

ISSN 2531-2189

Volumen 2, Número 6 — Abril — Junio - 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 6, de Abril a Junio - 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 Junio 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 Nefthalí. 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 seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding 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 artículo presentamos, *Análisis transitorio del flujo tangencial en tanques horizontales con distintos deflectores*, por LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel, con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana, como segundo artículo presentamos, *Sistema de estacionamiento vertical automático*, por SOTELO-MARTÍNEZ, Samuel, ARROYO-CHÁVEZ, Victor Ventura, OCAMPO-MARTÍNEZ, Rafael y GARCÍA-MENDOZA, Rufino, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, como tercer artículo presentamos, *Análisis energético de un sistema de generación termoeléctrica utilizando calor residual de celdas de combustible*, por VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y ROJAS-AVILA, Apolo, con adscripción en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo & Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo, como cuarto artículo presentamos, *Comparación de la Degradación de la Energía en un Ciclo de Refrigeración con R-12 y R-134a*, por RANGEL-ROMERO, Carlos, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, FLORES-MARTÍNEZ, Guillermo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Puebla.

Contenido

Artículo	Página
Análisis transitorio del flujo tangencial en tanques horizontales con distintos deflectores LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel <i>Universidad Autónoma Metropolitana</i>	1-11
Sistema de estacionamiento vertical automático SOTELO-MARTÍNEZ, Samuel, ARROYO-CHÁVEZ, Victor Ventura, OCAMPO-MARTÍNEZ, Rafael y GARCÍA-MENDOZA, Rufino <i>Universidad Tecnológica de San Juan del Río</i>	12-19
Análisis energético de un sistema de generación termoeléctrica utilizando calor residual de celdas de combustible VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y ROJAS-AVILA, Apolo <i>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo</i> <i>Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo</i>	20-27
Comparación de la Degradación de la Energía en un Ciclo de Refrigeración con R-12 y R-134a RANGEL-ROMERO, Carlos, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, FLORES-MARTÍNEZ, Guillermo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio <i>Universidad Tecnológica de Puebla</i>	28-35

Análisis transitorio del flujo tangencial en tanques horizontales con distintos deflectores

Transient analysis of the tangential flow in horizontal tanks with different deflectors

LIZARDI-RAMOS, Arturo†*, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, C.P. 02200, Ciudad de México, CDMX, México

ID 1^{er} Autor: *Arturo, Lizardi-Ramos* / 7801325509

ID 1^{er} Coautor: *Raymundo, López-Callejas* / ORC ID: 0000-0001-9415-3435, CVU CONACYT ID: 213601

ID 2^{do} Coautor: *Hilario, Terres-Peña* / ORC ID: 0000-0001-7996-5734, CVU CONACYT ID: 98093

ID 3^{er} Coautor: *Mabel, Mier-Vaca* / ORC ID: 0000-0002-1341-7863, CVU CONACYT ID: 12369

Recibido 08 Marzo, 2018; Aceptado 12 Junio, 2018

Resumen

Se presenta el análisis numérico transitorio del flujo generado por la inyección tangencial de aire en un cilindro horizontal que contiene agua y cuya superficie superior está abierta a la atmósfera. El aire se introduce al tanque con una tobera y frente a ella se colocan tres tipos de deflector; con sección transversal circular, triangular y alabeada. El modelo matemático se describe con las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas polares cilíndricas en estado transitorio y se resuelve con el método numérico del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS. Los resultados se muestran a través de los campos de velocidad transitorios que se generan en la sección transversal del recipiente, que coinciden con la inyección de aire en el contenedor; además se analiza el comportamiento de la velocidad azimutal a lo largo del diámetro del cilindro, para diferentes tiempos. Al comparar los resultados en estado permanente de los sistemas con deflector triangular y alabeado contra el circular se encontró que: a) el valor del vector velocidad en la parte superior izquierda del tanque disminuyó 1.09 y 18.59%, respectivamente; b) el valor máximo positivo de la velocidad azimutal a lo largo del diámetro del recipiente disminuyó 1.55 y 17.69%, respectivamente.

Flujo Tangencial, Velocidad Azimutal, Deflectores

Abstract

The transient numerical analysis of the flow generated by the tangential injection of air in a horizontal cylinder containing water, with its upper surface open to the atmosphere, is presented. The air is introduced into the tank with a nozzle and in front of it three types of deflectors are placed, namely, deflectors with circular, triangular, and bladed cross-section. The mathematical model is described with the Navier-Stokes equations in cylindrical polar coordinates in transient state; it is solved using the finite-element numerical method, through the COMSOL MULTIPHYSICS software. The results are displayed through the transient fields of velocity that are generated in the cross section of the container, which coincide with the injection of air in the container; also the behavior of the azimuth velocity along the diameter of the cylinder, for different times, is analyzed. When results in steady state of systems with triangular and bladed deflector were compared against the circular one, it was found that: a) the value of the velocity vector in the left upper part of the tank diminished 1.09 and 18.59%, respectively; (b) the maximum positive value of the azimuth velocity along the diameter of the container diminished 1.55 and 17.69%, respectively.

Tangencial Flow, Azimuth Velocity

Citación: LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel. Análisis transitorio del flujo tangencial en tanques horizontales con distintos deflectores. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-6: 1-11.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Nomenclatura

C	calor específico (J/kg K)
C_d	coeficiente de arrastre
d_b	diámetro de burbuja (m)
\vec{F}	vector de fuerzas de cuerpo (N/ m ³)
g	aceleración gravitatoria (m/s ²)
k	conductividad térmica (W/m K)
m_{gl}	tasa de transferencia del gas (kgs/m ³)
M_w	peso molecular de burbuja de gas (kg/mol)
\vec{N}_g	vector flujo de masa de gas (kg/m ² s)
P	presión (Pa)
R	constante de gas ideal (J/mol K)
r	coordenada radial (m)
Re	número de Reynolds
T	tiempo (s)
T	temperatura (K)
u	componente de velocidad radial (m/s)
v	componente de velocidad tangencial (m/s)
\vec{V}_g	velocidad de la fase gas (m/s)
\vec{V}_l	velocidad de la fase líquida (m/s)
\vec{V}_{des}	velocidad de deslizamiento (m/s)
\vec{V}_{in}	velocidad del gas a la entrada (m/s)
w	componente de velocidad axial (m/s)
z	coordenada axial (m)
α	ángulo entre el eje y el álabe del impulsor (grados)
β	coeficiente de expansión volumétrico (K ⁻¹)
ρ_l	densidad del líquido (kg/m ³)
ρ_g	densidad de la fase gaseosa (kg/m ³)
ρ_{in}	densidad del gas a la entrada (kg/m ³)
μ_l	viscosidad dinámica de la fase líquida (kg/m s)
μ_T	viscosidad turbulenta (kg/m s)
θ	coordenada tangencial (rad)
ϕ_l	fracción de volumen líquido (m ³ /m ³)
ϕ_g	fracción de volumen de gas (m ³ /m ³)

Introducción

La inyección tangencial de gases en contenedores cilíndricos horizontales abiertos a la atmósfera es un fenómeno de gran interés debido a las aplicaciones industriales y de investigación involucradas. Tales aplicaciones van desde la inyección de aire, como en el convertidor Peirce-Smith (para la extracción de cobre), la inyección de gases en biorreactores, en sistemas de aireación, en tinas de hidromasaje médico-terapéutico o en lavadoras de inyección de burbujas [1].

Sin embargo, aún no se cuenta con la suficiente información sobre los parámetros involucrados, tales como la duración del proceso de mezclado gas-líquido, los campos de velocidad generados por los fluidos involucrados, o la pérdida de cantidad de movimiento implicada en el fenómeno; todo lo anterior para casos específicos de configuración geométrica y de dirección del flujo.

En la actualidad los programas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), por sus siglas en inglés, han adquirido gran relevancia debido a la viabilidad de poder modelar fenómenos físicos complejos con gran precisión; además de que es una herramienta que permite reducir, de cierta forma, el costo y tiempo de experimentación. Esto es favorable ya que se consigue optimizar el proceso involucrado e incluso adicionar nuevas herramientas que incrementen la eficiencia y de nuevo reduzcan los gastos de investigación y desarrollo.

El objetivo de este trabajo es determinar los campos de velocidad transitorios generados por la inyección tangencial de aire en un cilindro horizontal que contiene agua y cuya superficie superior está abierta a la atmósfera. Además, en la sección de entrada del aire, se colocan tres tipos de deflector: con sección transversal circular, triangular y alabeada. Para ello se resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas polares cilíndricas, en estado transitorio, junto con las condiciones iniciales y de frontera adecuadas. Los resultados permiten obtener los campos de velocidad transitorios en la sección transversal del cilindro que coincide con la inyección de aire en el contenedor y el tipo de deflector empleado; así como el comportamiento de la velocidad azimutal (v) a lo largo del diámetro del cilindro para diferentes tiempos.

El problema ha sido abordado por diferentes investigadores, entre los trabajos más destacados se encuentran:

Valencia A., et al. [2], estudiaron numéricamente la dinámica de fluidos dentro de un recipiente con agua, con la geometría de un convertidor, debido a la inyección de aire provocada por una tobera sumergida.

La simulación tridimensional, dependiente del tiempo, se llevó a cabo con un modelo de volumen de fluido (VOF) y con el modelo de turbulencia estándar $k-\epsilon$, utilizando el software Fluent de CFD. Se hizo un análisis experimental del fenómeno con un tanque lleno de agua. Se compararon los resultados numéricos y experimentales de la velocidad de entrada del aire en el tanque que produce los resultados más favorables respecto a una buena mezcla en el recipiente con un mínimo de salpicaduras.

Real C., et al. [3], caracterizaron un convertidor con inyección de aire en el fondo, por medio de simulación numérica en 3D, utilizando el software Fluent. En el planteamiento del problema se contemplaron las ecuaciones de Navier-Stokes en flujo transitorio, para múltiples velocidades de inyección de aire, y en condiciones isotérmicas. En la simulación se utilizó el modelo $k-\epsilon$ de flujo turbulento para modelar la transferencia de cantidad de movimiento en el cilindro.

En dicho trabajo se encontró que a medida que se aumentaba la velocidad del aire inyectado, se incrementaba la energía cinética de la mata de cobre de manera casi lineal. Se buscó maximizar la energía cinética de la mata de cobre, evitando salpicaduras excesivas en el reactor. López C. y Barrón M. [4], analizaron por medio de la dinámica de fluidos computacional el flujo del fluido y la transferencia de masa dentro de un convertidor Peirce-Smith. En el trabajo se presenta la simulación trifásica (aire-escoria-cobre), en dos dimensiones, y con los rangos de velocidad de inyección de aire de 5 a 150 m/s.

Las simulaciones se llevaron a cabo en estado transitorio, y se estudió el caso de inyección lateral inclinada, determinando las condiciones apropiadas para reducir el desgaste del refractario del convertidor. Chibwe D. K. et al. [5], analizaron experimental y numéricamente el patrón de flujo y mezclado en un convertidor industrial Peirce-Smith, empleando un modelo en frío. Se llevaron a cabo simulaciones 2-D y 3-D del sistema de tres fases, utilizando el modelo de volumen de fluido (VOF) y el modelo de turbulencia $k-\epsilon$, para tener en cuenta la naturaleza multifásica y de turbulencia del flujo. La capa de mata y escoria fueron simuladas con agua y queroseno respectivamente.

La capa de escoria se tomó en cuenta debido a que crea una membrana en la superficie que ocasiona un fenómeno de recirculamiento. Los resultados revelaron que tanto la tasa de flujo volumétrico del aire como la presencia de la capa de escoria superpuesta tienen efectos profundos sobre la eficiencia de mezcla del convertidor. Morales D. [6], empleó simulación numérica por medio de Fluent para realizar un estudio hidrodinámico de un convertidor Peirce-Smith, introduciendo en el convertidor perfiles geométricos que fungen como difusores estáticos y que proporcionan a la mata de cobre un mezclado más homogéneo. Se verificó la factibilidad de la propuesta y se dejó abierta la posibilidad de ampliar la investigación y las áreas de implementación.

En el estudio se concluyó que la formación de remolinos cerca de las paredes del material cerámico, del que está hecho el convertidor, reduce la eficiencia del mezclado, y acelera el desgaste del material del convertidor. Se propone un diseño de perfil aerodinámico que no provoque cambios de velocidades drásticos y por consiguiente fricción que erosione el material del que esté fabricado.

Modelo físico

El sistema a analizar consiste en un contenedor cilíndrico horizontal de radio $R1 = 100$ mm y longitud $L1 = 100$ mm. La parte superior de tanque se encuentra abierta a la atmósfera a través de una abertura de ancho $L2 = 28.2$ mm y a todo lo largo del recipiente.

Para introducir radialmente el aire al sistema se colocó una tobera de radio $R2 = 2$ mm ubicada a la mitad de la longitud del cilindro y a un ángulo de $\theta1 = 225^\circ$, Fig. 1 y 2. Para distribuir el aire en el interior del tanque se colocaron deflectores de sección transversal: circular de radio $R3 = 5$ mm; triangular de lado $L3 = 8.66$ mm; y de perfil alabeado de radio $R4 = 5$ mm con longitud de $L4 = 18.90$ mm, Fig. 3. Los deflectores se colocaron frente a la tobera a una distancia radial de $R5 = 97$ mm, respecto a su borde exterior.

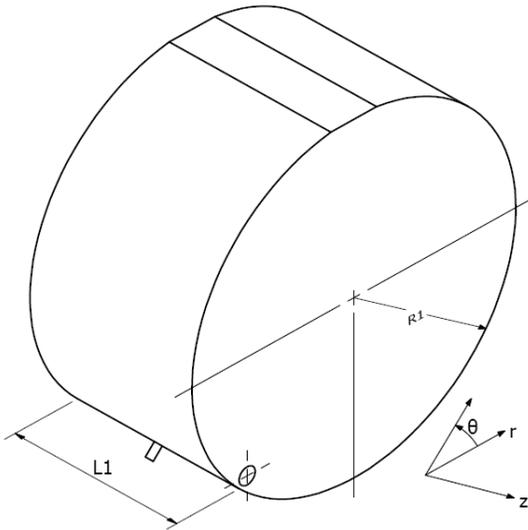


Figura 1 Vista en 3D del modelo físico
Fuente: Elaboración Propia

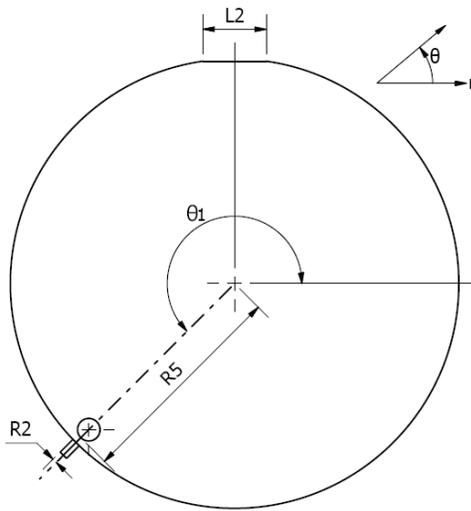


Figura 2 Vista en 2D del modelo físico
Fuente: Elaboración Propia

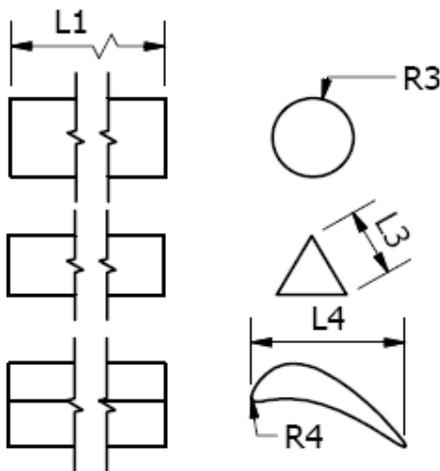


Figura 3 Deflectores empleados
Fuente: Elaboración Propia

Planteamiento matemático

Las expresiones que describen el movimiento transitorio de un fluido Newtoniano, viscoso, en régimen turbulento, bifásico, en el interior de un depósito cilíndrico, son las ecuaciones de continuidad y conservación la cantidad de movimiento de Reynolds-Navier-Stokes para flujo turbulento (RANS, por sus siglas en inglés) [1], [7].

Ecuación RANS para la fase líquida:

$$\begin{aligned} & \phi_1 \rho_1 \frac{\partial \vec{V}_1}{\partial t} + \phi_1 \rho_1 \vec{V}_1 \cdot \nabla \vec{V}_1 \\ &= -\nabla P + \nabla \left[\phi_1 (\mu_1 + \mu_T) (\nabla \vec{V}_1 + (\nabla \vec{V}_1)^T) \right] \\ &+ \phi_1 \rho_1 \vec{g} + \vec{F} \end{aligned} \quad (1)$$

Para bajas concentraciones de gas, la fracción de volumen líquido ϕ_1 es aproximadamente uno, entonces:

$$\rho_1 \nabla \vec{V}_1 = 0 \quad (2)$$

La ecuación RANS para la fase gaseosa es:

$$\frac{\partial \rho_g \phi_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \phi_g \vec{V}_g) = -m_{gl} \quad (3)$$

Como aproximación, se considera que no hay transferencia de masa entre la fase líquida y gas, por lo que $m_{gl}=0$. La ecuación (3) queda de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \rho_g \phi_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \phi_g \vec{V}_g) = 0 \quad (4)$$

La densidad del gas se calculó a partir de la ley de gas ideal:

$$\rho_g = \frac{PM_w}{RT} \quad (5)$$

Donde M_w es el peso molecular de la burbuja de gas, $R=8.314 \text{ J/mol K}$ es la constante de gas ideal y $T=293\text{K}$ la temperatura del gas.

