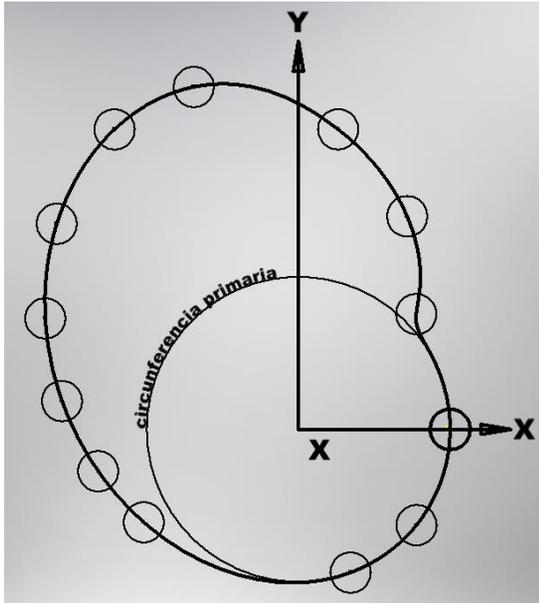


Figura 3 Circunferencias representando al rodillo
Fuente: Elaboración Propia

Perfiles de leva

Usando $\frac{dh}{d\theta} = h'$, $\frac{dk}{d\theta} = k'$, y $\frac{ds}{d\theta} = s'$; la derivada de la ecuación (9) es:

$$2(x - h)(-h') + 2(y - k)(-k') = 0 \quad (10)$$

Al resolver simultáneamente las ecuaciones (9) y (10), se obtienen las ecuaciones (11) y (12) para las coordenadas de los perfiles, tangentes a la familia de circunferencias.

$$y = k \pm \sqrt{\frac{(R_r)^2 (h')^2}{(h')^2 + (k')^2}} \quad (11)$$

$$x = h \pm \sqrt{(R_r)^2 - (y - k)^2} \quad (12)$$

En las cuales, de las ecuaciones (7) y (8):

$$k' = R_p \cos \theta + s' \sin(1.5\pi + \theta) + (s) \cos(1.5\pi + \theta) \quad (13)$$

$$h' = -R_p \sin \theta + (s') \cos(1.5\pi + \theta) - (s) \sin(1.5\pi + \theta) \quad (14)$$

Para las diferentes secciones, la derivada de s con respecto a θ es:

$$s' = \left(\frac{L_1}{\beta_1}\right) \left[1 - \cos\left(\frac{\pi\theta}{\beta_1}\right)\right] \quad (15)$$

$$s' = \frac{v}{\omega} \quad (16)$$

$$s' = \left(\frac{\pi L_3}{2\beta_3}\right) \cos\left(\frac{\pi\theta}{2\beta_3}\right) \quad (17)$$

$$s' = -\left(\frac{\pi L_4}{2\beta_4}\right) \left[\sin\left(\frac{\pi\theta}{\beta_4}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta_4}\right)\right] \quad (18)$$

Usando las ecuaciones (11) a (14) y una de las ecuaciones de la (15) a la (18), de acuerdo a la sección correspondiente, se obtienen las coordenadas de los perfiles de la leva, ver Figura 4. Dadas las dos soluciones de la ecuación de segundo grado, para determinar los perfiles interior y exterior, se seleccionaron de manera lógica las raíces positiva y negativa de las ecuaciones (11) y (12).

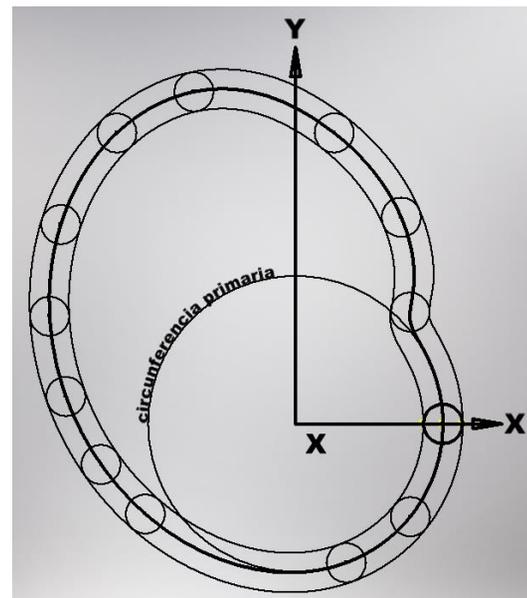


Figura 4 Perfiles de leva
Fuente: Elaboración Propia

Eslabones

Los archivos gráficos de base, leva, rodillo y seguidor; se controlaron geoméricamente en función de los parámetros, registrados en una hoja electrónica de cálculo, R_p y R_r . En la Figura 5 se muestra un ejemplo.

Es posible parametrizar todas las dimensiones angulares o longitudinales de los eslabones del sistema; el usuario deberá decidir cuantos y cuales se parametrizan y cuantos y cuales son parametrizados de manera directa o indirecta; en la Figura 5 el radio del barreno en el rodillo se parametrizó de manera indirecta.

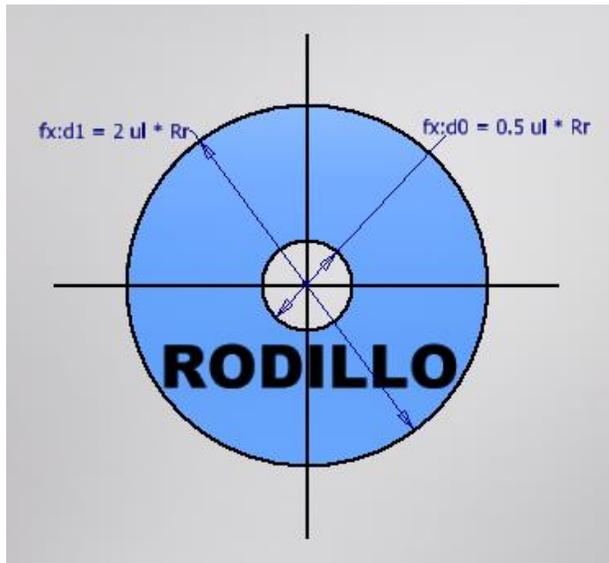


Figura 5 Ejemplo del parametrizado, rodillo
Fuente: *Elaboración Propia*

Ensamble y simulación

Considerando los grados de libertad, se instalaron las restricciones correspondientes para ensamblar los eslabones y simular la operación del mecanismo. La tangencia entre el perfil interior de la leva y el rodillo, junto con el ángulo dirigido entre el eje X de la base y el eje X de la leva; son las restricciones más importantes; esta última se manejó variando θ de 3 en 3 grados desde 0 hasta 360. Establecida la restricción de tangencia anterior, resultará redundante intentar establecer la tangencia entre el perfil exterior de la leva y el rodillo. El sistema ensamblado se muestra en la Figura 6. Una secuencia de la simulación se muestra en las Figuras 7 y 8. Con la regla, instalada a la derecha en las Figuras 6 a 8, pueden medirse los desplazamientos producidos por la rotación de la leva y compararlos con los calculados.

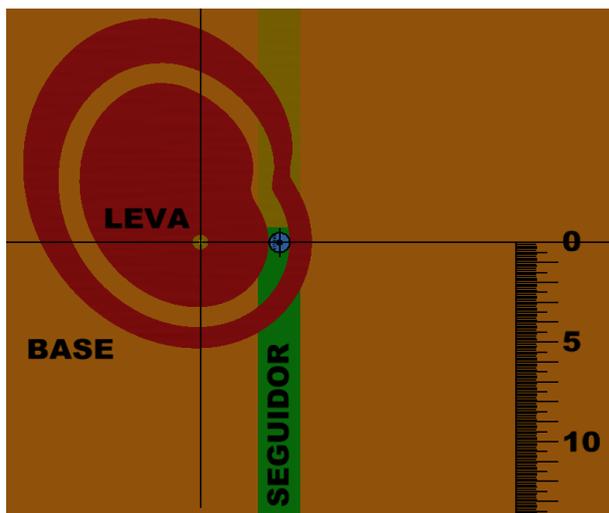


Figura 6 Ensamble en posición inicial, $\theta_2 = 0^\circ$
Fuente: *Elaboración Propia*

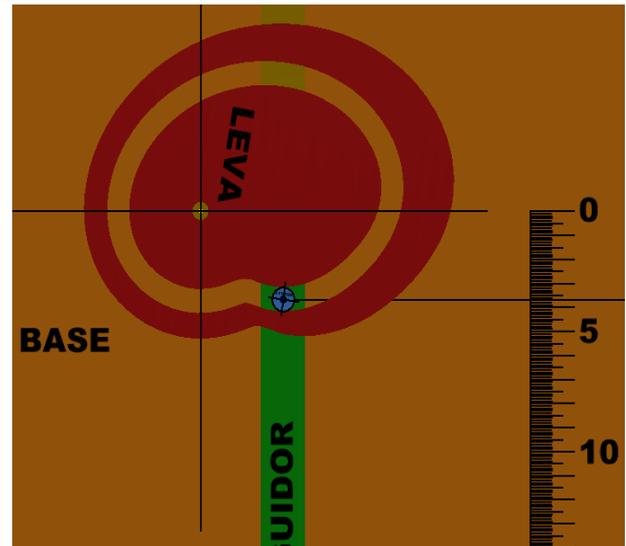


Figura 7 Simulación del sistema $\theta_2 = 100^\circ$
Fuente: *Elaboración Propia*

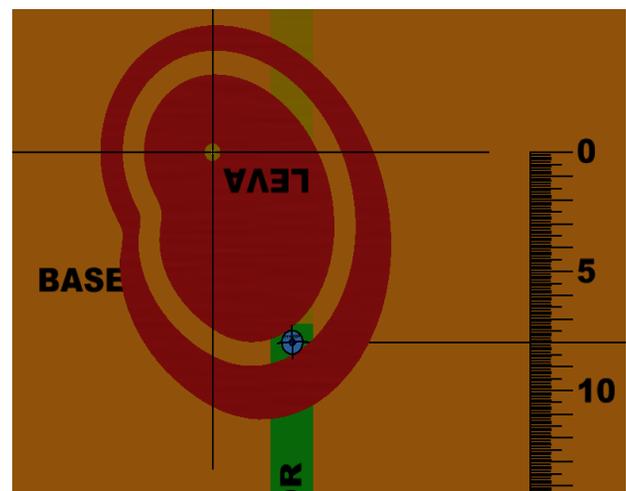


Figura 8 Simulación del sistema $\theta_2 = 180^\circ$
Fuente: *Elaboración Propia*

En las tres Figuras anteriores las posiciones del sistema corresponden a la carrera de ascenso del seguidor.

Resultados y discusión

E. Sanmiguel-Rojas y M. Hidalgo-Martínez^[7], proponen un nuevo mecanismo de leva de anchura constante con un seguidor de doble rodillo de radio negativo; diseñan el perfil de la leva con un método de optimización basado en las curvas de Bézier.

Harold A. R.^[16] afirma que en una leva involuta el contacto siempre ocurre en el mismo punto sobre la cara plana del seguidor; si localizamos dicho punto sobre la línea de movimiento del seguidor, los momentos que tiende a flexionar al seguidor son mínimos.

De manera análoga a los trabajos de E. Sanmiguel-Rojas y M. Hidalgo-Martínez; Acevedo P. C., Cardona F. S. y Bris C. J.; Cardona F. S., Zayas F. E. y Jordi N. L.; el diagrama de desplazamientos, la curva de trazo y los perfiles de leva tangentes a la familia de circunferencias se generaron con curvas spline graficadas por la computadora utilizando curvas de Bézier no paramétricas, definidas por polinomios de Berstein.

Considerando el concepto de mecanismo de leva de anchura constante utilizado por E. Sanmiguel-Rojas y M. Hidalgo-Martínez, cada integrante de la familia de circunferencias en las secciones 1, 3, 4, y 5 está sometido a dos fuerzas de la misma dirección y de sentido contrario que, en el mejor de los casos se anularán mutuamente.