La velocidad del gas se puede calcular a partir de la ecuación $\vec{V}_g = \vec{V}_1 + \vec{V}_{des}$, donde \vec{V}_{des} es la velocidad de deslizamiento entre el agua y el aire. El balance presión-arrastre se emplea para calcular \vec{V}_{des} . El modelo se basa en la suposición de que las fuerzas de presión de las burbujas se equilibran con la fuerza de arrastre:

$$\frac{3C_d}{4d_b} \rho_l |\vec{V}_{des}| \vec{V}_{des} = -\nabla P \quad (6)$$

Donde $d_b=0.001$ m es el diámetro de la burbuja y C_d es el coeficiente de arrastre (adimensional). Debido a que el diámetro de burbuja es inferior a 0.002 m, se usó el modelo de coeficiente de arrastre de Hadamard-Rybczynski:

$$C_d = \frac{16}{Re} \quad (7)$$

dónde:

$$Re = \frac{d_b \rho_l |\vec{V}_{des}|}{\mu_l} \quad (8)$$

Para las condiciones de frontera se asumió en las paredes del tanque y del deflector la condición de no deslizamiento $\vec{V}_1=0$. A la entrada, el flujo de gas es $-\vec{n} \cdot \vec{N}_g = \vec{V}_{in} \cdot \rho_{in}$ donde $-\vec{n}$ es un vector normal a la sección de entrada que “apunta” al interior del tanque. \vec{V}_{in} y ρ_{in} son la velocidad y densidad del gas a la entrada con valores 0.1 m/s y 0.973 kg/m³, respectivamente. Por otro lado, a la salida del gas se consideró la condición de deslizamiento $\vec{n} \cdot \vec{V}_1=0$, la cual predefine la condición de no penetración del fluido pero si del gas.

Las ecuaciones (1) y (4) se resuelven para las variables \vec{V}_1 y P. El campo de velocidades \vec{V}_1 posee tres componentes: la velocidad radial u, la velocidad tangencial o azimutal v y la velocidad axial w.

Tratamiento numérico

Para resolver las ecuaciones que gobiernan el movimiento del fluido en el interior del sistema (1) y (4) junto con las condiciones iniciales y de frontera, se empleó el software COMSOL *Multiphysics*, el cual es un programa de simulación multi-plataforma de análisis de elemento finito que permite hacer estudios convencionales basados en la física y en sistemas acoplados de ecuaciones diferenciales parciales. Para ello se utilizó la siguiente metodología [8]:

- Se selecciona en el software el tipo de análisis, en este caso: modelo en 3D.

- Se dibuja la geometría a analizar y se generan los elementos en el sistema. Para ello se dibujó un cilindro horizontal de 100 mm de radio por 100 mm de longitud, con una abertura en la parte superior de 28.2 mm de ancho a todo lo largo del recipiente. Para introducir el aire al sistema se dibujó una tobera de 2 mm de radio, ubicada a la mitad de la longitud del cilindro y a un ángulo de 225° respecto a la horizontal. Finalmente se generaron tres sistemas con deflectores de diferente sección transversal: uno circular de 5 mm de radio; uno triangular de 8.66 mm de lado; y uno con perfil alabeado de 5 mm de radio con 18.90 mm de longitud. Para el sistema con deflector de sección transversal circular se generaron 242146 elementos (Fig. 4); para el de sección transversal triangular se generaron 224310 elementos (Fig. 5), y para el de sección transversal alabeada se generaron 277150 elementos (Fig. 6). Con el número de nodos y elementos propuestos se satisfacen los criterios de estabilidad y de orden de precisión para los alcances del presente trabajo.
- Se introduce el valor de las propiedades de los fluidos, en este caso agua y aire, que permanecen constantes: viscosidad dinámica (μ), densidad (ρ), calor específico (C), coeficiente de expansión volumétrico (β) y conductividad térmica (k). La presión en el sistema se modela con el algoritmo de relajación (TDMA).

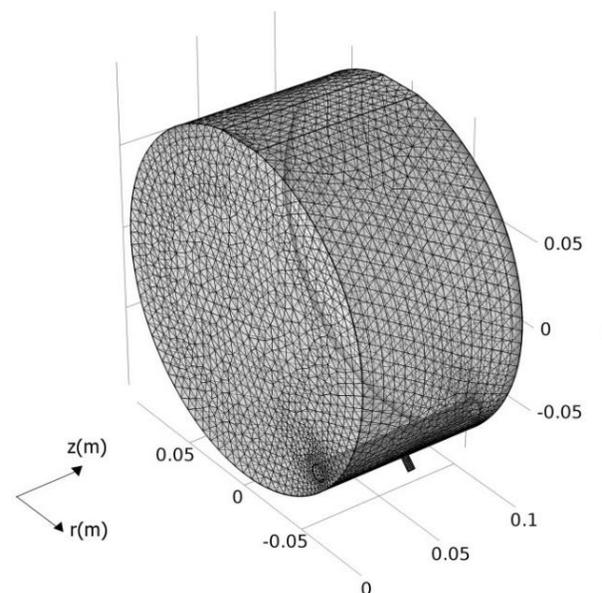


Figura 4 Malla para el sistema con deflector de sección transversal circular.

Fuente: *Elaboración Propia*

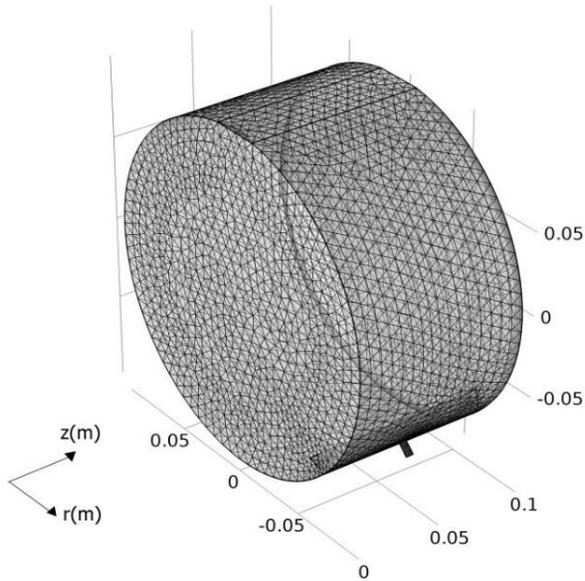


Figura 5 Malla para el sistema con deflector de sección transversal triangular.

Fuente: *Elaboración Propia*

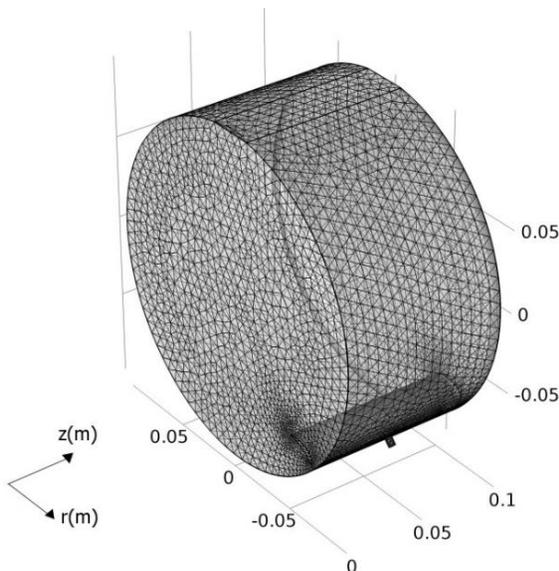


Figura 6 Malla para el sistema con deflector de sección transversal alabeada.

Fuente: *Elaboración Propia*

- d. Se introducen las condiciones de frontera y se da el valor de la velocidad de entrada del aire, en este caso $\vec{V}_{in} = 0.1$ m/s. La interfaz es resuelta con el código de: flujo burbujeante, turbulento y bifásico; que es el adecuado para resolver las ecuaciones descritas en este trabajo.
- e. Se corre el programa y se obtienen los valores transitorios de los campos del vector velocidad (\vec{V}_1) y de la componente de velocidad azimutal (v), en el plano axial que corta la entrada de flujo de aire.

Análisis y resultados

Una vez hecha la programación se llevaron a cabo las corridas para los tres tipos de deflector. El sistema se acotó con los siguientes valores: $L1 = 100$ mm, $L2 = 28.2$ mm, $L3 = 8.66$ mm, $L4 = 18.90$ mm, $R1 = 100$ mm, $R2 = 2$ mm, $R3 = 5$ mm, $R4 = 5$ mm, $R5 = 97$ mm, $\theta1 = 225^\circ$ y $\vec{V}_{in} = 0.1$ m/s. El programa se dejó correr hasta un tiempo de 10 min, pero se observó que a los 90 s se alcanzaba la condición de estado permanente.

Los campos del vector velocidad se muestran en las Figs. 7 a 15 para los tres casos y para los tiempos de 1 s, 10 s y 90 s. En ellas se indican algunos valores de la velocidad para ciertas posiciones constantes y para la sección transversal que coincide con el centro de la tobera.

Lo anterior con el objeto de comparar su magnitud al cambiar el tipo de deflector. Cabe mencionar que se está analizando el movimiento del fluido dentro del contenedor sin tomar en cuenta la concentración aire-agua que se tiene en el sistema, es decir, que el flujo de aire solo se toma en cuenta como generador del movimiento.

En la Fig. 7, sistema con deflector circular y tiempo 1 s, se observa que el aire se introduce al contenedor, se incorpora al agua, y bordea al deflector. El flujo que se dirige de lado izquierdo del mismo tiene un valor de 15.60×10^{-3} m/s, y el del lado derecho de 0.87×10^{-3} m/s.

En el tiempo de 10 s, Fig. 8, el movimiento producido en el recipiente forma un vórtice secundario en la parte superior del tanque.

En los bordes del cilindro se aprecia un movimiento circulatorio en sentido horario. La velocidad en la parte superior izquierda del contenedor es de 30.50×10^{-3} m/s.

Finalmente, en el tiempo de 90 s, Fig. 9, se observa un flujo rotatorio en sentido horario bien definido que abarca prácticamente todo el recipiente. La velocidad en la parte superior izquierda es de 45.70×10^{-3} m/s, ésta permanece constante después de este tiempo.

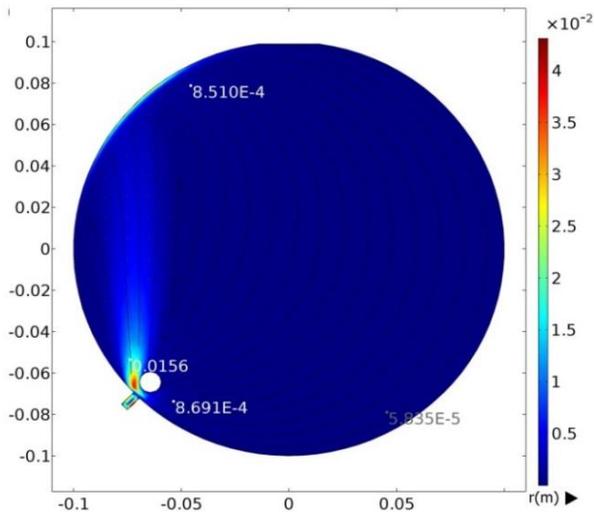


Figura 7 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector circular y $t = 1$ s.

Fuente: Elaboración Propia

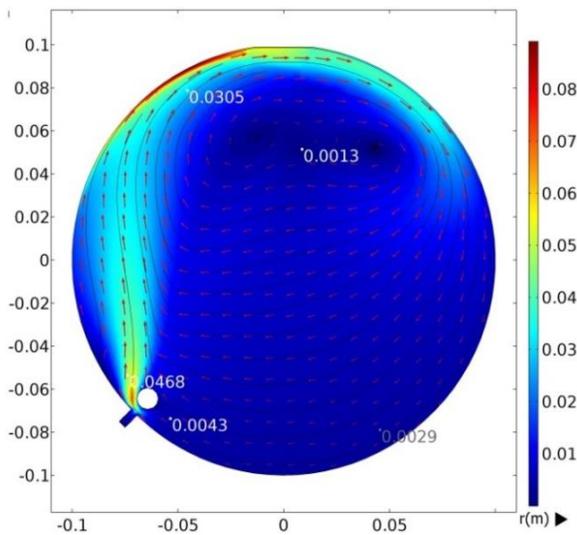


Figura 8 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector circular y $t = 10$ s.

Fuente: Elaboración Propia

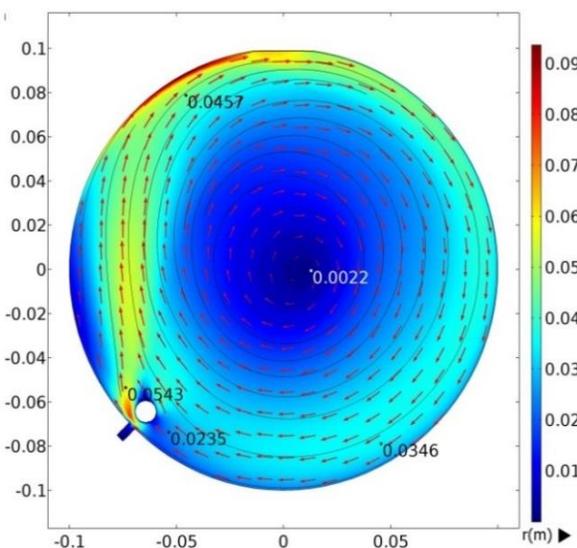


Figura 9 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector circular y $t = 90$ s

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso del sistema con deflector triangular y tiempo 1 s, Fig. 10, se observa que, como en el caso anterior, la mezcla de aire-agua es dividida por el deflector. Una parte se va hacia izquierda del mismo tomando una velocidad de 12.30×10^{-3} m/s y el resto se va hacia la derecha con una velocidad de 0.756×10^{-3} m/s.

Para el tiempo de 10 s, Fig. 11, se ha formado un vórtice secundario cerca de la frontera del recipiente que está abierta a la atmósfera. El valor de la velocidad en la parte superior izquierda del tanque es de 28.9×10^{-3} m/s. Finalmente, para el tiempo de 90 s, Fig. 12, se aprecia un flujo circulatorio en sentido horario bien definido. Para este tiempo la velocidad en la parte superior izquierda del cilindro es de 45.2×10^{-3} m/s.

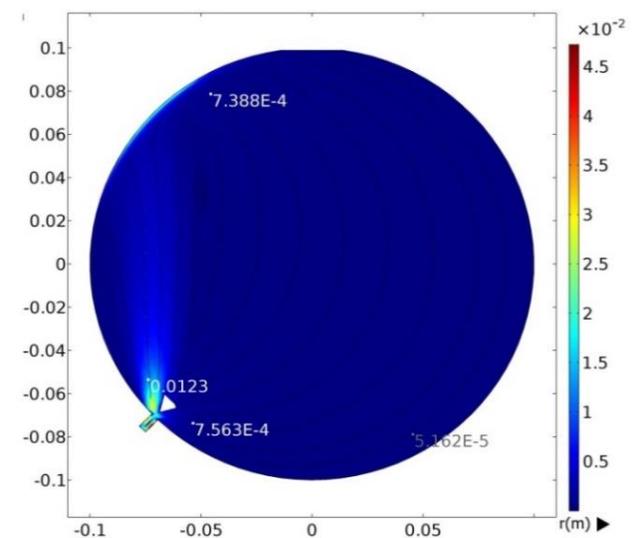


Figura 10 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector triangular y $t = 1$ s.

Fuente: Elaboración Propia

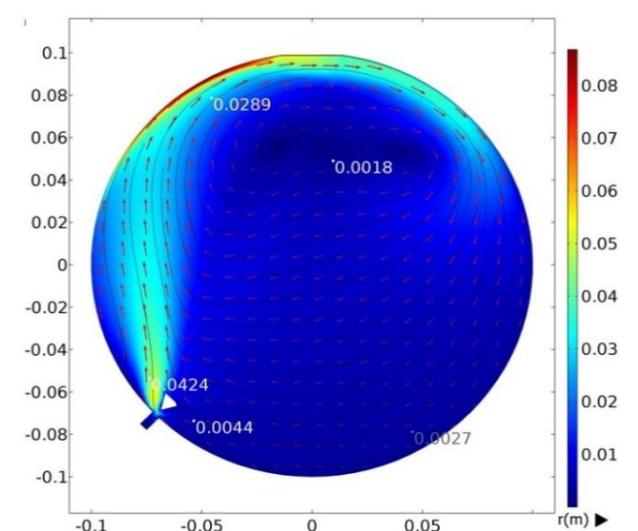


Figura 11 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector triangular y $t = 10$ s.

Fuente: Elaboración Propia

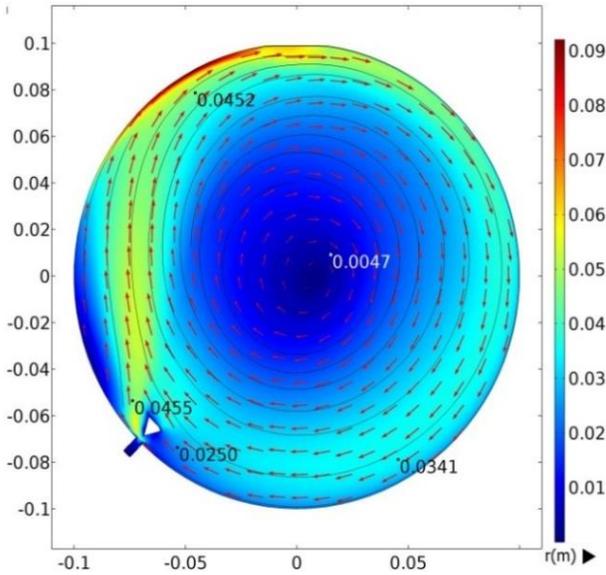


Figura 12 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector triangular y $t = 90$ s.
Fuente: Elaboración Propia

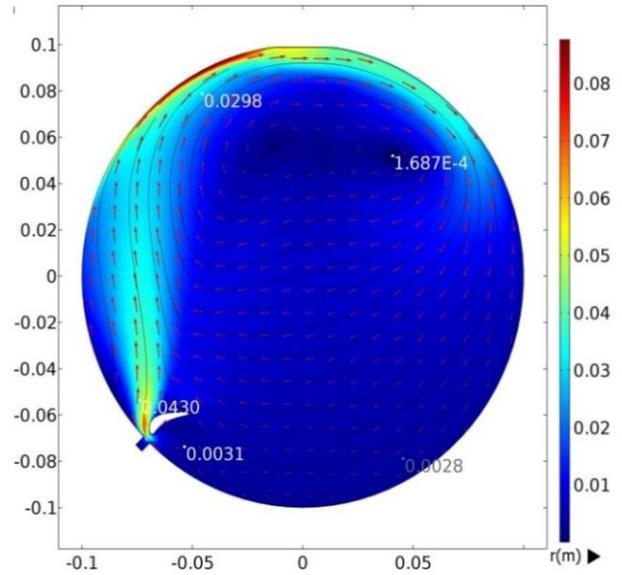


Figura 14 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector alabeado y $t = 10$ s.
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, para el sistema con deflector alabeado se observa un comportamiento parecido a los casos anteriores pero con magnitudes distintas. Para el tiempo de 1 s, Fig. 13, el flujo en la parte izquierda del deflector toma una velocidad de 15.9×10^{-3} m/s y el de la parte derecha toma un valor de 0.758×10^{-3} m/s. Para el tiempo de 10 y 90 s, Fig. 14 y 15, la velocidad en la parte superior izquierda del recipiente es de 29.8×10^{-3} y 37.2×10^{-3} m/s, respectivamente.