De acuerdo a lo aseverado por Harold A. R. en relación a leva con perfil evoluta, puesto que el presente diseño lo consideró; el ángulo de presión en aquellos integrantes de la familia de circunferencias en la sección 2 es 0° . Deberá observarse que en la Figura 7 correspondiente a una imagen de posiciones en la sección 2, efectivamente el ángulo de presión es cero. Con la hoja electrónica de cálculo controlamos los archivos gráficos tanto de los eslabones como del mecanismo.

Es posible cambiar los parámetros de entrada (ω , v , L_2 , T_5 y L_4) y actualizar los cálculos de las coordenadas de la curva de trazo. Las coordenadas de los perfiles interior y exterior de la leva pueden actualizarse relativamente fácil, considerando con criterio geométrico el uso lógico de los signos positivo y negativo de la doble solución de la ecuación de segundo grado. Es importante hacer notar que del valor particular de v dependerá la excentricidad del sistema para lograr ángulo de presión igual a cero, en todas las imágenes de posiciones del sistema correspondientes a la sección 2 y, por lo tanto, el valor de R_p .

La diferencia de los desplazamientos medidos, usando la simulación del ensamble, y los calculados fue mínima; por ejemplo, para $\theta_2 = 100^\circ$ el desplazamiento medido es 3.7 (ver Figura 7) y el calculado 3.67632389399866, para $\theta_2 = 180^\circ$ la medición es 8 (ver Figura 8) y el cálculo es 7.98422161502756; constatándose la exactitud del procedimiento gráfico, el cual es función de la discretización del ángulo de giro de la leva.

Por lo amigable del procedimiento fue posible obtener un diseño en el cual la parte concava de la leva, con radio variable, es tal que el radio del rodillo resultó siempre menor a los radios en dicha parte concava de la leva; ver Figura 7.

Conclusiones

Tanto para ambientes académicos o industriales los resultados del presente trabajo permiten el diseño, tan exacto como se requiera, fácil y amigable de sistemas leva seguidor análogos en forma al presentado; permitiendo cambios lógicos en los parámetros de entrada. La simulación permite hacer pruebas del mecanismo en poco tiempo. En caso de existir radios de curvatura, menores que el radio del rodillo, en partes cóncavas del perfil interior de la leva, pueden detectarse fácilmente y corregirse; aspectos importantes desde el punto de vista de la cinemática, de la fabricación, instalación, operación, capacitación y mantenimiento pueden resaltarse visualmente para optimizar el mecanismo así como los procesos industriales mencionados. El presente trabajo puede mejorarse si se logra vincular las coordenadas de las curvas correspondientes a los perfiles interior y exterior de la leva.

Agradecimiento

Los autores agradecemos el apoyo institucional de la Universidad Autónoma Metropolitana y de la Unidad Azcapotzalco, en particular a la División de Ciencias Básicas e Ingeniería y al Departamento de Energía.

Referencias

Aan A., Heinloo M., Allas J. (2014). Design of a Radial Cam for the Cam-Follower Mechanism, *9th International DAAAM Baltic Conference INDUSTRIAL ENGINEERING, Tallinn, Estonia*, 11-16.

Acevedo P. C., Cardona F. S., Bris C. J. (2004), Diseño de perfil de levas por curvas de Bézier, *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*. 16, 20-31.

Aziz E. S., (2008). Teaching and Learning Enhancement in Undergraduate Machine Dynamics, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/cae.20306>, 244-255.

JIMÉNEZ-RABIELA, Homero, VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Benjamín, GARCÍA-SEGURA, Pedro y BRAVO-ACOSTA, Adrian Gustavo. Diseño virtual y paramétrico de leva y seguidor. *Revista de Ingeniería Mecánica*. 2018.

- Bi J. P., Wang X. L. (2012), Development of Cam Design and Simulation System, *Advances Materials Research*, 476-478, 805-808.
- Cardona F. S., Zayas F. E., Jordi N. L. (2009). Síntesis de leyes de desplazamiento en levas de anchura constante con palpador plano en traslación, *Noveno Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, 15, 19-26.
- Gudiño-L, Jorge, Linares-Ramírez, E., Charre, S. y Duran, M. (2016). Desarrollo de entornos virtuales aplicados a dispositivos hápticos. *Revista de Sistemas Computacionales y TIC's*, 2-6; 124-131.
- Han L., He P. (2011), A Rapid Cam Design and Manufacturing System and Its Verification, *Advanced Materials Research*, 320,.185-190.
- Harold A. R. (2004). *CAM DESIGN HANDBOOK*. Teaneck, New Jersey: Mc Graw-Hill HANDBOOKS, pp. 459-460.
- Hasimoto B. R., Ashfaq A. K. (2006). Spatial Error Concealment Base don Bézier Curves. *Computación y Sistemas*, 9(3), 256-269.
- Liu Q. L. et al. (2012). The Parametric Simulation Design Method of Conjugate Cams of Automatic Pin Insertion Machine Based on Creo Parametric Software, *Applied Mechanics and Materials*, 236-237, 1201-1204.
- Liu Y. X. y Peng R. S., Design for Deep Groove Ball Bearing Assambly Machine's Cam Drive System Based on Parametric Modeling, *Advances Materials Research*, 328-330, 63-66.
- Sandu G., Cofaru C., Jelenschi L. (2012). Design of the Cam Profile for a Roller Finger Follower Valve Train, *Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series I: Engineering Sciences*. 5, 19-24.
- Sanmiguel-Rojas, E., Hidalgo-Martínez, M. (2016). Cam mechanisms based on a double roller translating follower of negative radius, *Mechanism and Machine Theory*, 95, 93-101.
- Sun J., Tang Z. (2011), The Parametric Design and Motion Analysis about Line Translating Tip Follower Cam Mechanism Based on Model Datum Graph. *Procedia Engineering*, 23, 439-444,.
- Yañez V. R., Bautista M. L., Cuenca J. F., López P. M. (2017), Diseño de un sistema leva seguidor cilíndrico desmodrómico para generar desplazamientos lineales recíprocos, *Memorias del XXIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 326-333.
- Zhang G., et al., (2013). Parametric Modeling for Globoidal Cam Based and NC Machining, *TELKOMNIKA*, 11(2), 797-802.