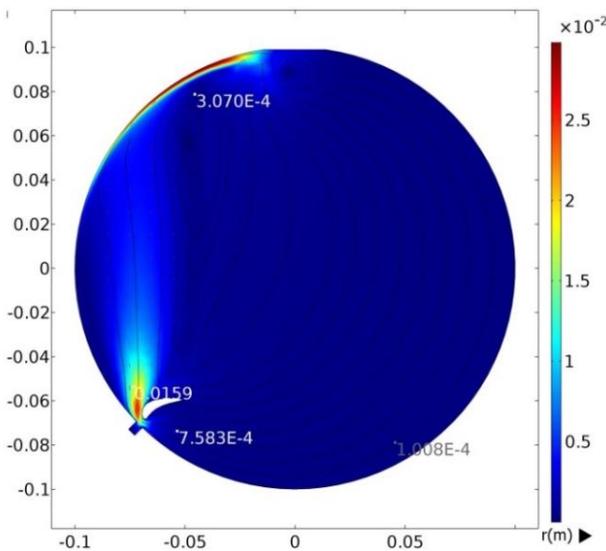


Figura 13 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector alabeado y $t = 1$ s.
Fuente: Elaboración Propia

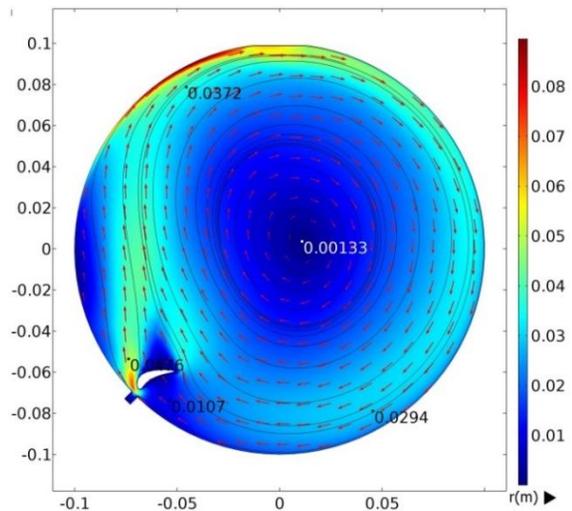


Figura 15 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector alabeado y $t = 90$ s
Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 1 se muestran a manera de resumen las magnitudes del vector velocidad (\vec{V}_1) para diferentes tiempos y posiciones. Para el tiempo de 1 s se indica la velocidad de lado izquierdo y derecho de los deflectores, y para los tiempos de 10 y 90 s se señala la velocidad en la parte superior izquierda del depósito.

Tpo.	Circular	Triangular	Alabeado
1 s	$+15.60 \times 10^{-3}$ $+0.869 \times 10^{-3}$	$+12.30 \times 10^{-3}$ $+0.756 \times 10^{-3}$	$+15.90 \times 10^{-3}$ $+0.758 \times 10^{-3}$
10 s	$+30.50 \times 10^{-3}$	$+28.90 \times 10^{-3}$	$+29.8 \times 10^{-3}$
90 s	$+45.70 \times 10^{-3}$	$+45.20 \times 10^{-3}$	$+37.2 \times 10^{-3}$

Tabla 1 Valores del vector velocidad (\vec{V}_1), m/s, para posiciones específicas en los tres sistemas.
Fuente: Elaboración Propia

Haciendo una comparación de los valores del vector velocidad, en la posición superior izquierda del recipiente, para el tiempo de 90 s, de los sistemas con deflector triangular y alabeado respecto al circular, se observó una disminución del 1.09 y 18.59 %, respectivamente.

Es decir que en esa parte del depósito se tiene una mayor velocidad cuando se coloca un deflector circular y una menor cuando se coloca un deflector alabeado.

Para hacer una comparación más precisa sobre el comportamiento del fluido en el depósito, se hicieron gráficas de la componente de velocidad azimutal (v) en la línea horizontal que va desde 0° hasta 180° , para los tiempos de 1, 10 y 90 segundos y para los tres deflectores.

En la Fig. 16, sistema con deflector circular, se observa que la curva de la componente de velocidad tangencial, en el tiempo 1 s, comienza en cero sobre la pared izquierda del depósito, posteriormente va aumentando su valor hasta un máximo positivo de 4.95×10^{-3} m/s y de allí baja su intensidad hasta hacerse cero. Después de este punto, la velocidad se mantiene prácticamente en el resto del sistema.

En este tiempo las magnitudes de la velocidad son bajas debido a que apenas comienza el movimiento del fluido en el contenedor. Para el tiempo de 10 s se aprecia que la velocidad toma un valor máximo positivo de 33.04×10^{-3} m/s, de lado izquierdo del depósito, y una magnitud máxima negativa de -6.95×10^{-3} m/s, de lado derecho del recipiente.

En este tiempo el flujo dentro del contenedor aún no alcanza el estado permanente, manifestándose una transferencia de cantidad de movimiento que genera un vórtice secundario.

Finalmente, en el tiempo de 90 s, se observa que la velocidad también toma dos valores máximos en el sistema, uno positivo de 50.94×10^{-3} m/s y otro negativo de -37.75×10^{-3} m/s. En este tiempo se ha alcanzado el estado permanente del flujo y se tiene un vórtice bien definido en el centro del cilindro.

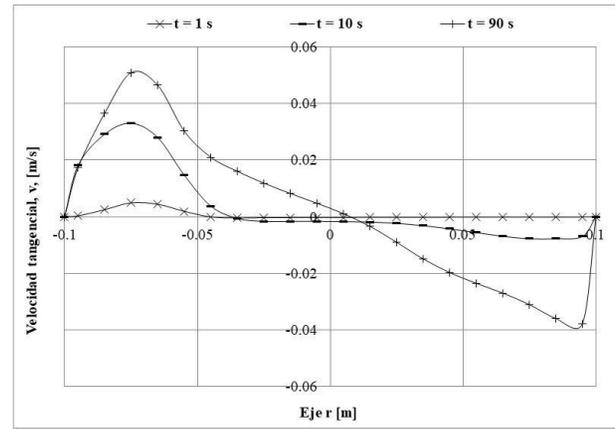


Figura 16 Componente de velocidad tangencial (v) para el sistema con deflector circular

Fuente: *Elaboración Propia*

En la Fig. 17, sistema con deflector triangular, se observa el mismo comportamiento del caso anterior, pero con valores distintos.

Para el tiempo de 1 s, la componente de velocidad tangencial comienza en cero sobre la pared izquierda del depósito y posteriormente va aumentando su magnitud hasta un máximo positivo de 4.44×10^{-3} m/s.

De allí baja su intensidad hasta hacerse cero y permanece constante hasta la pared del lado derecho del recipiente. Para el tiempo de 10 s se aprecian, como en el caso del deflector circular, dos valores máximos, uno positivo de 32.74×10^{-3} y uno negativo de -6.26×10^{-3} m/s.

Finalmente, para el tiempo de 90 s, en donde se ha alcanzado el flujo estacionario, también se observa que la velocidad toma dos magnitudes máximas en el cilindro, una positiva de 50.15×10^{-3} m/s y otra negativa de -36.96×10^{-3} m/s.

El sistema con deflector alabeado, Fig. 18, tiene el mismo comportamiento que los casos anteriores, pero con valores distintos. Las magnitudes máximas positivas y negativas de la componente de velocidad tangencial para los tres casos se muestran en la Tabla 2.

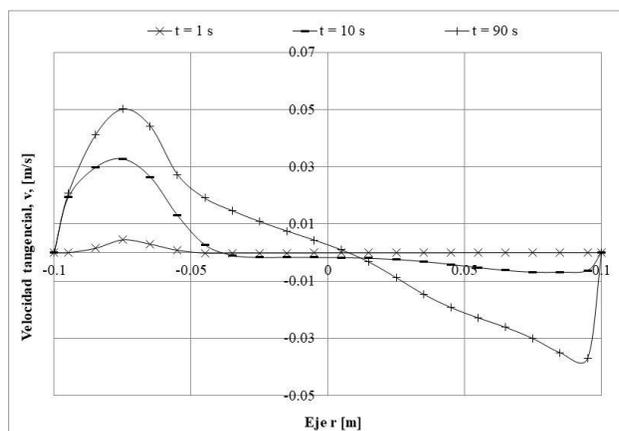


Figura 17 Componente de velocidad tangencial (v) para el sistema con deflector triangular.

Fuente: Elaboración Propia

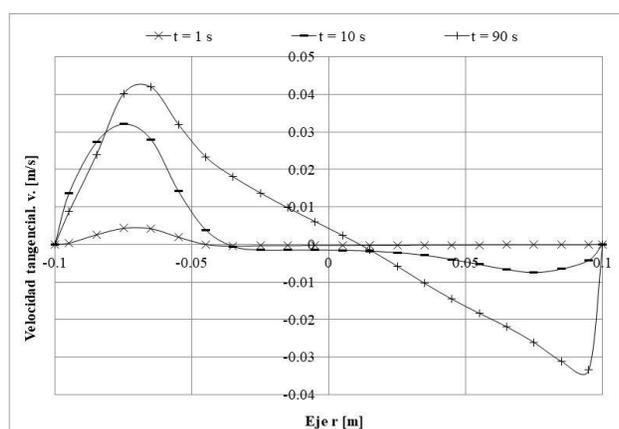


Figura 18 Componente de velocidad tangencial (v) para el sistema con deflector alabeado.

Fuente: Elaboración Propia

Tpo.	Circular	Triangular	Alabeado
1 s	$+4.95 \times 10^{-3}$	$+4.44 \times 10^{-3}$	$+4.29 \times 10^{-3}$
10 s	$+33.04 \times 10^{-3}$ -6.95×10^{-3}	$+32.74 \times 10^{-3}$ -6.26×10^{-3}	$+32.06 \times 10^{-3}$ -6.55×10^{-3}
90 s	$+50.94 \times 10^{-3}$ -37.75×10^{-3}	$+50.15 \times 10^{-3}$ -36.96×10^{-3}	$+41.93 \times 10^{-3}$ -33.45×10^{-3}

Tabla 2 Valores máximos de la velocidad tangencial (v), m/s, para los tres deflectores

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la Fig. 19, se presentan las gráficas de la componente de velocidad tangencial para los tres deflectores y para el tiempo de 90 s, que es cuando el sistema ha alcanzado el estado permanente. En ella se aprecia que la velocidad del flujo, del lado izquierdo del depósito, tiene los valores más altos. Lo anterior es debido a que en esa parte se encuentra la entrada de aire en el recipiente, quien es el que transmite la cantidad de movimiento al agua.

De lado derecho se observan magnitudes menores debido a que en esa parte solo está presente la recirculación del fluido. Comparando los valores máximos positivos de la componente de velocidad tangencial de los sistemas con deflector triangular y alabeado, respecto al circular, se encontró una disminución del 1.55 y 17.69 %, respectivamente. Es decir, el flujo con mayor intensidad se tiene con el deflector circular, seguido del triangular y por último el alabeado.

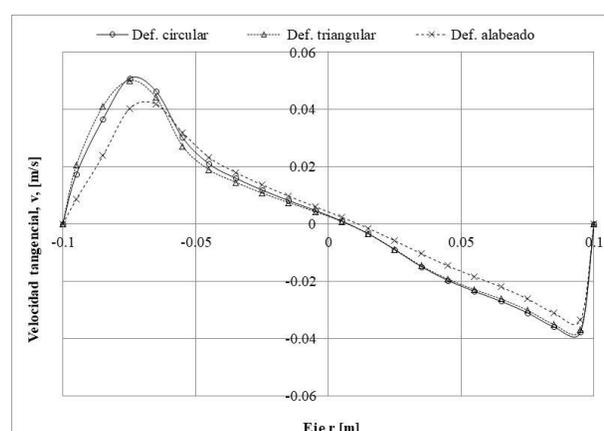


Figura 19 Componente de velocidad tangencial (v) para el tiempo $t = 90$ s y los tres deflectores.

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

En este trabajo se determinó la distribución de velocidades transitoria generada por la inyección tangencial de aire en un contenedor cilíndrico horizontal que contiene agua, que está abierto a la atmósfera, y al cual se le colocaron deflectores de sección transversal: circular, triangular y alabeada, enfrente de la tobera. Se encontró que en los primeros segundos del fenómeno el flujo bordea a los deflectores, predominantemente en la zona lateral izquierda, provocando el movimiento del fluido en esa dirección.

Para el tiempo de 10 segundos se formó un flujo circulatorio en sentido horario alrededor del recipiente y se produjo un flujo secundario en la parte superior del tanque. Cuando el proceso alcanzó el estado permanente, el flujo secundario desapareció y se formó un movimiento circulatorio bien definido con su centro al lado derecho del centro geométrico, esto último ocasionado por la posición de la tobera que introdujo el aire al depósito.

Al analizar los campos del vector velocidad en la parte superior de los sistemas, en estado permanente, se encontró que el valor más alto fue el del contenedor con deflector circular seguido del triangular y el alabeado. Al comparar dichas magnitudes entre los recipientes con deflector del triangular y alabeado contra el circular se encontró una disminución del 1.09 y 18.59 %, respectivamente. Al examinar la gráfica en estado permanente de la componente de velocidad tangencial se observó, como en el análisis anterior, que el valor más alto fue el del sistema con deflector circular, seguido del triangular y el alabeado.

Al hacer una comparación de las magnitudes máximas positivas de la velocidad tangencial para los depósitos con deflector triangular y alabeado, respecto al circular, se encontró una reducción del 1.55 y 17.69 %, respectivamente. Los resultados anteriores indican que el deflector circular es el que tiene mejor desempeño en la distribución del movimiento del fluido en el interior del tanque, aunque la diferencia que hubo con el deflector triangular fue mínima.

La forma y la posición en que se colocó el deflector alabeado provocaron que en su parte posterior el movimiento del fluido fuera despreciable, causando que el flujo en el recipiente fuera menor que el de los otros dos casos. Aunque se logró un avance con este estudio, aún falta mayor análisis para considerar otras variables, tales como el cambio de la posición del deflector alabeado, otros rangos de velocidad y distintos tipos de fluido involucrados.

Referencias

- [1] Al-Mashhadani M. K. H., Wilkinson S. J., Zimmerman W. B., (2015), Airlift bioreactor for biological applications with microbubble mediated transport processes, *Chemical Engineering Science*, Vol. 137, pp. 243-253, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2015.06.032>.
- [2] Valencia A., Paredes R., Rosales M., Gody E., Ortega J., (2004), Fluid dynamics of submerged gas injection into liquid in a model of copper converter, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 31, No. 1, pp. 21-30.
- [3] Real C., Hoyos L., Cervantes F., Miranda R., Palomar M., Barron M., Gonzales J., (2007), Fluid characterization of copper converters, *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, Vol. XXVI, pp. 1311-1323.
- [4] López C., Barrón M., (2007), Análisis numérico de la inyección de aire en un convertidor de cobre Peirce-Smith, 4° Congreso Internacional, 2do Congreso Nacional de Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. 17 al 19 de Enero de 2007. Morelia, Michoacán, México. ISBN 978-84-96736-08-5.
- [5] Chibwe D. K., Akdogan G., Aldrich C., Eric R. H., (2011), CFD Modelling of global mixing parameters in a Peirce-Smith converter with comparison to physical modelling, *Chemical Product and Process Modeling*, Vol. 6, Iss. 1, Article 22. DOI: 10.2202/1934-2659.1594.
- [6] Morales D., (2011), Estudio hidrodinámico de un convertidor de cobre utilizando la técnica de Dinámica de Fluidos Computacional. Proyecto de Integración de Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.
- [7] Tjonov, A. N., Samarsky, A. A., (1980), *Ecuaciones de la física matemática*, Edit. MIR, Moscú, pp. 1-29.
- [8] Pryor, R. W., (2011), *Multiphysics Modeling Using COMSOL, A First Principles Approach*, Jones & Bartlett Learning.

Sistema de estacionamiento vertical automático

Automatic vertical parking system

SOTELO-MARTÍNEZ, Samuel†*, ARROYO-CHÁVEZ, Victor Ventura, OCAMPO-MARTÍNEZ, Rafael y GARCÍA-MENDOZA, Rufino

Universidad Tecnológica de San Juan del Río

ID 1^{er} Autor: *Samuel, Sotelo-Martínez* / CVU CONACYT ID: 684525

ID 1^{er} Coautor: *Victor Ventura, Arroyo-Chávez* / CVU CONACYT ID: 624038

ID 2^{do} Coautor: *Rafael, Ocampo-Martínez* / CVU CONACYT ID: 288191

ID 3^{er} Coautor: *Rufino, García-Mendoza* / CVU CONACYT ID: 470927

Recibido 25 Mayo, 2018; Aceptado 25 Junio, 2018

Resumen

Actualmente se encuentran en el mundo más de 1200 millones de vehículos, se requiere de un espacio de al menos 720 mil hectáreas para estacionar esta cantidad de automóviles. Es necesario plantear soluciones para la demanda de espacio de parqueo, sobre todo en algunas ciudades de Norte América y Europa donde se tienen índices de hasta 7 vehículos por cada 10 ciudadanos. El diseño de estacionamiento vertical automático es una propuesta de ámbito electromecánico, tecnológico y de control de un mecanismo que permite ubicar varios automóviles en la misma área de parqueo. La propuesta incluye un modelado mecánico, el diseño de un proceso de control con PLC y computadora que eficiente el uso de sistema motriz, incluye interfaz gráfica intuitiva de fácil operación para el usuario con una conexión inalámbrica para reducir la necesidad de cableado y un sistema de visión para incrementar la seguridad de resguardo del automóvil. Para las pruebas de funcionamiento y control se realiza un prototipo a escala del proyecto.

Sistema, Estacionamiento, Automático

Abstract

Currently more than 1200 million vehicles are circulating in the world, it requires a space of at least 720 thousand hectares to park this amount of cars. It is necessary to propose solutions for the demand of parking space, especially in some cities in North America and Europe where there are rates of up to 7 vehicles for every 10 citizens. The automatic vertical parking design is a proposal of electromechanical, technological and control system of a system that allows to locate several cars in the same parking area. The proposal includes a mechanical modeling, the design of a PLC and computer control system that efficiently uses the motive system, includes an intuitive graphic interface, easy to operate for the user with a wireless connection to reduce the need for wiring and a system of vision to increase the security of car protection. For the operation and control tests, a prototype is made at project scale.

System, Parking, Automatic

Citación: Sistema de estacionamiento vertical automático. SOTELO-MARTÍNEZ, Samuel, ARROYO-CHÁVEZ, Victor Ventura, OCAMPO-MARTÍNEZ, Rafael y GARCÍA-MENDOZA, Rufino. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-6: 12-19.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ssotelom@utsjr.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los primeros sistemas de estacionamiento automático se presentaron en la década de 1920 en Estados Unidos, seguido de Japón una década más tarde. El objetivo era optimizar el espacio disponible para el estacionamiento de automóviles con diversos tipos de estructuras para sistemas electromecánicos controlados para el movimiento de las plataformas.

Las estructuras más utilizadas para el aprovechamiento del espacio son las siguientes: (Torres Ch. 2015):

1. Elevadores multiplicadores de nivel, su principal desventaja es que para la disposición de un vehículo se requiere el desplazamiento de los demás.
2. Torre multinivel, su inconveniente es el tiempo de espera para el usuario por la disposición del sistema elevador que se encuentra en constante movimiento para la entrada y salida de autos.
3. Estacionamiento rotatorio vertical, utiliza una jaula giratoria, además de no presentar las desventajas de los dos anteriores, son de fácil instalación, aprovecha al máximo el espacio disponible y puede ser operado directamente por el dueño del vehículo.

El estacionamiento rotatorio vertical consta de una guía, cadenas, grupo tractor, cabina, plataforma por plaza y control eléctrico - electrónico de operación del elevador. Es en esta parte donde se enfoca el presente trabajo.

Un control a través de PLC programado en lenguaje escalera con comunicación inalámbrica ethernet, disposición de lógica programada diseñada para eficientar el consumo energético del sistema elevador con algoritmo que permita el mínimo movimiento del sistema motriz, fácil operación con interfaz gráfica intuitiva para el usuario y seguridad con sistema de visión.

Este sistema de control disminuye significativamente el tiempo para estacionar y recuperar el vehículo lo cual aporta al cuidado del medio ambiente

Componentes del sistema elevador automático

Estructura de estacionamiento rotatorio

Estructura basada en el movimiento rotatorio de una transmisión motriz que genere el desplazamiento de las distintas plazas disponibles para el estacionamiento de los vehículos. Este sistema mecánico automatizado, el cual gira a un ángulo perpendicular al suelo. Es impulsado por un sistema cadena – motor – cadena y se mueve de manera giratoria cada una de las seis cabinas movibles que se desplazan en una trayectoria rotatoria vertical para el aprovechamiento del espacio.

Con este modelo mecánico se pueden estacionar 6, 8, 10, 12, 14 y hasta 16 automóviles en una superficie en la que sólo se podrían estacionar 2 tradicionalmente.

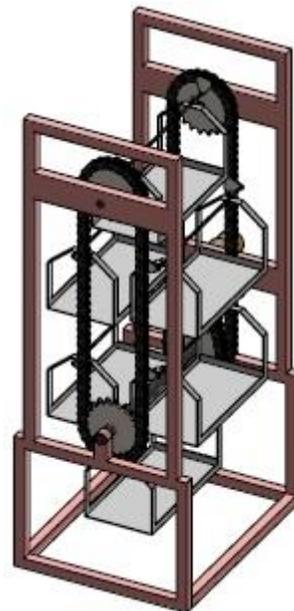


Figura 1 Mecanismo en Solid Works®

Fuente: Elaboración Propia

PLC siemens® S7-1200

Producto de la marca alemana Siemens®, diseñado para tareas de automatización sencillas pero de alta precisión. Cuyas características principales son: alta capacidad de procesamiento, cálculo de 64 bits, interfaz Ethernet, entradas analógicas y bloques de función para programación escalera.



Figura 2 PLC simatic S7-1200

Fuente: www.siemens.com

Protocolo Ethernet inalámbrico

Es una arquitectura de red de área local que presenta distintas subcategorías con base a la velocidad y medio de transmisión. A pesar de tener más de 40 años de existencia se utiliza debido a su flexibilidad y simplicidad para implementar. De uso común por su bajo costo. Comunicación inalámbrica provee los beneficios de reducir la necesidad de usar cables, proporciona una comunicación robusta y confiable.



Figura 3 Ethernet inalámbrico

Fuente: www.depositphotos.com

Interfáz gráfica con Lab View ®

LabVIEW es un programa de ingeniería diseñado para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a datos. Utiliza una programación gráfica que permite visualizar diferentes aspectos de una aplicación, como lo es la configuración del programa, datos de medidas y depuración. Su visualización permite integrar dispositivos y representar una lógica compleja de diagramas con algoritmos de análisis de datos con diseño de interfaces de usuario personalizadas.

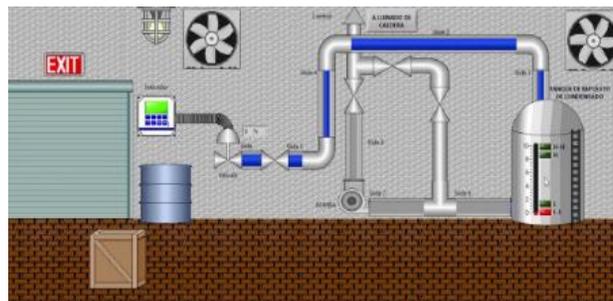


Figura 4 Sistema controlado por LabVIEW

Fuente: www.nationalinstruments.com

Sistema de visión

Es un sistema de control que utiliza como sensor las cámaras de vídeo para la interpretación de escenas del mundo real de forma automática, con presentación y análisis de características de imágenes digitales, información que posteriormente se procesará por un algoritmo almacenado en la memoria de un ordenador. Los sistemas de visión pertenecen al área de la inteligencia artificial y su uso abarca conocimientos como tratamiento de imágenes, reconocimiento de patrones, gráficos por ordenador, entre otros.



Figura 5 Cámara para control

Fuente: www.imperx.com

Metodología

Se realizó un control eficiente y adecuado del estacionamiento vertical automatizado en base al funcionamiento. En la siguiente imagen se presenta en forma de diagrama de flujo:

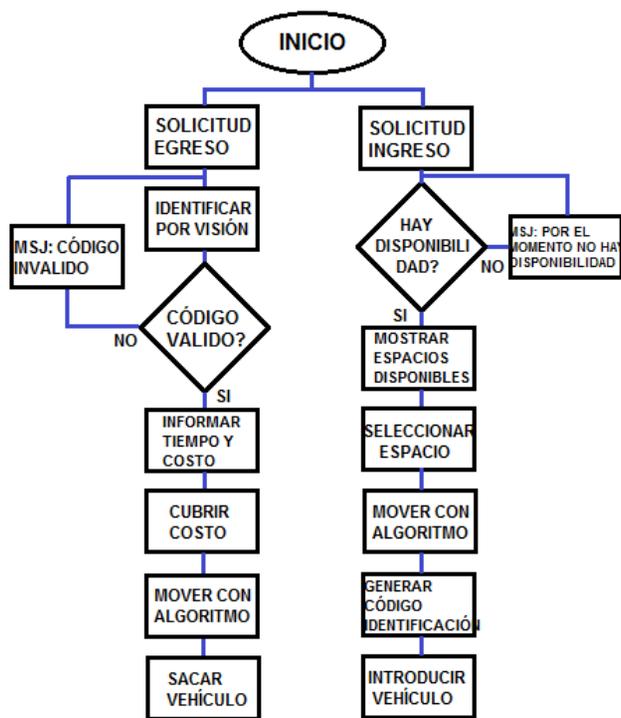


Figura 6 Diagrama de flujo de función
Fuente: Elaboración Propia.

El procedimiento para el uso del sistema es intuitivo. Para el diseño de control del estacionamiento vertical automático se siguió la metodología de proyecto:

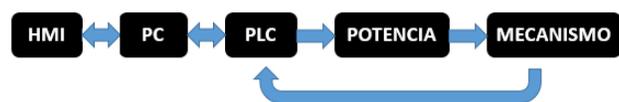


Figura 7 Metodología del proyecto
Fuente: Elaboración Propia

Etapa de enlace con el usuario

Para generar una interacción amigable con el usuario se dispuso de un panel frontal de control a partir del cual el usuario puede realizar cualquiera de las siguientes operaciones:

- Solicitar ingreso del vehículo.
- Verificar disponibilidad de espacios.
- Seleccionar espacio.
- Validar su identificación con sistema de visión.
- Solicitar egreso del vehículo.
- Informarse de tiempo de parqueo.

- Generar, en su caso, la cantidad a pagar.

Se diseño de un enlace gráfico desde el cual se pueda acceder a cada una de las funciones operativas del estacionamiento vertical automático.

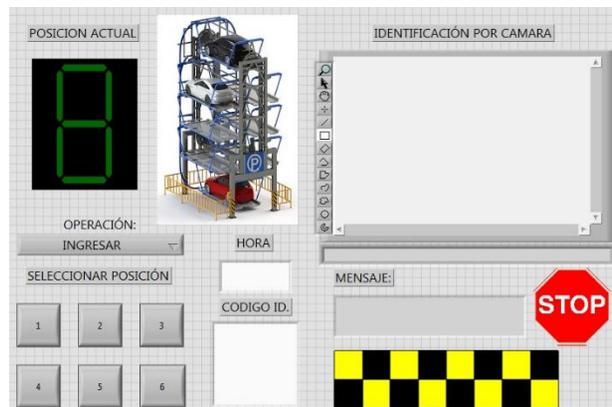


Figura 8 Panel frontal
Fuente: Elaboración Propia

Para el sistema de visión se utiliza una cámara de video para capturar de forma continua e identificar el patrón de imagen que identifique al usuario y la plaza de resguardo del vehículo. Con lectura de códigos o detección por segmentación de rasgos físicos.

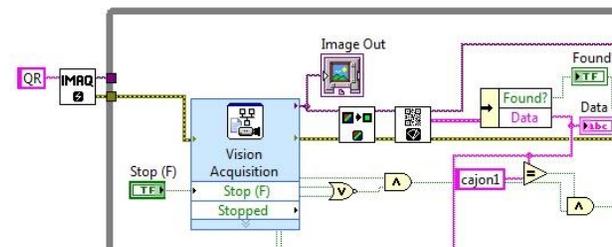


Figura 9 Programa de sistema de visión
Fuente: Elaboración Propia

Etapa de control PC – PLC

Para la vinculación entre PC y PLC se utilizó un servidor modelo OPC a través del cual, con variables globales compartidas se puede monitorear, leer, actualizar, modificar, transferir y compartir datos entre el ordenador y el controlador.

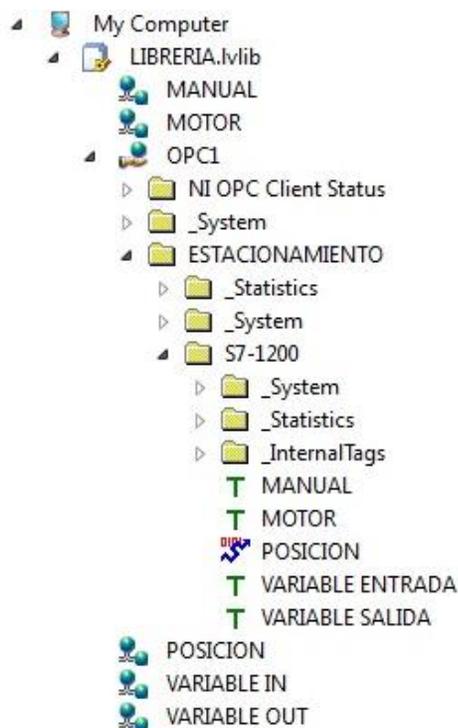


Figura 10 Variables compartidas OPC

Fuente: *Elaboración Propia*

La comunicación entre PC y PLC para el control del estacionamiento vertical automático se realizó de manera inalámbrica, con el protocolo de red inalámbrica, a través de la tarjeta inalámbrica y un router con disposición para comunicación inalámbrica.

La razón para el uso de comunicación inalámbrica es principalmente la menor utilización posible de cables de conducción de señales de control y potencia, el protocolo de comunicación Ethernet inalámbrico es confiable para la transferencia de datos de control utilizado en la industria.

En la configuración se tiene que asignar una dirección IP a la PC y otra dirección de la misma subred al PLC.

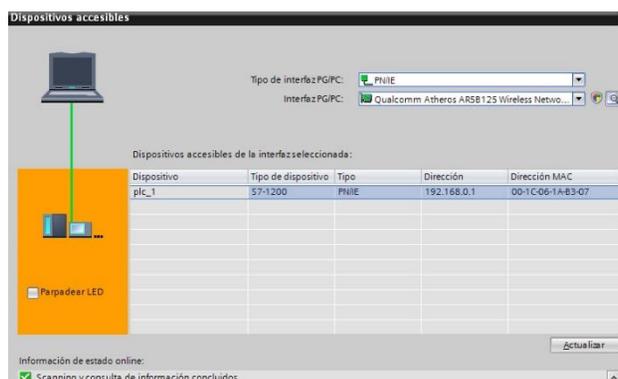


Figura 11 Conexión inalámbrica de PLC

Fuente: *Elaboración Propia*

Al tener dos elementos que pueden ser utilizados para el control del estacionamiento vertical automático y con variables globales compartidas entre ambos elementos, el sistema puede ser controlado directamente desde el PLC o desde la PC o incluso el control puede ser repartido PC – PLC.

Para este proyecto el control del motor que produce el movimiento de las plazas, los indicadores para el usuario y los sensores de posicionamiento del estacionamiento vertical automático se hace con el PLC, lo anterior conectando las entradas y salidas digitales correspondientes.

A continuación, la imagen de la programación del PLC en lenguaje escalera.

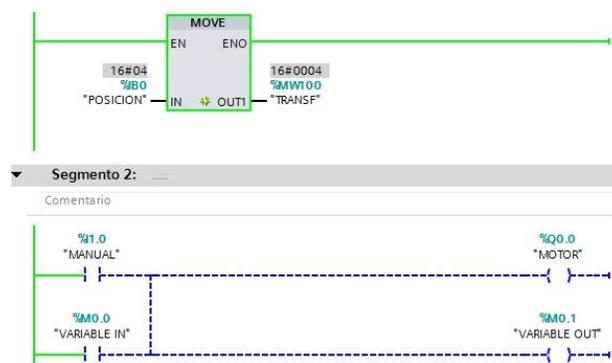


Figura 12 Programa para PLC

Fuente: *Elaboración Propia*

En la programación en el PLC se tiene un algoritmo que permite direccionar de manera eficiente el desplazamiento rotatorio del estacionamiento vertical automático, es decir controlar el giro del motor que permita la localización más rápida y el menor uso del motor para la disposición de la plaza de estacionamiento requerida.

$$| Pa - Pr | - (Np / 2) = Sg \quad (1)$$

Donde:

Pa = Posición actual.

Pr = Posición Requerida.

Np = Número de plazas.

Sg = Sentido de giro.

Sg = + (sentido horario)

Sg = - (sentido antihorario)

Para la interfás gráfica con el usuario se utilizó un diagrama de bloques para la programación de las funciones que dispondrá el cliente desde un panel frontal de control, éste control se realiza en la PC.

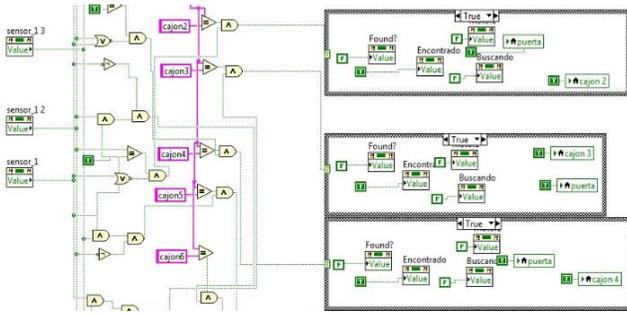


Figura 13 Programa para PC
Fuente: Elaboración Propia

El sistema de visión se controla también desde la computadora, se requiere la instalación de un controlador que habilita las funciones de visión por computadora en el software Labview®, el asistente permite la configuración de la cámara disponible para ser utilizada, el modo de captura y el algoritmo de identificación de código de acceso o egreso de vehículos.

Una función importante en un sistema de estacionamiento es la medición del tiempo de parqueo para obtener la cantidad a pagar por el servicio, se utilizó un algoritmo para la medición del tiempo, a partir del momento de ingreso, este algoritmo permite contabilizar la cantidad de horas, minutos e incluso la cantidad de segundos durante los cuales el vehículo ocupó una plaza del estacionamiento vertical automático. El costo total a pagar por el estacionamiento para el usuario será la multiplicación del tiempo determinado por la tarifa que se desee aplicar.