Análisis comparativo de un sistema de ventilación forzada utilizado en un invernadero tipo baticenital considerando su colocación, Inyector – Extractor

Comparative analysis of a forced ventilation system used in a baticenital type greenhouse considering its placement, Inyector - Extractor

FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe†*, VACA-ROSAS, Jose Miguel, PAREDES-VAZQUEZ, Cesar Paul y RANGEL-SANCHEZ, Jorge

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, División Ingenierías

ID 1^{er} Autor: Noé Guadalupe, Fletes-Camacho / ORC ID: 000002-2435-6971, Researcher ID Thomson: U-9488-2018

ID 1^{er} Coautor: Jose Miguel, Vaca-Rosas / ORC ID: 0001-9808-1846

ID 2^{do} Coautor: Cesar Paul, Paredes-Vazquez / ORC ID: 0000-0002-4408-9487

ID 2^{do} Coautor: Jorge, Rangel-Sanchez / ORC ID: 0000-0001-8016-0503, Researcher ID Thomson: U-9480-2018

Recibido 28 julio, 2018; Septiembre 12 Junio, 2018

Resumen

El objetivo de esta investigación es comprobar de qué manera es más eficaz la colocación (inyector – inyector, inyector – extractor o extractor – extractor) de un sistemas de ventilación forzada dentro de un invernadero tipo baticenital. El invernadero en el cual se realiza la investigación es el de la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, el cual cuenta con 8 ventiladores, 4 en un extremo y 4 en el otro; actualmente se encuentran los 8 como inyectores. Se realiza el monitoreo interno y externo de la temperatura y humedad relativa del medio ambiente durante varios días, la parte interna se monitorea por medio de un sensor de temperatura LM35 y un sensor de humedad relativa DHT11 los cuales estarán conectados a un Arduino por medio de LabView. Las variables externas son adquiridas de la estación meteorológica de la universidad “Davis”. Al lograr comprobar cuál de las diferentes combinaciones en la colocación de los ventiladores pueden ser más eficientes en el objetivo de los mismos, se contribuye principalmente en el ahorro energético y la eficiencia en la reducción de la temperatura y la humedad relativa en estos tipos de invernadero.

Extractor, Inyector, Eficiencia

Resumen

The objective of this investigation is to verify in which way the placement is more effective (injector - injector, injector - extractor or extractor - extractor) of a forced ventilation system inside a greenhouse type. The greenhouse in which the research is carried out is that of the Technological University of Bahía de Banderas, which has 8 fans, 4 at one end and 4 at the other; currently the 8 are found as injectors. The internal and external monitoring of the temperature and relative humidity of the environment is carried out for several days, the internal part is monitored by means of a temperature sensor LM35 and a relative humidity sensor DHT11 which will be connected to an Arduino by means of LabView. The external variables are acquired from the meteorological station of the university "Davis". By achieving to verify which of the different combinations in the placement of the fans can be more efficient in the objective of the same, it contributes mainly in energy saving and efficiency in the reduction of temperature and relative humidity in these types of greenhouse

Extractor, Inyector, Efficiency

Citación: FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe, VACA-ROSAS, Jose Miguel, PAREDES-VAZQUEZ, Cesar Paul y RANGEL-SANCHEZ, Jorge. Análisis comparativo de un sistema de ventilación forzada utilizado en un invernadero tipo baticenital considerando su colocación, Inyector – Extractor. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-7: 21-29.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ngfletes@utbb.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El desarrollo de cultivos que se realiza bajo cubiertas plásticas como malla sombra u otro tipo de material y en condiciones ambientales controladas, se conoce como Agricultura Protegida. Por ejemplo en México se produce tomate rojo, a esta hortaliza se dedican 3,281 hectáreas para su cultivo bajo malla sombra y 731 hectáreas en invernadero, es decir un total de 4,012 has. Las variedades que se siembran son: bola, uva, saladette y cherry. (SAGARPA, 2018)

El crecimiento de los cultivos bajo invernadero en México, se ha visto frenado por factores relacionados con el control del clima. El clima producido dentro del invernadero es en gran medida una consecuencia de las condiciones ambientales del lugar donde se localiza el invernadero y del diseño del mismo; así como de la configuración y operación de los sistemas de control como el sistema de ventilación. (Jorge Flores Velázquez, 2014)

En ocasiones la ventilación en los invernaderos no es suficiente para proporcionar adecuadas tasas de renovación de aire que es necesario para la transpiración, respiración y fotosíntesis de los cultivos. La ventilación forzada es una técnica de control climático que complementa a la ventilación natural cuando hay poco viento y la renovación interior del aire es insuficiente.

El invernadero baticenital cuenta con ventilación tipo cenital, lateral y frontal en diferentes partes de su estructura, lo que favorece la aireación dentro del invernadero, ya que esta característica funciona como un sistema de ventilación natural, debido a que permite que el aire se establezca entre las ventilas cenitales, las centrales y laterales de cada túnel, esto facilita el desalojo del aire caliente acumulado bajo la cubierta. (Hidroponia, 2016)

Planteamiento

Dentro de un invernadero tipo baticenital la combinación de apertura de ventanas laterales y cenitales aumenta la uniformidad térmica del invernadero en 30 %, debido a un flujo mayor de entrada /salida por la ventana cenital que aporta aire fresco al ambiente interior manteniendo gradientes máximos de 5 a 8 K. (Flores Velázquez Jorge, 2014)

El riesgo de transmisión de virus por insectos ha obligado a establecer mallas anti-áfidos en las entradas de la ventilación natural de los invernaderos tipo baticenital. Sin embargo, esto ha provocado una disminución en la eficiencia del control de clima dentro del invernadero.

La solución a esta disminución en la ventilación natural, fue la instalación de sistemas de ventilación forzada, para incrementar las renovaciones de aire o en su defecto igualarla a la condición anterior (sin mallas anti-áfidos).

Al comparar los sistemas de ventilación natural con los sistemas de ventilación forzada diseñados a 15 y 30 renovaciones de aire por hora.

Los resultados indicaron que las renovaciones de aire estudiadas en los sistemas de ventilación forzada, no tuvieron cambios significativos en el control del microclima del interior del invernadero. El rendimiento de fruto no fue afectado por el sistema de ventilación forzada.