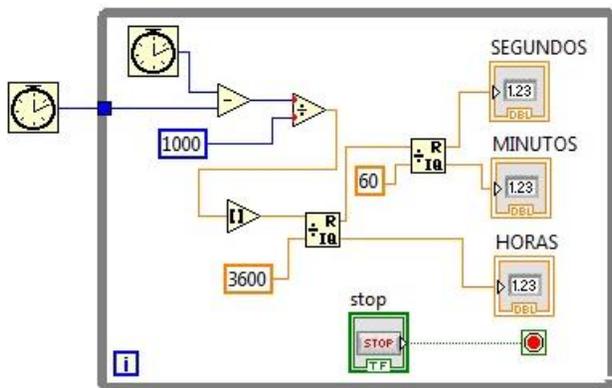


Figura 14 Algoritmo de tiempo
Fuente: Elaboración Propia

Etapa de potencia

Para el control de motor se utilizan dos salidas del PLC, con ello se logra invertir el sentido de giro de motor.

El prototipo utiliza un motor de corriente continua con un sistema de engranaje para incrementar la potencia del motor, sin embargo, con estas mismas dos salidas se puede controlar un motor de corriente alterna a través de variador de frecuencia o también un motor de inducción trifásico a través de contactores.

Adicionalmente el sistema de estacionamiento vertical automático cuenta con dos indicadores luminosos para indicar al usuario el momento en el que puede acceder o sacar el vehículo.

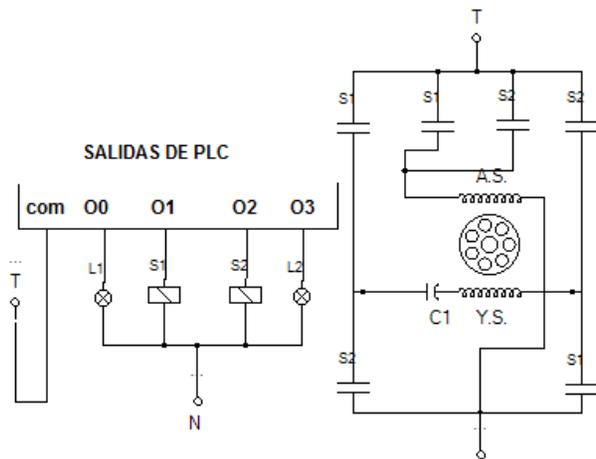


Figura 15 Diagrama de potencia
Fuente: Elaboración Propia

En la base del estacionamiento vertical automático se cuenta con sensores que identifican cada una de las plazas disponibles, las señales de estos sensores llegan directamente a las entradas del PLC para que el sistema de control tenga la ubicación y posicionamiento en cada momento del estacionamiento.

Resultados

En las pruebas realizadas con el prototipo a escala del estacionamiento vertical automático, específicamente en la parte de control se tuvieron los siguientes resultados:

Funcionamiento: La operatividad del proyecto permite una utilización de manera intuitiva, se logra el ingreso y egreso de vehículos eficientemente, con un retraso de 1 a 5 segundos para el procesamiento de la solicitud e identificación del usuario.

El movimiento de la transmisión motriz tiene una velocidad baja de 8 rpm lo cual es adecuado para evitar movimientos bruscos en las plazas del estacionamiento y evitar algún accidente, el tiempo de posicionamiento entre plazas consecutivas es de 5 segundos, esto permite un posicionamiento delicado para el cuidado de la unidad y reduce un momento de inercia para que los sensores identifiquen correctamente la posición del estacionamiento.



Figura 16 Foto de mecanismo prototipo
Fuente: Elaboración Propia

Comunicación inalámbrica: Entre PC y PLC red Ethernet inalámbrica se alcanzó una distancia aproximada de 18 metros con un concentrador inalámbrico doméstico para red (ADSL2), fuera de este alcance se pierde la comunicación, el estacionamiento vertical automático queda sin control.

Sistema de visión: Para la identificación con sistema de visión se requiere que el código o imagen a identificar esté en el área correspondiente asignada frente a la cámara, las mejores lecturas procesadas se lograron a 40 centímetros de la cámara y a un ángulo de desviación no mayor a 15 grados al frente y centro de la cámara.



Figura 17 Panel de control activo
Fuente: Elaboración Propia

Algoritmo de posicionamiento: El control que se logró para el giro del motor permitió reducir el uso del motor hasta un 50%, esto en base a la posición del estacionamiento y la plaza solicitada por el usuario, la reducción del 50% en la utilización del motor, se verá reflejado en menor consumo eléctrico, teniendo en cuenta los picos de corriente que se generan al arranque del motor, a su vez también se reducirá el desgaste mecánico propio del movimiento del mecanismo.

Conclusiones

El presente trabajo validó el control de un estacionamiento vertical automático, de forma eficiente, funcional y amigable para el usuario, éste proyecto, implementado adecuadamente, el sistema de control está diseñado para mantener función de manera autónoma sin necesidad de requerir un operador para el estacionamiento vertical.

Para la implementación de un control con una estructura para automóviles reales se requiere obligatoriamente hacer uso de sistemas de seguridad como frenos de emergencia mecánicos y dinámicos comunes en los elevadores para evitar accidente por movimiento no controlado de sistema motriz provocado por el peso de carga de la estructura con vehículos al interior.

La identificación con el sistema de visión puede mejorar el tiempo de respuesta con un procesador de imagen más potente, y una cámara especial para identificación de patrones. En Relación a la comunicación inalámbrica a pesar de resultar confiable, si se desea incrementar el rango de alcance se puede recurrir a un router inalámbrico de mayor alcance.

Referencias

Álvarez S. M. & Loaiza N. P. (2013). Diseño y simulación de un parqueadero vertical automatizado con capacidad para ocho vehículos. (pp. 1, 2, 70 - 75).

Kareyan T. (2017). Diseño y cálculo de un estacionamiento vertical. ETSEIB

Lajara J. R. & Palagré J. (2018). LabView – Entorno gráfico de programación. Ed. Alfaomega-marcombo.

Miravete A. & Larrodé E. (2007). Elevadores: principios e innovaciones. Ed. Reverté. Barcelona.

Prudente F. (2014) PLC S7-1200. Teoría y aplicaciones. Ed. LTC.

Torres Ch. M. & Nicolalde G. D. (2015). Diseño, simulación y automatización de un sistema multiplicador de aparcamiento de automóviles. Universidad de las fuerzas armadas. (pp. 1, 2.). Ecuador.

Análisis energético de un sistema de generación termoeléctrica utilizando calor residual de celdas de combustible

Energy analysis of a thermoelectric generation system using waste heat from fuel cells

VALLE-HERNÁNDEZ, Julio†*, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y ROJAS-AVILA, Apolo

*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Escuela Superior de Apan
Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo. Maestría en Ingeniería Aeroespacial*

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: Omar A., Olvera-Rodríguez / ORC ID: 0000-0002-2511-3445, Researcher ID Thomson: S-1246-2018

ID 2^{do} Coautor: Raúl, Román-Aguilar / ORC ID: 0000-0002-2284-0911, Researcher ID Thomson: O-7804-2018

ID 3^{er} Coautor: Apolo, Rojas-Avila / ORCID: 0000-0003-2934-2533, Researcher ID Thomson: O-4655-2018, CVU CONACYT ID: 905177

Recibido 20 Abril, 2018; Aceptado 30 Junio, 2018

Resumen

El aumento en los precios de combustibles fósiles y el impacto negativo hacia el planeta que implica su obtención y consumo, ha promovido la investigación en tecnologías alternativas como la de vehículos híbridos y vehículos que funcionan mediante celdas de combustible. Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que mediante la inyección de hidrogeno como combustible producen energía eléctrica, agua y calor, de los cuales, para aplicaciones de rubro automotriz, únicamente se aprovecha la energía eléctrica. En este trabajo se presenta una propuesta para aprovechar el calor residual que genera la celda, y mejorar la eficiencia eléctrica de la misma, mediante un sistema de co-generación que emplea termoeléctricos. Un termoeléctrico es un dispositivo que a partir del efecto Seebeck aprovecha un gradiente de temperaturas para generar una diferencia de potencial. En el estudio se realiza un análisis energético donde se evalúan diversas condiciones de trabajo para los dispositivos de generación termoeléctrica que considera diferentes gradientes de temperatura (temperatura sobre la celda y la respecto al ambiente). Como resultado, se presenta un arreglo óptimo de los dispositivos termoeléctricos, determinando la potencia máxima generada a partir del flux de calor entre la celda de combustible y el dispositivo termoelectrico y la eficiencia energética asociada a todo el proceso.

Celda de Combustible, Termoeléctricos, Calor Residual

Abstract

Increase in the price of fuels and the negative impact on the planet that implies its consumption and procurement, have promoted research in alternative technologies such as hybrid vehicles and vehicles that employ fuel cells. Fuel cells are electrochemical devices that by injection of hydrogen produce electric power, water and heat, but for industry automotive applications only the electric power is used. In this paper a proposal to take advantage of residual heat generated by the fuel cell is presented, with object from improve the efficiency of it through a cogeneration system that uses thermoelectrics. A thermoelectric is a device that from the Seebeck effect takes advantage of a gradient temperature to generate a differential potential. In the study an energy analysis is carried out where different working conditions for thermoelectric generation devices are evaluated that consider temperature gradient different (temperature on the cell and temperature with respect to the environment). As a result, an adequate arrangement of the thermoelectric devices is obtained, the power generated through heat flux between the circuit and energy efficiency associated with the whole process are calculated.

Fuel Cells, Thermoelectrics, Waste Heat

Citación: VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y ROJAS-AVILA, Apolo. Análisis energético de un sistema de generación termoeléctrica utilizando calor residual de celdas de combustible. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-6: 20-27.

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El aumento al precio de los combustibles derivados del petróleo y el impacto negativo hacia el planeta que implica su obtención y consumo, ha promovido la investigación en tecnologías alternativas. Se prevé que entre los años 2010-2050 existirá un incremento en la producción de CO₂ del 370% que es equivalente a 536 millones de toneladas de CO₂ más respecto al valor actual producido que es de 146 millones de toneladas de CO₂. (Sheinbaum Pardo & Solís Ávila, 2016). La mayor producción de emisiones está dada por la combustión de gasolina donde el principal consumidor es el sector de autotransporte.

Recientemente se ha promovido el avance tecnológico en el diseño de automóviles para disminuir las emisiones de gases de combustión y conjuntamente para mejorar el rendimiento de combustible. Estos avances incluyen el uso de biocombustibles y aditivos para reducir contaminantes, el diseño de motores eléctricos que contribuyen a solventar la demanda energética de un automóvil (automóviles híbridos), así como la implementación de celdas de combustible para obtener la energía capaz de impulsar autos eléctricos.

Una celda de combustible tiene la capacidad de convertir energía electroquímica obtenida a partir de una reacción entre hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂) en energía eléctrica, agua (H₂O) y calor. La siguiente figura muestra los reactivos y productos de una celda de combustible:

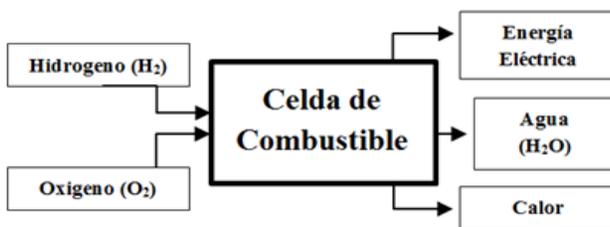


Figura 1 Diagrama de los reactivos y productos en una celda de combustible.

Fuente: (Rozo Q. & Tibaquirá G., 2007)

La cantidad de energía eléctrica producida en la celda de combustible depende directamente de su principio de funcionamiento, pudiéndose tener temperaturas de operación en el rango de 80 a 1000°C. (Cano Castillo, 1999).

El calor generado por la celda de combustible no siempre es aprovechado por algún proceso, considerándose como energía residual de la celda. Por otra parte, en los últimos años se ha promovido la búsqueda de nuevas alternativas de generación de electricidad, que permitan satisfacer la creciente demanda, y que sean consideradas como energías limpias.

Actualmente ya existen dispositivos termoelectricos que producen energía limpia, los cuales están conformados por materiales semiconductores que se encuentran conectados térmicamente en paralelo y eléctricamente en serie. Los dispositivos termoelectricos son capaces de generar un potencial eléctrico a partir de un gradiente de temperaturas en los extremos de una unión entre dos materiales diferentes, dicho efecto es conocido como efecto Seebeck.

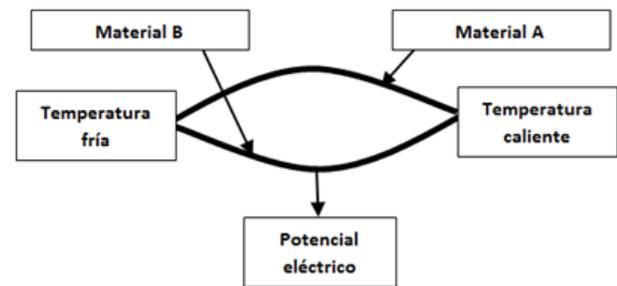


Figura 2 Representación del efecto de generación termoelectrica

Fuente: (Seebeck)

La implementación de dispositivos termoelectricos puede contribuir a satisfacer la demanda energética de algunos sistemas eléctricos, produciendo un ahorro económico al tratarse de dispositivos que no disponen de partes móviles que puedan llegar a necesitar de algún tipo de servicio preventivo para su funcionamiento.

En el presente trabajo se evalúa el diseño de un sistema de co-generación de energía que involucra un sistema termoelectrico (TEG) que aprovecha el calor residual de una celda de combustible como fuente de energía, para su potencial aprovechamiento en vehículos eléctricos. La evaluación del diseño se realiza a partir de un análisis energético, el cual se desarrolla en base al modelado matemático del sistema y a su simulación en CFD, demostrando la factibilidad del sistema para producir energía limpia.

Metodología

La metodología para el análisis energético del sistema propuesto, inicia con la elección de la celda de combustible, la cual será del tipo PEM (membrana de intercambio protónico), por ser la más utilizada en la industria automotriz. Una vez seleccionado el tipo de celda de combustible, se determina su temperatura promedio de operación y el calor residual producido por ésta. El calor generado por la celda PEM será la fuente de energía del dispositivo termoeléctrico (TEG), que se considera en la ecuación de conducción de calor.

Para el análisis la transferencia de calor se considera la convección entre el aire y un sistema de enfriamiento que ayudará a disipar el calor sobre el TEG. La siguiente figura muestra el sistema compuesto por el TEG, Celda de combustible y disipador de calor:

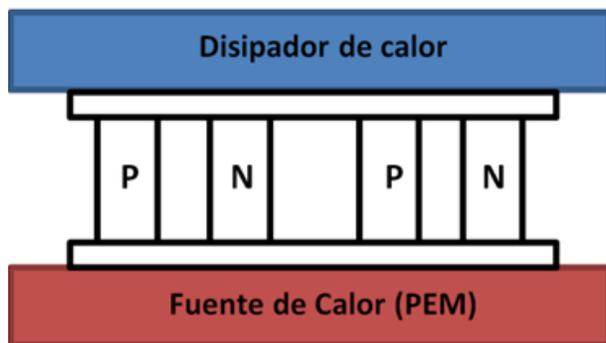


Figura 3 Diagrama del sistema de generación termoeléctrica.

Fuente: *Elaboración Propia*

En cuanto a la elección del dispositivo termoeléctrico, se revisaron e identificaron algunos tres tipos de TEGs que ya se comercializan en el mercado, sin uso determinado, y se analizaron en base a las dimensiones de los materiales semiconductores. Los materiales del tipo p y n que se proponen para el diseño se eligieron a partir de las temperaturas a las que van a interactuar con las de la pared externa de la celda PEM, esto se realiza con el fin de asegurar que los TEG tengan la mayor eficiencia posible.

Se analiza la tasa de transferencia de calor a través de los materiales termoeléctricos propuestos mediante un modelo CFD, en el que se determina su comportamiento y los parámetros de rendimiento.

Con el fin de mejorar la producción de energía por parte del sistema híbrido se propone generar una cantidad de 500 Watts por cada TEG, por lo que la cantidad de juntas termoeléctricas se calculará mediante el potencial eléctrico que se desea producir.

De acuerdo a los requerimientos de energía eléctrica para alimentar un automóvil es necesario determinar el coeficiente de Seebeck, conductividad térmica, resistencia eléctrica y figura de merito (ZT), la cuál mide el rendimiento de los dispositivos termoeléctricos.

El rendimiento del dispositivo se determina a partir de la relación entre las propiedades de cada material, para llevar a cabo el cálculo de la potencia final máxima, el número de juntas termoeléctricas máximas, la corriente máxima y voltaje máximo, los cuáles serán necesarios para llevar a cabo el diseño y modelado del TEG.

Finalmente se realizó el análisis energético a partir de los resultados obtenidos y se llegó a una conclusión en base al aumento en la producción de energía eléctrica.

Parámetros de entrada

Los parámetros de entrada del sistema están dados por la operación de la celda de combustible de Membrana de Intercambio Protónico (PEM), las cuales operan a temperaturas de 80° C a 100° C. Las celdas de combustible del tipo PEM, son capaces de entregar normalmente 250 kW de energía, utilizando una membrana polimérica conductora de protones que funciona como electrolito.

Además de que son capaces de operar a presiones de hasta 30 psi entregando como máximo 285 kW, sin embargo, al colocar colectores de corriente adecuados pueden soportar presiones de hasta 3000 psi, lo que provoca un incremento mayor de la demanda energética, así como la densidad de la corriente. (Cano Castillo, 1999).

Durante el proceso de obtención de energía eléctrica por una celda de combustible se produce calor residual, el cual se propone aprovechar por medio de dispositivos termoeléctricos.

Identificación de dimensiones y materiales termoelectricos

Aunque actualmente se comercializan dispositivos de generación termoelectrica para temperaturas de hasta 300° C en la junta caliente, para el sistema que se propone se utilizarán dispositivos con temperaturas menores a 120° C que permiten adaptarse a las temperaturas de operación de la celda. Dicho dispositivo se construirá a partir de materiales disimilares pretendiendo que la eficiencia sea mayor a la de dispositivos que ya se encuentran en el mercado.

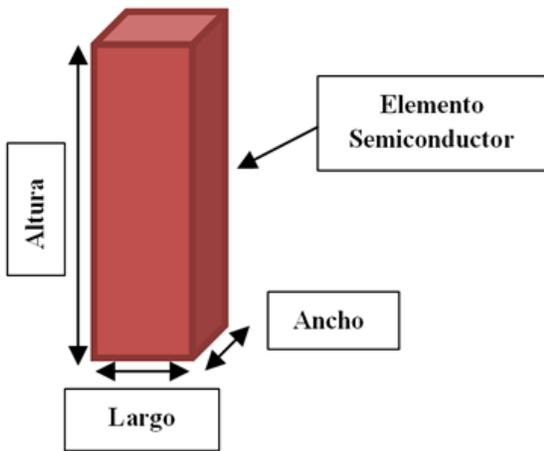


Figura 4 Material semiconductor
Fuente: *Elaboración Propia*

Los materiales que conforman al TEG son elementos semiconductores de tipo p y n, los cuales se consideran como los mejores materiales para esta aplicación, debido a que teniendo temperaturas altas responden con una mejor conductividad eléctrica. Además, para el diseño del sistema de generación termoelectrica se considera que los materiales ocupados como semiconductores p y n deben ser disimilares en características y dimensiones base.

En la tabla 1 se presentan las propiedades físicas de los materiales; K_n = conductividad térmica, ρ_n = resistividad eléctrica y α_n = coeficiente de Seebek, que servirán para desarrollar los cálculos de potencia del TEG.

Propiedades del material tipo-n (Bi ₂ Te ₃)				
Modulo	K_n W/m ² K	ρ_n Ω*m	α_n μV/K	
A	1.8	2.11x10 ⁻⁴	-190	
B	1.8	2.11x10 ⁻⁴	-190	
C	1.8	2.11x10 ⁻⁴	-190	

Tabla 1 Propiedades físicas de los materiales semiconductores tipo-n
Fuente: *(de Oliveira Alves, 2007), (Xiaodong, K. T., & C. C., 2008)*

Por presentar valores teóricos altos de la figura de mérito (ZT), respecto a la temperatura de operación de las celdas de combustible, se utilizarán los mismos elementos semiconductores compuestos por telururo de bismuto (Bi₂Te₃) para los materiales del tipo p.

Propiedades del material tipo-p (Bi ₂ Te ₃)			
Modulo	k_p W/m ² K	ρ_p Ω*m	α_p μV/K
A	1.6	1.4x10 ⁻⁵	200
B	1.6	1.4x10 ⁻⁵	200
C	1.6	1.4x10 ⁻⁵	200

Tabla 2 Propiedades físicas de los materiales semiconductores tipo-p
Fuente: *(Nieto Magdaleno, Olivares Robles, & Chanona Pérez, 2015), (Xiaodong, K. T., & C. C., 2008)*

De acuerdo a la figura 3, para el diseño del dispositivo termoelectrico se tomarán en cuenta las siguientes dimensiones que pertenecen a tres modelos de celdas TEG:

Dimensiones de los materiales p y n				
Modelo	Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Área Transversal (mm ²)
A	0.8	1.4	1.4	1.96
B	1.15	1.4	1.4	1.96
C	1.3	2	2	4

Tabla 3 Dimensiones geométricas para tres modelos de semi-conductores del TEG considerados para el estudio.
Fuente: *Elaboración Propia*

Análisis de transferencia de calor

El calor asociado al fenómeno termoelectrico involucra tres procesos diferentes: la transferencia de calor en medios sólidos, la perdida de energía por el efecto Joule y la conversión de una pequeña parte del flux de calor en una corriente eléctrica.

Las siguientes ecuaciones describen dichos procesos para el cálculo del calor absorbido y cedido por las juntas del TEG:

$$Q_H = \alpha T_H I - \frac{1}{2} I^2 R + kA \frac{(T_H - T_C)}{L} \tag{1}$$

$$Q_C = \alpha T_C I + \frac{1}{2} I^2 R + kA \frac{(T_H - T_C)}{L} \tag{2}$$

Donde: α es el coeficiente de Seebeck en [$\mu\text{V}/\text{K}$], Q_H la transferencia de calor en la cara caliente en [Watts], Q_C la transferencia de calor en la cara fría en [Watts], T_H la temperatura de la cara caliente en [K], T_C la temperatura de la cara fría [K], I la corriente en [Amps], R la resistencia eléctrica interna en [Ω], k la conductividad térmica en [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$], A el área transversal en [m^2], y L la longitud entre caras en [m].

El análisis relacionado a la transferencia de calor se realizará utilizando modelado CFD. El modelo CFD se realiza en 3 etapas diferentes; donde el primer paso es la transferencia de calor entre la PEM y la cara caliente del TEG, con el fin de identificar cual es el flujo de calor y la temperatura que tendrá el dispositivo de generación termoelectrica, posteriormente se simulan los materiales p y n que son construidos con telururo de bismuto (Bi_2Te_3) y cobre como base para la unión de las juntas entre ambos materiales. Finalmente se analiza la cara fría junto con el disipador de calor que se adaptará al dispositivo termoelectrico.

En base a las temperaturas de los semiconductores p y n, y a la diferencia de temperaturas entre caras, para cada uno de los diferentes modulos TEG se calculan los parámetros finales relacionados a la generación termoelectrica.

Cálculo de parámetros máximos

Al considerar ambos materiales como disimilares, las ecuaciones para el cálculo del coeficiente Seebeck, conductividad térmica, resistividad eléctrica, y resistencia eléctrica interna, quedan expresadas de la siguiente forma:

$$\alpha = \bar{\alpha}_p - \bar{\alpha}_n \quad (3)$$

$$K = k_p + k_n \quad (4)$$

$$\rho = \rho_p + \rho_n \quad (5)$$

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (6)$$

Para determinar la potencia eléctrica que puede generar un dispositivo termoelectrico, se debe considerar la potencia máximos que puede generar cada módulo TEG, así como el número de juntas que tiene cada módulo.

La potencia máxima y el número de juntas, se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$W_{Max} = I^2 R \quad (7)$$

$$n_{juntas} = \frac{W}{W_{Max}} \quad (8)$$

Donde la potencia máxima se da en [Watts]. I = corriente [Amps], R = resistencia eléctrica interna [Ω] y n_{juntas} = número de juntas termoelectricas. La corriente y voltaje máximo se obtiene a partir de:

$$I_{Max} = \frac{\alpha \Delta T}{2R} \quad (9)$$

$$V_{Max} = \frac{n \alpha \Delta T}{2} \quad (10)$$

Donde: α = coeficiente de Seebeck en [$\mu\text{V}/\text{K}$], R = resistencia eléctrica interna en [Ω] y ΔT = diferencia de temperaturas en [K].

A fin de evaluar el beneficio energético que se tendría con el uso de los módulos termoelectricos como sistema de cogeneración, se realiza la simulación en CFD del modelo de TEG desarrollado.

En la simulación se considera una temperatura en la junta caliente de 80°C (353.15K). La distribución de temperaturas que se genera a partir del flujo de calor por los materiales semiconductores se determina mediante análisis CFD, tomando en cuenta la transferencia de calor por convección a temperatura ambiente (298.15 K).

Resultados

Los resultados se presentan por etapas, tomando en cuenta que a partir del flujo de calor se realiza el diseño y evaluación de cada Modulo TEG y sus parámetros máximos.

Análisis del flujo de calor y temperatura entre TEG y PEM

Se realizó el análisis de la transferencia de calor sobre una de las caras del dispositivo TEG, de acuerdo a la temperatura de la celda de combustible y la temperatura ambiente a la que se va a exponer nuestro sistema.

La pared caliente del termoelectrico recibe el calor generado por la celda de combustible, el cual puede considerarse constante mientras la celda PEM trabaje a condiciones nominales de operacion. El flujo de calor máximo promedio que la celda PEM puede transferir al dispositivo termoelectrico está dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{Max} = \frac{W_{PEM}}{\eta} \frac{A_{TEG}}{A_{PEM}} \quad (11)$$

Dónde: W_{PEM} es la potencia generada por la Celda PEM (nominalmente 160 KW para autos eléctricos), η eficiencia de la Celda (aproximadamente 55 % para aplicaciones en transporte), y A_{TEG}/A_{PEM} relación entre áreas de transferencia de calor de la celda PEM y el termoelectrico TEG.

En la figura 5 podemos observar que la temperatura en la pared externa de la celda PEM es prácticamente la misma que la temperatura en la pared caliente del termoelectrico, debido a que la cerámica de la que está hecho el TEG es de un material que tiene una conductividad térmica muy alta, pero que en la cuestión eléctrica funciona como un buen aislante.

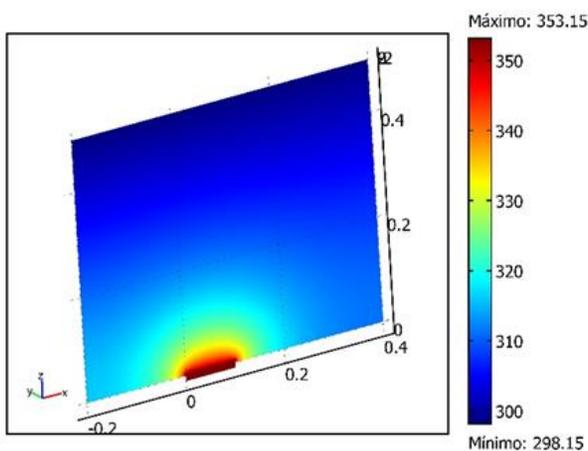


Gráfico 1 Distribución de temperaturas a través de la PEM y el TEG hasta la temperatura ambiente promedio
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de la distribución de temperatura a través del material termoelectrico

El material termoelectrico es un elemento que tiene propiedades eléctricas y térmicas que lo caracterizan como un semiconductor. El análisis de la distribución de temperaturas se realizó para tres módulos termoelectricos diferentes, fabricados por la empresa Kryotherm. La geometría y materiales de los termoelectricos son las mismas, pero cambian en dimensiones, teniendo en cuenta que la base de unión de la junta es fabricada a partir de cobre.

En las siguientes figuras se presentan las distribuciones de temperatura para cada uno de los modelos de acuerdo a las dimensiones de la tabla 3.

Figura 5 Simulación CFD de la temperatura entre la cara caliente del TEG y la PEM
Fuente: Elaboración Propia

En el grafico 1 se puede observar el flujo la distribución de temperaturas a través de la celda PEM y el dispositivo termoelectrico, tomando en cuenta el efecto convectivo del aire al que se encontrara expuesto.

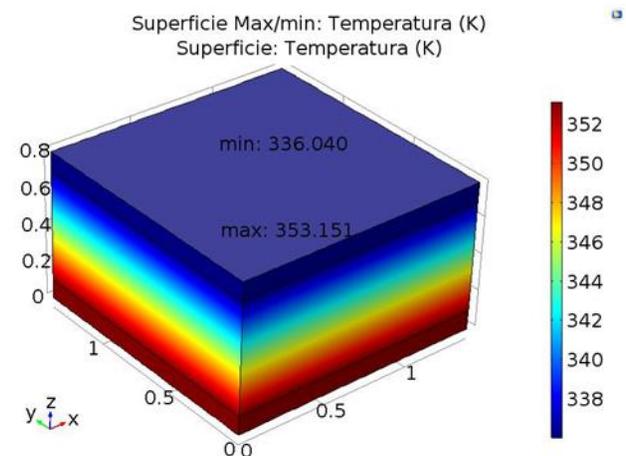


Figura 6 Simulación CFD de la distribución de temperatura en el modelo A
Fuente: Elaboración Propia

El modelo A se presenta un gradiente de temperatura de 17°C . La distribución de temperatura, sobre el sistema de coordenadas cartesianas, corresponde a un módulo con 199 juntas del material semiconductor A.

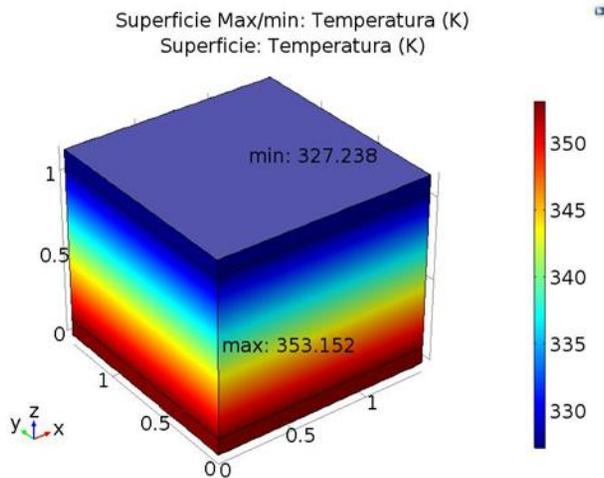


Figura 7 Simulación CFD de la distribución de temperatura en el modelo B

Fuente: *Elaboración Propia*

Para el caso del modelo B se obtuvo una temperatura mínima de 327.23 K, que se refleja en un mayor gradiente de temperatura, el factor que origina este aumento en el gradiente es el aumento en las dimensiones del semiconductor B, respecto al semiconductor A.

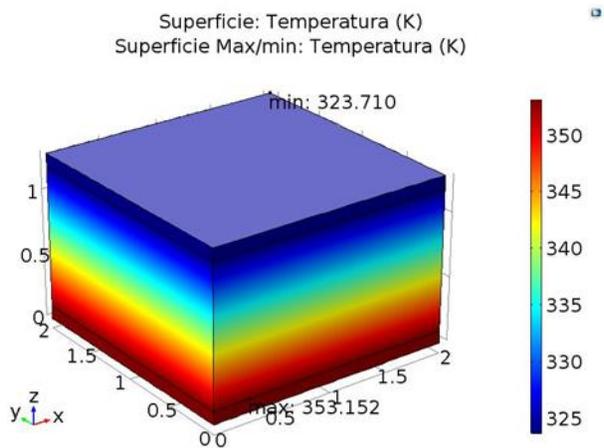


Figura 8 Simulación CFD de la distribución de temperatura en el modelo C

Fuente: *Elaboración Propia*

El modelo C confirma que al tener una mayor área transversal el calor se disipa de mejor manera, lo que repercute en tener una temperatura de cara fría menor, 323.710 K. La temperatura de la cara caliente del material TEG, en contacto con la pared exterior de la celda PEM, resultó de 353.15 K, debido a que la transferencia de calor fue alta.

A partir de los resultados anteriores podemos ver que el Modelo B es el que presenta un mayor gradiente de temperatura, 29.5°C , lo que se verá reflejado en una mayor potencia generada. No obstante, este gradiente de temperaturas puede mejorarse utilizando un disipador de calor en la cara fría y así obtener una mayor diferencia de potencial eléctrico.

Análisis del disipador de calor sobre la cara fría del TEG

Un disipador de calor tiene como función reducir la temperatura de diferentes componentes comúnmente electrónicos como es el caso de procesadores computacionales. El proceso está basado en una mayor disipación de calor al aumentar el área de transferencia de éste.

Para ello se eligió un disipador de calor con un TDP (Thermal Design Power) de 120 W que funciona mediante “heat pipes” y convección forzada. Sobre el análisis de transferencia de calor en el disipador se utilizó como referencia el Modelo termoelectrico B, pues es el que obtuvo mejores resultados en cuanto al gradiente de temperaturas, reduciendo de 353.15 a 323.71 K.

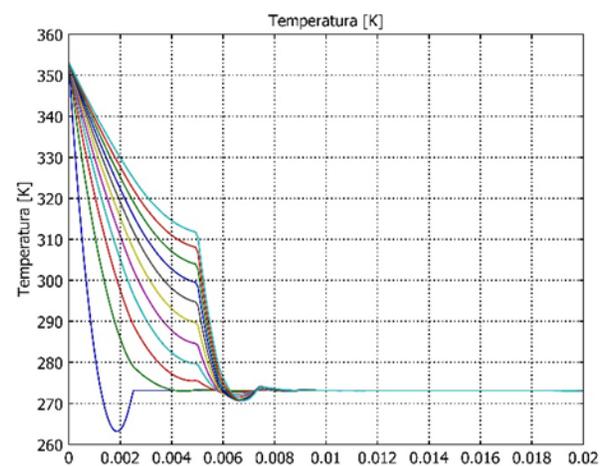


Gráfico 2 Distribución de temperatura a través del TEG con un disipador de calor

Fuente: *Elaboración Propia*

En el gráfico 2 se muestra la distribución de temperaturas a través del TEG con disipador. Se observa que la temperatura se reduce hasta llegar a los 313 K, con una diferencia de temperatura de 40 K.

Cálculo de la potencia generada

La potencia generada se determina a partir de las ecuaciones (7), (8) y (9), basadas en las propiedades de los materiales termoeléctricos y de acuerdo a la distribución de temperaturas. La siguiente tabla presenta los parámetros de diseño del módulo termoeléctrico propuesto, con disipador, y la potencia generada por el módulo.

Modulo B	α V/K	R Ω	n Juntas
Potencia generada = 7 W	3.74×10^{-4}	3.2×10^{-3}	398

La potencia generada corresponde a los parámetros máximos de operación de un solo módulo termoeléctrico de 398 juntas construidas a partir de Bi_2Te_3 con una base unión hecha de cobre. Se consideran 398 juntas, arreglos disponibles comercialmente, ensambladas en placas de alumina cerámica. Un dispositivo termoeléctrico, como el TGM-199-1,4-0,8 de la compañía Kryotherm, tiene unas dimensiones de $40 \times 40 \times 3,2$ mm, y consta de 6 placas cerámicas conectadas en serie. Considerando estas mismas características para el TEG propuesto, se obtendrá una potencia por dispositivo de 84 Watts.

Los generadores termoeléctricos podrían generar hasta 4.2 KW, con un área de pared externa de la Celda PEM de 0.5 m^2 . Lo anterior permitiría solventar parte la demanda de energía eléctrica del automóvil, mejorando la eficiencia eléctrica global del sistema en hasta un 3 %, impactando en el consumo de hidrógeno, combustible muy caro de obtener con energía limpia.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos del modelo propuesto, simulado en CFD, y calculando los parámetros máximos, se puede afirmar que los dispositivos termoeléctricos presentan una buena capacidad para la generación de energía, además de que en el proceso de obtención de dicha energía no se produce ningún tipo de residuo contaminante, pues se utiliza calor residual. La simulación en CFD permitió conocer la distribución de temperaturas a partir del flujo de calor desechado por la celda PEM. En base al Modelo B propuesto y con ayuda de un disipador de calor se obtuvo un gradiente de temperatura de 40° C , el cual permite generar una potencia de 84 Watts por arreglo termoeléctrico.