Con base en los resultados obtenidos, es posible afirmar que el sistema de ventilación forzada con índices de diseño de 15 y 30 renovaciones de aire por hora tiene el mismo efecto que el sistema de ventilación natural en el rendimiento de tomate. (Marco A. Arellano García, 2011)

Sin embargo es importante hacer un comparativo de la ventilación forzada en cuanto a la posición de los ventiladores (inyectando, extrayendo, inyectando - extrayendo). El objetivo de esta investigación es comprobar de qué manera es más eficiente la colocación de la ventilación forzada dentro del invernadero tipo baticenital de la UTBB.

La Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas (UTBB) tiene un invernadero tipo Baticenital con ventilación forzada ubicado en el occidente de la República Mexicana (20°42'33.7"N.

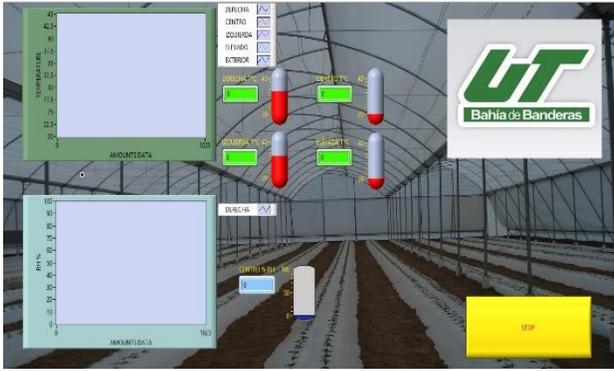


Figura 5 Interfaz gráfica de medición de variables
Fuente: *Elaboración Propia*

Los sensores estarán ubicados en diferentes puntos (Figura 6) dentro del invernadero, esto para monitorear el comportamiento de las mismas.

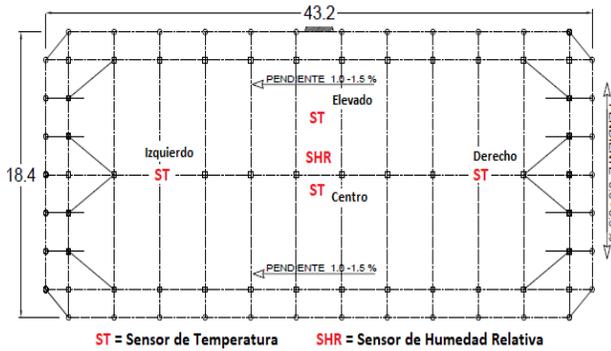


Figura 6 Ubicación de sensores
Fuente: *Elaboración Propia*

Estación meteorológica Davis

La estación meteorología con que cuenta la universidad es de grado científico, es una Davis Vantage ProTM (figura 7) que cuenta con un módulo de Sensores integrados que mide las siguientes variables meteorológicas:

- Velocidad del Viento
- Dirección del Viento
- Precipitación
- Temperatura Exterior
- Humedad Exterior



Figura 7 Estación meteorológica Davis ProTM.
Fuente: (DAVIS, 2018)

De esta estación se obtienen los datos de la temperatura y la humedad relativa para ser comparados con los datos obtenidos dentro del invernadero puesto que es imposible realizar la medición con las mismas condiciones climatológicas.

Mediciones de variables con ventiladores como Inyectores

En las tabla 1 y 2 se muestran las mediciones de temperatura y humedad relativa con inyección forzada de aire (Figura 8), obtenida de los sensores de temperatura LM35 y DHT11 de humedad relativa con conexión a ARDUINO y con una interfaz por medio del LabVIEW fecha de medición 25/julio/2018. Duración de la medición 2 horas (10:20 am a 12:20 pm).

Temperatura, inyección forzada de aire			
Derecha °C	Centro °C	Izquierda °C	Elevado °C
41.16	41.65	43.12	44.59
40.18	41.16	42.63	45.08
41.65	42.14	42.63	45.08
38.71	42.14	41.65	41.16
39.2	41.16	41.16	40.18
38.71	41.16	40.67	40.67
38.71	39.69	40.18	40.67
39.2	41.65	40.67	40.67
38.71	41.16	40.67	39.69
38.22	40.67	40.67	40.67
38.22	41.65	40.67	40.18
38.71	43.12	41.16	40.18
39.69	41.65	41.16	41.65
38.71	41.65	40.67	41.16
39.2	42.63	40.18	42.63
39.2	42.14	40.18	43.61
38.71	41.16	41.16	43.61
38.71	41.16	40.18	42.14
39.2	42.14	40.67	40.67
39.2	41.65	40.18	42.14
39.1685	41.4925	41.0375	41.89675
Promedio de Temperaturas			

Tabla 1 Datos de temperatura en diferente localización del invernadero con inyección forzada de aire
Fuente: *Elaboración Propia*

Humedad relativa inyección forzada de aire	
RH %	
25/07/2018 10:21	51.8
25/07/2018 10:25	51.9
25/07/2018 10:30	47.5
25/07/2018 10:35	49.3
25/07/2018 10:40	46.2
25/07/2018 10:45	47.7
25/07/2018 10:50	45.5
25/07/2018 10:55	41
25/07/2018 11:00	42.8
25/07/2018 11:05	43.6
25/07/2018 11:10	41.8
25/07/2018 11:15	41.7
25/07/2018 11:20	43
25/07/2018 11:25	39.7
25/07/2018 11:30	40.3
25/07/2018 11:35	38.5
25/07/2018 11:40	41.4
25/07/2018 11:45	37.8
25/07/2018 11:50	42.4
25/07/2018 11:55	39.7
25/07/2018 12:00	43.7
25/07/2018 12:05	44.7
25/07/2018 12:10	40.7
25/07/2018 12:15	47
25/07/2018 12:20	45.3
PROMEDIO RH%	43.70916667

Tabla 2 Datos de humedad relativa del invernadero con inyección forzada de aire

Fuente: Elaboración Propia



Figura 8 Ventiladores como inyectores

Fuente: Elaboración Propia

Se muestran solo 20 y 25 valores de las temperaturas y humedad relativa obtenidas, el total de mediciones en el lapso de la prueba fue de 300 y 130 mediciones. En las tablas 3 y 4 se muestran las mediciones de temperatura y humedad relativa, obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage PRO2, fecha de medición 25/julio/2018. Duración de la medición 2 horas.