Dado que cada arreglo termoeléctrico ocupa un área de 16 cm^2 , el realizar un acomodo y ensamblado óptimo de estos sobre la pared exterior de la Celda PEM es sumamente importante para obtener la mayor cantidad de energía eléctrica.

Los automóviles impulsados por una celda de combustible, la cual trabaja mediante hidrógeno, son una alternativa para el cuidado ambiental. Sin embargo, la obtención de hidrógeno de manera limpia, así como su almacenamiento, son las principales limitantes para su comercialización. Los resultados del presente trabajo contribuyen a la investigación que pretende resolver o reducir este problema.

Referencias

- Cano Castillo, U. (1999). Las celdas de combustible: verdades sobre la generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica. *Boletín iee, Aplicaciones Tecnológicas*, 208-215.
- De Oliveira Alves, E. (2007). Propiedades físicas de semiconductor Bi_2Te_3 . *Departamento de física teórica y experimental*.
- H. , J. G. (2014). Bismuth Telluride and Its Alloys as Materials for Thermoelectric Generation . *Materials*, 2577-2592.
- Nieto Magdaleno , A. L., Olivares Robles , M. Á., & Chanona Pérez , J. J. (2015). Análisis de la conductividad térmica efectiva en un generador termoeléctrico segmentado usando Bi_2Te_3 y PbTe . *Pistas Educativas Año XXXVI* , 350-366.
- Rozo Q., S. M., & Tibaquirá G., J. E. (2007). Celdas de combustible tipo membrana de intercambio protónico. *Scientia et Technica Año XIII*, 279-283.
- S heinbaum Pardo, C., & Solís Ávila, J. C. (2016). Consumo de energía y emisiones de CO_2 del autotransporte en México y escenarios de mitigación. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 32 (1), 7-23.
- Xiaodong, Z., K. T. , C., & C. C., C. (2008). Overview of Thermoelectric Generation for Hybrid Vehicles. *Journal of Asian Electric Vehicles*, V 6 N 2, 1119-1124.

Comparación de la Degradación de la Energía en un Ciclo de Refrigeración con R-12 y R-134a

Comparison of Energy Degradation in a Refrigeration Cycle with R-12 and R-134a

RANGEL-ROMERO, Carlos†*, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, FLORES-MARTÍNEZ, Guillermo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio

Universidad Tecnológica de Puebla

ID 1^{er} Autor: *Carlos, Rangel-Romero* / ORC ID: 0000-0003-4879-4228, CVU CONACYT ID: 894477

ID 1^{er} Coautor: *Juan Carlos, Rojas-Garnica* / CVU CONACYT ID: 66417 ORC ID: 0000-0002-2261-587X

ID 2^{do} Coautor: *Guillermo, Flores-Martínez* / CVU CONACYT ID: 169853

ID 3^{er} Coautor: *Antonio, Barcelata-Pinzón* / CVU CONACYT ID: 160211

Recibido 28 Marzo, 2018; Aceptado 12 Junio, 2018

Resumen

En este trabajo se hace el análisis de las irreversibilidades generadas en un sistema de refrigeración por compresión mecánica de vapor con los refrigerantes R-134a y R-12 a una misma carga térmica. Este sistema se encuentra instalado en el LABINTHAP de la SEPI-ESIME-IPN. Para este análisis se cuenta con un software que captura los datos de las presiones y temperaturas del refrigerante a la entrada y salida del evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión en intervalos de un minuto. Con los datos obtenidos experimentalmente, se determinan las variables correspondientes de entalpías, volúmenes específicos y entropías. Con los valores de las variables, se grafica el ciclo de refrigeración en los ejes P-h (presión-entalpía) y T-s (temperatura-entropía). Para el análisis de las irreversibilidades generadas, se emplearon la primera y segunda ley de la termodinámica. Los resultados demostraron que las mayores irreversibilidades se originan en el compresor y condensador.

COP, Ciclo real, Diagrama T-s, Entropía, Entalpía

Abstract

This research describes an analysis of generated irreversibilities in a refrigeration system made by steam mechanical compression with R134a and R-12 coolings at the same thermal load. The system is now implemented in LABINTHAP laboratory in SEPI-ESIME-IPN faculty. To the analysis process is used a one minute interval capture software to record cooling temperature and pressure at the entry and exit of the evaporator, compressor, condenser and expansion valve. With the experimentally recorded information of pressure and temperature of the cooling it is calculated the variables according with enthalpy, specific volume and entropy. With the calculated variables values is made graphically cooling cycle at P-h (pressure-enthalpy) and T-s (temperature-entropy) axis. To the generated irreversibilities it was used first and second thermodynamic laws. The results of this research shown that major irreversibilities were originated in the compressor and the condenser.

COP, real Cycle, T-s Diagram, Entropy, Enthalpy

Citación: RANGEL-ROMERO, Carlos, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, FLORES-MARTÍNEZ, Guillermo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio. Comparación de la Degradación de la Energía en un Ciclo de Refrigeración con R-12 y R-134a. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-6: 28-35.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: carlos.rangel@utpuebla.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los sistemas de refrigeración se aplican a los sectores industrial, comercial y doméstico. Los sistemas de refrigeración establecen un flujo de energía entre el medio que se requiere enfriar y el medio ambiente que actúa como sumidero térmico; esto se logra por medio del suministro de energía que, en el caso de los sistemas de compresión mecánica, se hace en forma de trabajo mecánico. Desafortunadamente el uso de la energía se ve afectada por las irreversibilidades que se generan en los diferentes componentes del sistema, lo que provoca un desperdicio en el consumo de energía suministrada (Ahmadi P., et al., 2013).

El sistema de refrigeración mas empleado a escala mundial es el conocido como sistema de refrigeración por compresión mecánica de vapor, compuesto por cuatro procesos fundamentales: evaporación, compresión, condensación y expansión isoentálpica. Este sistema de refrigeración ha sido estudiado exhaustivamente desde el punto de vista de conversión de la energía, a través de la primera ley de la termodinámica, pero se ha puesto también atención al uso eficiente de la energía, debido a los problemas que se tienen con el suministro y el precio de la misma.

El buen o mal uso de la energía solo puede ser evaluado por la segunda ley de la termodinámica que permite calcular las pérdidas de energía que ocurren, como consecuencia de las irreversibilidades que se presentan en los sistemas de refrigeración. Las primeras máquinas de refrigeración se desarrollaron en 1834 por Perkins y después en 1834 por Harrinson, utilizando éter como fluido refrigerante.

En 1870 y 1880 se aplicaron el dióxido de carbono, amoniaco, dióxido de sulfuro y a partir de 1932 los refrigerantes CFCs y los HCFCs empezaron a dominar el mercado de este campo, debido a sus características tecnológicas, al no ser tóxicos ni explosivos, además con propiedades termodinámicas deseables y estabilidad química a las condiciones de trabajo (Ansari N., et al., 2012).

A pesar de estas características atractivas de los refrigerantes CFCs y HCFCs, en los últimos años se ha descubierto que son dañinos a la capa de ozono, por lo que ha surgido la necesidad de sustituirlos por sustancias que reúnan las mismas características atractivas, además de no causar daños a la atmósfera. Para la industria de aire acondicionado y refrigeración, encontrar las sustancias sustitutas de estos compuestos representa un gran problema económico y de tiempo.

En la década pasada, los resultados de investigación en esta área indicaron que los refrigerantes CFCs debían sustituirse por los HFCs que no contienen cloro y tienen propiedades similares. En la primera etapa se determinó sustituir los refrigerantes CFCs por los HFCs; por ejemplo R-11 por el R-123; para el R-12 se considera el R-134a.

En este trabajo se presentan los resultados experimentales de la determinación de las irreversibilidades en un sistema de refrigeración por compresión mecánica de vapor empleando como fluidos de trabajo al R-12 y al R-134a; considerando que darlos a conocer pueda despertar el interés en la comunidad por este tema tan importante que es el uso eficiente de la energía.

Sistema de refrigeración experimental por compresión mecánica de vapor

El sistema de refrigeración que se usó para realizar este trabajo se muestra en forma esquemática en la figura 1.

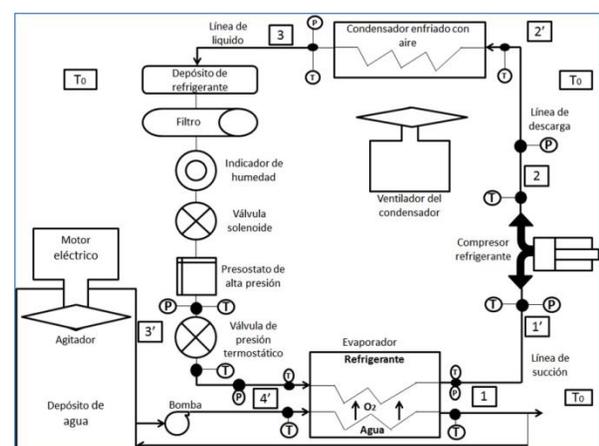


Figura 1 Componentes principales de un sistema de refrigeración por compresión mecánica de vapor

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la figura 1, el agua del depósito a enfriar, circula a través del evaporador, en donde el refrigerante absorbe el calor del agua, disminuyendo así la temperatura del agua, para este trabajo, con ambos refrigerantes, el flujo de masa de agua que se hace circular por el evaporador es de 0.5 l/s, posteriormente se toman lecturas de temperatura y presión del refrigerante mediante termopares y transductores de presión colocados en las entradas y salidas del evaporador, del compresor, y de la válvula de expansión. Cada prueba tiene una duración de 2 horas.

Por otro lado, el refrigerante R-12 ha sido el más utilizado en los sistemas de refrigeración porque es seguro, debido a que no es inflamable, no es explosivo y no es tóxico, salvo cuando entra en contacto con una flama o con elementos de calefacción eléctrica. Su temperatura de punto de ebullición es de $-29.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la presión atmosférica, en los últimos años se descubrió que este refrigerante es responsable en gran medida de la destrucción de la capa de ozono.

Con respecto al refrigerante R-134a se tiene que es un refrigerante que se deriva del etano y se usa para reacondicionar equipos que funcionan con el R-12, es menos tóxico con respecto al R-12, tiene un índice de potencial de la destrucción de la capa de ozono de cero. Su temperatura de punto de ebullición es de $-26.1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Método de evaluación de irreversibilidades en los sistemas de refrigeración

La segunda ley de la termodinámica establece el sentido de dirección de los procesos de transferencia de energía y muestra cuando una transformación de energía es posible, mientras que la primera ley de la termodinámica únicamente proporciona información sobre la conservación de la energía en las transformaciones de una forma a otra. A través de la aplicación de la primera y segunda leyes de la termodinámica se calculan los flujos de energía y las irreversibilidades. Las irreversibilidades se generan por la transmisión de calor entre el refrigerante y el medio ambiente, por la fricción debido a la circulación del refrigerante, las caídas de presión y por fricción mecánica (Ahmed B., Zubair S.M., 2011). El esquema general se muestra en la figura 2.

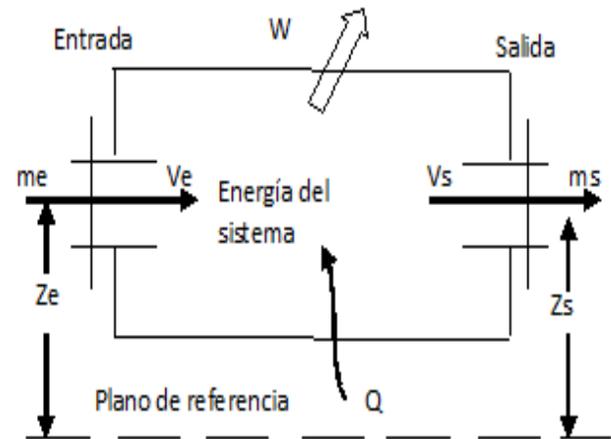


Figura 2 Flujo de energía en un sistema abierto

Fuente: Elaboración Propia

Ecuaciones aplicables al análisis energético

La primera ley de la termodinámica es la ley de la conservación de la energía y se emplea en el análisis de los sistemas de ingeniería donde se involucran procesos de transferencia de calor y trabajo. Esta primera ley proporciona una técnica para el análisis energético, pero no describe la forma en que fluirá la energía.

La segunda ley de termodinámica da una dirección a los procesos de transferencia de energía y establece que siempre que se transfiere energía, el nivel de disponibilidad de la misma no puede conservarse, y aparte de ella tiene que reducirse a un nivel inferior.

Al combinar esta segunda ley con la primera se obtiene información necesaria para analizar los procesos de transmisión energética y cuantificar la irreversibilidad que ocurre en el proceso. La aplicación de estas leyes permite definir la eficiencia con que un proceso en un sistema abierto, como es el caso de la refrigeración, aprovecha la energía suministrada (Bahman A., Groll E., 2016).

El comportamiento energético desde el punto de vista de conservación de la energía, así como el uso de energía que den cada parte componente de un sistema de refrigeración, se analizan aplicando los principios del sistema termodinámico abierto. A través de la aplicación de la primera y segunda ley de termodinámica, se calculan los flujos de energía y la irreversibilidad.

El esquema general del sistema abierto se muestra en la figura 2, y las ecuaciones correspondientes a la primera y segunda leyes [9, 18], se expresan como sigue:

Primera ley de la termodinámica

$$\left[\begin{array}{c} \text{suma de energías} \\ \text{de entrada al sistema} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{suma de energías} \\ \text{de salida del sistema} \end{array} \right] = [\text{variación de la energía en el sistema}]$$

Considerando el caso de un solo flujo de masa con una entrada y una salida, el balance de energía se expresa por la siguiente ecuación:

$$m_e(h + \frac{v^2}{2} + gz)_e - m_s(h + \frac{v^2}{2} + gz)_s + Q - W = [m_f(u + \frac{v^2}{2} + gz) - m_i(u + \frac{v^2}{2} + gz)]_{sist} \quad (1)$$

Para el flujo permanente y despreciando los cambios de energía cinética y potencial, el flujo de más a la entrada y a la salida permanece constante y la variación de energía en el sistema es nula, por la ecuación (1) se escribe:

$$\dot{m}(h_e - h_s) + \dot{Q} - \dot{W} = 0 \quad (2)$$

La ecuación de la primera ley de la termodinámica para un sistema que intercambia calor y trabajo con los alrededores se reduce a:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_s - h_e) \quad (3)$$

Esta ecuación establece el balance de energía para el compresor al que se le suministra una potencia mecánica; en tanto que, para el evaporador, el condensador, la válvula de expansión y las tuberías de alta y baja presión, que están en contacto con el medio ambiente (alrededores) y a los que no se le suministra trabajo ($W_m=0$), el balance de energía es:

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_s - h_e) \quad (4)$$

Segunda ley de la termodinámica

$$\left[\begin{array}{c} \text{transferencia de} \\ \text{entropía por} \\ \text{transmisión de} \\ \text{calor al sistema} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{suma de entropías} \\ \text{de entrada al sistema} \\ \text{con la masa} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{suma de entropías} \\ \text{de salida del sistema} \\ \text{con la masa} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{generación de} \\ \text{entropía en el} \\ \text{sistema} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{variación de} \\ \text{entropía en} \\ \text{el sistema} \end{array} \right]$$

Para el caso de un flujo de masa de entrada y un flujo de masa de salida, el balance de entropía queda expresado por:

$$\int_{rev} \frac{\delta Q}{T} + m_e s_e - m_s s_s + I = (s_f - s_s)_{sist} \quad (5)$$

Para el flujo permanente, la variación de entropía en el sistema es cero y el flujo de generación de irreversibilidades, a partir de la ecuación (5) queda como:

$$\dot{I} = \dot{m}(s_s - s_e) - \int_{rev} \frac{\delta Q}{T} \quad (6)$$

Por otra parte, para obtener la generación de entropía (irreversibilidades) para cada uno de los componentes del sistema de refrigeración, se aplica la ecuación de la segunda ley de la termodinámica.

$$\Delta S_{gen} = \dot{m}(s_s - s_e)_{sist} + \frac{\dot{Q}_{alr}}{T_{alr}} \quad (7)$$

Donde el término $\dot{m}(s_s - s_e)_{sist}$ representa el cambio de entropía del sistema, debido a la irreversibilidad en el interior del mismo, aunque no exista transferencia de calor hacia el sistema durante el proceso.

Y el término $\frac{\dot{Q}_{alr}}{T_{alr}}$ representa el flujo de entropía térmica sobre los componentes del sistema; una transferencia de calor que cruza los puntos de su frontera a diferentes temperaturas. Al sustituir la ecuación (4) en la (5), se obtiene la ecuación de generación de entropías en función de las entalpías.

$$\Delta \dot{S}_{gen} = \dot{m}(s_s - s_e) - \frac{h_s - h_e}{T_{alr}} \quad (8)$$

Donde la temperatura de los alrededores es igual a la temperatura del medio ambiente.

$$T_{alr} = T_o$$

Sustituyendo en la ecuación (8)

$$\Delta S_{gen} = \dot{m}(s_s - s_e) - \frac{h_s - h_e}{T_o} \quad (9)$$

Pero al considerarse una sola corriente de entrada y salida se obtiene la ecuación de irreversibilidad.

$$\dot{I} = T_o(s_s - s_e)_{sist} - \frac{h_s - h_e}{T_o} \quad (10)$$

Y de una manera general la irreversibilidad es:

$$\dot{I} = T_o(\Delta S_{sist} + \Delta S_{alr}) \quad (11)$$

Esta última ecuación es la ecuación general de un sistema abierto, que ubica a un fluido en movimiento y en el que existe producción de calor y realiza trabajo. La irreversibilidad nos indica el potencial de energía que se desperdicia en un proceso al no estar disponible para convertirse en trabajo y se expresa como la diferencia entre el trabajo reversible y el trabajo útil real. Esta diferencia representa la pérdida de energía disponible.

$$I = W_{REV} - W_U \tag{12}$$

Donde: El **trabajo reversible** (W_{REV}) se define como la cantidad máxima de trabajo posible que puede obtenerse de un sistema, al realizar un proceso reversible, es decir, que la energía se aprovecha por completo y la generación de entropía es igual a cero.

Resultados Experimentales

Las condiciones de la experimentación son las siguientes: flujo másico constante de agua de 0.5 l/s; carga térmica variable entre 2 y 7 kW, aunque el valor que más se mantuvo a lo largo de las 2 horas de experimentación fue de 4 kW. Las mediciones de temperaturas y presiones de los refrigerantes R-12 y R-134a se muestran en las tablas 2, 3, 4 y 5 respectivamente con los datos obtenidos experimentalmente y mediante tablas termodinámicas se obtienen las otras variables termodinámicas que son la entropía, entalpía y volumen específico.

Componente		Balace de Energía	Irreversibilidades
Evaporación	4'-1	$Q_{4'-1} = m(h_1 - h_4')$	$I_{4'-1} = m(s_1 - s_4') - \frac{Q_{4'-1}}{T_R}$
Línea de succión	1-1'	$Q_{1-1'} = m(h_1' - h_1)$	$I_{1-1'} = m(s_1' - s_1) - \frac{Q_{1-1'}}{T_0}$
Compresión	1'-2	$Q_{1'-2} = m(h_2 - h_1') + W$	$I_{1'-2} = m(s_2 - s_1') - \frac{Q_{1'-2}}{T_0}$
Línea de descarga	2-2'	$Q_{2-2'} = m(h_2' - h_2)$	$I_{2-2'} = m(s_2' - s_2) - \frac{Q_{2-2'}}{T_0}$
Condensación	2'-3	$Q_{2'-3} = m(h_3 - h_2')$	$I_{2'-3} = m(s_3 - s_2') - \frac{Q_{2'-3}}{T_0}$
Línea de Líquido	3-3'	$Q_{3-3'} = m(h_3' - h_3)$	$I_{3-3'} = m(s_3' - s_3) - \frac{Q_{3-3'}}{T_0}$
Expansión	3'-4'	$Q_{3'-4'} = m(h_4' - h_3')$	$I_{3'-4'} = m(s_4' - s_3') - \frac{Q_{3'-4'}}{T_0}$

Tabla 1 Ecuaciones de balance de energía e irreversibilidades del sistema de refrigeración. Los puntos indicados corresponden a la figura 1
Fuente: *Elaboración Propia*

Donde T_R es la temperatura del espacio a enfriar.

Tiempo Minutos	Temperatura °C										
	4	1	1'	2	2'	3	3'	4'	5	6	8
50	-14	15	18	74	71	31	26	-14	22	20	23
55	-15	15	18	75	72	30	25	-15	22	20	23
60	-14	15	18	75	72	30	25	-14	22	20	22
70	-15	14	17	75	70	29	25	-15	21	19	22
85	-14	14	17	74	70	30	25	-14	20	18	21
115	-14	13	16	73	69	30	25	-14	19	17	20

Tabla 2 Temperatura del refrigerante R-12
Fuente: *Elaboración Propia*

Tiempo Minutos	Presión kPa					
	4=4'	1	1'	2=2'	3	3'
50	216.6	252.9	221.1	1210.1	1116.1	965.5
55	256.2	247.9	217.7	1220	1113.3	950
60	250.8	245.3	210.8	1228.4	1096.9	948.8
70	247.1	240.4	208.5	1224	1077.9	934.2
85	252.9	244.8	216.8	1229.8	1109.9	944.8
115	249.4	243.4	212	1222.4	1089.7	934

Tabla 3. Presión del refrigerante R-12
Fuente: *Elaboración Propia*

Con los datos obtenidos de P, T, h, s, v, se grafica el ciclo real de refrigeración del R-12 y R-134a mediante un diagrama P-h y T-s [5], que se muestran en los gráficos 1 y 2. En estos gráficos se muestra que para una misma carga térmica, la presión de condensación es mayor en el R-134a que en el R-12, pero sucede lo contrario con la presión de evaporación.

Cabe mencionar que la presión de condensación durante la experimentación se mantiene constante debido a que la temperatura ambiente no tuvo variación y la presión de evaporación disminuye conforme la temperatura del depósito de agua a enfriar también disminuye, lo que trae como consecuencia que el trabajo de compresión aumente. También se comprobó que el ciclo real de refrigeración no se mantiene constante, sino que evoluciona con respecto al tiempo a medida que la temperatura del agua a enfriar disminuye, y por lo tanto las propiedades termodinámicas cambian conforme el ciclo evoluciona.

Tiempo Minutos	Temperatura °C										
	4	1	1'	2	2'	3	3'	4'	5	6	8
50	4	8	19	64	60	38	34	3	16	14	17
55	4	7	19	64	60	37	34	3	16	14	16
60	4	7	19	64	61	37	33	2	15	13	16
70	3	6	19	63	60	37	33	1	15	13	15
85	2	5	18	63	59	36	32	1	14	12	14
115	0	3	19	62	59	35	31	-2	12	10	12

Tabla 4 Temperatura del refrigerante R-134a
Fuente: *Elaboración Propia*

Tiempo Minutos	Presión kPa					
	4=4'	1	1'	2=2'	3	3'
50	369	360	318	1441	1262	1200
55	365	361	313	1377	1252	1196
60	364	352	309	1471	1256	1191
70	354	349	301	1383	1243	1182
85	345	335	293	1360	1220	1168
115	321	316	272	1322	1192	1114

Tabla 5 Presión del refrigerante R-134a
Fuente: *Elaboración Propia*

En los gráficos 1 y 2 se observan las caídas de presión en todos los equipos y componentes del ciclo de refrigeración, excepto en el compresor que es el equipo que compensa todas las pérdidas de presión, además, se muestran las caídas de presión en las tuberías, el proceso de sobrecalentamiento en el condensador y en el proceso de estrangulamiento en la válvula de expansión. Es importante señalar que en el compresor se tiene un proceso de enfriamiento lo que reduce la entropía y por lo tanto el proceso de compresión no es isentrópico; en el mejor de los casos puede ser adiabático irreversible.

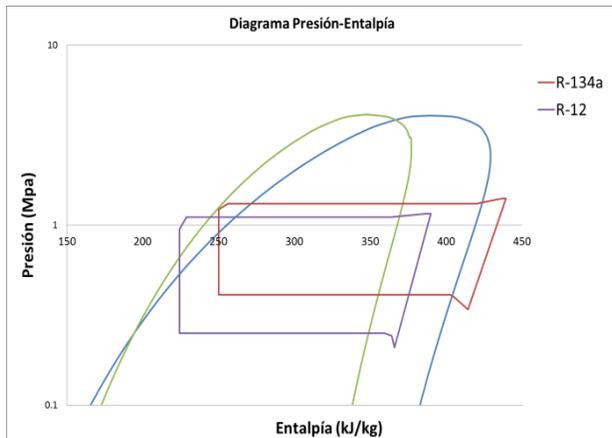


Gráfico 1 Diagrama P-h del R-12 y R-134a
Fuente: *Elaboración Propia*

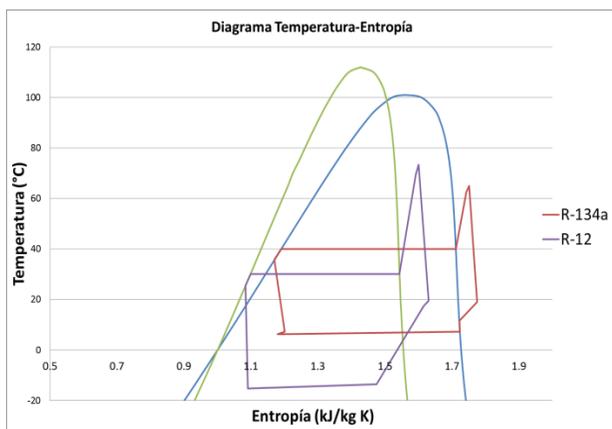


Gráfico 2 Diagrama T-s del R-12 y R-134a
Fuente: *Elaboración Propia*

Análisis de resultados experimentales

Con los datos obtenidos de la experimentación se obtiene el comportamiento de las propiedades termodinámicas del ciclo de refrigeración de los refrigerantes R-12 y R-134a aplicando las ecuaciones analizadas anteriormente. La tabla 6 nos muestra que, a las mismas condiciones de carga térmica, se emplea una menor cantidad de refrigerante de R-134a, es decir, que para disminuir la temperatura del depósito de agua a enfriar se utiliza una menor cantidad de refrigerante R-134a que el R-12, también el R-134a tiene una mayor capacidad de absorber el calor del fluido a enfriar, y otro punto a mencionar es que el R-134a tiene un mayor volumen desplazado en la tubería de succión pero una vez que el refrigerante entra al compresor se requerirá de un menor consumo de energía para comprimir al refrigerante a una temperatura y presión mayor a la temperatura del medio ambiente.

También es importante resaltar que el R-134a tiene un mejor Coeficiente de Operación (COP), lo que trae como resultado que se tenga una mayor absorción de calor empleando un menor consumo de energía (Anand S., Tyagi S.K., 2012).

El análisis de las irreversibilidades generadas en los componentes del sistema de refrigeración, mediante la aplicación de las ecuaciones de la tabla 1, se muestra en la tabla 7. Se encuentra que a la misma carga térmica en el evaporador el refrigerante R-12 emplea un flujo de refrigerante de 0.029 kg/s; mientras que a las mismas condiciones el R-134a tiene un flujo de refrigerante de 0.026 kg/s.

Por lo tanto, a las mismas condiciones de carga térmica, se tiene que cuando se utiliza refrigerante R-12 se produce una mayor irreversibilidad en el evaporador y en el compresor, y cuando se emplea el refrigerante R-134a se tiene una mayor irreversibilidad en la línea de succión y en el condensador, pero ambos refrigerantes tienen el mismo valor de irreversibilidad en la línea de descarga y en la válvula de expansión. Pero al hacer las sumas de todas las irreversibilidades la que tiene un menor valor es el refrigerante R-134a con 1.58 kW mientras el refrigerante R-12 tiene un valor de 2.06 kW, por lo tanto, el refrigerante R-134a requerirá de una menor potencia para vencer las irreversibilidades que el refrigerante R-12.

También la tabla 6 nos muestra que las mayores irreversibilidades se originan en el compresor y el condensador, esto se debe a que en el compresor se le suministra trabajo mecánico para compensar todas las caídas de presión en el sistema de refrigeración, y a que el condensador tiene forma de serpentín y esto produce una mayor caída de presión; hay que recordar que las caídas de presión, la transferencia de calor del refrigerante hacia el medio ambiente y la fricción mecánica originan las irreversibilidades.

Efecto	Unidad	Refrigerante	
		R-12	R-134a
Q_0	kW	4	4
m_r	Kg/s	0.029	0.026
q_{evap}	kJ/kg	137	156
Q_{evap}	kW	4	4
W	kW	0.73	0.52
Q_{cond}	kW	-5	-5
COP		5.5	7.3

Tabla 6 Comparación del comportamiento energético del refrigerante R-12 y R-134a

Fuente: Elaboración Propia

Componente	Q (kW)		S _{gen} (kW/K)		I (kW)	
	R-12	R-134a	R-12	R-134a	R-12	R-134a
Evaporador	4	4	0.0014	0.0005	0.41	0.16
Línea de Succión	0.07	0.34	0.003	0.0011	0.08	0.32
Compresor	-1.4	-1.2	0.0038	0.0020	1.14	0.60
Línea de Descarga	-0.07	-0.12	0.00032	0.00049	0.01	0.01
Condensador	-4.6	-4.6	0.0012	0.0014	0.36	0.41
Línea de líquido	-0.14	-0.15	0.00014	0.00027	0.0043	0.01
Válvula de expansión	0	0	0.002	0.0002	0.06	0.06

Tabla 7 Comparación de las irreversibilidades con refrigerante R-12 y R-134a

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusiones

Debido a los problemas ambientales por el uso de los refrigerantes CFCs, como lo son la destrucción de la capa de ozono y la contribución al efecto invernadero, empresas como Dupont desarrollaron a partir de compuestos ya conocidos, los refrigerantes llamados ecológicos o puros conocidos como HFCs hidrofluorocarbonos. Debido a que en México todavía se siguen utilizando los refrigerantes CFCs y HCFCs se debe organizar una estrategia, mediante proyectos de estudio para la sustitución de los refrigerantes CFCs que son los refrigerantes más utilizados en la actualidad para evitar mayores daños a la vida terrestre.

En este trabajo mediante un análisis teórico experimental se demostró que el comportamiento energético del ciclo real de refrigeración por compresión mecánica de vapor es mejor cuando se utiliza como refrigerante el R-134a que cuando se emplea el refrigerante R-12, cuando se está operando a la misma carga térmica y a un mismo flujo másico de agua. Además de que el refrigerante R-134a tiene una menor participación en la destrucción de la capa de ozono y un menor potencial del calentamiento de la tierra (GWP). Por lo que es necesario capacitar a las personas encargadas de los servicios de refrigeración y aire acondicionado para que conozcan las propiedades de los refrigerantes de sustitución.

Así mismo se presentó una metodología para determinar las irreversibilidades en los sistemas de refrigeración por compresión mecánica de vapor. De los refrigerantes empleados se demostró que el que tiene un mejor aprovechamiento de la energía es el refrigerante R-134a. Por lo tanto, es factible sustituir el refrigerante R-12 por el R-134a ya que presenta las siguientes ventajas: Se emplea un menor flujo de refrigerante para absorber la misma carga térmica, la energía empleada para producir refrigeración es menor, el efecto refrigerante aumenta y por lo tanto se concluye que esta sustitución es adecuada tanto técnica como ambientalmente.

También es importante mencionar que las pérdidas por generación de irreversibilidades en los sistemas de refrigeración son muy altas, mayores del 90%. Este resultado es importante para la industria de la refrigeración, por que indica que es indispensable realizar desarrollos tecnológicos para mejorar de manera importante el uso de la energía.

Además al evaluar las pérdidas de energía por cada componente se tiene información importante, por que indica cuales son los elementos a los que se debe poner mayor atención para disminuir las pérdidas de energía, que se presentan por las irreversibilidades generadas, y que en este caso ocurren en el compresor y en el condensador.

Referencias

- Ahmadi P., Dincer I., Rosen M. A. (2013). Thermodynamic modeling and multi-objective evolutionary-based optimization of a new multigeneration energy system. *Energy Conversion and Management*, Vol. 76. pp. 282–300.
- Ahmed B., Zubair S.M. (2011). Performance degradation of a vapour compression refrigeration system under fouled conditions. *International Journal of Refrigeration*. Vol. 34. pp. 1016-1027.
- Anand S., Tyagi S.K. (2012). Exergy analysis and experimental study of a vapor compression refrigeration cycle. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 110. pp. 961–971.
- Ansari N., Yadav B., Kumar J. (2012). Theoretical exergy analysis of HFO-1234yf and HFO-1234ze as an alternative replacement of HFC-134a in simple vapour compression refrigeration system. *International Journal of Scientific Engineering Research*. Vol. 4 (8). pp. 137–144.
- Bahman A., Groll E. (2016). Second-law analysis to improve the energy efficiency of environmental control unit. 16th International refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 11-14 2016.
- Chandrasekharan M. (2014). Exergy analysis of vapor compression refrigeration system using R12 and R134a as refrigerants. *International Journal of Students' Research in Technology & Management*. Vol. 2 (04). pp. 134-139.
- Fenga H., Chena L., Suna F., Wu. Ch. (2011). Heating load and COP optimisations for a universal steady flow endoreversible heat pump model. *International Journal of Ambient Energy* Vol. 32 (2). pp. 70–77.
- Nawaz Md., MamoonMd., Ashar Md., Zafar A. (2015). Energy and exergy analysis of vapour compression refrigeration system with R12, R22, R134a. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* Volume 5, Issue 3 March 2015. pp. 210-216.
- Yadav P., Sharma A. (2015). Exergy analysis of R134a based vapour compression refrigeration tutor. *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. National Conference on Advances in Engineering, Technology & Management (AETM'15). pp. 73- 77.
- Yataganbaba A., Kilicarslan A., Kurtbas I. (2015). Exergy analysis of R1234yf and R1234ze as R134a replacements in a two evaporator vapour compression refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 60:pp. 26-37.
- Yataganbaba A., Kilicarslan A., Kurtbas I. (2015). Irreversibility analysis of a two-evaporator vapour compression refrigeration system. *International Journal of Exergy*. Vol. 18, No. 3. pp. 340-355.

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]

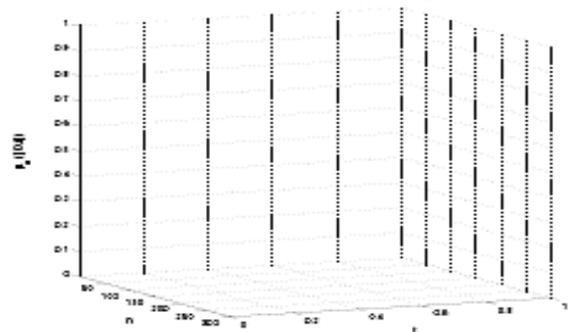


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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. Morazarzal –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

“Análisis transitorio del flujo tangencial en tanques horizontales con distintos deflectores”

LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana

“Sistema de estacionamiento vertical automático”

SOTELO-MARTÍNEZ, Samuel, ARROYO-CHÁVEZ, Victor Ventura, OCAMPO-MARTÍNEZ, Rafael y GARCÍA-MENDOZA, Rufino

Universidad Tecnológica de San Juan del Río

“Análisis energético de un sistema de generación termoeléctrica utilizando calor residual de celdas de combustible”

VALLE-HERNÁNDEZ, Julio, OLVERA-RODRÍGUEZ, Omar Alejandro, ROMÁN-AGUILAR, Raúl y ROJAS-AVILA, Apolo

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo

“Comparación de la Degradación de la Energía en un Ciclo de Refrigeración con R-12 y R-134a”

RANGEL-ROMERO, Carlos, ROJAS-GARNICA, Juan Carlos, FLORES-MARTÍNEZ, Guillermo y BARCELATA-PINZÓN, Antonio

Universidad Tecnológica de Puebla