Las mediciones se realizan cada 10 min por lo cual se plasma el muestreo de 16 mediciones de temperaturas y humedad relativa exteriores obtenidas.

Temperatura Exterior. Mediciones; Estación Davis UTBB	
HORA	°C
10:20:00 a. m	31.2
10:30:00 a. m	31.5
10:40:00 a. m	31.8
10:50:00 a. m	32.3
11:00:00 a. m	32.8
11:10:00 a. m	33.2
11:20:00 a. m	32.8
11:30:00 a. m	32.2
11:40:00 a. m	32.1
11:50:00 a. m	31.7
12:00:00 p. m	31.6
12:10:00 p. m	31.6
12:20:00 p. m	31.6
12:30:00 p. m	31.8
12:40:00 p. m	31.6
12:50:00 p. m	31.3
Promedio	31.94375

Tabla 3 Datos de temperatura exterior obtenidos de estación meteorológica para comparativa con inyección

Fuente: Elaboración Propia

Humedad Relativa Exterior. Mediciones Estación Davis Utbb	
HORA	RH %
10:20:00 a. m	68
10:30:00 a. m	66
10:40:00 a. m	63
10:50:00 a. m	63
11:00:00 a. m	62
11:10:00 a. m	63
11:20:00 a. m	68
11:30:00 a. m	69
11:40:00 a. m	70
11:50:00 a. m	72
12:00:00 p. m	72
12:10:00 p. m	73
12:20:00 p. m	74
12:30:00 p. m	73
12:40:00 p. m	74
12:50:00 p. m	75
Promedio	69.0625

Tabla 4 Datos de humedad relativa exterior obtenidos de estación meteorológica para comparativa con inyección

Fuente: Elaboración Propia

Mediciones de variables con ventiladores como Inyector-Extractor

Para esta medición se invirtieron 4 ventiladores del extremo izquierdo quedando como extractores (imagen 9) y los otros 4 quedaron como inyectores.

FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe, VACA-ROSAS, Jose Miguel, PAREDES-VAZQUEZ, Cesar Paul y RANGEL-SANCHEZ, Jorge. Análisis comparativo de un sistema de ventilación forzada utilizado en un invernadero tipo baticenital considerando su colocación, Inyector – Extractor. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018.



Figura 9 Ventiladores montados como inyector-extractor

Las tablas 5 y 6 muestran las mediciones de temperatura y humedad relativa con inyección y extracción forzada de aire, fecha de medición 6/julio/2018. Duración de la medición 2 horas (18:10 a 20:40).

Se muestran 20 y 25 valores de las temperaturas y humedad relativa obtenidas, el total de mediciones en el lapso de la prueba fue de 300 y 130 mediciones.

Temperatura, inyección y extracción forzada de aire			
Derecha °C	Centro °C	Izquierda °C	Elevado °C
38.71	36.26	40.18	40.67
38.71	37.24	39.69	39.69
38.22	38.22	38.71	38.71
38.22	37.24	38.71	38.22
38.22	37.73	38.71	39.69
36.75	36.75	37.73	39.2
36.26	36.26	37.73	42.14
36.26	35.77	37.24	37.24
36.26	35.28	37.24	44.59
36.75	35.77	37.24	44.59
36.26	36.26	37.24	45.08
36.75	35.77	36.75	41.65
35.77	35.28	36.26	42.14
36.26	35.28	36.26	42.14
35.77	35.77	36.75	52.43
35.28	35.28	36.26	59.78
34.79	35.28	35.28	37.24
34.79	35.28	35.77	37.73
33.81	34.3	35.77	37.24
34.3	34.3	34.79	35.77
36.4040	35.9052	37.1855	40.6307

Tabla 5 Datos de temperatura en diferente localización del invernadero con inyección-extracción forzada de aire
Fuente: Elaboración Propia

Humedad relativa inyección forzada de aire	
RH %	
06/07/2018 18:10	56.5
06/07/2018 18:15	61.8
06/07/2018 18:20	58.6
06/07/2018 18:25	60.9
06/07/2018 18:30	61.3
06/07/2018 18:35	61.4
06/07/2018 18:40	66.5
06/07/2018 18:45	60.2
06/07/2018 18:50	63.6
06/07/2018 18:55	61.1
06/07/2018 19:00	63
06/07/2018 19:05	61.7
06/07/2018 19:10	64.7
06/07/2018 19:15	64.5
06/07/2018 19:20	63.1
06/07/2018 19:25	60.8
06/07/2018 19:30	64.5
06/07/2018 19:35	66.6
06/07/2018 19:40	66.4
06/07/2018 19:45	66.4
06/07/2018 19:50	69.7
06/07/2018 19:55	67.2
06/07/2018 20:00	66.7
06/07/2018 20:05	69.6
06/07/2018 20:10	72.1
Promedio RH%	63.9252

Tabla 6 Datos de humedad relativa del invernadero con inyección-extracción forzada de aire
Fuente: Elaboración Propia

En las tabla 7 y 8 se muestran las mediciones de temperatura y humedad relativa, obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage PRO2, fecha de medición 06/julio/2018. Duración de la medición 2 horas.

Temperatura Exterior. Mediciones; Estación Davis Utbb	HORA	°C
18:10	31.6	
18:20	31.3	
18:30	31.3	
18:40	31.2	
18:50	31.2	
19:00	31.1	
19:10	31	
19:20	31.1	
19:30	31.1	
19:40	31	
19:50	30.8	
20:00	30.7	
20:10	30.7	
20:20	30.6	
20:30	30.6	
20:40	30.7	
Promedio	31	

Tabla 7 Datos de temperatura exterior obtenidos de estación meteorológica para comparativa con inyector-extractor
Fuente: Elaboración Propia

FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe, VACA-ROSAS, Jose Miguel, PAREDES-VAZQUEZ, Cesar Paul y RANGEL-SANCHEZ, Jorge. Análisis comparativo de un sistema de ventilación forzada utilizado en un invernadero tipo baticenital considerando su colocación, Inyector – Extractor. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018.

Humedad Relativa Exterior. Mediciones; Estacion Davis UTBB	RH %
Hora	RH %
18:10	80
18:20	81
18:30	80
18:40	79
18:50	80
19:00	80
19:10	81
19:20	82
19:30	81
19:40	82
19:50	82
20:00	82
20:10	83
20:20	83
20:30	82
20:40	83
Promedio	81.3125

Tabla 8 Datos de humedad relativa exterior obtenidos de estación meteorológica para comparativa con inyector-extractor

Fuente: *Elaboración Propia*

Mediciones de variables con ventiladores como extractores

Por último, se colocaron los 8 ventiladores como extractores para realizar las mediciones. En las tablas 9 y 10 se muestran las mediciones de temperatura y humedad relativa con extracción forzada de aire, obtenida de los sensores de temperatura LM35 y DHT11, fecha de medición 16/julio/2018. Duración de la medición 2 horas.

Temperatura, extracción forzada de aire			
Derecha °C	Centro °C	Izquierda °C	Elevado °C
41.65	43.61	43.12	44.59
43.12	46.55	44.1	45.08
43.61	47.04	44.59	45.08
42.63	44.59	44.59	45.08
44.1	46.06	44.1	45.08
42.14	44.59	43.61	45.57
41.16	43.12	42.14	43.61
40.18	44.1	42.14	44.1
42.14	45.08	42.63	45.08
40.18	45.57	41.65	44.59
41.16	46.55	42.14	44.1
40.18	46.55	41.65	44.59
39.69	46.55	42.14	44.59
41.16	46.06	41.16	43.12
39.69	45.08	40.67	41.65
38.71	45.08	40.67	42.14
39.69	45.08	40.67	41.16
39.2	45.08	40.67	42.14
39.2	44.1	40.67	40.18
40.18	44.59	40.67	40.18
40.8117	45.2558	41.9487	43.4819

Tabla 9 Datos de temperatura en diferente localización del invernadero con extracción forzada de aire

Fuente: *Elaboración Propia*

Humedad relativa extracción forzada de aire	
RH %	
16/07/2018 13:24	42.1
16/07/2018 13:29	38.1
16/07/2018 13:34	39.1
16/07/2018 13:39	38.9
16/07/2018 13:44	40
16/07/2018 13:49	40.4
16/07/2018 13:54	41
16/07/2018 13:59	50.6
16/07/2018 14:04	52
16/07/2018 14:09	44.6
16/07/2018 14:14	48.5
16/07/2018 14:19	48.7
16/07/2018 14:24	47.4
16/07/2018 14:29	47.2
16/07/2018 14:34	47.7
16/07/2018 14:39	47.7
16/07/2018 14:44	47.5
16/07/2018 14:49	46.1
16/07/2018 14:54	49
16/07/2018 14:59	48.8
16/07/2018 15:04	46.8
16/07/2018 15:09	50.5
16/07/2018 15:14	50.8
16/07/2018 15:19	52.5
16/07/2018 15:24	50.9
Promedio RH%	46.276

Tabla 10 Datos de humedad relativa del invernadero con extracción forzada de aire

Fuente: *Elaboración Propia*

En las tablas 11 y 12 se observan las mediciones de temperatura y humedad relativa, obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage PRO2, fecha de medición 16/julio/2018. Duración de la medición 2 horas.

Temperatura Exterior. Mediciones; Estación Davis UTBB	
HORA	°C
16/07/2018 13:20	31.2
16/07/2018 13:30	31
16/07/2018 13:40	31.2
16/07/2018 13:50	31.2
16/07/2018 14:00	31
16/07/2018 14:10	30.9
16/07/2018 14:20	30.8
16/07/2018 14:30	31.1
16/07/2018 14:40	31
16/07/2018 14:50	30.7
16/07/2018 15:00	30.7
16/07/2018 15:10	30.9
16/07/2018 15:20	31.1
16/07/2018 15:30	31.2
16/07/2018 15:40	31.2
16/07/2018 15:50	31.4
Promedio	31.0375

Tabla 11 Datos de temperatura exterior obtenidos de estación meteorológica para comparativa con extractor

Fuente: *Elaboración Propia*

Humedad Relativa Exterior. Mediciones; Estación Davis UTBB	
Hora	RH %
16/07/2018 13:20	71
16/07/2018 13:30	71
16/07/2018 13:40	73
16/07/2018 13:50	72
16/07/2018 14:00	75
16/07/2018 14:10	73
16/07/2018 14:20	74
16/07/2018 14:30	73
16/07/2018 14:40	74
16/07/2018 14:50	74
16/07/2018 15:00	75
16/07/2018 15:10	75
16/07/2018 15:20	74
16/07/2018 15:30	74
16/07/2018 15:40	74
16/07/2018 15:50	71
Promedio	73.3125

Tabla 12 Datos de humedad relativa exterior obtenidos de estación meteorológica para comparativa con extractor
Fuente: Elaboración Propia

Comparativos resultados de obtenidos

En la tabla 13 se muestran los promedios temperatura y humedad relativa obtenidos de los sensores colocados dentro del invernadero y de los sensores de la estación meteorología de la UTBB.

Comparativa De Variables Climatológicas		Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa promedio (%)
Ventiladores como inyector (Arreglo 1)	Invernadero	40.89	43.70
	Estación meteorológica	31.94	69.06
Ventiladores como inyector-extractor (Arreglo 2)	Invernadero	37.53	63.92
	Estación meteorológica	31	81.31
Ventiladores como extractor (Arreglo 3)	Invernadero	42.87	46.27
	Estación meteorológica	31.03	73.31

Tabla 13 Comparativa de promedios de resultados obtenidos en las mediciones con los diferentes arreglos de los ventiladores
Fuente: Elaboración Propia

Es muy interesante que con el arreglo 2 (Inyector-extractor) se consigue bajar más la temperatura del interior de invernadero comparado con el arreglo 1 y 3; no obstante la humedad relativa fue mayor, lo que disminuiría el efecto de enfriamiento evaporativo del espacio (DR. John R. Watts, 1986).

Se puede deducir que si la humedad relativa en el arreglo 2 fuese similar a los casos 1 y 3 se esperaría una menor temperatura promedio en el interior del invernadero.

Conclusiones

Se puede inferir por medio de los resultados obtenidos que la colocación de los ventiladores Inyector-extractor es la manera más eficiente de aprovechar dicha ventilación forzada puesto que se logró bajar un poco más la temperatura en relación con los otros casos, además de que la humedad relativa se mantuvo dentro del rango requerido por las plantas que es entre un 55 y 65 %.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas por otorgar todas las facilidades en el desarrollo del presente artículo, muy especialmente al área de Agricultura Sustentable por permitirnos realizar los cambios necesarios dentro del invernadero para efectuar las mediciones de las variables climatológicas.

Anexos



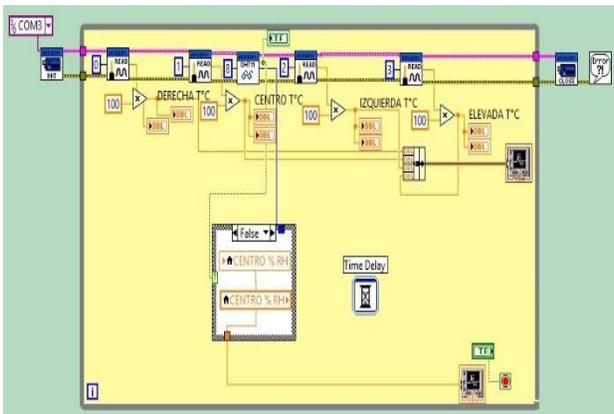
Anexo 1 Montaje de Sensores en el protoboard



Anexo 2 Maniobra de cambios de ventiladores



Anexo 3 Monitoreo interno de temperatura y humedad relativa



Anexo 4 Diagrama de bloques en LabVIEW para el monitoreo de la de temperatura y humedad relativa.

Referencias

agricola, A. e. (19 de 11 de 2013). Alzados generales. Nuevo Vallarta, Nayarit.

ARDUINO. (5 de 07 de 2018). *ARDUINO.cl*. Obtenido de <http://arduino.cl/arduino-uno/>

DAVIS. (4 de 07 de 2018). *VANTAGE PRO2*. Obtenido de <https://www.davisinstruments.com/solution/vantage-pro2/>

DR. John R. Watts, P. (1986). *Evaporative Air Conditioning HANDBOOK*. New York: CHAPMAN & HALL.

Flores Velázquez Jorge, L. C. (2014). Evaluación del desempeño climático de un invernadero baticenital del centro de México mediante dinámica de fluidos computacional (CFD). *AGROCIENCIA*, 131-146.

Hidroponia. (27 de 05 de 2016). *HIDROPONIA.MX*. Obtenido de <http://hidroponia.mx/invernadero-baticenital-que-es/>

Jorge Flores Velázquez, F. V. (2014). Diseño de un sistema de ventilación forzada para un invernadero cenital usando CFD. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 303-316.

Marco A. Arellano García, D. L. (2011). Ventilación natural y forzada de invernaderos tipo Almería y su relación con el rendimiento de tomate. *Terra Latinoamericana*.

SAGARPA. (4 de Enero de 2018). *ecretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/productos-que-nos-ofrece-la-agricultura-prottegida?idiom=es>

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

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

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

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

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

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

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

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

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Ingeniería Mecánica. 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]

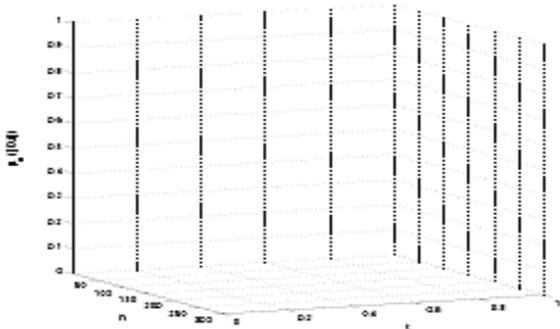


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

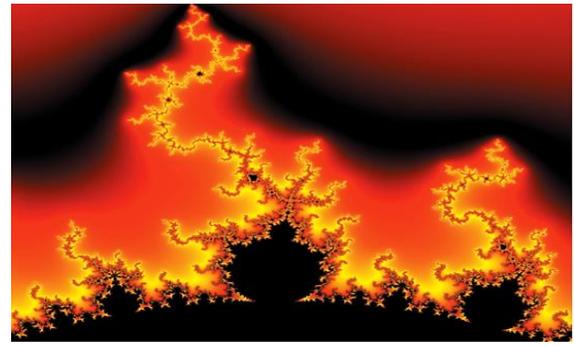


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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 Titulo 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 Mecánica 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 Mecánica emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadadas 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 Spain 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 Spain para su Revista de Ingeniería Mecánica, 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
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

MIRANDA-GARCIA, Marta. 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 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

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

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

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

1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.

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

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

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

16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

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

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

Revista de Ingeniería Mecánica

“Sistema de refrigeración para unidad móvil de almacenamiento de tracto camión utilizando calor residual de los gases de combustión del motor”

VALLE-HERNANDEZ, Julio, MORALES-ORTEGA, Edgar Enrique, NIETO-PEÑA, Alejandra y ROMAN-AGUILAR, Raúl

*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo*

“Análisis del comportamiento de un eyector para aplicaciones de refrigeración utilizando CFD”

ROMÁN-AGUILAR, Raúl, HERNÁNDEZ-GUTIERREZ, Jorge Isaac, VALLE-HERNÁNDEZ, Julio y FARFAN-FLORES, Daniel

*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Energías Renovables*

“Diseño virtual y paramétrico de leva y seguidor”

JIMÉNEZ-RABIELA, Homero, VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Benjamín, GARCÍA-SEGURA, Pedro y BRAVO-ACOSTA, Adrian Gustavo

Universidad Autónoma Metropolitana

“Análisis comparativo de un sistema de ventilación forzada utilizado en un invernadero tipo baticenital considerando su colocación, Inyector – Extractor”

FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe, VACA-ROSAS, Jose Miguel, PAREDES-VAZQUEZ, Cesar Paul y RANGEL-SANCHEZ, Jorge

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas

